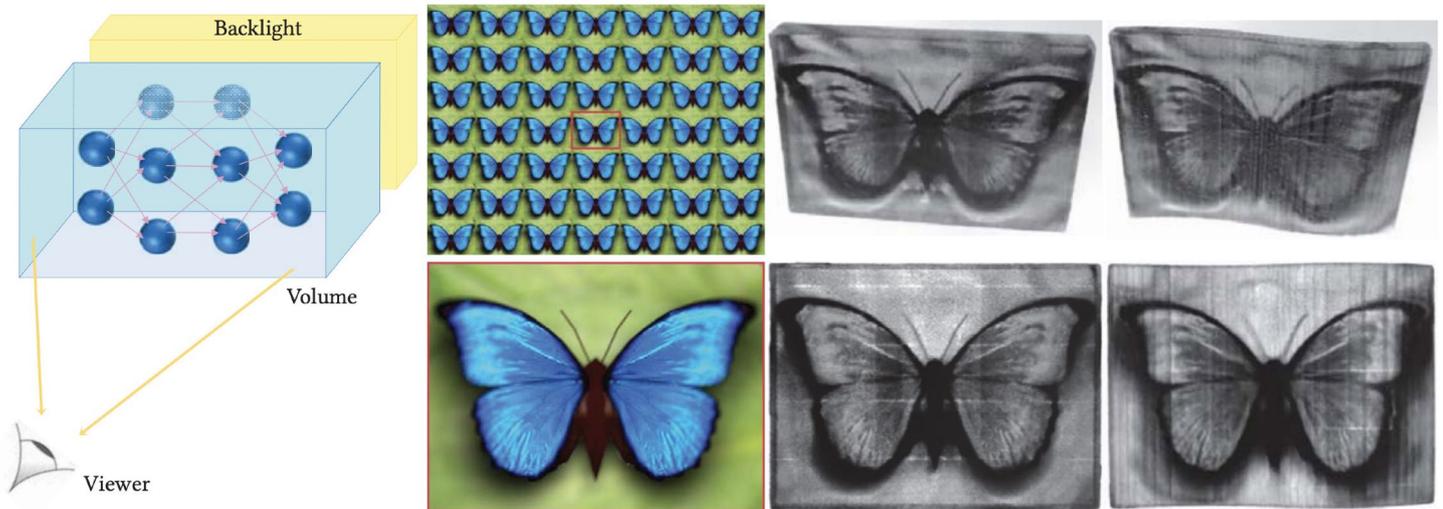


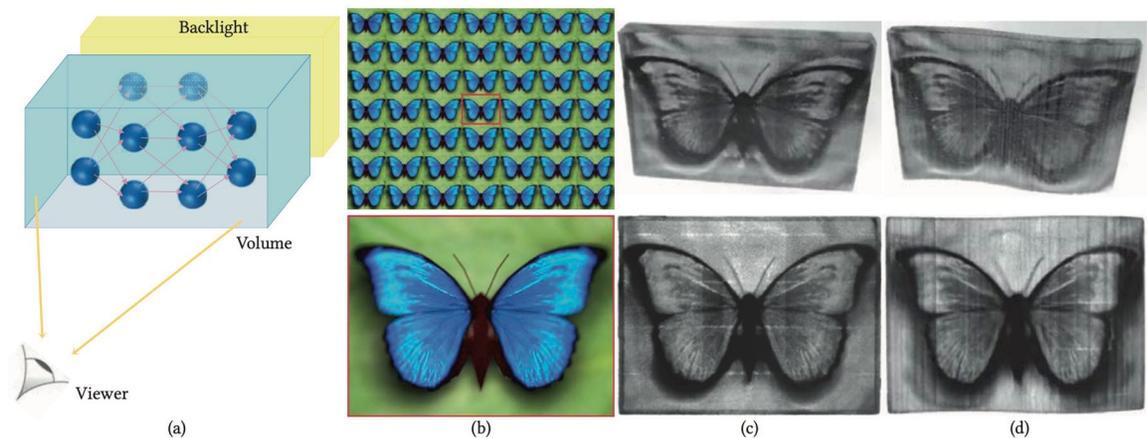


Informatik Spektrum



Informatik Spektrum

Organ der Gesellschaft für Informatik e. V. und mit ihr assoziierter Organisationen



NEURAL LIGHT FIELD DISPLAY

Moderne 3D-Drucker sind in der Lage, großformatige Lichtfeld-Displays mit hohen Auflösungen zu drucken. Die Optimierung solcher Displays im vollen 3D-Volumen für ein bestimmtes Lichtfeldbild ist jedoch nach wie vor eine anspruchsvolle Aufgabe. Bestehende Lichtfeld-Displays werden für relativ kleine Auflösungen optimiert, indem einige co-planar layers in einer 2.5D-Methode verwendet werden, um das Problem überschaubar zu halten.

Wir schlagen einen neuartigen Ende-zu-Ende-Optimierungsansatz vor, bei dem das eingegebene Lichtfeldbild als implizite Darstellung im kontinuierlichen Raum in einem neuronalen Netz kodiert wird (siehe Abbildung (a)). Dies ermöglicht die Herstellung von hochauflösenden, dämpfungsbasierten volumetrischen Displays, die die Ziellichtfelder darstellen (siehe Abbildung, Spalte (b)).

Darüber hinaus beziehen wir die physikalischen Einschränkungen des Materials in die Optimierung ein, so dass die Ergebnisse in der Praxis gedruckt werden können. Wir zeigen, dass unsere Pipeline flexibel genug ist, um die Herstellung sowohl planarer als auch nicht-planarer Displays zu ermöglichen (siehe Abbildung Spalte (c) & (d)).

Autoren:

QUAN ZHENG, Max-Planck-Institut für Informatik, Deutschland
 VAHID BABAEI, Max-Planck-Institut für Informatik, Deutschland
 GORDON WETZSTEIN, Universität Stanford, USA
 HANS-PETER SEIDEL, Max-Planck-Institut für Informatik, Deutschland
 MATTHIAS ZWICKER, Universität von Maryland, College Park, USA
 GURPRIT SINGH, Max-Planck-Institut für Informatik, Deutschland

Bild erstellt von: QUAN ZHENG, Max-Planck-Institut für Informatik, Deutschland

Informatik Spektrum

Band 44 | Heft 5 | Oktober 2021

Organ der Gesellschaft für Informatik e. V. und mit ihr assoziierter Organisationen

- EDITORIAL**
Thomas Ludwig
323 Editorial
- HAUPTBEITRÄGE**
Sassan Torabi-Goudarzi · Shari Alt
324 FlexChain. Intelligente Aktivierung von Kleinstflexibilitäten
- Mathias Ellmann
327 Umschulung zum IHK-Fachinformatiker in Anwendungsentwicklung und Systemintegration
- Johannes Reich
339 Komposition und Interoperabilität von IT-Systemen
- ERRATUM**
Johannes Reich
347 Erratum zu: Komposition und Interoperabilität von IT-Systemen
- HAUPTBEITRÄGE**
Alexander Pretschner · Niina Zuber · Jan Gogoll · Severin Kacianka · Julian Nida-Rümelin
348 Ethik in der agilen Software-Entwicklung
- Roman Povalej · Heiko Rittelmeier · Johannes Fähndrich · Silvio Berner · Wilfried Honekamp · Dirk Labudde
355 Die Enkel von Locard. Analyse digitaler Spuren in der forensischen Informatik
- Tobias Knuth
364 Lernende Entscheidungsbäume. Überholtes Verfahren oder vielseitige KI-Methode?
- AKTUELLES SCHLAGWORT**
Nathalie Hartl · Elena Wössner · York Sure-Vetter
370 Nationale Forschungsdateninfrastruktur (NFDI)
- FORUM**
Georg Rainer Hofmann · Debora Weber-Wulff
374 Gewissensbits – wie würden Sie urteilen?
- Ursula Sury
376 Pflichten im Auftragsverhältnis
- Rolf Windenberg
379 Um etliche Ecken ged8. Gehirn-Jogging auf Basis der math.- und informatisch-orientierten Rechtschreibreform
- Hans-J. Lenz
381 Achtung. Datentrickerei. Abrechnungsbetrug in der Gastronomie – Süßer die Kassen so klingen
- MITTEILUNGEN**
Cornelia Winter
384 Mitteilungen der GI im Informatik Spektrum 5/2021

Informatik Spektrum

Organ der Gesellschaft für Informatik e. V. und mit ihr assoziierter Organisationen

Hauptaufgabe dieser Zeitschrift ist die Weiterbildung aller Informatiker durch Veröffentlichung aktueller, praktisch verwertbarer Informationen über technische und wissenschaftliche Fortschritte aus allen Bereichen der Informatik und ihrer Anwendungen. Dies soll erreicht werden durch Veröffentlichung von Übersichtsartikeln und einführenden Darstellungen sowie Berichten über Projekte und Fallstudien, die zukünftige Trends aufzeigen.

Es sollen damit unter anderem jene Leser angesprochen werden, die sich in neue Sachgebiete der Informatik einarbeiten, sich weiterbilden, sich einen Überblick verschaffen wollen, denen aber das Studium der Originalliteratur zu zeitraubend oder die Beschaffung solcher Veröffentlichungen nicht möglich ist. Damit kommt als Leser nicht nur der ausgebildete Informatikspezialist in Betracht, sondern vor allem der Praktiker, der aus seiner Tagesarbeit heraus Anschluss an die wissenschaftliche Entwicklung der Informatik sucht, aber auch der Studierende an einer Fachhochschule oder Universität, der sich Einblick in Aufgaben und Probleme der Praxis verschaffen möchte.

Durch Auswahl der Autoren und der Themen sowie durch Einflussnahme auf Inhalt und Darstellung – die Beiträge werden von mehreren Herausgebern referiert – soll erreicht werden, dass möglichst jeder Beitrag dem größten Teil der Leser verständlich und lesenswert erscheint. So soll diese Zeitschrift das gesamte Spektrum der Informatik umfassen, aber nicht in getrennte Sparten mit verschiedenen Leserkreisen zerfallen. Da die Informatik eine sich auch weiterhin stark entwickelnde anwendungsorientierte Wissenschaft ist, die ihre eigenen wissenschaftlichen und theoretischen Grundlagen zu einem großen Teil selbst entwickeln muss, will die Zeitschrift sich an den Problemen der Praxis orientieren, ohne die Aufgabe zu vergessen, ein solides wissenschaftliches Fundament zu erarbeiten. Zur Anwendungsorientierung gehört auch die Beschäftigung mit den Problemen der Auswirkung der Informatikanwendungen auf den Einzelnen, den Staat und die Gesellschaft sowie mit Fragen der Informatik-Berufe einschließlich der Ausbildungsrichtlinien und der Bedarfsschätzungen.

Urheberrecht

Mit der Annahme eines Beitrags überträgt der Autor Springer (bzw. dem Eigentümer der Zeitschrift, sofern Springer nicht selbst Eigentümer ist) das ausschließliche Recht zur Vervielfältigung durch Druck, Nachdruck und beliebige sonstige Verfahren das Recht zur Übersetzung für alle Sprachen und Länder.

Die Zeitschrift sowie alle in ihr enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen schriftlichen Zustimmung des Eigentümers. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen. Jeder Autor, der Deutscher ist oder ständig in der Bundesrepublik Deutschland lebt oder Bürger Österreichs,

der Schweiz oder eines Staates der Europäischen Gemeinschaft ist, kann unter bestimmten Voraussetzungen an der Ausschüttung der Bibliotheks- und Fotokopiertantiemen teilnehmen. Nähere Einzelheiten können direkt von der Verwertungsgesellschaft WORT, Abteilung Wissenschaft, Goethestr. 49, 80336 München, eingeholt werden.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in dieser Zeitschrift berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Vertrieb, Abonnement, Versand

Papierausgabe: ISSN 0170-6012

elektronische Ausgabe: ISSN 1432-122X

Erscheinungsweise: zweimonatlich

Den Bezugspreis können Sie beim Customer Service erfragen: customerservice@springernature.com. Die Lieferung der Zeitschrift läuft weiter, wenn sie nicht bis zum 30.9. eines Jahres abbestellt wird. Mitglieder der Gesellschaft für Informatik und der Schweizer Informatiker Gesellschaft erhalten die Zeitschrift im Rahmen ihrer Mitgliedschaft.

Bestellungen oder Rückfragen nimmt jede Buchhandlung oder der Verlag entgegen. SpringerNature, Kundenservice Zeitschriften, Tiergartenstr. 15, 69121 Heidelberg, Germany Tel.: +49-6221-345-0, Fax: +49-6221-345-4229, e-mail: customerservice@springernature.com Geschäftszeiten: Montag bis Freitag 8–20 h.

Bei Adressänderungen muss neben dem Titel der Zeitschrift die neue und die alte Adresse angegeben werden. Adressänderungen sollten mindestens 6 Wochen vor Gültigkeit gemeldet werden. Hinweis gemäß §4 Abs. 3 der Postdienst-Datenschutzverordnung: Bei Anschriftenänderung des Beziehers kann die Deutsche Post AG dem Verlag die neue Anschrift auch dann mitteilen, wenn kein Nachsendeauftrag gestellt ist. Hiergegen kann der Bezieher innerhalb von 14 Tagen nach Erscheinen dieses Heftes bei unserer Abonnementsbetreuung widersprechen.

Elektronische Version

springerlink.com

Hinweise für Autoren

<http://springer.com/journal/00287>

Haupterausgeber

Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Wilfried Brauer (1978–1998)

Prof. Dr. Dr. h. c. Arndt Bode, Technische Universität München (1999–2019)

Prof. Dr. T. Ludwig, Deutsches Klimarechenzentrum GmbH, Hamburg (seit 2019)

Herausgeber

Prof. Dr. S. Albers, TU München

Prof. A. Bernstein, Ph. D., Universität Zürich

Prof. Dr. h. c. Arndt Bode, Technische Universität München

Prof. Dr. T. Braun, Universität Bern

Prof. Dr. O. Deussen, Universität Konstanz

Prof. Dr. H. Federrath, Universität Hamburg

Prof. O. Günther, Ph. D., Universität Potsdam

Prof. Dr. D. Herrmann,

Otto-Friedrich-Universität Bamberg

Prof. Dr. W. Hesse, Universität Marburg

Dr. Agnes Koschmider, Universität Kiel

Dr.-Ing. C. Leng, Google

Prof. Dr. F. Mattern, ETH Zürich

Prof. Dr. K.-R. Müller, TU Berlin

Prof. Dr. W. Nagel, TU Dresden

Prof. Dr. E. Portmann, Universität Fribourg

Prof. Dr. F. Puppe, Universität Würzburg

Prof. Dr. R.H. Reussner, Universität Karlsruhe

Prof. Dr. S. Rinderle-Ma, Universität Wien

Prof. Dr. O. Spaniol, RWTH Aachen

Dr. D. Taubner, München (bis 2020: msg systems ag)

Sven Tissot, Iteratec GmbH, Hamburg

Prof. Dr. Herbert Weber, TU Berlin

Impressum

Verlag:

Springer, Tiergartenstraße 17,
69121 Heidelberg

Redaktion:

Peter Pagel, Vanessa Keinert
Tel.: +49 611 787 8329
e-mail: Peter.Pagel@springer.com

Herstellung:

Madeleine Schnurr,
e-mail: Madeleine.Schnurr@springer.com

Redaktion GI-Mitteilungen:

Cornelia Winter
Gesellschaft für Informatik e.V. (GI)
Wissenschaftszentrum,
Ahrstraße 45, D-53175 Bonn,
Tel.: +49 228-302-145, Fax: +49 228-302-167,
Internet: <http://www.gi.de>,
e-mail: gs@gi.de

Wissenschaftliche Kommunikation:

Anzeigen: Eva Hanenberg
Abraham-Lincoln-Straße 46
65189 Wiesbaden
Tel.: +49 (0)611/78 78-226
Fax: +49 (0)611/78 78-430
eva.hanenberg@springer.com

Satz:

le-tex publishing services GmbH, Leipzig

Druck:

Printforce,
The Netherlands

springer.com

Eigentümer und Copyright
© Springer-Verlag GmbH Deutschland,
ein Teil von Springer Nature, 2021

Editorial

Thomas Ludwig¹

Angenommen: 10. September 2021
© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2021

Liebe Leserinnen und Leser,

wenn Sie dieses Heft in den Händen halten, werden die Bundtagswahlen bereits hinter uns liegen. Auf die neue Regierung, aus welchen Parteien auch immer sie zusammengesetzt sein mag, kommen große Aufgaben zu. Aufgaben, die schon seit Jahren auf der Tagesordnung stehen und die ebenfalls seit Jahren nicht in ausreichendem Maße vorangetrieben wurden. Eine davon hat mit dem Thema unserer Zeitschrift zu tun: es handelt sich um die Bewältigung der digitalen Transformation.

Die gegenwärtige Situation ist in jeglicher Hinsicht unbefriedigend. Nehmen wir als Beispiel den Digitalpakt Schule. Ein milliardenschweres Programm, das überwiegend der Bereitstellung der Infrastruktur dient. Dass diese Art von Infrastruktur komplex ist und nur von fachkundigem Personal administriert werden kann, das wiederum nicht einfach zu finden ist, dies ist – wieder einmal – nur in unzureichendem Maße berücksichtigt worden. Offensichtlich denken die Politiker, ein Lehrer mit Laptop oder Tablet wird's schon richten. So ein Gerät muss aber professionell administriert werden, insbesondere, weil auch komplexe Aspekte des Datenschutzes zu berücksichtigen sind. Nun ja, noch ist dieser Engpass nicht allzu sichtbar, nachdem die Beschaffungen durch eine übermäßige Bürokratie und personelle Engpässe in den Verwaltungen nicht in der gewünschten Geschwindigkeit voranschreiten.

Ähnlich auch in meinem Kompetenzbereich, dem Hochleistungsrechnen. Im Rahmen der Neustrukturierung des Nationalen Hochleistungsrechnens NHR gibt es erste Ansätze, zusammen mit den vielen Millionen für Supercomputer auch etwas Personal zu finanzieren, das die Anwender in der Nutzung der komplexen Forschungsinfrastruktur unterstützt. Ein kleiner Fortschritt, der durch den unermüdlichen

Verweis auf die notwendige koordinierte Finanzierung von Hardware, Software und der zugehörigen „Brainware“ erzielt wurde.

Wir haben in allen Lebensbereichen einen hohen Bedarf an gut ausgebildeten Informatikerinnen und Informatikern. Selbst wenn aber auf Seiten der Ausbildung an Schulen und Universitäten genügend Menschen diesen Beruf ergreifen, bleibt es fraglich, ob im öffentlichen Bereich mit den bestehenden Gehaltsstrukturen der benötigte Anteil von Fachkräften ankommen wird.

Wenn Sie vor der Wahl zur Orientierung den Wahl-o-Mat genutzt haben, ist Ihnen womöglich aufgefallen, dass kein einziger Punkt zur Herausforderung der Digitalen Transformation beinhaltet war. Lediglich die Besteuerung digitaler Dienstleistungen und der Einsatz von Gesichtserkennungssoftware bei Videoüberwachung öffentlicher Plätze finden sich in der Liste. Die Meinungen der Parteien gehen auseinander – wer hätte es anders erwartet?

So bleibt uns nur die bange Hoffnung, ob wir mit der neuen Regierung das Neuland endlich urbar machen werden und ob erkannt und akzeptiert werden wird, dass es hierzu gut ausgebildeter Menschen bedarf, die in vernünftig bezahlten Positionen die Modernisierung der digitalen Gesellschaft vorantreiben.

Thomas Ludwig



✉ Thomas Ludwig
ludwig@dkrz.de

¹ Deutsches Klimarechenzentrum Hamburg, Hamburg, Deutschland

FlexChain

Intelligente Aktivierung von Kleinstflexibilitäten

Sassan Torabi-Goudarzi¹ · Shari Alt¹

Angenommen: 16. April 2021 / Online publiziert: 1. Juni 2021
© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2021

Zusammenfassung

Mitte 2020 ist das Forschungsprojekte FlexChain, welches durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderte wird (Förderkennzeichen 03EI6036A) gestartet. FlexChain ist ein praxisorientiertes Forschungsprojekt im Themengebiet Smart Energy. Das Forschungsprojekt leistet einen Beitrag zur Lösung der Herausforderungen, die durch die Energiewende im Energiesektor entstehen. Ziel des Projektes ist die effiziente und effektive Nutzung von Prosumer Kleinstflexibilitäten im Niederspannungsnetz. Durch eine intelligente Aktivierung von Kleinstflexibilitäten soll die Stabilisierung des Niederspannungsnetzes erreicht werden. Neben dem August-Wilhelm Scheer Institut als Konsortialführer sind die Hager Electro GmbH & Co. KG, VIVAVIS AG, Oli Systems GmbH sowie die Stadtwerke Saarlouis GmbH an dem Projekt beteiligt. Das Projekt endet planmäßig nach einer Laufzeit von 3 Jahren Mitte 2023.

Einleitung

Der im Energiesektor durch die Energiewende ausgelöste strukturelle Wandel verursacht eine Vielzahl von Herausforderungen, auf die mit intelligenten, neuartigen Lösungen und Konzepten angemessen reagiert werden muss. Die zunehmende Verbreitung von erneuerbaren Energiequellen in Form von Wind- als auch Solarparks verdrängt die bisher zentrale, planbare Erzeugung von Strom mittels fossiler Energieträger wie Kohle oder Gas. Energieerzeugung der Zukunft findet dezentral und aufgrund der Volatilität von Wind und Wetter auch flexibler statt [1]. Hieraus entstehend weitreichende Folgen für das Energienetz, welche umfangreiche Maßnahmen erfordern, um Stabilität sowie Versorgungssicherheit weiterhin zu gewährleisten. Bottom-up-Konzepte kristallisieren sich dabei zunehmend als vielversprechende, zukunftssichere Ansätze zur Beseitigung der Ungleichgewichte zwischen Energieerzeugung und -verbrauch innerhalb der Verteilnetzen heraus [2]. Planung und Steuerung erfolgen hierbei nicht mehr

von der Höchstspannungsebene hierarchisch bis zur Niederspannungsebene herab, sondern im Austausch zwischen den einzelnen Netzebenen von unten nach oben.

Flexibilitätspotenziale im intelligenten Gebäude

Auch aufseiten der Endkunden ist ein Wandel festzustellen. Aus dem klassischen Verbraucher wird zunehmend ein Erzeuger und Verbraucher in Personalunion (engl. Prosumer, Kunstwort aus Producer und Consumer) [3]. Home-Energy-Management-Systeme (HEMS) sind in einem Gebäude für das intelligente Zusammenspiel der einzelnen Haustechnikkomponenten zuständig. Sie gewährleisten eine effektive sowie effiziente Nutzung des Stroms. Der Steuerungseinheit stehen dabei nicht nur der Bezug aus oder die Einspeisung von Energie in das Netz als Handlungsoptionen zur Verfügung, sondern auch die Möglichkeit des Speicherns eben jener Energie. Diese Speicherung wird dabei, z.B. mittels batteriebasierter All-in-One-Speichersystemen oder Power-to-Heat-Verfahren realisierbar. Durch den bidirektionalen Stromfluss zwischen Verteilnetz und Smarthome, aber auch der Möglichkeit des Verbleibs von Energie innerhalb diesem, ergibt sich eine Vielzahl an Flexibilitätspotenzialen, die für den netzdienlichen Einsatz im Orts- respektive Stadtnetz eingesetzt werden können. Grundlage zur Ermitt-

✉ Sassan Torabi-Goudarzi
sassan.torabi-goudarzi@aws-institut.de

¹ August-Wilhelm Scheer Institut für digitale Produkte und Prozesse gGmbH, Uni-Campus D 5 1, 66123 Saarbrücken, Deutschland

lung der benötigten Flexibilitäten im lokalen Verteilnetz bilden Daten der aktuellen Einspeisung und der aktuellen Verbräuche der beteiligten Haushalte. Die Erfassung der benötigten Echtzeiten mittels intelligenter Messsysteme (iM-Sys) und deren Kommunikation an den Netzbetreiber via Smart Meter Gateway (SMGW) sind durch das Messtellenbetriebsgesetz geregelt. Sobald die letzten technischen als auch gesetzlichen Hürden beseitigt sind, steht der Nutzbarmachung, der durch Prosumer generierten Kleinstflexibilitäten zum netzdienlichen Einsatz im Niederspannungsnetz grundsätzlich nichts mehr im Weg.

Kleinstflexibilitäten im Detail

Flexibilitätspotenziale werden innerhalb eines intelligenten Gebäudes durch das HEMS erfasst und gesteuert. Photovoltaik-, Power-to-Heat-Anlagen, Hauskraftwerke sowie Wallboxen sind dabei für die Erzeugung, Speicherung und auch den Verbrauch von Energie zuständig und agieren damit als Potenzialquellen von Flexibilitäten. Erweitert man diese isolierte Betrachtung auf alle intelligenten Gebäude innerhalb eines Verteilnetzes entstehen zusätzliche Flexibilitätspotenziale.

Doch was bedeutet dies konkret in der Praxis? Einfache Kleinstflexibilitäten entstehen durch eine intelligente Entscheidungsfindung bezüglich der Speicherung, Einspeisung und dem Verbrauch von Strom. Ein Beispiel für eine solche Entscheidung ist die Frage, inwiefern es zu einem dedizierten Zeitpunkt sinnvoll ist, Strom aus dem Verteilnetz zu entnehmen, um diesen im eigenen Heimspeicher oder im Elektroautoakkumulator zu speichern, obwohl kein unmittelbarer eigener Bedarf vorhanden ist. In Engpassituationen kann so beispielsweise durch eine HEMS entschieden werden, ob der in einem Heimspeicher gespeicherte Strom in das Netz eingespeist wird, Speicherkapazitäten des Elektroautos zur Speicherung von überschüssigem Strom aus dem Verteilnetz zur Verfügung gestellt werden oder ob es nicht netzdienlicher ist, den mittels Fotovoltaikanlage erzeugten Strom selbst zu verbrauchen. Im Forschungsprojekt FlexChain wird der Frage nachgegangen, inwiefern eine intelligente Koordination dieser Flexibilitäten zwischen den im Niederspannungsnetz beteiligten Akteuren zu einer automatischen Stabilisierung im örtlichen Verteilnetz und somit zu einem netzdienlichen Verhalten auf lokaler Ebene führt. Die Nutzung von solchen Flexibilitätspotenzialen erfordert die Erfassung der aktuellen Energieverbrauchs- und -erzeugungswerte, freier Speicherkapazitäten sowie geräte-/anlagenbezogenen Flexibilitätspotenziale auf Ebene aller im lokalen Niederspannungsnetz beteiligten intelligenten Gebäude. Die Erfassung und Kommunikation der benötigten Daten erfolgt dabei über HEMs, iMSys' und SMGWs. Diese Daten können anschließend zur Erstellung

eines dynamischen Fahrplans verwendet werden. Derzeit fehlen jedoch noch die wirtschaftlichen Anreize für einen Prosumer seine, durch den technischen Fortschritt ermöglichten, Kleinstflexibilitäten zum netzdienlichen Einsatz zur Verfügung zu stellen.

Die Aktivierung dieser Potenziale innerhalb eines Niederspannungsnetzes ist das Ziel des Forschungsprojektes FlexChain. Erreicht werden soll dies durch den intelligenten, automatisierten Handel von Prosumer-Flexibilitäten innerhalb lokaler Netzebenen.

Ein auf Blockchain basierendes smartes Handelssystem

Die Größe der effektiv handelbaren Flexibilitäten ist unter anderem von den anfallenden Transaktionskosten abhängig. Übersteigen diese den ökonomischen Wert der gehandelten Flexibilitäten ist eine Wirtschaftlichkeit des Handels nicht mehr gegeben. Kleinstflexibilitäten von Prosumern stellen daher eine besondere Herausforderung für einen effizienten Handel dar. Distributed-Ledger-Technologien wie die Blockchain versprechen niedrige Verwaltungskosten bei zugleich hoher Ausführungsgeschwindigkeit – beides grundlegende Faktoren für den Handel von Flexibilitäten. Weitere Anreize für das Nutzen dieser Technologien sind durch eine hohe Transparenz, Sicherheit und Rückverfolgbarkeit der verketteten Datenblöcke gegeben. Einige auf Blockchain-Technologie basierte Systeme unterstützen zudem Smart Contracts, die digitale Abbilder von Verträgen darstellen. Diese selbstausführenden Verträge sorgen für die Nachvollziehbarkeit, Transparenz und auch Irreversibilität, der mit ihnen durchgeführten Transaktionen [4]. Ein mittels Ethereum realisiertes, intelligentes, automatisches Handelssystem erfüllt somit prinzipiell die wirtschaftlichen Herausforderungen, die sich aus dem Handel von Prosumer-Kleinstflexibilitäten ergeben.

FlexChain – Ein Beitrag zur Digitalisierung der Energiewende

Das Gesamtziel von FlexChain, der Blockchain induzierten Aktivierung kleiner Flexibilitätspotenziale im Niederspannungsnetz, setzt sich aus mehreren Teilzielen zusammen. Neben dem Ermitteln der verfügbaren Prosumer-Kleinstflexibilitäten ist auch die Netzberechnung samt Erfassung der Flexibilitätsbedarfe notwendig, um Angebot und Nachfrage für einen Handelsprozess zu bestimmen. Um diesen automatisiert durchführen zu können, bedarf es eines Matching-Algorithmus, der die Nachfrage an Flexibilitäten mit den verfügbaren Prosumer-Kleinstflexibilitäten in Einklang bringt. Technische Grundlage bilden dabei Smart

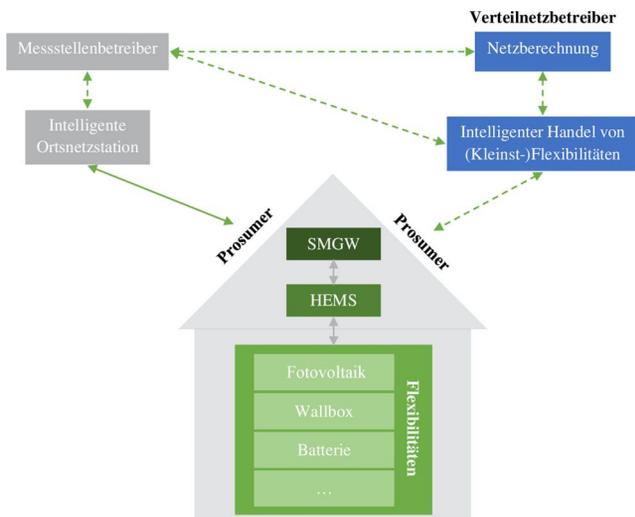


Abb. 1 Vernetzung der einzelnen Akteure

Contracts – digitale, selbstausführende Vertragswerke auf Blockchain-Basis. Die physische Umsetzung des Flexibilitätshandels erfordert eine entsprechende Anlagensteuerung der Hauselektronik durch das HEMS, was ebenfalls ein Projektziel darstellt.

Abb. 1 illustriert das Zusammenspiel der beteiligten Akteure im Projektvorhaben. Zentrale Einheit bildet der Prosumer-Haushalt mit seinen Flexibilitätspotenzialen, die beispielsweise durch Fotovoltaikanlagen gegeben sind. Die Prosumer kommunizieren durch SMGWs mit den anderen Akteuren des Niederspannungsnetzes. Ein direkter Datenaustausch erfolgt dabei mit der korrespondierenden Ortsnetzstation. Diese übermittelt die Messdaten der Haushalte

an den Messstellenbetreiber, welcher die Daten wiederum dem Verteilnetzbetreiber zur Verfügung stellt. Die Informationen des Messstellenbetreibers dienen dem Verteilnetzbetreiber als Grundlage für die Durchführung von Netzberechnungen. Diese Netzberechnungen sind essenziell für eine genaue Bestimmung des Flexibilitätsbedarfs und somit für einen effektiven und effizienten Handel auf der intelligenten Handelsplattform. In direktem Austausch mit der intelligenten Handelsplattform steht auch der Prosumer-Haushalt, der auf dieser intelligenten Plattform seine Kleinstflexibilitäten anbieten kann. Der intelligente Handel von Kleinstflexibilitäten soll so zu einer Stabilisierung des Niederspannungsnetzes und damit zur Lösung der Herausforderungen durch die Energiewende beitragen.

Weiterführende Informationen zum FlexChain – Blockchain-induzierte Aktivierung kleiner Flexibilitätspotenziale im Niederspannungsnetz – finden Sie unter: <https://www.aws-institut.de/research/netzstabilisierung-mittels-blockchain/>.

Literatur

1. Löschel A, Erdmann G, Staiß F, Ziesing H-J (2014) Stellungnahme zum ersten Fortschrittsbericht der Bundesregierung für das Berichtsjahr 2013. Berlin, Münster, Stuttgart. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/M-O/monitoringbericht-energie-der-zukunft-stellungnahme-2013.pdf?__blob=publicationFile&v=3
2. Nardelli PHJ, Rubido N, Wang C, Baptista MS, Pomalaza-Raez C, Cardieri M, Latva-aho M (2014) Models for the modern power grid. Springer, Berlin Heidelberg
3. Grijalva S, Umer TM (2011) Prosumer-based smart grid architecture enables a flat, sustainable electricity industry. ISGT.
4. Richard P, Mamel S, Vogel L (2019) Blockchain in der integrierten Energiewende. Deutsche Energie-Agentur GmbH, Berlin

Umschulung zum IHK-Fachinformatiker in Anwendungsentwicklung und Systemintegration

Mathias Ellmann¹

Angenommen: 29. März 2021 / Online publiziert: 12. Juli 2021
© Der/die Autor(en) 2021

Zusammenfassung

In diesen Artikel berichten wir über unsere Erfahrungen welche wir im Rahmen einer Umschulung zum Fachinformatiker der Anwendungsentwicklung und Systemintegration gemacht haben. Unsere Erfahrungen haben gezeigt, dass eine projektbezogene Gestaltung des Unterrichts Umschüler stetig durch ein komplexes Fach wie Datenbankdesign und Datenentwicklung motiviert. Wir begründen unser Lehrkonzept durch verschiedene Lehrtheorien und Lerntheorien und beschreiben wie dieses in einem Kurs wie Datenbankdesign und Datenbankentwicklung während einer Umschulung umgesetzt werden kann. Wir diskutieren unser Lehrkonzept und zeigen auf, welche Lehrergebnisse und Lernergebnisse wir im Vergleich zu traditionellen Lehrkonzepten erzielt haben. Traditionelle Lehrkonzepte wie das Vortragen von wissenschaftlichen Theorien aus einem Lehrbuch, ohne Praxisbezug wurden von den Teilnehmern abgelehnt oder hat sie überfordert. Es konnte die Fülle an Information oder Terminologie, die in Fachbüchern häufig verwendet wird, schwer von den Teilnehmern, meist auch Nicht-Muttersprachlern verstanden werden. Wir glauben, dass eine Vereinfachung der Lehrinhalte im Kontext eines Praxisprojektes auch Nicht-Muttersprachlern und Kursteilnehmern mit diversen Bildungsabschlüssen zugute kommt.

Einleitung

In Deutschland ermöglicht der Bildungsgutschein [1] eine zweijährige Umschulung zum IHK-Fachinformatiker in Anwendungsentwicklung oder Systemintegration [2–4]. Diese zweijährige Ausbildung [5] schlüsselt sich in der Regel und insbesondere im Stadtstaat Hamburg in einen neunmonatigen Fachunterricht und ein dreizehnmontages Praktikum mit zwei- bis vierwöchige Vorbereitungsphase zur IHK-Abschlussprüfung auf [3, 5, 6].

Während des neunmonatigen Fachunterrichts lernen die IHK-Fachinformatiker für den jeweiligen Schwerpunkt die Inhalte zur Bewältigung einer abschließenden IHK-Prüfung [7] zum Fachinformatiker. Für diese Prüfung gibt es einen Kernqualifikationsteil [Ganzheitliche Aufgabe II (GA2)], welche für beide Schwerpunkte gilt und einen Fachqualifikationsteil [Ganzheitliche Aufgabe I (GA1)] [8, S. 4] der sich je nach Schwerpunkt wie Anwendungsentwicklung oder Systemintegration unterscheidet [9].

Einwanderung und Einbürgerungen sind in Deutschland stetig im Wandel [10]. Die Asylanträge haben im Jahr 2016 ein Hoch erlebt [11] und viele dieser Flüchtlinge und Nicht-Muttersprachler bilden sich im Jahr 2019/2020 nach der Erreichung einer Sprachqualifikation (Deutsch-Niveau von mindestens B2 [3]) zum IHK-Fachinformatiker weiter. Wenn auch diese Sprachqualifikation ausreichend ist, um sich auf guten Niveau im Alltag auszutauschen, mögen dennoch technische Begrifflichkeiten und Themengebiete eine weitere Herausforderung in der Kommunikation darstellen.

Entsprechend sind Lehrkonzepte gefragt, in denen die Lehrinhalte auch von Nicht-Muttersprachlern leicht zu verstehen und ein gefragter Ausbildungsberuf wie der des Fachinformatikers ergriffen werden kann. Nicht zuletzt ist zu erwähnen, dass Umschüler welche eine niedrige Vorqualifizierung vorweisen und beispielsweise einen Handwerksberuf ergriffen hatten, durch eine Vereinfachung von akademischen Inhalten auf ihren Qualifikationsniveau abgeholt werden müssen um motiviert den Beruf des Fachinformatikers ergreifen zu können.

Im nachfolgenden gehen wir auf den Lehrkontext und das Lehrkonzept ein. Wir beschreiben den generellen Schulaufbau, die Teilnehmer und wenden uns sodann dem Kursaufbau zu. Wir diskutieren unsere Lehrergebnisse und Lernergebnisse mit unserem Kursaufbau und untermauern

✉ Mathias Ellmann
mathias.ellmann.cs@gmail.com

¹ DIPLOMA Private Hochschulgesellschaft mbH, Bad Sooden-Allendorf, Deutschland

sodann den Kursaufbau mit verschiedenen Lerntheorien von Piaget [12], [13, S. 166], Bandura [14], [13, S. 169], Kolb [15, S. 32], [13, S. 168] und weitere, welche für die Gestaltung unserer Lehre und die Erzielung unser Lehrergebnisse und Lernergebnisse förderlich waren. Sodann folgt eine Diskussion zu den Einschränkungen und schließen den Artikel mit einer Zusammenfassung ab.

Lehrkontext

Schulaufbau

Der Unterricht fand in verschiedenen privaten Schulen im Raum Hamburg statt. In diesen Schulen werden Umschüler neun Monate in verschiedenen Themengebieten wie Datenbankdesign und Datenbankentwicklung zum Fachinformatiker Anwendungsentwicklung und Systemintegration beschult, daraufhin folgte ein dreizehnmönatiges Praktikum im Betrieb mit zwei- bis vierwöchige Vorbereitung in der Schule für die abschließende IHK-Prüfung [3, 5, 6]. Die jeweiligen Zeiträume von Theorie und Praxisanteilen unterscheiden sich je nach Bundesland. In Berlin ist die Dauer des theoretischen Teils 18 Monate mit anschließenden sechsmonatigen Praktikum [16].

Die Schulen erhalten eine inhaltliche Orientierung vom Kultusminister der Länder [4, S. 10], [17], welche Themenbereiche im Datenbankdesign und Datenbankentwicklung, Softwaredesign und Softwareentwicklung oder IT-Infrastruktur im Rahmen der IHK-Abschlussprüfung von den Umschülern verlangt werden [4, 18].

Teilnehmer

Die Teilnehmer kamen aus verschiedenen Bildungshintergründen und meist auch kulturellen Hintergründen. Es waren Teilnehmer in den Fachinformatikerkursen in den Schulen, die aus dem Ausland kamen und einen akademischen Abschluss in Jura, BWL oder Informatik vorzuweisen hatten aber dieser nicht in Deutschland anerkannt wurde. Es waren Teilnehmer in den Kursen, die einen Hauptschlussabschluss [3] hatten. Es waren Teilnehmer in den Kursen, die bereits eine Berufsausbildung absolviert hatten (bspw. Gerüstbauer oder Eventmanager) und sich zum IHK-Fachinformatiker umschulen lassen möchten. Die Teilnehmeranzahl beschränkte sich in den Kursen auf 6 bis 18 Personen bei voller Anwesenheit.

Die Teilnehmer waren arbeitslos gemeldet und wurden alle über den Bildungsgutschein [1, 19] finanziert. Nach einer vorherigen Sichtung der Unterlagen, wie der sprachlichen Qualifikation und Motivation vom Arbeitsamt und der Schulen, durften die Arbeitslosen die Umschulung zum Fachinformatiker beginnen.

Die Motivation [20, S. 173] der Umschüler war häufig bemerkenswert. Die Umschüler wollten sich weiterbilden und die IHK-Prüfung bestehen. Sie forderten einen starken Praxisbezug bei der Gestaltung der Lehre ein. Die Teilnehmer wollten ihre aktuelle Arbeitssituation verändern.

Umsetzung der Lehre

Umsetzung des Lehrkonzeptes

Wie haben ein Lehrkonzept entwickelt und stetig weiterentwickelt und dieses sechs mal im Fachunterricht für die IHK-Ausbildung Fachinformatiker Anwendungsentwicklung oder Systemintegration erprobt¹. Dieses Lehrkonzept wird mit wissenschaftlichen Lehrtheorien und Lerntheorien begründet. Der Vor-Ort-Kurs Datenbankdesign und Datenbankentwicklung ging jeweils zwei Wochen mit insgesamt 90 Unterrichtseinheiten zu jeweils 45 Minuten (67,5 Stunden). Insgesamt haben wir den Kurs Datenbankdesign und Datenbankentwicklung über 405 Stunden unterrichtet.

Der Kurs hatte ein Praxisprojekt zum Inhalt, in dem die theoretischen Inhalte aus dem Lehrbuch direkt nach deren Vermittlung angewandt wurden [21, 22]. Das Praxisprojekt wird in einen ähnlichen Arbeitskontext absolviert, in dem die Teilnehmer später arbeiten werden, um sich somit leichter an die Lehrinhalte zu erinnern [23] und arbeiten zu können [24–27]. Wir haben ein Praxisprojekt angeboten, das den Schülern möglichst bekannt erscheint, wie zum Beispiel die Gestaltung einer Datenbank [28, S. 159], [29] für eine E-Commerce [28, S. 305] Webanwendung [29, S. 20] wie eine Produktwebseite zu einem Notebook von Amazon.com. Für das Design und die Entwicklung einer Datenbank beschränkten wir uns auf den Produktinformationsbereich und auf den Empfehlungsbereich. Die folgende Darstellung zeigt Mock-Ups oder Prototypen der Webanwendung für die eine Datenbank designt und entwickelt werden sollte (siehe Abb. 2 und Abb. 3).

Jeder Teilnehmer suchte sich zu Beginn der Veranstaltung eine eigene Webseite mit einem Produktinformationsbereich und Empfehlungsbereich aus. Dieses Vorgehen schaffte eine hohe Identifikation und Motivation durchweg im Kurs, weil jeder für das eigene Projekt seine Lernziele erreichen musste [30]. Sie haben den Lerninhalten auch einen anwendungsbezogenen Sinn gegeben [13, S. 133, 168], der für das Erlernen der komplexen Inhalte förderlich war. Es sind von jedem Teilnehmer innerhalb von zwei Kurswochen zwei verschiedene Webanwendungen ausgestaltet worden.

¹ Die Kurzdarstellung mittels Onlinekurs wird zur Einsicht auf YouTube angeboten: <https://www.youtube.com/channel/UCI6RlqnhRCOMXt11ruTsjdw/playlists>.

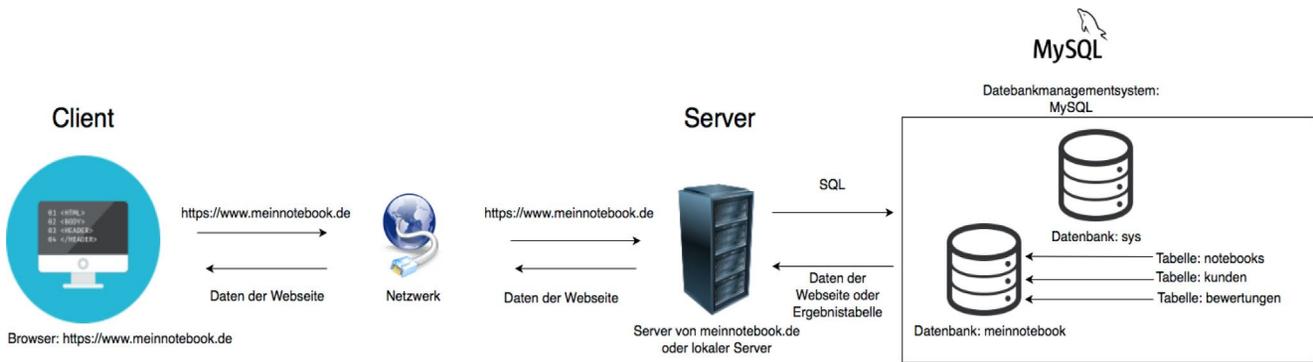


Abb. 1 Client-Server Modell für die Datenbankanwendung

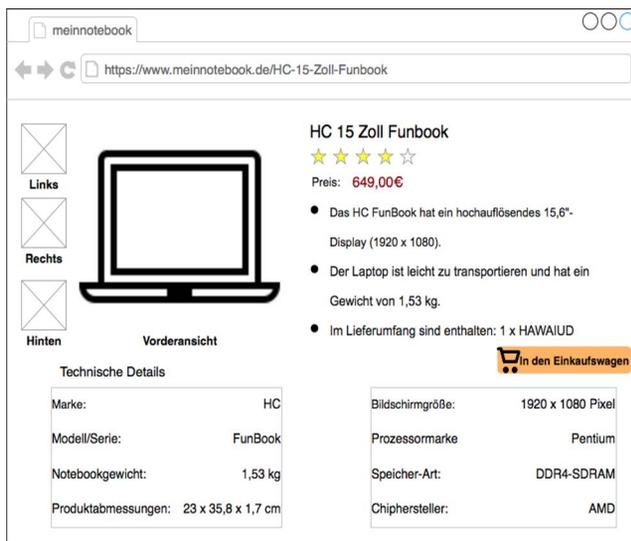


Abb. 2 Modellierung einer Datenbank zum Produktinformationsbereich

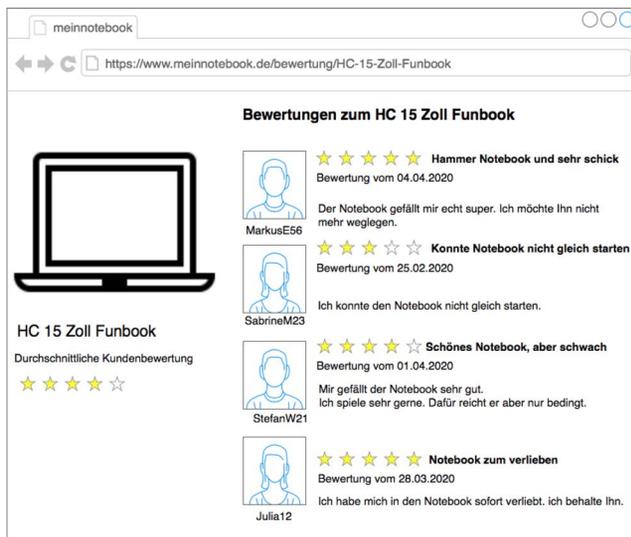


Abb. 3 Modellierung einer Datenbank zum Empfehlungsbereich

Durch unser Lehrkonzept und dessen Umsetzung, konnten Teilnehmer mit einem fachfremden Hintergrund wie zum Beispiel Gerüstbauer oder Event-Manager in kurzer Zeit professionell Datenbanken designen oder entwickeln. Die Nicht-Muttersprachler hatten durch den starken Praxisbezug mit einen hohen Visualisierungsanteil weniger sprachliche Herausforderungen zu leisten, was für das Erreichen der Lernziele und für das bestehen der IHK-Prüfung insbesondere der Inhalte zum Datenbankdesign und Datenbankentwicklung förderlich war.

Lernziele und Kursaufbau

Wir definieren nun nachfolgend unsere Lernziele² die wir für jeden Projektteil haben.

Client-Server-Modell. Verstehen der Verbindung zwischen Webseite und Datenbank (siehe Abb. 1). Das Lernziel sollte erreicht werden, sodass ein Verständnis der gespeicherten Daten und des Abrufes der Daten aus einer Datenbank in einem Server ermöglicht werden konnte.

Auswahl einer Beispielwebseite. Einholen einer Inspiration für die eigene Webseite und Datenbank. Es soll eine Beispielwebseite herangezogen werden, für die ein Mock-Up oder Prototyp erstellt werden soll und der als Vorlage zur Ausgestaltung der Datenbank dient.

Aufbau eines Mockups. Verstehen der Daten der Benutzeroberfläche zum Aufbau eines Datenbank am Beispiel eines Prototypen einer Webseite. Durch den Aufbau eines Mock-Ups soll ein Verständnis für die Struktur von Daten in einer Webseite erlangt werden.

² Die Lernziele können zudem im Onlinekurs auf YouTube angesehen werden: <https://www.youtube.com/channel/UCI6RlqnhRCOMXt11ruTsjdw/playlists>.

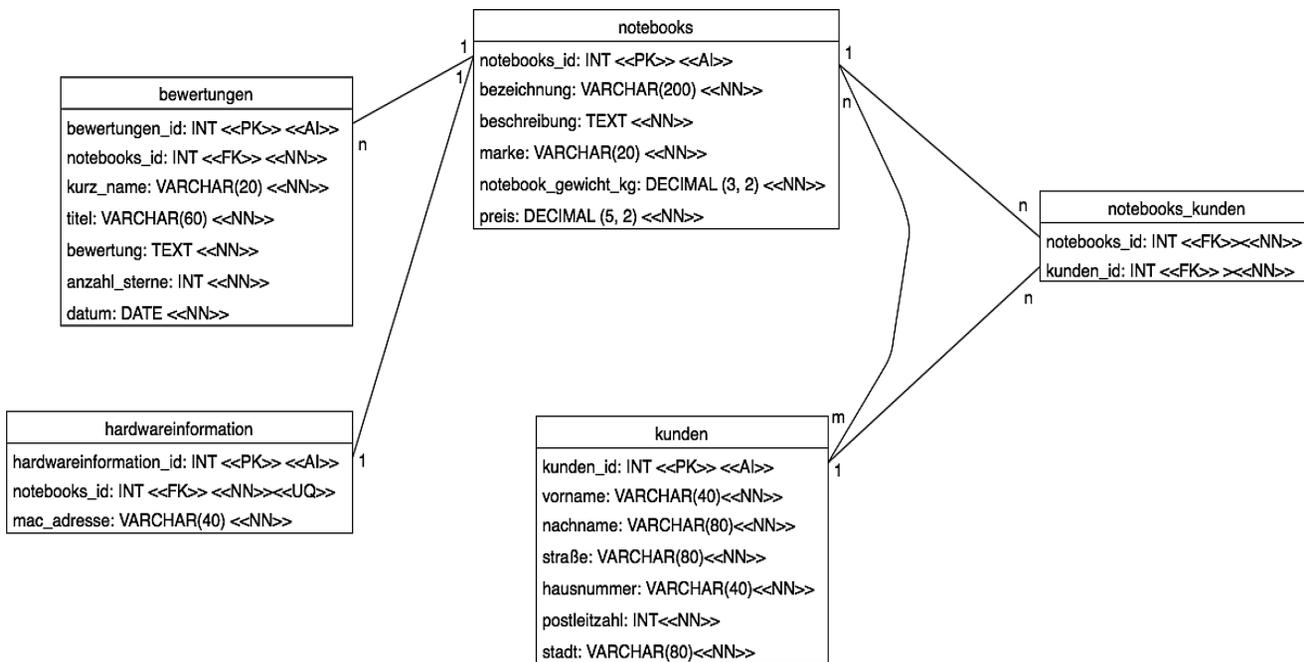


Abb. 4 Erstellung eines physischen Datenmodells [29, S. 65]

Datenidentifikation. Daten im Prototypen identifizieren zum Aufbau der Datenbank. Durch die Identifikation der Daten soll verstanden werden, welche Kategorie von Daten in einer Datenbank gespeichert werden müssen.

Erstellung einer Mustertabelle. Beispieltabelle erstellen welche die Testdaten für die korrekte Erstellung der Datenbank enthält. Das konkrete Erstellen von Tabellen, welches repräsentativ für die Tabellen in einer Datenbank steht, ermöglicht, die Struktur der Tabellen und Datenbank zu definieren als auch sich die Datenbank wie Sie später in MySQL existiert, vorzustellen. Zudem werden die Beziehungen (1-1, 1-n und n-m) zwischen den Tabellen definiert [29, S. 192]. Es werden Tabellen entsprechend des relationalen Modells [31, 32] aufgebaut.

Aufbau einer Entity-Relationship-Modells. Ausbau der Beziehungen zwischen den Tabellen in einer Datenbank. Reduktion der Datenbank auf die dritte Normalform [28, S. 174]. Es sollen die Mustertabellen analysiert werden und gegebenenfalls reduziert werden. Wie haben die Chen-Notation für das ER-Modell verwendet [33].

Modellierung der Tabellen und Datentypen mit dem physischen Datenmodell. Konkrete Planung der Tabellen mit den Datentypen. Es werden die Datentypen und die Eigenschaften der Datentypen mittels physischem Datenmodells [29, S. 65] (siehe Abb. 4) definiert, welche in der Datenbank implementiert werden. Zudem werden die

Beziehungen (1-1, 1-n und n-m) zwischen den Tabellen definiert [29, S. 192].

Installation des lokalen MySQL Servers und der MySQL Workbench. Installation der MySQL-Entwicklerumgebung. Es wird ein lokaler MySQL Server und eine MySQL Workbench installiert³, welche als Entwicklungsumgebung für die Datenbank dient. Wir arbeiten mit dem Datenbankmanagementsystem (DBMS) MySQL, weil das am häufigsten verwendet wird [34], [29, S. 30] und die SQL-Befehle [29, S. 37] auf das alternative DBMS MariaDB übertragen werden können.

Erstellung der SQL-Befehle. Erstellung der Datenbank auf dem lokalen Server mittels SQL (siehe Abb. 5 und Abb. 6). Es werden hier bspw. die Befehle für das Erstellen der Datenbank und Tabellen und selektieren der Datensätze erstellt (siehe Abb. 6). Die Mustertabelle, das ER-Modell und insbesondere das physische Datenmodell [29, S. 65] dienen uns hierbei als Vorlage zur Ausgestaltung der Datenbank in der MySQL Workbench.

³ Sie können die Produkte unter folgenden Link beziehen: <https://dev.mysql.com/downloads/installer/>.

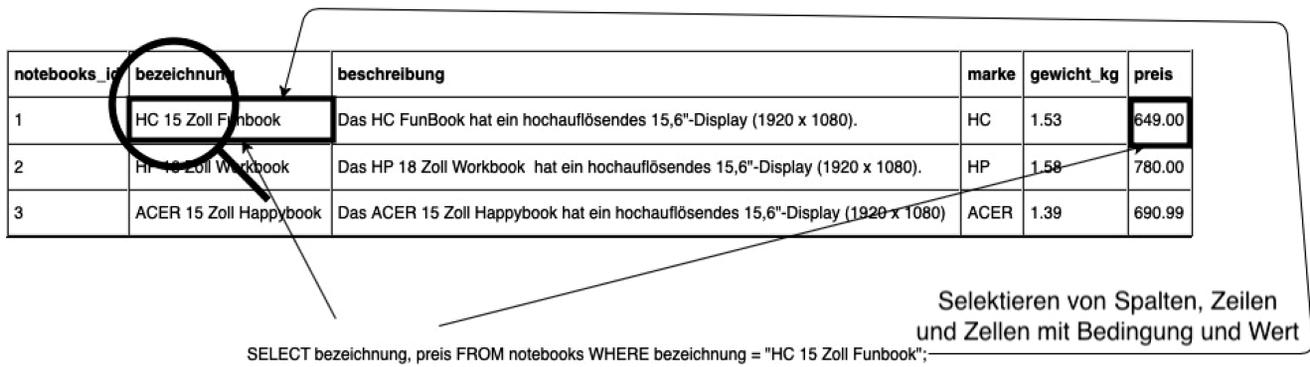


Abb. 5 Selektieren von Spalten, Zeilen und Zellen in SQL und MySQL

```

1 #Selektieren der Spalte bezeichnung, beschreibung und preis aus der Tabelle notebooks
2 • SELECT bezeichnung, beschreibung, preis FROM notebooks;
3
4 #Selektieren des Notebook Ids, Kursnamens und der Anzahl der Sterne aus der Tabelle bewertungen
5 • SELECT notebooks_id, kurz_name, anzahl_sterne FROM bewertungen;
6
7 #Selektieren der Bezeichnung und des Preises des Notebooks mit der Zeichnung "HC 15 Zoll Funbook" aus der Tabelle notebooks
8 • SELECT bezeichnung, preis FROM notebooks WHERE bezeichnung = "HC 15 Zoll Funbook";
    
```

Abb. 6 Erstellung und Bereitstellung von SQL Befehlen

Ergebnisse bei der Umsetzung des Lehrkonzeptes

Im Folgenden berichten wir über die Vermittlungsergebnisse und Entwicklung unserer Lehrmethoden im Rahmen des Kursen Datenbankdesign und Datenbankentwicklung zur Vorbereitung des IHK-Fachinformatikers in Anwendungsentwicklung und Systemintegration für die IHK-Abschlussprüfung.

Frontalunterricht mit Fachbuch

Bei der ersten Vermittlung des Lehrstoffes zum Datenbankdesign und Datenbankentwicklung haben wir eine traditionelle Art der Vermittlung des Lehrstoffes gewählt und sind auf Schwierigkeiten gestoßen. Wir haben Inhalte aus dem Themenfeld Datenbankdesign und Datenbankentwicklung referiert und versucht einen Praxisbezug herzustellen. Die Inhalte waren hierbei nicht direkt auf ein Projekt bezogen und die Teilnehmer konnte nicht selbstständig ein Projekt bearbeiten. Das Lehrbuch (wie viele andere) enthielt viele technische Begrifflichkeiten welche die Teilnehmer nicht kannten und aufgrund Ihrer geringen Sprachfertigkeiten häufig auch nicht verstanden. Zudem mussten die Teilnehmer tagelang zuhören, die theoretischen Inhalte und Begrifflichkeiten verstehen und dann eine Abfragesprache wie SQL mit wenig Praxisbezug fehlerfrei anwenden. Nach drei-vier Tagen waren der Großteil der Teilnehmer, insbesondere der Nicht-Muttersprachler nicht mehr aufnahmefähig und die Fülle an Informationen musste reduziert werden.

Wie stellten den Unterricht entsprechend auf die Vermittlung von Befehlen mit entsprechenden Problemstellungen um. Die Gruppe bestand in diesem Kurs aus circa 70% Nicht-Muttersprachlern.

Tägliche Umfragen mit Auswertung

Wir haben nach jedem Tag bei der Vermittlung des theoretischen Inhalte für die Nacharbeitung eine Umfrage⁴ erstellt. Diese Umfrage wurde von den Schülern in der letzten Stunde des Unterrichts bewältigt. Der Dozent hat die Antworten ausgewertet und die Ergebnisse am nächsten Morgen besprochen. Dieses Vorgehen ermöglichte ein Ausräumen von Missverständnissen [35] und eine Klärung noch unklarer Begrifflichkeiten. Dennoch konnten wird mit diesen Verfahren schwer nachprüfen, ob die Teilnehmer handlungsfähig waren und fähig sind, Neues zu tun [13, S. 166, 170], wie es vom Kultusminister der Länder für die Fachinformatikerausbildung gefordert wird [4, S. 4].

Entwicklung eines Projektes

Wir haben die Lehre auf ein Projekt umgestellt, in denen die Teilnehmer ihr eigenes Projekt bewältigen konnten, ein hohes Maß an Selbstwirksamkeit erfuhren und wir über-

⁴ Eine Beispiel der Onlineumfrage finden Sie hier <https://mathiasellmann.de/RelationaleDatenbankenFragenThema2Teil1>.

prüfen konnten, ob Sie fähig waren, Neues zu tun und an Handlungskompetenz gewinnen konnten [4, S. 4], [36, 37]. Wir haben die technischen Begrifflichkeiten direkt ins Praxisprojekt eingebunden, sodass das Verständnis der Begrifflichkeiten erleichtert wurde und auf den direkten Gegenstand übertragen werden konnte. Wir glaubten und sahen uns im späteren Lehrbetrieb darin bestätigt, dass dieses Vorgehen insbesondere Nicht-Muttersprachlern zugute kommt, um mehr Lernziele zu erreichen.

Zudem haben wir bemerkt, dass durch die Projekterfahrungen im Themenfeld Datenbankdesign und Datenbankentwicklung, die simulierte IHK-Prüfung besser verstanden und gemeistert werden konnte. Die IHK-Prüfung ist sehr pragmatisch aufgebaut und meist an einen Projektkontext im Datenbankumfeld gebunden.

Wir haben festgestellt, dass mit einem Projektfokus die Aufnahme der Inhalte schneller und leichter, im Vergleich zu traditionellen Unterricht zu konsumieren waren. Insbesondere die Sinnfindung und die klare Vorstellung von der Idee des Kurses, trug dazu bei, dass wir unsere Lehrziele und Lernziele erreichen konnten. Die Messung der Zielerfüllung war das Bestehen der simulierten IHK-Klausur, insbesondere für das Thema Datenbankdesign und Datenbankentwicklung.

Die Lehrenden fanden es hilfreich schon zu Beginn der Veranstaltung eine Übersicht der Lehreinheiten mittels Projektablauf zu erhalten. Sie meinten, dass es Ihnen geholfen hat, welche Erwartungen im Kurs angebracht sind.

Modellierungswerkzeug

Zur Modellierung der Datenbank haben wir das kostenlose Modellierungswerkzeug draw.io verwendet, welches uns verschiedene Modellierungswerkzeuge zur Erstellung eines Mock-Ups oder physischen Datenmodells zur Verfügung stellt. Jeder Teilnehmer suchte sich zu Beginn der Veranstaltung eine eigene Webseite mit einen Produktinformationsbereich und Empfehlungsbereich aus. Dieses Vorgehen schaffte eine hohe Identifikation und Motivation durchweg im Kurs, weil jeder für das eigene Projekt seine Lernziele erreichen musste. Die Teilnehmer haben den Lerninhalten damit auch einen Sinn gegeben [13, S. 133, 168], der für das Erlernen der komplexen Inhalte förderlich war. Es wurden von jedem Teilnehmer innerhalb von zwei Wochen zwei verschiedene Webanwendungen ausgestellt.

Vermittlung von SQL-Befehlen

Es wurden die SQL-Befehle wie CREATE, INSERT oder SELECT grafisch aufbereitet, sodass die Teilnehmer die Konzepte zum Themengebiet sehr schnell begreifen konnten (siehe Abb. 5). Bei der Ausarbeitung der Befehle wurde

jeder Befehl mit einer entsprechenden Zeilennummer kommentiert sodass er verstanden werden konnte (siehe Abb. 6).

Die Abfragesprache SQL schlüsselt sich in verschiedene Sprachteile auf, den Data Definition Language (DDL), Data Manipulation (DML) und Data Control Language (DCL) und Transaction Control Language (TCL) Teil [28, S. 163], [29, S. 92], [38]. Die Kenntnis und Anwendung der Sprachteile wird in den IHK-Prüfungen zum Fachinformatiker Anwendungsentwicklung und Systemintegration verlangt.

Wir haben versucht über die Backus-Naur-Form [29, S. 43], [39] die SQL-Befehle zu vermitteln. Es stellte eine erhöhte Schwierigkeit dar, weil der Syntax und die Semantik der Backus-Naur-Form erst verstanden werden musste und dann auf die Problemstellung übertragen werden musste. Die Teilnehmer hatten wenig Erfahrung mit Programmiersprachen und des Erlernen eines Syntax und einer Semantik einer Programmiersprache. Entsprechend haben wir uns einer grafischen Art der Vermittlung des SQL-Syntax und der Semantik zugewandt, in denen die Wirkung und der Zweck eines SQL-Befehls direkt erkannt werden konnte. Abb. 5 zeigt ein Beispiel unserer Darstellung eines SQL-Befehls. Es wird hier das Selektieren einer Spalte und Zeile mittels einer Bedingung dargestellt. Die grafische Aufbereitung erleichterte die Vermittlung von SQL-Befehlen erheblich. Es wurde sofort klar, welche Wirkung und Ergebnis der SQL-Befehl hat.

Kurzdarstellung des Praxisprojektes auf YouTube

Wir haben die wesentlichen Inhalte des Kurses in kurze Videos zu insgesamt zwei Stunden zusammengefasst und diese frei zugänglich auf YouTube zur Verfügung gestellt⁵. Die Möglichkeit auch für Nicht-Muttersprachler, den Inhalt nochmals nach der Präsenzphase zu konsumieren, ermöglichte eine tieferes Verständnis der Inhalte und weniger Missverständnisse. Wir haben festgestellt, dass die Kombination von Präsenz- und Videovermittlung am besten funktioniert hat. Zudem stehen die Inhalte für die intensive Vorbereitung zur IHK-Prüfung nach dem zwölf-monatigen Praktikum zur Verfügung.

Wir testeten die Verwendung der YouTube-Videos für die Vorbereitung von Prüflingen für die IHK-Prüfung und konnten dadurch auch Defizite im Verständnis vom Datenbankdesign und Datenbankentwicklung bereinigen.

Die Kombination von Lehrinhalten und YouTube-Videos hatte insofern Erfolg, dass die Teilnehmer nochmals über die Inhalte reflektieren konnten und auch zu einem späteren Zeitpunkt, vielleicht auch am Wochenende die Kursinhalte verstehen konnten.

⁵ Die Videos finden Sie zur Einsicht auf YouTube hier: <https://www.youtube.com/channel/UCI6RlqnhRCOMXt1IruTsjdw/playlists>.

Manche der Teilnehmer konnten aus privaten Gründen teilweise nicht am Unterricht teilnehmen. Diese Teilnehmer fanden es hilfreich, eine Kurszusammenfassung auf YouTube zu betrachten, um mit Ihren Praxisprojekt weiter zu machen. Zudem sahen sich manche Teilnehmer den kompletten Kurs zu Beginn der Veranstaltung einmal an, um ein klares Verständnis zum Projektablauf zu erlangen [13, S. 173].

Anpassung von Leistungsunterschieden

Die Schüler hatten ein diverses Leistungspotential, Vorbildung und Vorerfahrungen. Manche der Schüler hatten bereits Vorerfahrung mit SQL und Programmierthemen oder hatten bereits ihre Datenbank oder sogar eine eigene Webseite aufgebaut. Sofern Teilnehmer manche Projekteile schneller bewältigt haben als anzunehmen war, so haben wir Ihnen die Aufgabe gegeben, die Datenbank auszubauen um mehr Lernergebnisse zu erzielen und sich nicht zu langweilen [40]. Sofern der Ausbau der Datenbank auch bewältigt werden konnte, haben diese die Kursinhalte mittels Onlinetutorials auf der Webentwicklerseite W3Schools bewältigt, welches Sie kostenlos nutzen konnten [41].

Vorbereitung zur IHK-Abschlussprüfung

Nachdem die Inhalte einmal präsentiert und zweimal von den Teilnehmern durchlaufen wurden, widmeten wir uns der Vorbereitung von IHK-Inhalten und deren Aufgabenstellungen. Wir haben ein physisches Datenmodell angegeben, für das SQL-Befehle entwickelt werden mussten. Wir können berichten, dass nach diesen Projektdurchläufen die IHK-Aufgabenstellungen von dem Großteil der Teilnehmer zügig bewältigt werden konnten, weil die Teilnehmer den Sinn in der Aufgabenstellung besser verstanden und sich eine Webanwendung aufgrund der eigenen Projekterfahrungen vorstellen konnten.

Angewandte Lehrtheorien und Lerntheorien und aktuelle Forschung

Wir haben uns bei der Gestaltung unsere Lehre verschiedener Lehrtheorien und Lerntheorien bedient. Wir zielten im generellen im Kurs auf die Ausbildung von Kompetenzen [13, S. 172], [20, S. 25] und darauf aus, dass Sie mit Ihren Kompetenzen etwas bewirken können, sodass Ihre kognitiven Fähigkeiten und Motivation gefördert werden [13, S. 172]. Auch im Rahmen der praktisch orientierten IHK-Abschlussprüfung hielten wir diesen Leitgedanken für förderlich [4, 18].

Die Teilnehmer im Kurs haben eine hohe Selbstwirksamkeit erfahren, damit Sie durchweg Ehrgeiz im Kurs ent-

wickeln konnten [13, S. 172]. Die Schüler hatten durch die Erstellung eines eigenen Projektes im Rahmen eines Beispielpjektes das Gefühl, durch Ihre Bemühungen erfolgreich zu sein [13, S. 172], dass Ihr Selbstbewusstsein und Ihre Selbstwahrnehmung stärkte.

Wir haben unseren Schülern stetig vermittelt, das Erfolg und Versagen nicht vom Können abhängen, sondern von Übung und Anstrengung, was Ihre Motivation stärkte [13, S. 172]. Wir haben ein Praxisprojekt entworfen, in dem die Schüler selbst tun werden, weil wir wie Piaget [12], [13, S. 166] der Meinung sind, das Weiterbildung Kursteilnehmer hervorbringen sollte, die fähig sind Neues zu tun. Insbesondere in der Informatik, einer Problemdomäne, in der immer wieder neue Lösungen entworfen werden müssen, ist dieser Leitsatz der Konzeptionierung unserer Lehre stimmig. Nach der Lernhierarchie nach Gagné [13, S. 170] und der Bloom-Taxonomie [42], [43, S. 41] ist das Problemlösen, das Selektieren, Organisieren und Anwenden von Regeln, die zur Problemlösung förderlich sind, eine der komplexesten Lernaufgaben, was eine gute Konzeptionierung des Kurses erfordert.

Wir haben Lernziele als Bewältigungsziele definiert und nicht als Leistungsziele [44, S. 88], [20, S. 25], [13, S. 172], in der die Vervollkommnung und Verbesserung der Fähigkeiten der Teilnehmer im Vordergrund stand. Leistungsziele dagegen, bei der ein Vergleich oder der Intelligenzgrad die Ergebnisse bestimmt, hielten wir bei diesen diversen Gruppen für weniger förderlich, um das generelle Ziel, das Bestehen der IHK-Abschlussprüfung im Themenbereich Datenbankdesign und Datenbankentwicklung zu erreichen.

Die soziale Lerntheorie von Albert Bandura [14], [13, S. 169] (siehe Abb. 7) beschreibt das soziale Lernen um das Verhalten von anderen zu erlernen. Er kombinierte einen kognitiven und behavioralen Ansatz. Beim kognitiven Ansatz haben die mentalen Prozesse Einfluss auf das Lernen. Beim behavioralen Ansatz ist das Lernen Ergebnis von Stimuli aus der Umwelt. Kursteilnehmer lernen, indem der



Abb. 7 Soziale Lerntheorie nach Albert Bandura [14], [15, S. 32], [13, S. 169]

Dozent als Modell dient, die den Kursteilnehmer positiv oder negativ beeinflussen können. Wir haben das Modelieren von Albert Bandura [13, S. 169] folgendermaßen im Kurs angewandt:

Beobachtung. Wir entwarfen ein Projekt für das Design und für die Entwicklung einer Datenbank und zeigten den Schülern die Arbeitsabläufe dessen. Wir haben den Schülern meistens etwas Neues präsentiert. Zu häufige Wiederholungen vermieden wir weitestgehend, was die Teilnehmer bei einem Feedbackgespräch auch gut fanden.

Speicherung. Wenn wir jeden Arbeitsschritt zeigten, welcher für das Design und die Entwicklung einer Datenbank nötig ist, hatten wir den meisten Lehr- und Lernerfolg. Das Problemlösungsverhalten des Dozenten konnte mit Erfolg schrittweise vom Kursteilnehmer gespeichert werden. Eine Zusammenfassung des Lehrstoffes in einem YouTube-Video war förderlich.

Reproduktion. Jeder Schüler bewältigte nach den Lehreinheiten und dem Dozentenprojekt das von ihm gewählte Projekt, das dem Dozentenprojekt ähnelte. Die Teilnehmer wählten eine andere Webseite oder Webanwendung [13, S. 169] als die des Dozenten aus. Sie setzten daraufhin, die Inhalte aus dem Lehrprojekt um.

Motivation. Die Motivation war sehr hoch, weil die Schüler das Erlernte und die Theorie bei ihren eigenen Projekt anwenden konnten. Durch diese Selbstwirksamkeit [13, S. 172] und das eigene Handlungserleben im Projektkontext, nahmen die Teilnehmer die Herausforderung an und versuchten Sie zu bewältigen.

David Kolb's [15, S. 32], [13, S. 168] empirischer Lernkreislauf (siehe Abb. 8) half uns auch das Lehrkonzept und dessen Effektivität weiter zu untermauern. Ein Lernkreislauf umfasst nach seiner Erkenntnis vier Stufen in einen kontinuierlichen Prozess. Es haben die Schüler eine Datenbankanwendung im Form einer Webanwendung [29, S. 22] bspw. einer Produktseite von Amazon.com bereits **erfahren**. Diese Webanwendung speichert Daten und wird als Beispiel für das Design und die Entwicklung einer Datenbank herangezogen, worüber **reflektiert** werden kann. Die **Beobachtungen** bei der Verwendung der Webanwendung werden in abstrakte Konzepte übersetzt bspw. werden die Daten aus einer Tabelle in eine Webseite geladen. Die wiederholte Beobachtung des Ladens von Daten in verschiedenen Produktseiten und Abstrahieren von Daten in eine Tabelle führte zur Entwicklung von neuen **Ideen** bspw. dass Tabellen miteinander verbunden werden können und diese miteinander in Beziehung stehen können. Es werden die Ideen, dass Beziehungen zwischen Tabellen existieren, in

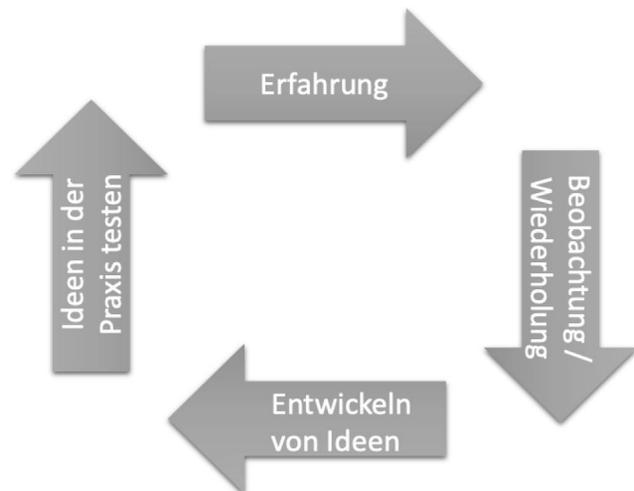


Abb. 8 Empirischer Lernkreislauf nach David Kolb [15, S. 32], [13, S. 168]

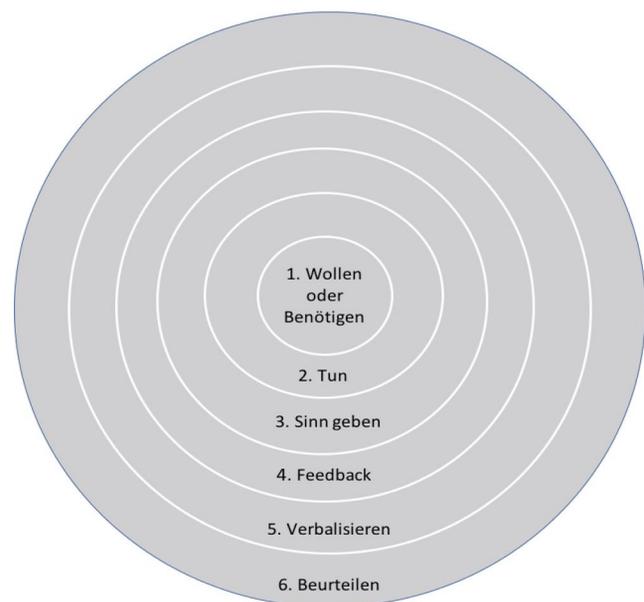


Abb. 9 Lernprozess nach Phil Race [45, 46]

der **Praxis getestet**. Der Lernkreislauf wiederholt sich entsprechend für jedes Lehrthema.

Die Lernprozess von Phil Race [45, 46], [13, S. 168] (siehe Abb. 9) unterstützte unser Lehrkonzept, indem das Bedürfnis, das Design und der Entwicklung einer Datenbank vorherrschte, da es eine der Aufgaben des Fachinformatikers Anwendungsentwicklung und Systemintegration ist. Es werden die Lernkreise folgendermaßen durchlaufen: **Wollen oder Benötigen**. Die Umschüler wollten die Inhalte aus dem Lerngebiet Datenbankdesign und Datenbankentwicklung erlernen, um im Beruf des Fachinformatiker Systemintegration und Fachinformatiker Anwendungsentwicklung arbeiten zu können. Die Teilnehmer wussten bereits zu Beginn der Veranstaltung, dass das Wissen und



Abb. 10 Lernpyramide nach US National Training Laboratories Institute (NTL), Bethel Maine [47, 48], [13, S. 172]

ein Projektverständnis zum Datenbankdesign und zur Datenbankentwicklung in der IHK-Abschlussprüfung und den Kernqualifikationsteil GA2 verlangt und benötigt werden. **Tun.** Die Schüler haben nach der Demonstration des Beispielprojektes ihre eigene Webanwendung ausgestaltet und die Wirksamkeit der Inhalte auf Ihr eigenes Projekt übertragen. **Sinn geben.** Die Schüler gaben den Inhalte einen direkten Sinn, da Sie eine Datenbank für eine existierende Webseite und eines Prototypen aufbauten. **Feedback.** Die Schüler erhielten vom Dozenten und Ihren Mitschülern Feedback um die Tabellen zu überarbeiten oder weiter auszugestalten. **Verbalisieren.** Die Schüler haben die theoretischen Inhalte am Praxisprojekt bei der Zusammenkunft aus der Projektphase verbalisiert. **Beurteilen.** Die Schüler haben das Feedback vom Dozenten und den Teilnehmern beurteilt und entsprechend aufgenommen.

Wir konnten die Effektivität unseres Lehrkonzepts durch die Abdeckung der Ebenen in der Bloom-Taxonomie [43, S. 41] erklären. Die Inhalte wurden auf die Stufen folgendermaßen angewandt: **Creating.** Die Teilnehmer erstellten eine neue Webanwendung nach der Beobachtung der Erstellung einer Beispielwebanwendung vom Dozenten. **Evaluating.** Es wurde die Lösung der Teilnehmer vom Dozenten und den Mitschülern bewertet und überprüft. **Analyzing.** Es wurde die Lösung des Dozentenprojektes und der Teilnehmerprojekte von den Teilnehmern und Dozenten analysiert und in die eigene Lösung eingearbeitet. Es wurden die Prozesse zum Datenbankdesign und Datenbankentwicklung am Dozentenprojekt aufgezeigt und analysiert. **Applying.** Es wurden die Lehrinhalte bei der Gestaltung der eigenen Webanwendung angewandt. **Understanding.** Die Lehrinhalte konnten am Beispiel des Beispielprojektes reflektiert und verstanden werden. **Remembering.** Es konnte sich an die Lehrinhalte am Beispielprojekt erinnert werden.

Wir konnten durch die Feedbackphase feststellen, dass die Lehrinhalte auch auf andere Projekte der Mitschüler übertragen werden konnten.

Die Lernpyramide des US National Training Laboratories Institute (NTL) [47, 48], [13, S. 172] (siehe Abb. 10) unterstützt zudem unser Vorgehen, indem die praktische Anwendung des Gelernten als effektiver einstuft. Wir durchliefen alle Stufen der Lernpyramide um den Kurs so effektiv wie möglich zu gestalten: **Andere unterrichten (90 %).** Die Schüler präsentierten ihr Praxisprojekt dem Dozenten und den Teilnehmern nach jeder Lerneinheit. **Üben durch tun (75 %).** Die Schüler haben die Inhalte in einem Praxisprojekt angewandt. Jeder von den Teilnehmern hat individuell jede Problemstellung absolviert. **Diskussionsgruppen (50 %).** Die Schüler haben täglich über die Inhalte in den Diskussionsgruppen welche nach jeder Lerneinheit stattfanden diskutiert. **Demonstration (30 %).** Der Dozent hat die Lehrinhalte demonstriert und am Praxisprojekt gezeigt. Zudem haben die Teilnehmer ihr Vorgehen und Fehler den anderen Teilnehmern und Dozenten präsentiert. **Audio-Visuell (20 %).** Der Dozent hat die Inhalte grafisch mittels draw.io aufbereitet. Zudem wurde eine Kurzdarstellung des Kurses auf YouTube angeboten. **Lesen (10 %).** Es wurden Inhalte aus einem Lehrbuch nachgelesen. Es wurde ein Bezug zum Praxisprojekt hergestellt. **Vortrag (5 %).** Der Dozent hat die Inhalte präsentiert und auf das Praxisprojekt übertragen.

Wir haben im Unterricht nachfolgende Lehr- und Lernbausteine verwendet, um die Teilnehmer durchgehend zu motivieren [13, S. 173], [20, S. 173]. Die Lehr- und Lernbausteine wurden folgendermaßen angewandt:

Positive Verbindungen schaffen. Wir haben unsere Erwartungen bezüglich des Ablaufs des Kurses schon zu Beginn deutlich zum Ausdruck gebracht. Wir wiesen auf die Durchführung eines Praxisprojekts hin. Wir förderten den Austausch zwischen den Teilnehmern und baten bei Problemstellungen unsere Hilfe an.

Spezielle Fertigkeiten lehren. Wir haben den Lernenden am Beispiel eines Praxisprojektes gezeigt wie Fertigkeiten angewandt werden können. Sie haben am Beispiel Ihrer Webanwendung und den entsprechenden Problemkontext die Methoden und Modelle für das Datenbankdesign und die Datenbankentwicklung übertragen um es langfristig abzuspeichern.

Kreativität fördern. Die Schüler kreierten zwei eigene Webanwendungen. Sie diskutierten mit den Lehrenden hinsichtlich Ihrer Vorschläge zu ihren eigenen Praxisprojekten und Webanwendungen.

Sinnvoll Feedback geben. Wir lobten und gaben konstruktiv auf die Anstrengungen und praktischen Umsetzungen der Teilnehmer Feedback. Wir lobten bei wunschgemäß erbrachten Projektergebnissen und motivierten durch konstruktive Vorschläge bei fehlenden Projektergebnissen.

Kurzfristige Ziele setzen. Wir haben den Schülern Lernziele und Lernetappen vorgegeben. Wir haben die Lernheiten in übersichtliche Lerneinheiten [13, S. 171] unterteilt.

Stresslevel kontrollieren. Wir haben zu Beginn der Veranstaltung das Tagesprogramm und Wochenprogramm definiert festgelegt. Die Schüler wussten an welchem Tag welche Lernziele erreicht werden mussten.

Gruppenunterricht und -diskussion fördern. Wir haben nach jeder Lehretappe und Lernetappe die Ergebnisse jedes Lernenden besprochen. Wir ließen den Schülern auch die Möglichkeit die Ergebnisse von anderen Teilnehmern zu diskutieren.

Motivation fördern. Wir haben den Schülern die Möglichkeit gegeben, praktisch tätig zu werden um eine hohe Selbstwirksamkeit zu erfahren. Wir stellten den praktischen Nutzen der Theorien und Modelle für das Design und die Entwicklung einer Datenbank in den Vordergrund.

Einschränkungen

Unsere Ergebnisse können auf Schulsysteme wie Universitäten, Fachhochschulen oder Gymnasien übertragen werden in denen Informatikthemen vermittelt werden. Wir denken dass, sofern die Kurse mit YouTube-Videos aufbereitet sind, auch eine Unterbrechungen des Kurses, d. h. wenn kein fortlaufendes wöchentliches Unterrichten möglich ist, ähnliche Lehrerfolge und Lernerfolge erzielt werden können.

Die beschriebenen Lehrtheorien können auch auf andere Lehrprojekte übertragen werden. Bei der Gestaltung der Lehre konnte durch die angebrachten Lehrtheorien die Sinnhaftigkeit der Lehrkonzepte bestätigt werden. Es bedarf jedoch eines zeitlichen Aufwands, die Fragen zu den jeweiligen Lerntheorien zu beantworten und das Lehrkonzept entsprechend nach den Lehrtheorien zu analysieren und darüber zu reflektieren.

Wir haben unsere Lehrkonzepte für die Ausbildung zum Fachinformatiker Anwendungsentwicklung und Systemintegration erprobt. Wir glauben, dass unser Lehrkonzept auch auf die Fachinformatiker Fachrichtungen Daten- und Prozessanalyse und digitale Vernetzung übertragbar ist [4]. Im Rahmen der Umschulung konnten wir dies noch nicht erproben.

Zusammenfassung und Ausblick

Wir konnten im Rahmen des Unterrichts immer wieder feststellen, dass der Praxisbezug und die erfahrene Selbstwirksamkeit die Teilnehmer durchweg motivierte, am Unterricht teilzunehmen. Durch den praktischen Sinn, den die Teilnehmer für das Lehrmaterial durchweg erhalten haben, wussten die Teilnehmer was Sie mit Ihren Wissen anfangen können und wie Sie es in ihren zukünftigen Arbeitskontext übertragen können. Wir haben die Effektivität unseres Lehrkonzepts mit den Ergebnissen der simulierten IHK-Prüfung gemessen, und sehen uns bestätigt darin, dass die direkte Anwendung von theoretischen Inhalten innerhalb eines Praxisprojekts, das von den Kursteilnehmern selbst gewählt wurde, zur erhöhten Zufriedenheit und besseren Lernergebnissen führt und für den Abschluss der IHK-Fachinformatikerprüfung förderlich ist. Die IHK-Prüfung und der Teil Datenbankdesign und Datenbankentwicklung wird von Praktikern mit Praxisbezug gestellt, der in einer zweijährigen Umschulung häufig fehlt. Unser Lehrkonzept und dessen Umsetzung stellte eine relative Praxiserfahrung sicher, sodass die IHK-Prüflinge der Anwendungsentwicklung und Systemintegration auf die IHK-Prüfung vorbereitet sind, die Aufgabenstellung verstehen können und diese meistern können.

Danksagung

Wir danken den privaten Schulen der Stadt Hamburg für die Möglichkeit, dort zu dozieren und die Lehrtheorien und Lerntheorien zu erproben. Wir danken Felix Schmidt für das Feedback zu dieser Arbeit. Wir danken der DIPLOMA Hochschule für die Unterstützung der Publikation dieses Artikels.

Funding Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

1. Bundesagentur für Arbeit (2020) Bildungsgutschein für Weiterbildung oder Umschulung. <https://www.arbeitsagentur.de/karriere-und-weiterbildung/bildungsgutschein>. Zugegriffen: 15. Nov. 2020
2. HK Handelskammer Hamburg (2020) Aus- und Weiterbildung Fachinformatiker. <https://www.hk24.de/produktmarken/ausbildung-weiterbildung/ausbildung/ausbildungsberatung/ausbildungsberufsbilder-und-ansprechpartner/it-berufe/fachinformatiker-4663726>. Zugegriffen: 15. Nov. 2020
3. BBQ – Baumann Bildung und Qualifizierung GmbH (2020) Umschulung Fachinformatiker(in) Systemintegration. <https://www.bbq.de/umschulung/hamburg/umschulung-fachinformatikerin-systemintegration/>. Zugegriffen: 26. Dez. 2020
4. Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2020) Rahmenlehrplan für die Ausbildungsberufe Fachinformatiker und Fachinformatikerin IT-System-Elektroniker und IT-System-Elektronikerin. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/Bildung/BeruflicheBildung/rlp/Fachinformatiker_19-12-13_EL.pdf. Zugegriffen: 26. Dez. 2020
5. Ratgeber-Umschulung.de (2020) Umschulung zum Fachinformatiker/zur Fachinformatikerin (2020). <https://ratgeber-umschulung.de/technik/fachinformatiker/>. Zugegriffen: 25. Dez. 2020
6. IT-Berufe Podcast (2020) Aufbau und Ablauf der Abschlussprüfung – Anwendungsentwickler-Podcast. <https://it-berufe-podcast.de/aufbau-und-ablauf-der-abschlusspruefung-anwendungsentwickler-podcast-1/>. Zugegriffen: 25. Dez. 2020
7. HK Hamburg (2020) Prüfungstermine für die IT-Berufe. <https://www.hk24.de/produktmarken/ausbildung-weiterbildung/ausbildung/ausbildungspruefungen/pruefungen/it-berufe/pruefungstermine-it-berufe-1164628>. Zugegriffen: 25. Dez. 2020
8. *Hinweise für den Prüfungsteil A im Ausbildungsberuf "Fachinformatiker/ Fachinformatikerin" für Prüfer, Ausbilder und Prüfungsteilnehmer* (2018)
9. Fachinformatiker.de (2020) ga1, ga2, WISO? <https://www.fachinformatiker.de/topic/150064-ga1-ga2-wiso/>. Zugegriffen: 25. Dez. 2020
10. Statistisches Bundesamt (2020) Migration und Integration. https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Migration-Integration/_inhalt.html. Zugegriffen: 15. Nov. 2020
11. Statista (2020) Anzahl der Asylanträge (insgesamt) in Deutschland von 1995 bis 2020. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/76095/umfrage/asylantraege-insgesamt-in-deutschland-seit-1995/>. Zugegriffen: 15. Nov. 2020
12. Piaget J (1995) *The essential Piaget: an interpretive reference and guide* (100th anniversary Ed.). Jason Aronson Inc, Publishers
13. Hemmings J, Collin C, Ganz JG, Lazyan M, Black A (2019) *dk-infografik. Psychologie im Alltag – Wie wir denken, fühlen und handeln*. Dorling Kindersley, München
14. Bandura A (1986) *Social foundations of thought and action – a social cognitive theory*. Prentice-Hall, New York
15. Kolb DA (2014) *Experiential learning – experience as the source of learning and development*. FT Press, Harlow
16. B. . B. B. und Qualifizierung GmbH (2020) Umschulung Fachinformatiker(in) Systemintegration. <https://www.bbq.de/umschulung/berlin/fachinformatiker-systemintegration/>. Zugegriffen: 26. Dez. 2020
17. Bader R (2003) Lernfelder konstruieren–lernsituationen entwickeln. *Berufsbild Sch* 55(7-8):210–217
18. Freie und Hansestadt Hamburg Behörde für Bildung und Sport Amt für Berufliche Bildung und Weiterbildung Hamburg (2020) *BILDUNGSPLAN Fachinformatiker/Fachinformatikerin mit den Fachrichtungen Anwendungsentwicklung und Systemintegration*. https://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2007/85/pdf/bildplan_fachinformatikpropertysource.pdf. Zugegriffen: 27. Dez. 2020
19. Ratgeber-Umschulung.de (2020) So bekommen Sie 2020 den Bildungsgutschein für Ihre Umschulung. <https://ratgeber-umschulung.de/bildungsgutschein/>. Zugegriffen: 25. Dez. 2020
20. Reitzner C (2014) *Erfolgreich lehren: Ermutigen, motivieren, begeistern*. Springer, Berlin Heidelberg New York
21. Repp S, Meinel C, Ziegler R (2007) Lernortkooperation in der IT-Ausbildung – Kompetenzentwicklung in Projekten. In: Schubert S (Hrsg) *Didaktik der Informatik in Theorie und Praxis – INFOS 2007 – 12. GI-Fachtagung Informatik und Schule*. Gesellschaft für Informatik e. V., Bonn, S 135–146
22. Vocke H, Woigk U (2005) *Software-Engineering in der beruflichen Ausbildung – Simulation realer Projektsituationen*. In: Friedrich S (Hrsg) *Unterrichtskonzepte für informatische Bildung*. Gesellschaft für Informatik e.V., Bonn, S 297–307
23. Godden DR, Baddeley AD (1975) Context-dependent memory in two natural environments: on land and underwater. *Br J Psychol* 66(3):325–331
24. Maalej W, Ellmann M, Robbes R (2017) Using contexts similarity to predict relationships between tasks. *J Syst Softw* 128:267–284 (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0164121216302357>)
25. Ellmann M, Oeser A, Fucci D, Maalej W (2017) Find, understand, and extend development screencasts on youtube. In: *Proceedings of the 3rd ACM SIGSOFT International Workshop on Software Analytics*, ser. SWAN 2017. Association for Computing Machinery, New York, S 1–7 <https://doi.org/10.1145/3121257.3121260>
26. Ellmann M (2020) Fernlehren und Fernlernen von Objektorientierter Programmierung (OOP). *Informatik Spektrum*. 1–7. <https://doi.org/10.1007/s00287-020-01323-x>
27. Opel S, Brinda T (2014) Computer science in context’ and ‘learning fields’ in vocational computer science education—two unlike siblings?’. In: *International Conference on Informatics in Schools: Situation, Evolution, and Perspectives*. Springer, Berlin Heidelberg, S 54–65
28. Abts D, Müller W (2017) *Grundkurs Wirtschaftsinformatik – Eine kompakte und praxisorientierte Einführung*. Springer, Berlin Heidelberg New York
29. Emrich M (2013) *Datenbanken & SQL Für Einsteiger – Datenbankdesign Und Mysql in Der Praxis*. CreateSpace Independent Publishing Platform,
30. Opel S (2011) Das Lernfeldkonzept in den Lehrplänen der IT-Berufe - Vorstudie zur schülerseitigen Akzeptanz und Umsetzbarkeit von selbstgesteuerten Lerneinheiten im Lernfeld „Entwickeln und Bereitstellen von Anwendungssystemen“. In: Thomas M (Hrsg) *Informatik in Bildung und Beruf – INFOS 2011 – 14. GI-Fachtagung Informatik und Schule*. Gesellschaft für Informatik e.V., Bonn, S 217–226
31. Codd EF (1970) A relational model of data for large shared data banks. Springer, Freiburg i.B
32. Date CJ, Darwen H (2006) *Databases,types and the relational model – the third manifesto*, 3. Aufl. Addison Wesley,
33. Chen PP-S (1976) The entity-relationship model-toward a unified view of data. *ACM Trans Database Syst* 1(1):9–36
34. Stack Exchange Inc (2020) 2020 Developer survey. <https://insights.stackoverflow.com/survey/2020#technology-databases>. Zugegriffen: 27. Dez. 2020
35. Holland S, Griffiths R, Woodman M (1997) Avoiding object misconceptions. In: *Proceedings of the twenty-eighth SIGCSE technical symposium on computer science education*, S 131–134
36. Richter H (2002) *Lernerfolgsüberprüfung im handlungsorientierten Unterricht der Berufsschule*. BoD – Books on Demand, Norderstedt
37. Johlen D (2002) *Methodik der OOSE für Fachinformatiker nach dem Lernfeldansatz unter Einbeziehung der Lehrerfortbildung*. In: Schubert SE, Magenheimer J, Hubwieser P, Brinda T (Hrsg) For-

- schungsbeiträge zur “Didaktik der Informatik” – Theorie, Praxis, Evaluation. Gesellschaft für Informatik e.V., Bonn, S 55–64
38. Oracle Corporation and/or its affiliates (2020) Chapter 13 SQL Statements. <https://dev.mysql.com/doc/refman/8.0/en/sql-statements.html>. Zugegriffen: 25. Dez. 2020
 39. Oracle Corporation and/or its affiliates (2020) Database SQL language reference. https://docs.oracle.com/cd/B28359_01/server.111/b28286/ap_syntax002.htm. Zugegriffen: 25. Dez. 2020
 40. Lohrmann K (2008) Langeweile im Unterricht. Waxmann, Münster
 41. w3schools.com (2020) SQL Tutorial. <https://www.w3schools.com/sql/default.asp>. Zugegriffen: 26. Dez. 2020
 42. Bloom BS, Airasian P, Cruikshank K, Mayer R, Pintrich P, Raths J, Wittrock M (2001) A taxonomy for learning, teaching, and assessing – a revision of bloom’s taxonomy of educational objectives. Longman, New York
 43. Forehand M (2010) Bloom’s taxonomy. *Emerg Perspect Learn Teach Technol* 41(4):47–56
 44. Alderman MK (2013) Motivation for achievement: possibilities for teaching and learning. Routledge,
 45. Race P (2019) Updated powerpoint of ‘ripples model’. <https://phil-race.co.uk/2016/04/updated-powerpoint-ripples-model/>. Zugegriffen: 12. Mai 2020
 46. Race P (2014) Making learning happen: A guide for post-compulsory education. Sage
 47. Lalley J, Miller R (2007) The learning pyramid: does it point teachers in the right direction. *Education* 128(1):16
 48. Kumar A (2009) Personal, academic and career development in higher education: SOARing to success. Routledge

Komposition und Interoperabilität von IT-Systemen

Johannes Reich¹

Angenommen: 10. März 2021 / Online publiziert: 19. Juli 2021
© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2021

Zusammenfassung

In diesem Artikel diskutiere ich Interoperabilität von berechenbaren Systemen mithilfe des mathematischen Konzepts der Komposition. Die zentrale Vorstellung ist, dass Systeme durch Interaktion komponieren und diese Komposition mathematisch als Operator, also als Funktion auf Systemen beschreibbar ist. Daraus ergibt sich der Begriff des Interface eines Systems, als Zusammenfassung aller seiner auf die Komposition bezogenen Angaben, auf natürliche Art und Weise ebenso wie der Begriff der Komponente als eines Systems, das für eine bestimmte Komposition konstruiert wurde.

Ich unterscheide zwei grundsätzlich verschiedene Kompositionen von Systemen. Zunächst die hierarchische Komposition, die Systeme als Ganzes erfasst und zur Bildung von Supersystemen führt. Sie basiert auf den Kompositionsregeln berechenbarer Funktionen und führt zu den Interfaces der Operationen (+Events) sowie zu Komponentenhierarchien. Demgegenüber steht eine zweite Form der Komposition, die Systeme nur partiell im Sinne einer Projektion erfasst und zu vergleichsweise loser Kopplung durch Protokolle führt, mit dem Interface der Protokoll-Rolle. Damit sind Interfaces, die Operationen repräsentieren, per Definitionem nur für hierarchische Kompositionen geeignet und keine wesentliche Hilfe in der Darstellung netzwerkartiger „horizontaler“ Interaktionen.

Um die Anwendbarkeit des Kompositionskonzepts zu demonstrieren, werden verschiedene System-, Interface- und Komponentenmodelle aus der Literatur diskutiert, u. a. das Komponentenmodell verteilter Objekte, sowie die Interfacekonzepte von SOA und REST.

Einleitung

Politik und Informatik schätzen die Fähigkeit, Interoperabilität von IT-Applikationen effizient zu erreichen, mittlerweile als eine der Schlüsselqualitäten ein, um die gewünschten Netzwerkeffekte im Internet der Dinge, etwa in der vernetzten Produktion, auszuschöpfen [16]. Die Bundesregierung [7] nennt Interoperabilität neben Souveränität und Nachhaltigkeit sogar als dritte Säule der Gestaltung digitaler Ökosysteme.

Wer nun erwartet, von der Informatik zu der Frage, wie man interoperable IT-Komponenten möglichst effizient baut, klare Antworten zu erhalten, sieht sich gegenwärtig mit einer kaum mehr überschaubaren Anzahl verschiedener Theorie- und Technologieansätze konfrontiert. Die verschiedenen zu Grunde liegenden Modelle, in Verbindung mit unterschiedlichen – oder schlimmer – mit denselben Terminologien über Agenten, Programme, Prozesse,

Kalküle, Dienste, Zwillinge, Schalen etc. beeinträchtigen das gegenseitige Verstehen – einen Zustand, den Leslie Lamport als „Whorfian syndrome“ bezeichnet hat [21].

Mein Vorschlag diesem Syndrom zu begegnen ist, für die Diskussion der Interoperabilität von IT-Systemen den Begriff der Komposition in den Vordergrund zu stellen: Zwei (oder mehr) Systeme sind interoperabel immer bezogen auf eine definierte Komposition. Den verschiedenartigen Interaktionen von IT-Systemen entsprechen verschiedenartige Kompositionen. Das unterschiedliche Kompositionsverhalten war auch der Hauptgrund für David Harel und Amir Pnueli in ihrer richtungsweisenden Arbeit [18] „reaktive“ gegenüber „transformationalen“ (diskreten) Systemen zu unterscheiden. Stavros Tripakis [27] hält Komposition und Kompositionalität für die vielleicht wichtigsten Konzepte modernen Systemdenkens.

Die Komposition von Systemen

Mathematisch bedeutet Komposition aus zwei oder mehr mathematischen Objekten mithilfe einer mathematischen Abbildung eines zu machen. So können wir aus zwei Funk-

✉ Johannes Reich
johannes.reich@sap.com

¹ SAP SE, Dietmar, 69190 Walldorf, Deutschland

tion $f, g : \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{N}$, die die natürlichen Zahlen auf sich selbst abbilden, mit Hilfe des Konkatenationsoperators \circ eine Funktion $h = f \circ g$ erklären durch $h(n) = f(g(n))$.

Wenden wir diese Vorstellung auf unsere interagierende Systeme an, die wir mit S_1, \dots, S_n benennen, so können wir, unabhängig von der konkreten Darstellung dieser Systeme, ihre Komposition zu einem Supersystem mittels eines entsprechenden Kompositionsoperators C_S als partielle Funktion¹ für Systeme erklären:

$$S_{ges} = C_S(S_1, \dots, S_n). \tag{1}$$

Den ersten Nutzen, den wir aus dieser Definition ziehen können, ist, dass wir nun die Eigenschaften des Supersystems klassifizieren können in solche, die sich vergleichsweise einfach aus den gleichen Eigenschaften der Teilsysteme ergeben und solche, die sich aus anderen Eigenschaften der Teilsysteme ergeben:

Definition 1 Ich nenne eine Eigenschaft $E(S_{ges})$ eines zusammengesetzten Systems S_{ges} „(homogen) kompositional“ bezüglich der Komposition C_S , wenn ein Operator C_E existiert, so dass sich $E(S_{ges})$ als $C_E(E(S_1), \dots, E(S_n))$ ergibt, also gilt:

$$E(C_S(S_1, \dots, S_n)) = C_E(E(S_1), \dots, E(S_n)) \tag{2}$$

Andernfalls nenne ich sie „emergent“.

Ein einfaches Beispiel einer homogen kompositionalen Eigenschaft physikalischer Systeme ist ihre Masse: Die Masse eines Gesamtsystems ist gleich der Summe der Massen der Einzelsysteme. Ein einfaches Beispiel einer emergenten Eigenschaft eines physikalischen Systems ist die Resonanzfrequenz eines Schwingkreises aus Spule und Kondensator. Die Resonanzfrequenz des Schwingkreis ergibt sich nicht aus den Resonanzfrequenzen von Spule und Kondensator, weil diese keine solche Resonanzfrequenz aufweisen, sondern aus ihrer Induktivität und Kapazität.

Eine der in der Informatik wichtigsten Eigenschaft von Systemen ist die Berechenbarkeit ihrer Systemfunktion. Basierend auf Überlegungen von Kurt Gödel konnte Stephen Kleene in seiner bahnbrechenden Arbeit [20] zeigen, dass diese Eigenschaft in der Tat per Konstruktionem kompositional ist. Ausgehend von gegebenen Elementaroperationen (Nachfolger, Konstante und Identität) lassen sich nämlich alle weiteren berechenbaren Operationen durch die folgenden 3 Regeln konstruieren (F_n sei die Menge aller Funktionen auf den natürlichen Zahlen mit Arität n):

1. **Comp:** Sei $g_1, \dots, g_n \in F_m$ und $h \in F_n$ berechenbar, dann ist $f = h(g_1, \dots, g_n)$ wiederum berechenbar.
2. **PrimRec:** Sind $g \in F_n$ und $h \in F_{n+2}$ berechenbar und $a \in \mathbb{N}^n, b \in \mathbb{N}$ dann ist die Funktion $f \in F_{n+1}$, gegeben durch $f(a, 0) = g(a)$ und $f(a, b + 1) = h(a, b, f(a, b))$ wiederum berechenbar.
3. **μ -Rec:** Sei $g \in F_{n+1}$ berechenbar und $\forall a \exists b$ so dass $g(a, b) = 0$ und die μ -Operation $\mu_b[g(a, b) = 0]$ ist definiert als das kleinste b mit $g(a, b) = 0$. Dann ist $f(a) = \mu_b[g(a, b) = 0]$ wiederum berechenbar.

Comp besagt, dass mit gegebenen berechenbaren Funktionen auch ihre nacheinander sowie ihre parallele Anwendung wiederum eine berechenbare Funktion ist. *PrimRec* definiert die einfache Rekursion, die sich in imperativen Programmiersprachen als FOR-Schleife mit einer im Vorhinein definierten Anzahl an rekursiven Schritten wiederfindet. Die dritte Regel μ -Rec besagt, dass eine rekursive Berechnung auch als iterative Lösung eines berechenbaren Problems, im Falle der natürlichen Zahlen einer Nullstellensuche, vorliegen kann, bei dem man nicht von vornherein sagen kann, wie viele Schritte man zur ersten Lösung brauchen wird, ja u.U. noch nicht einmal weiß, ob eine solche Lösung überhaupt existiert. Dem entspricht in imperativen Programmiersprachen die WHILE-Schleife.

Der Begriff des Interfaces und der Komponente

Der zweiten Nutzen, den wir aus unser Definition der Komposition ziehen können, ist eine klare Definition des Begriffs des Interfaces und der Komponente. Wir benötigen nämlich nun einen Begriff, der all das zusammenfasst, was ein Kompositionsoperator von einem System wissen muss. [14, 27] verwenden dafür den Begriff des *Interface*, einem Vorschlag, dem ich mich gerne anschließen. Damit wird die Frage, was eigentlich ein Interface ist, entscheidbar.

Das Rezept sieht so aus, dass diejenige, die behauptet, ein mathematisches Objekt sei ein Interface, als erstes ein Systemmodell vorweisen muss, zweitens zeigen muss, wie ihr Kompositionsoperator aussieht, damit drittens nachvollziehbar wird, welche Anteile des Systemmodells zum Interface gehören.

Eine Komponente lässt sich als ein System verstehen, das für eine bestimmte Komposition vorgesehen ist und daher entsprechend wohldefinierte Interfaces aufweist, die, per Definitionem, die intendierte Komposition ausdrücken.

Ersetzbarkeit und Kompatibilität

Der dritte Nutzen ergibt sich in der Möglichkeit, mittels unseres Kompositionskonzepts Ersetzbarkeit und Abwärts- und Aufwärtskompatibilität zu definieren.

¹ Partiiell bedeutet, dass diese Funktion nicht für alle möglichen Systeme erklärt ist, d. h. nicht jedes System ist für jede Komposition geeignet.

Zu diesem Zweck betrachten wir die drei Systeme \mathcal{A} , \mathcal{A}' und \mathcal{B} . Der Kompositionsoperator C macht aus \mathcal{A} und einem weiteren System \mathcal{B} das Supersystem $\mathcal{S} = C(\mathcal{A}, \mathcal{B})$. Das System \mathcal{A} kann durch das System \mathcal{A}' in dieser Komposition sicherlich ersetzt werden, wenn auch gilt $\mathcal{S} = C(\mathcal{A}', \mathcal{B})$.

Stehen nun aber \mathcal{A}' und \mathcal{A} in einem zu konkretisierenden Sinne in einer Erweiterungsrelation, notiert als $\mathcal{A} \sqsubseteq \mathcal{A}'$ und macht ein weiterer Operator C' aus \mathcal{A}' und wiederum \mathcal{B} das Supersystem $\mathcal{S}' = C'(\mathcal{A}', \mathcal{B})$, so dass die Eigenschaft der Erweiterung erhalten bleibt, also auch $\mathcal{S} \sqsubseteq \mathcal{S}'$ gilt, dann sprechen wir unter den folgenden Bedingungen von „Kompatibilität“:

Bringt C' auf das alte System \mathcal{A} angewandt immer noch das alte System $\mathcal{S} = C(\mathcal{A}, \mathcal{B})$ hervor, dann verhält sich \mathcal{A} im Kontext der Komposition C' „aufwärtskompatibel“. Gilt jetzt $\mathcal{S} = C(\mathcal{A}', \mathcal{B})$, lässt sich also \mathcal{A} durch \mathcal{A}' im Kontext C ersetzen, verhält sich \mathcal{A}' im Kontext C „abwärtskompatibel“.

Ein einfaches Beispiel ist eine rote Leuchtdiode \mathcal{A} und eine Fassung \mathcal{B} , die zu einer rot leuchtenden Lampe $\mathcal{S} = C(\mathcal{A}, \mathcal{B})$ komponieren. Eine neue Leuchtdiode \mathcal{A}' , die die alte um die Fähigkeit erweitert, bei Stromumkehr grün zu leuchten, heißt abwärtskompatibel zu \mathcal{A} , wenn sie sich mit derselben Fassung ebenfalls zu einer ausschließlich rot leuchtenden Lampe machen lässt.

Eigentlich ist die zweifarbige LED natürlich für eine Lampenschaltung vorgesehen, die diese Zweifarbigkeit unterstützt. Da die alte Leuchtdiode in die unveränderte Fassung passt, ergibt sich trotz neuer Schaltung, die alte, einfarbig rote Lampe. Die alte LED verhält sich in diesem Kontext aufwärtskompatibel.

Die Anwendung des Kompositionsmodells

Zur Strukturierung der weiteren Diskussion schauen wir uns zunächst zwei grundsätzlich unterschiedliche Kompositionen an. Zum einen die Komposition von (einfacheren) Systemen zu (komplexeren) Supersystemen entlang der Regeln zur Konstruktion berechenbarer Funktionen und zum anderen die Komposition von Rollen zu Protokollen.

Die hierarchische Komposition von Systemen zu Supersystemen

Systeme grenzen ein Inneres vom Rest der Welt, der Umgebung ab [10, 18, 27]. Zur Demonstration des Vorgehens wähle ich ein einfaches Systemmodell das gemäß Abb. 1 die gesamte Eingabe und den inneren Zustand in einem Zeitschritt mittels einer (berechenbaren) Systemfunktion f auf eine Ausgabe und einen neuen inneren Zustand abbildet.

Solche Systeme werden durch Zustände gekoppelt, die für die einen Systeme die Ausgabe und für die anderen

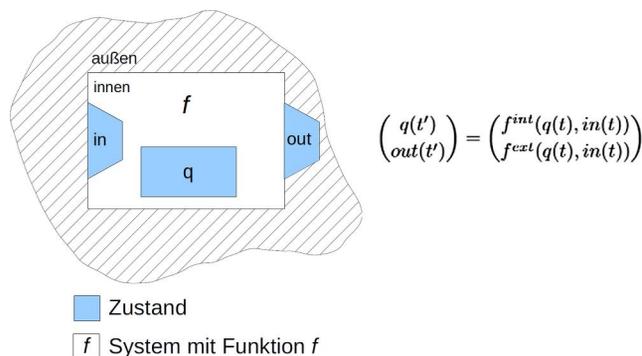


Abb. 1 Ein einfaches System mit seinen drei, ggfs. vektorwertigen Zustandsfunktionen $(in, out, q) : T \rightarrow I \times O \times Q$, die die Systemzeit T auf ihre jeweilige Wertemengen I, O, Q abbilden. Der Zusammenhang dieser Werte zu jedem Zeitpunkt wird durch die Systemfunktion f hergestellt, wie rechts dargestellt. t' ist der Nachfolgezeitpunkt von t

Systeme die Eingabe repräsentieren, und die ich Shannon-zustände nenne. Aus informatischer Sicht entspricht das der Informationsübertragung zwischen den Teilsystemen.

Es ist nicht schwer zu sehen [24], dass die sequentielle und die parallele Kopplung einfacher Systeme im Sinne einer Pipe zusammen der Komposition berechenbarer Funktionen gemäß Regel *Comp* entspricht. Zur Darstellung der Rekursion muss man das Systemmodell dahingehend erweitern, dass einzelne Eingabekomponenten unberücksichtigt bleiben können, was durch das leere Zeichen ϵ in Eingabekomponenten ausgedrückt werden kann. In Abb. 2 ist eine Komposition dreier Systeme, \mathcal{S}_1 , \mathcal{S}_2 und \mathcal{S}_3 , dargestellt, die zusammen ein Supersystem \mathcal{S}_{ges} bilden mit der Systemfunktion $f_{ges}(x) = 2x + 5$ (Beispiel aus [26]).

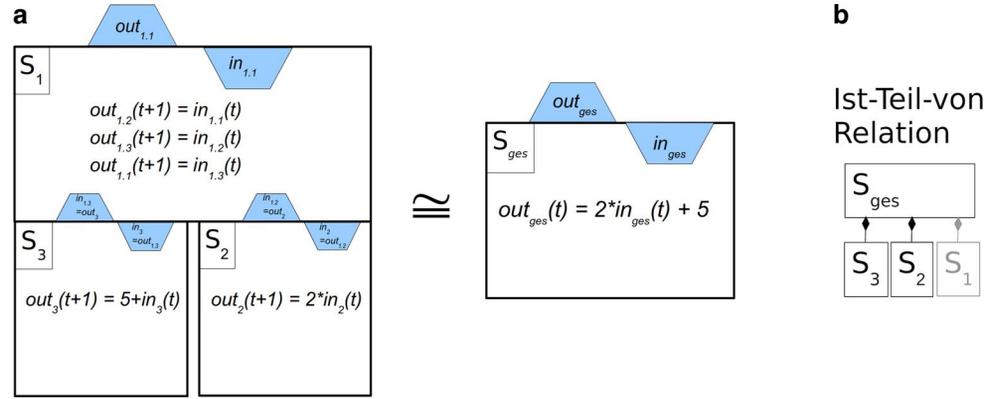
Offensichtlich enthält die Darstellung des Supersystems \mathcal{S}_{ges} ohne seine innere Struktur alle die Angaben, die man benötigt, um seinerseits dieses System wieder mit weiteren Systemen auf diese Art und Weise zu komponieren. Seine Systemfunktion ist daher notwendigerweise Teil seines Interfaces. D.h. in dieser Komposition verbirgt ein Interface die innere Systemstruktur, also die Art und Weise, wie die Systemfunktion berechnet wird – sozusagen den Algorithmus – aber nicht die Systemfunktion als solches.

Diese Art der Komposition findet sich in modernen imperativen Programmiersprachen im Konstrukt der „Operation“, bzw. des „Objekts“. In der Programmiersprache C sähe diese Komposition folgendermaßen aus:

```
int s2(int n) {return(2*n);}
int s3(int n) {return(n+5);}
int s(int n) {return(s3(s2(n)));}
```

In dieser Beschreibung taucht das System \mathcal{S}_1 nicht explizit auf, weswegen es im rechten Teil der Abb. 2 ausgegraut ist. Operationen sind demnach tatsächlich mehr als

Abb. 2 Links wird die Komposition dreier Systeme S_1 , S_2 und S_3 zu dem System S_{ges} mit der Funktion $f_{ges}(x) = 2x + 5$ dargestellt. Rechts wird die dabei entstehende „Ist-Teil-von“-Beziehung zwischen den Teilsystemen S_1 , S_2 und S_3 und dem Supersystem S_{ges} gezeigt, die durch die Interaktion entstehen. Das System S_1 ist ausgegraut, weil es in dieser Art der Darstellung häufig weggelassen wird.



nur Systemfunktionen, sondern sie sind Teil eines Kompositionsmechanismus für die hierarchische Komposition von Systemen, der ihre interne Struktur nach außen verbirgt. Eine einfache Folge ist, dass man mit dem sogenannten Aufruf einer gewöhnlichen Operation, deren Aufgabe in der Abbildung ihrer Eingangsdaten auf ihre Ausgangsdaten liegt, nicht aus seinem System hinausgelangen kann. Dies geht nur mit Operationen mit „Transportsemantik“, d. h. mit Operationen, deren Korrektheit nur im Transport und nicht in der Verarbeitung liegt.

Lose Kopplung: Protokolle

Eine ganz andere Form der Kopplung von Systemen beruht darauf, diese nicht vollständig, sondern nur in Teilen in die Komposition einfließen zu lassen. Ich spreche daher auch von „loser“ Kopplung. Dabei sind mit Teilen nicht „Teilsysteme“ gemeint – diese würde ja wieder zu Supersystemen komponieren –, sondern Teile, die für sich alleine eben keine Systeme darstellen. Entsprechend komponieren diese Teile, ich nenne sie „Rollen“, nicht zu Supersystemen, sondern zu etwas, was in der Informatik als „Protokoll“ bezeichnet wird. Diese Rollen lassen sich als Projektionen der Systeme auf die Interaktionen, die durch Protokolle beschrieben werden, verstehen [24]. Wir müssen unsere Kompositionsrelation (1) daher auf Rollen \mathcal{R}_i , die zu einem Protokoll \mathcal{P} komponieren, erweitern.

$$\mathcal{P} = C_{\mathcal{R}}^{\text{Prot}}(\mathcal{R}_1, \dots, \mathcal{R}_n) \tag{3}$$

Die Systeme, für die diese Komposition passt, werden in der Literatur „reaktiv“ [18] oder „interaktiv“ [10, 24] genannt, oder auch als Prozesse bezeichnet. In Interaktionen weisen diese Systeme ein nichtdeterministisches, zustandsbehaftetes Verhalten auf und lassen sich aus diesem Grund, bezogen auf eine Interaktion, gar nicht mit einer Funktion beschreiben, die Eingabewerte auf Ausgabewerte abbildet.

Ein einfaches Beispiel für ein Protokoll ergibt sich aus dem in Abb. 3 dargestellten Problem der einspurigen Eisen-

bahnbrücke, die sich zwei Züge, Z_1 und Z_2 , teilen müssen (s. a. [2]). Zu diesem Zweck interagieren beide Züge über ein Protokoll mit einem Controller C , der sicherstellt, dass höchstens ein Zug gleichzeitig auf der Brücke ist.

Es gibt viele Formalismen, um Protokolle zu beschreiben (s. a. [3, 19, 24]). Ich verwende sogenannte Transducer,

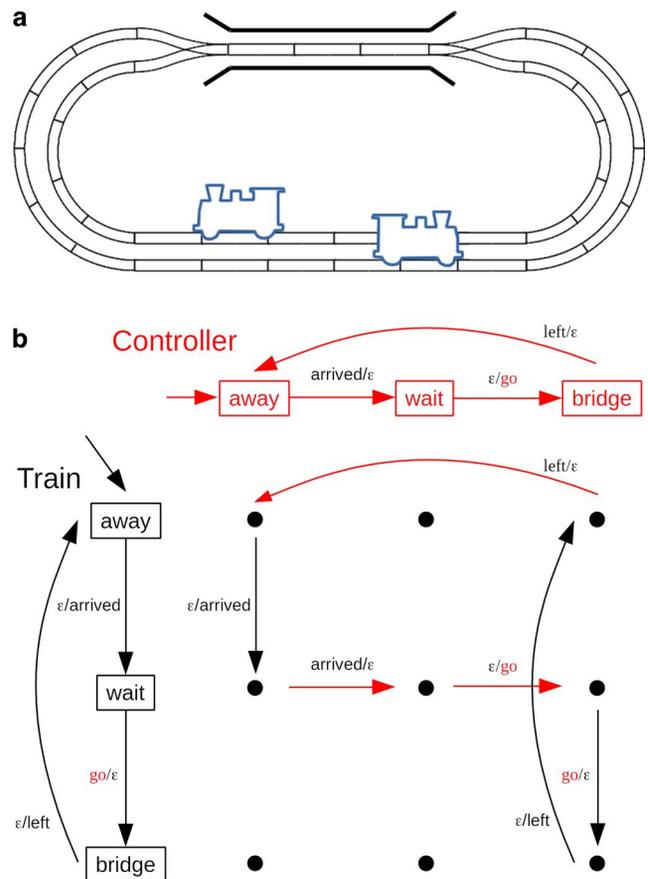


Abb. 3 Die obere Abbildung zeigt zwei Züge, die sich eine gemeinsame Brücke teilen. Es darf sich höchstens ein Zug gleichzeitig auf der Brücke aufhalten. Um dies zu gewährleisten, kommunizieren beide Züge mit einem Controller. Die untere Abbildung zeigt das Zustandsdiagramm des Protokolls, das Zug (schwarz) und Controller (rot) miteinander sprechen

also Automaten, deren Transitionen einen Startzustand p und ein Eingabezeichen i auf einen Zielzustand q und ein Ausgabezeichen o abbilden, sich also darstellen lassen als $p \xrightarrow{i/o} q$. Sie eignen sich meiner Meinung nach besonders gut, weil ihre Kopplung genauso wie bei den einfachen Systemen durch die „ausgetauschten“ Zeichen erfolgt, sich mit ihnen gut die Verwandtschaft von Protokollen zu Spielen zeigen lässt [23, 24] und sich auch ein interessantes Modell für die Bedeutung der ausgetauschten Zeichen ergibt [25].

Die Rollen von Zug und Controller im Protokoll sind nur ein winziger Ausschnitt aus diesen tatsächlichen Systemen. Sowohl für den Zug als auch für den Controller wähle ich ein Modell aus drei Zuständen, $Q_{Z_{1,2}/C} = \{away, wait, bridge\}$. Das Eingabealphabet der Züge $I_{Z_{1,2}} = \{go\}$ ist das Ausgabealphabet des Controllers O_C und ebenso ist das Ausgabealphabet der Züge $O_{Z_{1,2}} = \{arrived, left\}$ gleich dem Eingabealphabet des Controllers I_C . Initial sind Zug und Controller im Zustand „away“. Kommt der Zug an, signalisiert er dem Controller „arrived“, der in seinen *wait*-Zustand wechselt. Wenn der Zug aus Sicht des Controllers die Brücke passieren kann, signalisiert der Controller dies mit „go“, während ihm der Zug mit „left“ signalisiert, dass er die Brücke verlassen hat.

Das Protokoll zwischen Zug und Controller weist die wichtige Eigenschaft der Konsistenz [24] auf: Es ist vollständig, da keine zusätzlichen externen Zeichen vorkommen, es ist wohlgeformt, in dem alle gesendeten Zeichen auch geeignet empfangen werden können. Es ist unterbrechbar, weist also keine unendlich langen Interaktionsketten auf und erfüllt seine Akzeptanzbedingung, dass es jeweils die drei Zug- und Controllerzustände unendlich oft durchläuft.

Werden die Protokolle komplexer, lassen sich Transitionen zu Äquivalenzklassen zusammenfassen, wie u. a. in [24] dargestellt, was zum Dokumentenbegriff führt.

Andere Systemmodelle

Im weiteren gebe ich eine Auswahl an Systemmodellen, die jeweils mit eigenen Kompositionsoperatoren einhergehen.

Blockdiagramme als Systeme

Hierarchische Blockdiagramme, wie sie etwa die Simulationsumgebungen Simulink und Ptolemy als „kleinsten gemeinsamen Nenner“ anbieten, bestehen im Wesentlichen aus sogenannten Ports im Sinne getypter Variablen, die unseren Shannon-Zustandsfunktionen entsprechen, mittels derer die Blöcke verschaltet werden können [14, 27]. Ohne Bezug auf eine Abbildung gibt es jedoch kein Kriterium, dass die Zusammenfassung der Ports eigentlich rechtfertigt. Insbesondere bleibt dabei auch völlig unbestimmt, ob

wichtige Eigenschaft, wie eine gewisse Lebendigkeit, durch Komposition erhalten bleiben oder nicht.

Manfred Broys Systemmodell

Ein Beispiel für eine Modell interaktiver Systeme, das allein auf Ein- und Ausgabehistorien beruht und auf die explizite Beschreibung eines internen Zustands verzichtet, liefert Manfred Broy [10]. Die Menge der (getypten) Ein- und Ausgabekanäle bezeichnet er als „syntaktisches Interface“ und die Relation zwischen den Ein- und Ausgabehistorien als „semantisches Interface“. Problematisch an diesem Ansatz ist, dass sich die Ein- und Ausgabehistorien zusammengesetzter Komponente nicht ausschließlich aus den Ein- und Ausgabehistorien der Teilkomponenten ergeben [9]. Stattdessen sind weitere Annahmen über Kausalität im Sinne einer partiellen Ordnung der Ereignisse der Historien untereinander notwendig, die auch Manfred Broy entsprechend einführen muss.

Das Systemmodell BIP

Die Gruppe um Joseph Sifakis hat das Komponentenmodell „Behavior, Interaction, and Priority (BIP)“ entwickelt [4] um interaktive Systeme zu beschreiben. Atomare Komponenten werden als finite Automaten beschrieben. Die Komposition verschiedener Komponenten entsteht durch Konnektoren, die Interaktionen beschreiben in dem Sinne, dass gegebene Bedingungen zu erfüllen sind unter denen Variablenwerte in vorgegebener Richtung zwischen mit ihren Ports registrierten Komponenten ausgetauscht werden. Dabei lassen sich Prioritäten angeben, mit denen unter zwei Interaktionen ausgewählt werden kann, falls beide ermöglicht wären.

Dieses Modell ist nach meinem Verständnis dem in [24] vorgestellten Modell für interaktive Systeme mit seiner Aufteilung des Zustands und seiner Regelorientierung recht ähnlich. Aber es wird nicht hinreichend klar zwischen dem Informationstransport und der Verarbeitung unterschieden, weil Berechnungen sowohl in den Automaten, als auch in den Konnektoren durchgeführt werden.

Synchrone reaktive Systeme

In der Verschaltung digitaler Systeme, wie logischer Gatter oder Flipflops, beziehen sich Ein- und Ausgabe u. U. auf „denselben“ Zeitpunkt und nur das Update eines eventuell vorhandenen inneren Zustands bezieht sich auf den nächsten Zeitpunkt.

$$q(t') = f^{\text{int}}(\text{in}(t), q(t))$$

$$\text{out}(t) = f^{\text{ext}}(\text{in}(t), q(t))$$

Dieses Systemmodell ist Grundlage der synchron reaktiven Systeme [2, 5] und hat seinen Niederschlag in einer ganzen Reihe von Hardwarebeschreibungssprachen gefunden, wie etwa Lustre, Esterl, Signal oder VHDL/Verilog.

Andere Interface und Komponentenmodelle

Unter dem Blickwinkel der Komposition müssen die Interface- und Komponentenmodelle wenigstens so vielfältig sein, wie die Systemmodelle mit ihren verschiedenen Kompositionskonzepten. Die Vorstellungen von Manfred Broy hatte ich schon beschrieben. Luca de Alfaro und Thomas Henzinger gehen in [14] vom Systemmodell des Blockdiagramms aus, das nicht primär auf das Abbildungsverhalten zielt. Ihr Interfacekonzept scheint mir eher eine Spezifikation zu sein, wofür spricht, dass ihr Interface im Gegensatz zu ihrer Komponente Anforderungen an die Umgebung stellen kann, etwa dass eine bestimmte Eingangsgröße ungleich Null sein muss. Das erklärt vielleicht auch ihre Einschätzung, „Nondeterminism in interfaces ...seems unnecessary“, die, verstanden als Interface in meinem Sinn, falsch wäre.

Den Erfolg des Interfacekonzepts der Operation lässt sich daran ablesen, dass inzwischen hierarchisch komponierende Komponentenmodelle allgegenwärtig sind. Für viele Programmiersprachen gibt es mittlerweile Paketmanager, von denen jeder mehr als 100.000 Pakete verwaltet [12].

Problematisch wird es, wenn die Auffassung vertreten wird, dass alleine den Operationen ein Interfacecharakter zukommt (z. B. aktuell [8]). In ihrem Überblick über Komponentenmodelle unterscheiden Ivica Crnkovic et al. [13] zwischen „operationsbasierter“ und „portbasierter“ Schnittstellenunterstützung und zeigen damit auf, dass viele der derzeit wichtigen Komponentenmodelle tatsächlich die Deklaration von Protokollschnittstellen nicht unterstützen.

Verteilte Objekte

Verteilte Objektmodelle wurden unter der Vorstellung entwickelt, dass die Kapselung des internen Zustands durch eine vorab definierte Menge an Operationen im Sinne eines abstrakten Datentyps diesen Zustand gegenüber der Außenwelt „verbirgt“ und ein solches Objekt „autonom“ sei, womit eine „lose“ Kopplung zwischen Applikationen erreicht werden könne [11]. Entsprechende Komponentenmodelle sind etwa CORBA, DCOM oder auch OPC-UA.

Tatsächlich aber lässt sich nach unserer Definition nur die kompositionale Struktur hinter einem objektorientierten Interface verbergen, nicht aber die Logik der jeweiligen Abbildung. Damit werden entfernte Objekte logisch gesehen genauso zu einem Teil der „einen Applikation“ wie lokale Objekte und von „loser Kopplung“ kann keine Rede sein.

Service orientierte Architektur (SOA)

OASIS definiert eine SOA eher vage als „paradigm for organizing and utilizing distributed capabilities that may be under the control of different ownership domains.“ [22]. Ein „Service“ wird definiert als „The performance of work (a function) by one for another.“ und als „mechanism by which needs and capabilities are brought together“. Eine SOA wird aktuell etwa für die Industrie 4.0 [15] oder in der NATO [1] (Vol. 2) propagiert.

Tatsächlich geht keine der Servicedefinitionen auf dessen Transformationsverhalten ein, etwa ob er eine Funktion zu repräsentieren hat, also ein deterministisches Verhalten zeigen sollte, oder nicht [28]. Damit sind SOA-Interfaces nach dem vorgestellten Modell der Komposition nicht wohldefiniert.

Problematisch ist die Namensgebung als „Dienst“ v. a. weil in dem Gebiet der Ökonomie sich eine „Dienstleistung“ gerade nicht als einfache Funktion darstellt, wie es die SOA mit ihrer WSDL-Interfacesyntax suggeriert. Um das Beispiel aus [26] aufzugreifen: Zum Streichen einer Wand in einem neu gebauten Haus muss man Angebote einholen, ein Angebot annehmen, Termine vereinbaren und ggfs. neu arrangieren, das Ergebnis überprüfen und im Falle der Annahme die Rechnung bezahlen und schließlich die Dokumente für die Steuererklärung aufbewahren – ein Verhältnis voller Zustand, Asynchronität und Nichtdeterminismus. Eben aus diesem Grund beschreibt die Ökonomie diese Interaktionen mit Spielen, deren informatisches Pendant die Protokolle sind [23, 24].

Representational State Transfer (REST)

Der Representational State Transfer (REST) [17] kann als der Versuch angesehen werden, die Prinzipien der zustandslosen Kommunikation zusammen mit der semantischen Agnostik – beides Prinzipien des sehr erfolgreichen Hypertext Transfer Protokolls (HTTP) – auf die Interaktionen von Netzwerkanwendungen zu übertragen. Gegenwärtig wird es oft als eine einfachere Variante von SOA positioniert. Ein REST-Aufruf soll dem Prinzip der Adressierbarkeit genügen, dass jede Ressource eine eindeutige URI haben muss, und der Zustandslosigkeit, dass jede REST-Nachricht alle Informationen enthalten soll, die für die von ihr initiierte Verarbeitung notwendig sind.

In gewisser Weise beruht REST meiner Meinung nach auf einem Missverständnis über die Rolle des Zustands in verteilten Applikationen. Wollte ich etwa einer Bank bei der Überweisung alle Informationen mitgeben, die diese für die weitere Verarbeitung benötigt, dann wüsste sie meinen Kontostand nicht. Ein interessanter Gedanke. Das eigentliche Transformationsverhalten ist explizit nicht Teil der Semantik eines REST-Aufrufs, ebenso wenig eine even-

tuelle Beziehung zwischen verschiedenen REST-Aufrufen. Entsprechend repräsentieren REST-„Interfaces“ eher generische Transportfunktionen, was auch ihre vermeintliche „Vielseitigkeit“ erklärt. Überträgt man die erfolgreichen „Prinzipien“ der Informationsübertragung auf die Informationsverarbeitung, erhält man eben nur Informationsübertragung.

Zusammenfassung und Ausblick

Das Kompositions-konzept gibt uns mit vergleichsweise geringem mathematischen Aufwand einen mächtigen Begriff in die Hand, um über Interoperabilität zu reden. Es ergeben sich recht zwanglos der Begriff des Interface, der Komponente, sowie der Begriff der Ersetzbarkeit und der Kompatibilität, ohne dass wir uns auf die konkrete Struktur eines Systemmodells beziehen müssen.

Je nachdem, unter welchem Kompositions-konzept wir die Welt betrachten, sieht sie scheinbar gänzlich anders aus: In der Welt der vollständigen Systeme dominiert die Systemfunktion und die hierarchische Komposition. Für den Informatiker ist dies die Welt der Berechenbarkeit, in der wir die Verarbeitbarkeit der Informationen durch ein Datentypsystem garantieren, Operationen im Wesentlichen mit Verben in Imperativform benennen und die explizite Darstellung von Kommunikation eliminieren können.

In der Welt der Interaktionsnetzwerke, in der viele Systeme vergleichsweise unabhängig agieren, eigene Entscheidungen treffen und kein System das Verhalten aller anderen Systeme bestimmt, dominieren die Protokolle. Für den Informatiker ist dies die Welt der nichtdeterministischen Zustandsautomaten, die ihre Zustandsübergänge für die Empfänger so dokumentieren, dass sie von diesen „verstanden“ werden können. Der Informationsaustausch spielt in der Darstellung eine zentrale Rolle, die ausgetauschten Informationen erhalten Dokumentencharakter und werden von uns mit Hauptwörtern bezeichnet: Bestellung, Rechnung, Überweisung, etc.

Beide Weltansichten sind nicht scharf voneinander abgegrenzt: Was in einer Interaktion nichtdeterministisch erscheint, kann durch eine weitere Interaktion erzwungen sein. Ebenso kann eine Operation Daten nur transportieren und nicht „verarbeiten“; bzw. eine eigentlich vorgesehene Verarbeitung kann ausnahmsweise auch einmal schief gehen, und eine Modifikation der Komposition provozieren. Die kooperative Aufgabe, für die ein Protokoll steht, kann auf einer höheren Ebene als Funktion, ggfs. mit Ausnahmen betrachtet werden. Usw.

Das bedeutet, dass das Softwareengineering beim Bau von Applikationen der Spannung ausgesetzt ist, einerseits Systeme über Funktionen zu beschreiben, aber andererseits diese Systeme nur durch nichtdeterministische, zustandsbe-

haftete Interaktionen in die gewünschten Interaktionsnetzwerke einbinden zu können. Ignoriert man diese Spannung und beschreibt interaktive Systeme tatsächlich mit einer explizit ausformulierten Systemfunktion, dann verliert man leider jede Garantie, dass kleine Änderungen in einzelnen Interaktionen auch nur kleine Änderungen in der Struktur der Applikation zur Folge haben wird.

Dies führt zu der naheliegenden Forderung durch eine „interaktionsorientierte Architektur“ hier einen Ausgleich zu finden. Den Ansatz dazu liefert meiner Meinung nach die Inhomogenität der Komposition von Rollen zu Protokollen (3), also dass das Resultat der Komposition von Rollen selbst keine Rolle, sondern ein Protokoll ist. Deswegen müssen wir uns für die Komposition von (einfachen) Protokollen zu (komplexeren) Protokollen nach einer weiteren Kompositionsregel umschauchen, die sich wiederum auf die Rollen beziehen muss. Wenn wir die Kompositionsrelation (3) als „äußere“ Komposition ansehen, dann wäre die gesuchte Kompositionsregel zur Verknüpfung der Rollen eine „innere“ Komposition im Sinne einer Rollenkoordination [24]. Der Aufbau einer Applikation unter Erhalt der Rollen hätte zur Folge, dass die Korrektheit der Implementierung einer Protokollrolle nicht von Änderungen in anderen Rollen beeinflusst wird.

Das Verständnis von Komposition in den Mittelpunkt der Debatte über die effiziente Herstellung von Interoperabilität zu stellen, impliziert unmittelbar die Aufforderung, die Protokolle wieder stärker in den Mittelpunkt der Vernetzung zu rücken [6]. Könnte die Informatik ein hinreichend einheitliches Verständnis für diese Form des Interfaces lose gekoppelter Applikationen erreichen, dann ließe sich vielleicht sogar der Trend des Internets der letzten 20 Jahre, sich von einer Welt der öffentlichen Protokolle in eine Welt der proprietären Plattformen zu transformieren, wieder rückgängig machen. Dazu könnte ebenfalls beitragen, wenn dem öffentlichen und multilateralen „Sprach“-Charakter der Protokolle folgend, der Gesetzgeber hier ordnungspolitisch die Offenlegung und freie Verwendung vorsieht.

Danksagung Mein besonderer Dank geht an Arend Rensik, dessen Vortrag „Compositionality huh?“ im Rahmen des Dagstuhl Workshop „Divide and Conquer: the Quest for Compositional Design and Analysis“ im Dezember 2012 mich letztlich zu diesem Denkansatz inspiriert hat. Ebenso bedanke ich mich herzlich bei meinem Kollegen Martin Härterich für seine Bereitschaft, mit mir frühere Versionen dieser Arbeit zu diskutieren und mir insbesondere zu Kompatibilität und Ersetzbarkeit wertvolle Anregungen zu geben.

Literatur

1. NATO Interoperability Standards and Profiles (2020) ATO standard allied data publication ADatP-34, edition M, version 1
2. Alur R (2015) Principles of cyber-physical systems. MIT Press, Cambridge

3. Baier C, Katoen J-P (2008) Principles of model checking. MIT Press, Cambridge
4. Basu A, Bensalem S, Bozga M, Bourgos P, Sifakis J (2011) Rigorous system design: the bip approach. In: International doctoral workshop on mathematical and engineering methods in computer science. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, S 1–19
5. Benveniste A, Caspi P, Edwards SA, Halbwachs N, Le Guernic P, De Simone R (2003) The synchronous languages 12 years later. *Proc IEEE* 91(1):64–83
6. Bitkom (2020) Vorschlag zur systematischen Klassifikation von Interaktionen in Industrie 4.0 Systemen – Hinführung zu einem Referenzmodell für semantische Interoperabilität (White paper)
7. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2019) Leitbild 2030 für Industrie 4.0, Digitale Ökosysteme global gestalten
8. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2020) Details of the asset administration shell. Part 2 – Interoperability at runtime – exchanging information via application programming interfaces (version 1.0RC01)
9. Brock JD, Ackerman WB (1981) Scenarios: a model of non-determinate computation. In: International colloquium on the formalization of programming concepts. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, S 252–259
10. Broy M (2010) A logical basis for component-oriented software and systems engineering. *Comput J* 53(10):1758–1782
11. Chin RS, Chanson ST (1991) Distributed, object-based programming systems. *ACM Comput Surv (CSUR)* 23(1):91–124
12. Cox R (2019) Surviving software dependencies. *Commun ACM* 62(9):36–43
13. Crnkovic I, Sentilles S, Vulgarakis A, Chaudron MRV (2011) A classification framework for software component models. *Softw Eng IEE Trans* 37(5):593–615
14. De Alfaro L, Henzinger TA (2001) Interface theories for component-based design. In: International workshop on embedded software. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, S 148–165
15. DIN (2016) SPEC 91345:2016-04 Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0)
16. DIN e.V., DKE (2020) Deutsche Normungsroadmap Industrie 4.0, Version 4
17. Fielding R (2000) Architectural styles and the design of network-based software architectures. PhD thesis, University of California, Irvine
18. Harel D, Pnueli A (1985) On the development of reactive systems. In: Apt KR (Hrsg) Logics and models of concurrent systems. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, S 477–498
19. Holzmann GJ (1991) Design and validation of computer protocols. Prentice-Hall, Upper Saddle River
20. Kleene S (1936) General recursive functions of natural numbers. *Math Ann* 112(5):727–742
21. Lamport L (2010) Computer science and state machines. In: Concurrency, compositionality, and correctness. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, S 60–65
22. OASIS (2006) Reference model for service oriented architecture 1.0. <http://docs.oasis-open.org/soa-rm/v1.0/>. Zugegriffen: 17. Jan. 2015
23. Reich J (2009) The relation between protocols and games. In: Fischer S, Maehle E, Reischuk R (Hrsg) 39. Jahrestagung der GI, Lübeck. LNI, Bd. 154, S 3453–3464
24. Reich J (2020) Composition, cooperation, and coordination of computational systems (preprint arXiv:1602.07065, 2016/2020)
25. Reich J (2020) A theory of interaction semantics (preprint arXiv:2007.06258)
26. Reich J, Schröder T (2020) A simple classification of discrete system interactions and some consequences for the solution of the interoperability puzzle. *ifac* 53(2):8290–8296. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.1921>
27. Tripakis S (2016) Compositionality in the science of system design. *Proceeding IEEE* 104:960–972
28. (2007) Web Services Description Language (WSDL) version 2.0 part 1: core language. <http://www.w3.org/TR/wsdl20/>. Zugegriffen: 17. Jan. 2015

Erratum zu: Komposition und Interoperabilität von IT-Systemen

Johannes Reich¹

Online publiziert: 8. September 2021
© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2021

Erratum zu:
Informatik Spektrum 2021
https://doi.org/10.1007/s00287-021-01376-6

In der Originalpublikation des Beitrags kam es leider zu 4 Fehlern.

(1)

Die zu Abb. 1 gehörende Formel ist dort nicht zu finden und lautet wie folgt:

$$\begin{pmatrix} q(t') \\ out(t') \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \int^{int} (q(t), in(t)) \\ \int^{ext} (q(t), in(t)) \end{pmatrix}.$$

(2)

In Abb. 3 ist der Text zur Abbildung nicht ganz korrekt. Durch die Platzierungsänderung der Teile a und b während des Produktionsprozesses stimmen die Begriffe „links/rechts“ nicht mehr und müssen durch die Begriffe „oben/unten“ ausgetauscht werden. Der korrekte Text ist demnach:

Die *obere Abbildung* zeigt 2 Züge, die sich eine gemeinsame Brücke teilen. Es darf sich höchstens 1 Zug gleichzeitig auf der Brücke aufhalten. Um dies zu gewährleisten, kommunizieren beide Züge mit einem Controller. Die *untere Abbildung* zeigt das Zustandsdiagramm des Protokolls, das Zug (*schwarz*) und Controller (*rot*) miteinander sprechen.

Die Online-Version des Originalartikels ist unter <https://doi.org/10.1007/s00287-021-01376-6> zu finden.

✉ Johannes Reich
johannes.reich@sap.com

¹ SAP SE, Dietmar-Hopp-Allee 16, 69190 Walldorf, Deutschland

(3)

In Abb. 2a muss es im Kasten von S_{ges} nicht „ $out_{ges}(t) = 2 * in_{ges}(t) + 5$ “ heißen, sondern „ $out_{ges}(t+1) = 2 * in_{ges}(t) + 5$ “.

(4)

Die korrekte Adresse des Autors lautet: SAP SE, Dietmar-Hopp-Allee 16, 69190 Walldorf, Deutschland
Der Originalbeitrag wurde korrigiert.

Ethik in der agilen Software-Entwicklung

Alexander Pretschner^{1,2} · Niina Zuber¹ · Jan Gogoll¹ · Severin Kacianka² · Julian Nida-Rümelin^{1,3}

Angenommen: 16. Juli 2021 / Online publiziert: 30. August 2021
© Der/die Autor(en) 2021

Zusammenfassung

Nicht erst seit der anstehenden EU-Gesetzgebung zur Regulation von Künstlicher Intelligenz (KI) spielt die Berücksichtigung und Verwirklichung von Normen und Werten in technischen Systemen eine wesentliche Rolle. In diesem Aufsatz zeigen wir, dass, warum und wie agile Entwicklungsmethoden wie Scrum hervorragend geeignet sind, Werte in die Softwareentwicklung und in Softwareprodukte einzubetten; wie ein Entwickler so seine individuelle Verantwortung wahrnehmen kann; und wie die Diskussion um Ethik in der KI, auf Software allgemein erweitert, letztlich einen nächsten Schritt auf dem europäischen Weg zur digitalen Souveränität bedeuten kann.

Software, nicht KI!

Das starke gesellschaftliche Echo auf die Versprechungen der künstlichen Intelligenz und vor allem des Maschinenlernens hat zu einer erneuten Debatte zu Ethik in der Technik geführt, wie wir sie in dieser Breite zuletzt zur Präimplantationsdiagnostik, zum Klonen oder zur Nuklear- und Gentechnik erlebt haben. Die Kernfrage in solchen Debatten ist dann, welche Werte wir in der technischen Entwicklung und Forschung sowie in entsprechenden Produkten berücksichtigen können; und auch, ob und wie weit wir die Technologie überhaupt zulassen sollen. Das Grundproblem ist nicht neu, denn die Entwicklung von Technik wirft bereits bei Aristoteles philosophisch relevante Fragestellungen auf, die er in seiner *Nikomachischen Ethik* thematisiert [1]. Eine eigenständig systematische Herangehensweise der Technikphilosophie im modernen Sinne wurde 1877 durch Ernst Kapp eingeführt [11]. Seither firmieren technikphilosophische Betrachtungen und Ansätze unter verschiedenen Namen mit unterschiedlichen Facetten: Technikfolgenabschätzung, value-sensitive Design, responsibility-driven Design usw. [5, 8, 23]. Vor allem die Erkenntnis, dass Software zunehmend in allen Lebensbereichen Entscheidungen

trifft oder zumindest den Systembenutzern Entscheidungsgrundlagen liefert, gepaart mit einem damit einhergehenden Gefühl des Kontrollverlusts, trägt zur aktuellen Popularität dieser neu aufgelegten Ethikdebatte bei.

Den Softwareingenieur muss es erstaunen, dass sich die aktuelle Ethikdebatte auf KI fokussiert und, mit wenigen Ausnahmen wie etwa dem IEEE P7000/D3-Draft [10], nicht auf Software im Allgemeinen. Natürlich gibt es spezifische mit KI einhergehende ethische Herausforderungen. Letztlich erscheint es aber für die Umsetzung von Werten sekundär, ob ein Stück Software algorithmisch oder datengetrieben implementiert wird (auch wenn offensichtlich im zweiten Fall ein weiteres Artefakt operativ berücksichtigt werden muss). Ob ein komplexer Algorithmus in einem verteilten System wirklich so viel weniger „gefährlich“ oder transparenter ist als ein gelernter Entscheidungsbaum oder ein neuronales Netz, darüber kann man vielleicht geteilter Meinung sein. In diesem Aufsatz wollen wir uns der Frage widmen, wie man bereits bei der Softwareentwicklung allgemein ethische Werte implementieren kann. Es stellt sich heraus, dass die agile Entwicklung einen hervorragenden Ausgangspunkt darstellt [25].

✉ Alexander Pretschner
alexander.pretschner@tum.de

¹ Bayerisches Forschungsinstitut für Digitale Transformation, München, Deutschland

² Technische Universität München, München, Deutschland

³ Ludwig-Maximilians-Universität München, München, Deutschland

Codes of Conduct

In den letzten 10 Jahren sind über 100 Codes of Conduct zur Entwicklung von Software entstanden, die von berufsständischen Vereinigungen, Firmen, NGOs und Wissenschaftlern entwickelt worden sind. Diese Codes benennen im Wesentlichen allgemein akzeptierte Werte wie Teilhabe, Transparenz, Fairness, Letztentscheidung beim Menschen usw.

[6]. Da sie nicht aus völkerrechtlich verbindlichen Menschenrechten abgeleitet sind, können sie keine allgemeine Verbindlichkeit beanspruchen. Zudem zeichnen sie sich durch einen hohen Abstraktionsgrad aus, der ihre konkreten Implikationen oft im Unklaren lässt. In der Praxis des Software Engineering bieten diese Codes daher oft nicht das erhoffte Maß an praktischer Orientierung. Für die Ingenieure liefern sie keine unmittelbare Handlungsanweisung und lassen sie entsprechend ratlos zurück.

Enttäuschung ist allerdings eine Funktion der Erwartung, und die Erwartungen der Praktiker sind wohl zu hoch gesteckt. Wahrscheinlich liegt die nicht unmittelbare Anwendbarkeit in der Natur der Sache und ist nicht vermeidbar: Software ist allgegenwärtig und kontextspezifisch, und kontextspezifisch ist auch das Software Engineering [4]. Es erscheint fast absurd, dann zu erwarten, in einem Code of Conduct ein auf alle Kontexte passendes Werkzeug für die ethische Implementierung von Werten in Software zu finden. Das ist schlicht unmöglich. Deswegen muss die Einbettung von Werten in die Software(entwicklung) immer fallspezifisch geschehen.

Spielarten der Ethik

Die Ethik ist ein ungemein facettenreiches Feld der Philosophie [14]. In der Interaktion mit Ingenieuren und Studierenden der Informatik spielt zumeist implizit die sogenannte konsequentialistische Ethik eine gewichtige Rolle. Diese Theorie bewertet Handlungen hinsichtlich ihrer Konsequenzen, die sich aus den zu treffenden Entscheidungen ergeben werden. In der durch das Buch von Ferdinand von Schirach popularisierten Frage beispielsweise, ob ein von Terroristen gekapertes Flugzeug beim Anflug auf ein vollbesetztes Stadion abgeschossen werden darf, stellt die Antwort „lieber wenige Tote als viele Tote“ einen klar konsequentialistischen Standpunkt dar. Möglicherweise ist dieses bei Technikern oft intuitive Verständnis von Ethik ihrer Ausbildung geschuldet [21]: Sie werden trainiert, Probleme zu lösen und über Trade-offs und Konsequenzen nachzudenken.

Demgegenüber stehen beispielsweise deontologische Theorien, die wir hier vereinfachend zusammenfassen wollen. Diese Theorien bewerten Entscheidungen nicht bzgl. sich ergebender Konsequenzen als richtig oder falsch. Stattdessen erfolgt das Werturteil allein darauf, ob das moralische Gebot erfüllt wird, z. B. der Kant'sche kategorische Imperativ. Gemäß deutscher Rechtsprechung ist es im Beispiel tatsächlich so, dass die genannte Entscheidung zum Abschuss des Flugzeugs nicht getroffen werden darf, weil Menschenleben nicht gegeneinander aufgerechnet werden dürfen. Eine weitere prominente Theorie findet sich in tugendethischen Ansätzen, die nach wünschenswerten Verhaltensweisen fragen, und somit den guten Charakter

adressieren und wie dieser sich in Lebenspraxen entfalten kann [17, 22].

Wir stehen nun vor der Herausforderung, ethische Theorien für die Entwicklung oder Beurteilung von Software fruchtbar zu machen. Das ist nicht offensichtlich, wenn moralisch wünschenswerte Software intuitiv schwer zu identifizieren und zu prüfen ist. Ein Grund dafür ist, dass es unmöglich ist, entscheidende Kriterien zu definieren, die immer in gleicher Weise erfüllt werden sollen. Ethische Überlegungen lassen sich deshalb nicht anhand von Checklisten oder mithilfe vordefinierter Antworten abarbeiten [6], was das Argument der Kontextspezifität von Software noch unterstreicht. Daher bleibt es unabdingbar, jedes neue Designprojekt von Anfang an, während des gesamten Entwicklungsprozesses, seines Einsatzes sowie seiner Wartung kontinuierlich zu evaluieren. Oder anders ausgedrückt: Wir müssen normativ abwägen, urteilen und praktisch argumentieren. Es gilt herauszufinden, welche allgemeinen Prinzipien oder Werte wir als erstrebenswert ausfindig machen und wie man diese in diesem speziellen Fall anwendet. Dies bleibt eine Aufgabe des technologischen Urteilsvermögens [17, 20].

Interessanterweise setzen die genannten Codes of Conduct einzelne Werte oft ohne Begründung fest, was das Unbehagen von Ingenieuren angesichts der mangelnden Konkretheit mit erklären könnte. Die Implementierung dieser Werte ist auch wohlfeil, solange dies keine Widersprüche, Kosten oder Mühen zeitigt: Was ist schon gegen „Transparenz“ zu sagen? Nichts – bis zu dem Zeitpunkt, bei dem Transparenz mit Privatheit kollidiert. Es spricht auch nichts gegen die Entscheidung, ein bestimmtes Produkt etwa im Kontext unbemannter Luftfahrzeuge nicht zu entwickeln – aber die Diskussion wird zu dem Zeitpunkt komplexer, sobald das mit ökonomischen Konsequenzen und der möglichen Entlassung von Mitarbeitern einhergeht. Allein die deskriptive Formulierung von Werten ist also ganz offenkundig nicht hinreichend.

Wir argumentieren im Folgenden, dass die agile Softwareentwicklung eine fallspezifische Berücksichtigung von Normen und Werten ermöglicht, ethische Deliberationen fördert und somit die Lücke schließen kann, die die Codes of Conduct offen lassen und offen lassen müssen.

Individuelle Verantwortung des Software-Ingenieurs

Zuvor müssen wir kurz überlegen, wer bei der Entwicklung und Verwendung softwareintensiver Systeme eigentlich Verantwortung trägt. Im Spektrum von Systemen als eigentlich Verantwortlichen bis hin zum einzelnen Individuum gibt es mindestens 4 Akteure, die Verantwortung übernehmen können und müssen [15, 16, 18, 19]: Die Ge-

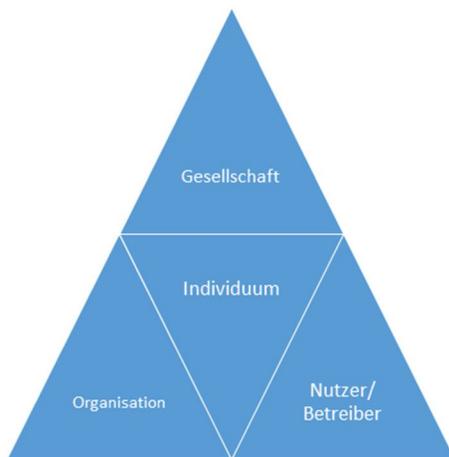


Abb. 1 Geteilte Verantwortung in soziotechnischen Systemen

sellschaft, die das System entwickelnde Organisation und ihre Teilbereiche, der einzelne Entwickler und der Betreiber sowie der Nutzer dieses Systems (Abb. 1). Eine spezifische Form der Gesichtserkennung etwa kann von der Gesellschaft akzeptiert oder verboten werden; eine Organisation kann sich entscheiden, Systeme zur Identifikation von Gesichtern anhand bestimmter Features zu entwickeln; ein Entwickler wählt Daten und Algorithmen aus; und der Betreiber oder Nutzer trägt für möglichen Missbrauch dieses Systems die Verantwortung. Pflegeroboter stellen ein weiteres klassisches Beispiel dar. Nur einige offensichtliche Beispiele für Softwaresysteme, die nicht datenzentriert und nicht primär auf künstlicher Intelligenz basieren, sind Kameraüberwachung ohne Gesichtserkennung, Kommunikationsdienste wie Telegram, Filesharing-Plattformen wie BitTorrent, digitale Währungen wie Bitcoin, elektronische Wahlen, barrierefreie Nutzerschnittstellen, die Auswahl von Präferenzen für Webseiten usw.

Softwareingenieure sind nun ganz offenkundig nicht allein verantwortlich. Und sie sind vor allem auch nicht für alle Externalitäten verantwortlich: Dass Airbnb zu Verwerfungen auf dem Wohnungsmarkt oder Uber zu einer Zunahme des nichtöffentlichen Verkehrs führt, dafür sind Software-Ingenieure nicht verantwortlich. Sie sind aber auch nicht *nicht* verantwortlich. Um die Wahrnehmung ihrer individuellen Verantwortung geht es in unserem Ansatz.

Agilität

Agile Softwareentwicklung und vor allem Agilität als Kultur lässt sich grob vereinfachend auf 4 wesentliche Phänomene reduzieren: Planung, Inkrementalität, Empowerment und Lernen (Abb. 2).

Erstens gibt es die Überlegung, dass bei der berühmten Konferenz zum Software Engineering 1968 in Garmisch

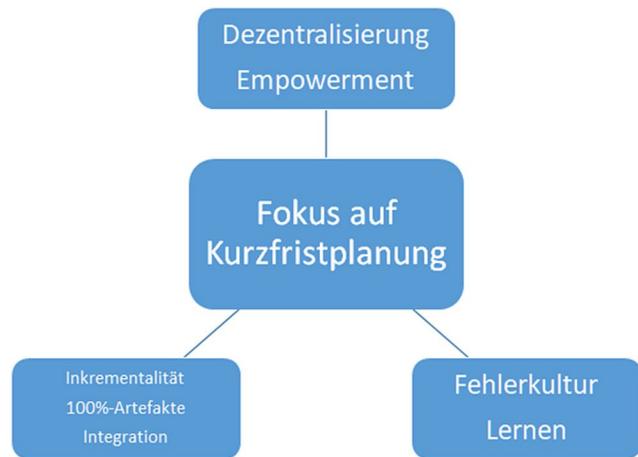


Abb. 2 Zentrale Phänomene der Agilität

zentrale Vorgehensweisen der Produktion von Industriegütern auf Software übertragen wurden. Ein Kern dabei sei die Trennung von *Planung* und Produktion, die sich dann in Ideen wie dem Wasserfall- und dem V-Modell niedergeschlagen haben. Software ist nun i. A. viel flexibler als Industriegüter und ermöglicht so die schnelle Reaktion auf sich ändernde Anforderungen und Kontexte. Unter anderem deswegen wurde diese Trennung in den 1990-Jahren durch Agilität prozessual rückgängig gemacht und die Planung mit der Produktion verwoben. Planbarkeit sei eine Illusion: „Developers and project managers often live (and are forced to) live a lie. They have to pretend that they can plan, predict and deliver, and then work the best way that they know to deliver the system“ [3]. Der Fokus wurde so von der Langfristplanung, die mit Artefakten wie Lastenheften und Pflichtenheften, Spezifikationen und Soll-Architekturen unterfüttert war, hin zu einer sehr präzisen Kurzfristplanung auf Sprint-Ebene verschoben, was mit einer Reduktion der zu entwickelnden Artefakte [2] einherging.

Die Erkenntnis, dass Langfristplanung in einer Welt schwierig ist, in der sich Anforderungen und Technologien ständig verändern (und wegen der Flexibilität von Software auch ändern *können*), führt zweitens fast zwangsläufig zu einer *inkrementellen Entwicklung*. Zentral ist hier die Idee, einzelne Funktionalitäten sequenziell vollständig zu Ende zu entwickeln und dann sofort mit dem jeweils bis jetzt entwickelten (ggf. Legacy-)System zu integrieren, was wie nebenbei die auftretenden kolossalen softwaretechnischen Probleme der Integration von Subsystemen erst nach längerer Zeit adressiert und gleichzeitig ein Schlüssel für Continuous Integration und Deployment ist.

Drittens verändert sich, auch als Konsequenz der Perspektive auf Kurzfristplanung, die Organisationskultur und das Verständnis über die Rolle von Mitarbeitern. In einer Weltsicht, in der feingranulare Spezifikationsdokumente den „Code Monkeys“ zur Bearbeitung übergeben werden,

gibt es Vorgaben treffende „höhere“ und ausführende „niedrigere“ Tätigkeiten. In einer agilen Welt, etwa Scrum, in der die wesentliche Vorgabe sich ändernde grobgranulare Anforderungen in Form sogenannter User Stories im Product Backlog und eben nicht Modulspezifikationen sind, wird dem Team von vornherein und gezwungenermaßen eine größere Gestaltungsfähigkeit zuteil, die sich nun auch auf unterschiedliche Facetten des Systems bezieht, was sich wiederum in crossfunktionalen Teams niederschlägt. Das Team ist im Vergleich zur Welt des Wasserfalls oder auch V-Modells ermächtigt, neudeutsch *empowered*, und verfügt über viel größere Gestaltungsfreiräume. Das Team entscheidet nicht nur, welche Features in einem Sprint bearbeitet werden, sondern auch, wie ein Feature entwickelt wird – und kann so Einfluss auf ethische Konsequenzen nehmen! Das wiederum hat direkte Konsequenzen für die Struktur der Organisation, denn es stellt sich die Frage, was in einer solchen Welt die Rolle von „Managern“ auf verschiedenen Hierarchieebenen ist und erklärt auch, warum agile Softwareentwicklung in nichtagilen Unternehmensstrukturen häufig nicht so funktioniert, wie man sich das gewünscht hätte. Die Möglichkeit der Eigenverantwortung durch Empowerment ist in unseren Augen übrigens auch eine Pflicht zur Eigenverantwortung.

Viertens ist eine zentrale Idee hinter agilen Arbeitsformen eine Fehlerkultur und eine Kultur des *Lernens*, die sich wiederum direkt aus der Fokussierung auf Kurzfristplanung ergibt: Hier werden Fehler passieren, und die Entwicklung von Funktionalität kann sehr wohl zeigen, dass ein gewählter (technischer) Weg so nicht weiter verfolgt werden kann. Wenn das akzeptiert wird und in diesem Sinn Fehler als normal empfunden und gemacht werden dürfen, müssen natürlich Mechanismen zum Lernen aus diesen Fehlern etabliert werden. Das schlägt sich in Scrum etwa in Reviews und Retrospektiven nieder und zeitigt insgesamt die Notwendigkeit einer ständigen empirischen Prozesskontrolle.

Wir möchten hier nicht den Eindruck vermitteln, dass Agilität der eine Hammer für alle Nägel ist – den gibt es nicht. Neben anderen stellen die Größe von Projekten, Domänen mit regulierten Entwicklungsprozessen und Zertifizierungen, Organisation und Logistik der Produktion hardwarebasierter Systeme sowie die Fähigkeit und der nicht immer ausgeprägte Wunsch von Mitarbeitern, eigenverantwortlich zu arbeiten, natürliche und lange bekannte Stolpersteine dar. Uns geht es stattdessen darum, wie Ethik in die Entwicklung von Software eingebaut werden kann, und es zeigt sich, dass die 4 genannten Facetten agiler Entwicklung dies auf sehr natürliche Art und Weise ermöglichen. Die duale Perspektive, inwiefern Charakteristika moderner (agiler) Softwareproduktion als solche ethische Konsequenzen zeitigen, wird von Gürses und Van Hoboken [9] untersucht.

EDAP: Ethical Deliberation in Agile Processes

Erstens haben wir gesehen, dass in Codes of Conduct formulierte Werte einleuchten und unabhängig von Projekt und Konsequenz in einer deontologischen Ethik begründet sein können. Gleichzeitig reicht die deskriptive Formulierung von Werten allein aber für die ethische Entwicklung von Software nicht aus. Insbesondere haben wir dargelegt, dass hier projektspezifisch vorgegangen werden muss. Zweitens übt Software immer eine direkte Wirkung auf unsere Lebenswirklichkeit aus, die auch konsequentialistisch bewertet werden muss. Drittens haben wir erläutert, dass es in agilen Kulturen und insbesondere in der agilen Softwareentwicklung ermächtigte Teams in zunehmend flacheren Hierarchien gibt, die in kurzen Zyklen anhand nur grober Vorgaben eigenverantwortlich Funktionalitäten entwickeln. So können und müssen Software-Ingenieure einen direkten Einfluss auf die Berücksichtigung von Werten durch Technik nehmen. Dieses normative Vorgehen ist zu großen Teilen aber erst dann möglich, wenn konkrete Designentscheidungen anstehen, wenn also Software bereits entwickelt wird, und nicht vollständig vor der Entwicklung. Viertens sind die ständige Reflexion und das Lernen fast gezwungenermaßen Teil einer agilen Kultur, in die sich ethische Überlegungen nahtlos einbetten lassen.

Im EDAP-Schema (Ethical Deliberation in Agile Processes [24]) haben wir diese Puzzleteile zusammengesetzt (Abb. 3). Kernidee ist, dass wir zunächst deskriptiv vorgehen und uns an gesellschaftlichen und organisationsinternen Wertevorgaben ausrichten, also von einem durch Gesellschaft und Organisation definierten Rahmen ausgehen. Das heißt beispielsweise, dass durch Entwickler die Entscheidung nicht mehr fundamental infrage gestellt wird, ob der Geschäftszweck „Assistenzroboter für Ältere“ als solcher überhaupt akzeptabel ist. Im Verhältnis zwischen Product Owner und Auftraggeber werden zweitens ggf. projektspezifisch innerhalb dieses Rahmens zentrale ethische Werte identifiziert, die Teil des Product Backlogs werden. Das kann auf Basis bestehender (heute häufig westlich geprägter) Codes of Conduct ebenso wie kultur- und kontextspezifisch mit anderen Hilfsmitteln und Methoden erfolgen. Dabei spielen auch mögliche Konsequenzen des Einsatzes des Softwaresystems eine Rolle, und so sehen wir hier deutlich die Relevanz sowohl der deontologischen als auch der konsequentialistischen Ethik. In Abb. 3 bezieht sich dies auf die Phasen 1 und 2 des EDAP-Schemas.

Innerhalb jedes einzelnen Sprints geht es drittens darum, diese Werte durch geeignete Mechanismen zu implementieren. Dazu müssen sich Entwickler in jedem Sprint weiterhin über ihre Wertvorstellungen insgesamt klar werden und insbesondere konsequentialistisch über die Folgen einer gewählten Methodik, eines gewählten Lösungsansatzes, einer gewählten Architektur, einer gewählten Implementie-

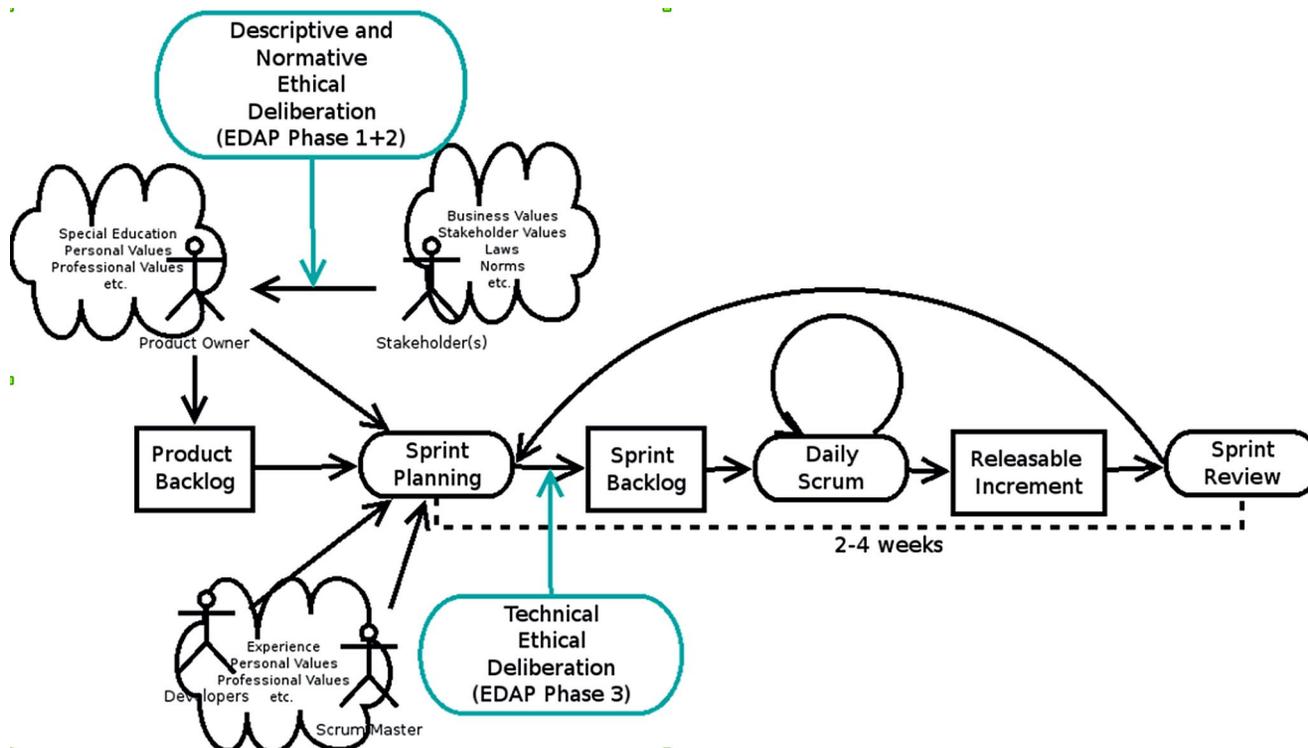


Abb. 3 Das EDAP-Schema und seine Einbettung in Scrum

rung oder eines gewählten Datensatzes nachdenken. Das geht an dieser Stelle viel konkreter als einmalig vor der Entwicklung, weil hier iterativ ein zunehmend ausführliches Verständnis des Systems entsteht. In der Abbildung ist dieser Zusammenhang mit der Phase 3 des EDAP-Schemas gekennzeichnet.

Wir haben oben gesehen, dass ethische Argumente interessant werden, wenn sie im Konflikt mit anderen ethischen oder ökonomischen oder sonstigen Argumenten stehen. Dies kann zu Dilemma-Situationen führen, die per Definition nicht aufgelöst, sondern nur entschieden werden können, weswegen es notwendig ist, diese Diskussion nicht beliebig zu verlängern, sondern eben innerhalb der Planung eines Sprints zu einem Ergebnis zu kommen.

Dieser Prozess ist ein kontextspezifischer Prozess des Reflektierens und der Deliberation, der entsprechend strukturiert und permanent durchgeführt werden muss (Abb. 4). Es gibt den Vorschlag, ständig einen „embedded ethicist“ [12] in Entwicklungsteams aufzunehmen. Das erscheint uns zu schwergewichtig, da dies für kleinere Unternehmen zu teuer wäre und auch generell ein Mangel an Menschen mit diesen Fähigkeiten besteht, der sich nicht schnell beheben lässt. Mit entsprechender Anleitung können die Entwicklungsteams diese Aufgabe bis zu einem gewissen Punkt selbst wahrnehmen. Genau darauf zielt das EDAP-Schema ab: Es umfasst die leichtgewichtige Identifikation, Lokalisation und kritische Reflexion relevanter Werte. Während erstere deskriptive Phasen darstellen, ist letztere bereits we-

sentlich normativ. Zugleich muss immer die technische Umsetzbarkeit oder eben absichtliche Abstinenz erörtert werden. Diesen Prozess können wir mit EDAP systematisch begleiten, um zu begründeten Entscheidungen und technischen Lösungen zu gelangen. Nicht immer bedarf es hierfür einer wissenschaftlich-ethischen Analyse, sondern oft gelangen wir auch mit vortheoretischem Wissen auf ein wünschenswertes Maß ethischer Deliberation.

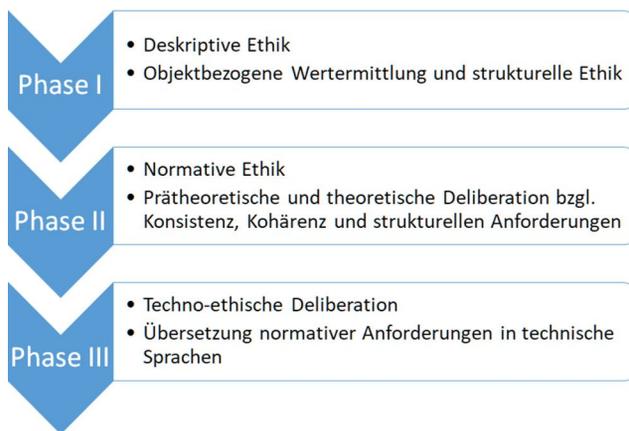


Abb. 4 Die Phasen des EDAP-Schemas

Einbettung in die Informatikausbildung

In den technischen Fächern gibt es zunehmend Bestrebungen, zentrale geistes- und sozialwissenschaftliche Zusammenhänge zu vermitteln, insbesondere im Zusammenhang mit Überlegungen zur Nachhaltigkeit. Es gibt verschiedene Ansätze mit widersprüchlichen Aussagen zu Wirksamkeit [13] und Definitionen der Vermittlung ethischer Zusammenhänge, die von Einführungsvorlesungen zur Ethik über gemeinsame Seminare von Philosophen und Informatikern hin zur tiefen und umfassenden Einbettung von Ethik in ein Informatikcurriculum [7] reichen. Wir wollen diese Diskussion hier nicht aufgreifen, aber kurz erwähnen, dass Programmierpraktika, in denen agile Entwicklung gelernt wird, sich offensichtlich sehr gut zur Einbettung ethischer Überlegungen eignen. An der Technischen Universität München haben wir mit solchen Kursen experimentiert und festgestellt, dass Techniker nach dieser Form von Horizontweiterung geradezu lechzen; dass gleichzeitig das differenzierte Bewusstsein für ethische Zusammenhänge explizit geschaffen werden muss, was wie oben erwähnt vielleicht daran liegt, dass wir Studierende gerade zur Zielstrebigkeit beim Problemlösen erziehen; dass die Einbettung in einen technischen Programmierkurs anstelle einer einzelnen Vorlesung goutiert wird; dass Studenten zu Beginn ausnahmslos konsequentialistisch argumentieren; dass hier eine enge Betreuung durch Ethiker notwendig ist; und dass bzgl. Wirksamkeit und Attraktivität für die Studierenden insgesamt ein sehr positives erstes Resümee gezogen werden kann.

Zusammenfassung

Fassen wir die Zusammenhänge nochmals holzschnittartig zusammen. Agilität lässt sich durch die folgenden zentralen Ideen charakterisieren: (1) Langfristplanung kollidiert mit einer sich ständig ändernden Welt. (2) Kurzfristplanung führt schnell zu einer nichthierarchischen bzw. dezentralisierten Organisation. (3) Dezentralisierung führt zu Empowerment, Eigenverantwortung und großen Gestaltungsfreiräumen bei der Softwareentwicklung. (4) In solchen Strukturen sind Fehler wahrscheinlich und müssen durch explizite Mechanismen des Lernens adressiert werden. Aus ethischer Perspektive ergibt sich die folgende Argumentation: Aus der Eigenverantwortlichkeit der Entwickler entsteht (1) die Verpflichtung, auch ethische Zusammenhänge zu berücksichtigen, und zwar in Form von Werten und Konsequenzen, die sie durch Designentscheidungen beeinflussen können. Weil Entwickler eine knappe Ressource sind und ihren Arbeitgeber wechseln können, verfügen sie (2) über die Macht und die Möglichkeit, ethische Vorstellungen durchzusetzen. (3) In agilen Umgebungen dienen

Werte als Grundlage einer inkrementellen Entwicklung und dann auch eines fortgesetzten Betriebs (DevOps), in der die Auswahl, Implementierung und ggf. kontinuierliches Monitoring von Lösungsansätzen, Daten und Algorithmen durch explizite Überlegungsprozesse fundiert und begleitet werden. (4) Agile Kultur ist aufgrund der sich aus der Kurzfristplanung ergebenden Fehler notwendigerweise reflektierend und lernend, und ein natürlicher Teil dieser Reflexionsprozesse können ethische Erwägungen sein. Im EDAP-Schema haben wir diese Deliberationsprozesse strukturiert, was dem einzelnen Ingenieur hilft, seiner individuellen Verantwortung gerecht zu werden.

Die Berücksichtigung ethischer Werte ist wie das Reflektieren über Nachhaltigkeit wohlfeil, sofern keine Kosten entstehen. Unser Ansatz erlaubt es, Entscheidungen zur Entwicklung von Systemen nicht binär mit „ja“ oder „nein“ zu beantworten und so „die Ethik“ aus der häufig als ver hindernd wahrgenommenen Ecke herauszulösen. Ganz im Gegenteil räumen wir „der Ethik“ große gestalterische Möglichkeiten ein, indem verschiedene technische und methodische Mechanismen zur Implementierung dieser Werte erdacht und verwendet werden können. Gleichzeitig gibt es selbstverständlich ein Spannungsfeld mit der Innovationsfähigkeit, denn „Innovation muss schmutzig sein“ (Thomas Sattelberger), und je mehr Einschränkungen für den Entwurfsraum definiert werden, desto schwieriger wird Innovation offenbar. Wir sind davon überzeugt, dass sich hier Kompromisse finden lassen. Wir sind auch der Ansicht, dass die aktuell durch die EU stattfindende Regulierung von KI letztlich zu kurz greift, weil auch traditionelle algorithmische Systeme unseren Wertvorstellungen widersprechen können und dass gleichzeitig unser EDAP-Schema eine gute Grundlage für die derzeit diskutierte „Selbstzertifizierung“ für nichthochkritische KI-Anwendungen sein kann. Schließlich sind wir überzeugt, dass wir als Europäer selbstbewusst zu unseren Werten stehen und durch die Einbettung dieser Werte in Technologie als Alleinstellungsmerkmal durchaus im internationalen Wettbewerb der Systeme bestehen werden können.

Funding Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften

ten erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

1. Aristoteles (2014) Die Nikomachische Ethik. De Gruyter, Berlin, Boston
2. Beck K, Grenning J, Martin R, Beedle M, Highsmith J, Mellor S, van Bennekum A, Hunt A, Schwaber K, Cockburn A, Jeffries R, Sutherland J, Cunningham W, Kern J, Thomas D, Fowler M, Marick B (2001) Manifesto for agile software development. <http://agilemanifesto.org/>. Zugegriffen: 7. Juli 2021
3. Beedle M, Devos M, Sharon Y, Schwaber K, Sutherland J (1998) SCRUM—an extension pattern language for hyperproductive software development. http://jeffsutherland.com/scrum/scrum_plop.pdf. Zugegriffen: 7. Juli 2021
4. Briand L, Bianculli D, Nejati S, Pastore F, Sabetzadeh M (2017) The case for context-driven software engineering research: generalizability is overrated. *IEEE Softw* 34(5):72–75
5. Friedman B, Hendry DG, Borning A (2017) A survey of value sensitive design methods. *Found Trends Human Comput Interact* 11(2):63–125
6. Gogoll J, Zuber N, Kacianka S, Greger T, Pretschner A, Nida-Rümelin J (2021) Ethics in the software development process: from codes of conduct to ethical deliberation. *Philos Technol*. <https://doi.org/10.1007/s13347-021-00451-w>
7. Grosz BJ, Grant DG, Vredenburg K, Behrends J, Hu L, Simmons A, Waldo J (2019) Embedded EthiCS: integrating ethics across CS education. *Commun ACM* 62(8):54–61
8. Grunwald A (2010) Technikfolgenabschätzung: Eine Einführung Bd. 1. edition sigma, Berlin
9. Gürses S, Van Hoboken J (2017) Privacy after the agile turn. In: Polonetsky J, Tene O, Selinger E (Hrsg) *Cambridge handbook of consumer privacy*. Cambridge University Press, Cambridge
10. IEEE Computer Society (2020) P7000™/D3 draft standard for model process for addressing ethical concerns during system design
11. Kapp E (1877) Grundlinien einer Philosophie der Technik: zur Entstehungsgeschichte der Cultur aus neuen Gesichtspunkten
12. McLennan S, Fiske A, Celi LA, Müller R, Harder J, Ritt K, Haddadin S, Buyx A (2020) An embedded ethics approach for AI development. *Nat Mach Intell* 2:488–490
13. Mulhearn T, Steele L, Watts L, Medeiros K, Mumford M, Connolly S (2017) Review of instructional approaches in ethics education. *Sci Eng Ethics* 23:883–912
14. Nida-Rümelin J (2005) *Angewandte Ethik: die Bereichsethiken und ihre theoretische Fundierung; ein Handbuch*. Kröner, Stuttgart
15. Nida-Rümelin J (2011) *Verantwortung*. Reclam, Leipzig
16. Nida-Rümelin J (2017) *Handlung, Technologie und Verantwortung*. In: *Berechenbarkeit der Welt?* Springer VS, Wiesbaden, S 497–513
17. Nida-Rümelin J (2020) *Eine Theorie praktischer Vernunft*. De Gruyter, Berlin, Boston
18. Nissenbaum H (1994) Computing and accountability. *Commun ACM* 37(1):72–81
19. Nissenbaum H (1996) Accountability in a computerized society. *Sci Eng Ethics* 2(1):25–42
20. Rohbeck J (1993) *Technologische Urteilskraft: Zu einer Ethik technischen Handelns*. Suhrkamp, Berlin
21. Swierstra T, Rip A (2007) Nano-ethics as NEST-ethics: patterns of moral argumentation about new and emerging science and technology. *Nanoethics* 1(1):3–20
22. Vallor S (2016) *Technology and the virtues: a philosophical guide to a future worth wanting*. Oxford University Press, New York
23. Van den Hoeven J, Vermaas PE, Van de Poel I (2015) *Handbook of ethics, values and technological design*
24. Zuber N, Kacianka S, Pretschner A, Nida-Rümelin J (2020) *Ethische Deliberation für agile Softwareprozesse*. In: *Rat für Forschung und Technologieentwicklung* (Hrsg) Digitaler Wandel und Ethik. Ecowin, Elsbethen, S 150–176
25. Zuber N, Kacianka S, Gogoll J, Pretschner A, Nida-Rümelin J (2021) *Empowered and embedded: ethics and agile processes*. arXiv:2107.07249 (Submitted. Preprint available)

Die Enkel von Locard

Analyse digitaler Spuren in der forensischen Informatik

Roman Povalej¹ · Heiko Rittelmeier² · Johannes Fähndrich³ · Silvio Berner⁴ · Wilfried Honekamp⁵ · Dirk Labudde⁶

Angenommen: 10. Juli 2021 / Online publiziert: 3. September 2021
© Der/die Autor(en) 2021

Zusammenfassung

Die seit Jahrhunderten verwendeten Methoden in der Forensik basieren auf der Annahme eines Austausches von Materie und Mustern. Durch die Digitalisierung sind diese Annahmen nur noch eingeschränkt gültig und werden hier erweitert und diskutiert. In dem Zusammenhang ist es erforderlich, den Spurenbegriff grundlegend zu überdenken. Gleichzeitig werfen der ständige technische Fortschritt und die immer größer werdende Flut von auszuwertenden Daten die Ermittlungsbehörden immer wieder zurück. Dieser Entwicklung ist nur durch Automatisierung Herr zu werden. Verfahren der Künstlichen Intelligenz können und werden die Ermittlungsbehörden zukünftig dabei zunehmend unterstützen.

Die Welt ist immer stärker vernetzt. Jeder hat (mindestens) ein digitales Gerät, mit dem er/sie im Internet surft, sich mit Mitmenschen austauscht, Daten hoch- und herunterlädt und vieles mehr. Insofern ist es nicht verwunderlich, dass

auch der digitale Tatort immer stärker in den Vordergrund rückt. Die forensische Analyse digitaler Spuren trägt immer mehr zur Aufklärung von IT-Vorfällen oder gar Straftaten bei. Jeder Täter unterliegt auch in der digitalen Welt Locards Austauschprinzip. Das Zusammenspiel zwischen digitalem Tatort, digitaler Spuren, gerichtsverwertbarer Sicherung von Beweisen unter Zuhilfenahme von intelligenten Assistenzsystemen bei Ermittlungsarbeiten sowie der Nachvollziehbarkeit der erzeugten Ergebnisse ist für die Enkel Locards eine Herausforderung, sodass auch neue Wege des Denkens und Handelns zu beschreiten sind.

✉ Roman Povalej
roman.povalej@polizei.niedersachsen.de

Heiko Rittelmeier
heiko@rittelmeier.de

Johannes Fähndrich
johannesfaehndrich@hfpol-bw.de

Silvio Berner
silvio.berner@polizei.sachsen.de

Wilfried Honekamp
wilfried.honekamp@hochschule-stralsund.de

Dirk Labudde
labudde@hs-mittweida.de

- ¹ Polizeiakademie Niedersachsen, Nienburg (Weser), Deutschland
- ² Nüdlingen, Deutschland
- ³ Hochschule für Polizei Baden-Württemberg, Villingen-Schwenningen, Deutschland
- ⁴ Hochschule der sächsischen Polizei (FH), Rothenburg, Deutschland
- ⁵ Hochschule Stralsund, Stralsund, Deutschland
- ⁶ Hochschule Mittweida – FoSIL, Mittweida, Deutschland

Locard

Seit fast 100 Jahren bildet das Locard'sche Prinzip die Grundlage für die forensische Fallarbeit. Es beschreibt die materielle Übertragung von möglichen Spuren zwischen Tatbeteiligten [1, S. 139]:

Überall dort, wo er geht, was er berührt, was er hinterlässt, auch unbewusst, all das dient als stummer Zeuge gegen ihn. Nicht nur seine Fingerabdrücke oder seine Fußabdrücke, auch seine Haare, die Fasern aus seiner Kleidung, das Glas, das er bricht, die Abdrücke der Werkzeuge, die er hinterlässt, die Kratzer, die er in die Farbe macht, das Blut oder Sperma, das er hinterlässt oder an sich trägt. All dies und mehr sind stumme

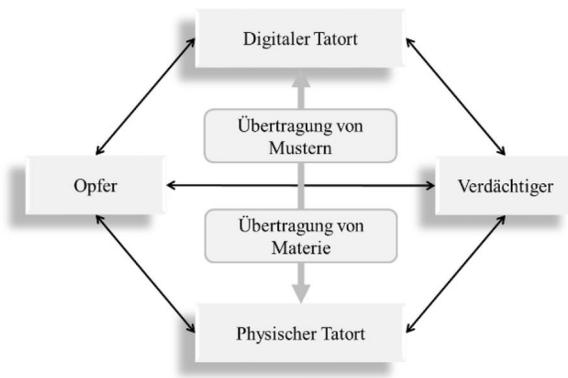


Abb. 1 Erweiterung von Locards Austauschprinzip unter der Annahme, dass der digitale und reale Tatort durch Spuren miteinander in Verbindung stehen. (eigene Abbildung, nach Dewald und Freiling [3])

Zeugen gegen ihn. Dies ist der Beweis, der niemals vergisst. Er ist nicht verwirrt durch die Spannung des Augenblicks. Er ist nicht unkonzentriert, wie es die menschlichen Zeugen sind. Er ist ein sachlicher Beweis. Physikalische Beweismittel können nicht falsch sein, sie können sich selbst nicht verstellen, sie können nicht vollständig verschwinden. Nur menschliches Versagen, diese zu finden, zu studieren und zu verstehen, kann ihren Wert zunichte machen.

Die Wirkung (z. B. eines Tatwerkzeugs) ist in den Veränderungen an den Objekten messbar. Dies kann eine reine materielle Veränderung als auch ein auswertbares Muster sein. Der Übergang von der Übertragung von Materie auf die Übertragung von Mustern („transfer of traits“) (siehe [2]) ermöglicht eine formale Erweiterung dieses Prinzips (siehe auch Abb. 1):

1. Die *Übertragung von Materie* („physical transfer“) ist die Annahme, dass ein Objekt unter wohldefinierter Einwirkung eines anderen Objekts zerteilt wird. Dabei werden Einzelteile von einer Quelle auf ein Ziel übertragen. Bei physischer Einwirkung auf ein Rechensystem können z. B. Datenträger oder Teile davon am Tatort zurückbleiben.
2. Die *Übertragung von Mustern* („transfer of traits“) ist die Annahme, dass charakteristische Eigenschaften von einem Objekt auf ein anderes übertragen werden, ohne dass notwendigerweise Materie ausgetauscht wird. Die charakteristischen Eigenschaften lassen sich als Muster definieren.

Durch die Digitalisierung und die schnelle Einführung von neuen Technologien ergibt sich nicht nur die Frage nach der Allgemeingültigkeit dieses Prinzips, sondern eine zwingend notwendige Erweiterung auf die digitale Fallarbeit. Mittlerweile ist es wissenschaftlich unstrittig, dass auch in der digitalen Welt keine Interaktion ohne Spuren möglich

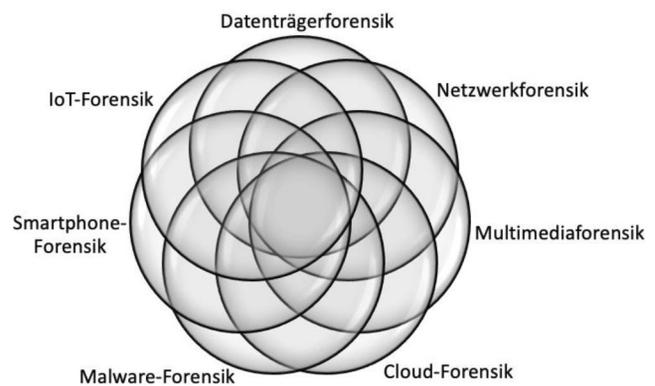


Abb. 2 Spezialgebiete der Forensik und deren resultierende Schnittmenge

ist. Experten – *die Enkel Locards* – müssen also wissen, in welchen Zusammenhängen welche Spuren entstehen, wie diese zu finden sind und wie lange diese beweiskräftig gesichert werden können. Ergänzend beschäftigt sich das noch relativ junge Fach der „Forensischen Informatik“ mit den folgenden Fragestellungen:

- Wie sichert man digitale Spuren so, dass sie während des Untersuchungsprozesses vor Veränderungen geschützt sind?
- Wie bereitet man die Spuren anschließend so auf, dass sie vor Gericht als Beweismittel dienen können?

Als Synonyme werden in der Literatur „Digitale Forensik“ und „IT-Forensik“ verwendet. Ziel dieses wissenschaftlichen Bereichs ist die Suche nach digitalen Spuren jeder Art, deren Sicherung und schließlich die Aufbereitung der Daten, sodass das Gericht am Ende zu einem sachgerechten Urteil kommen kann. Letztendlich ist das Ziel jeder forensischen Untersuchung die gerichtsverwertbare Präsentation der Ergebnisse einer wissenschaftlichen Untersuchung. Dem weiten Themenfeld [4] ist es geschuldet, dass es mittlerweile mehrere Spezialgebiete der digitalen Forensik gibt. Die wichtigsten sowie deren Überschneidungen untereinander sind der Abb. 2 zu entnehmen. Daneben gibt es noch etliche weitere Spezialisierungen, die an dieser Stelle jedoch keinen verallgemeinernden Charakter tragen. Darüber hinaus gibt es noch die Möglichkeit der Einteilung in Post-Mortem- und Live-Forensik sowie entsprechend der untersuchten Technologien [5].

Die Frage jedoch ist, ob eine solche Einteilung, die sich in den letzten Jahren etabliert hat, unter Berücksichtigung der technischen Entwicklung überhaupt noch sinnvoll ist. Sollte sich eine moderne Einteilung nicht vielmehr an den digitalen Spuren selbst orientieren, wobei die Quelle von untergeordnetem Interesse ist?

Locard digital: Tatort und Spuren

Sowohl in der analogen als auch in der digitalen Welt suchen Ermittler an einem Tatort nach Spuren und Beweisen, um dadurch den Tathergang rekonstruieren zu können, sodass ein vernünftiger Zweifel am Tatgeschehen nicht möglich ist (siehe auch [6, 7]). Nach Casey [8] basieren „digitale Spuren“ auf Daten, die in Computersystemen gespeichert oder übertragen wurden. Digitale Spuren, die durch ihre physikalische Eigenschaft, wie z.B. Magnetisierung oder Ladezustand, bestimmt werden können, werden als digitale Daten bezeichnet. Entsprechend werden digitale Spuren zuerst identifiziert, lokalisiert, extrahiert und gesichert, bevor sie in eine verständliche und interpretierbare Form gebracht werden können. Dabei müssen alle Spuren und Beweise gerichtsverwertbar gesichert werden.

Um die Bedeutung von digitalen Spuren während eines investigativen Prozesses zu verstehen, bedarf es einer eindeutigen Klärung des Begriffs „digitaler Tatort“ und der Verortung von „digitalen Spuren“. Folgendes Szenario kann als Illustration dienen und zeigt die Verschmelzung von analoger und digitaler Forensik:

Bei einem Beschuldigten wird ein PC sichergestellt. Der PC verfügt über weitere Peripheriegeräte (Monitor, Webcam, Lautsprecher, externe Festplatten u. ä.), welche ebenfalls der IT-Forensik übergeben werden. Auch wenn der PC als Träger digitaler Spuren gilt, kann dieser in der realen Welt verortet werden und ist Teil eines physischen Tatorts bzw. Ereignisortes. Parallel dazu befindet sich der PC im LAN oder im WLAN des Ereignisortes.

Auch wenn das Locard'sche Prinzip für digitale Spuren gilt, ist es erforderlich den PC einem konkreten Nutzer und dann einer verdächtigen Person zuzuordnen. Hier kann die Stärke der Authentifizierung (Login-Daten) auf dem PC bzw. auf anderen mobilen Endgeräten genutzt werden, um einen Nutzer einer konkreten Person (hier der verdächtigen Person) zuzuordnen. Ist diese Zuordnung erfolgt, können weitere mobile Endgeräte des Tatverdächtigen dem Ereignisort

zugefügt werden. Der digitale Tatort ist durch die Verortung der Geräte Teil des realen (physischen) Tatorts geworden. Aus der Analyse der mobilen Endgeräte können zusätzlich noch Bewegungsdaten oder Verkehrsdaten abgeleitet werden. Durch die Verwendung aller Spuren kann eine Verbindung zwischen dem Opfer bzw. den Opfern und dem möglichen Tatverdächtigen hergestellt werden (siehe auch Abb. 3).

Das Aufkommen an digitalen Spuren auf dem PC ist sehr heterogen, in Bezug sowohl auf die Formate als auch auf die zu verwendenden Werkzeuge. Diese reichen von Textdokumenten, Bildern, E-Mails, Videos über Log-Dateien des jeweiligen Betriebssystems bis hin zu Artefakten auf Ebene der genutzten Dateisysteme. Weitere Spuren können sich auf dem Router oder in der Cloud befinden. Analog zur klassischen Forensik braucht die digitale Forensik Werkzeuge und Vorgehensmodelle. Der PC des Verdächtigen ist ein realer Spurenläger, auf dem die digitalen Spuren als physische Spuren (Magnetisierung, dem Ladezustand oder elektromagnetische Wellen) enthalten sind. Erst durch geeignete Werkzeuge bzw. andere Anwendungen ist eine Interpretation von digitalen Spuren möglich. Mit Interpretation ist hier das Verstehen und die Einschätzung dieser Spuren gemeint [9].

Auch wenn digitale Spuren aus sehr unterschiedlichen Quellen stammen, haben sie wohldefinierte Eigenschaften und Gemeinsamkeiten. Auf der Grundlage der Eigenschaften ist es möglich, sie zu kategorisieren. Betrachtet man die Verwendung von IT-Systemen aus der Sicht von Nutzern so wird deutlich, dass Daten bei jedem Schritt und während Datenverarbeitungen anfallen. Somit ist es unumstritten, dass eine Nutzung von IT-Systemen ohne das Hinterlassen von Datenspuren nicht möglich ist. Spuren entstehen an verschiedenen Orten und können in lokale und nichtlokale Spuren klassifiziert werden. *Lokale Spuren* entstehen auf dem Gerät selbst. Somit erfolgt die Sicherung in der Regel von dem Gerät. Zur Klasse der Geräte zählen IT-Systeme oder Datenträger (unter anderem Computer, Smartphones, Digitalkameras bzw. USB-Sticks, SD-Karten, DVDs). Zur Klasse der lokalen Spuren gehören die Inhaltsdaten einer Datei (z. B. doc-/sqlite-Datei), Dateinamen, Windows Registry, Log-Dateien, temporäre Dateien und auch Backups. *Nichtlokale Spuren* entstehen nicht auf dem Gerät selbst. Sie entstehen an einem anderen Ort, etwa bei Diensten wie Webservern, Mailservern oder sozialen Netzwerken. Auch Daten in einer Cloud, bei Internet Service Providern oder Mobilfunkanbietern gehören dieser Klasse an. Beispiele sind die Inhaltsdaten bei Onlinediensten, Daten aus Überwachungskameras, des Mobilfunkanbieters (wie Standort- und Kommunikationsdaten) oder Verkehrsdaten bei Internet Service Providern.

Eine wichtige Eigenschaft von digitalen Spuren ist die *Flüchtigkeit*. Sie besagt, wie lange Daten unverändert erhal-

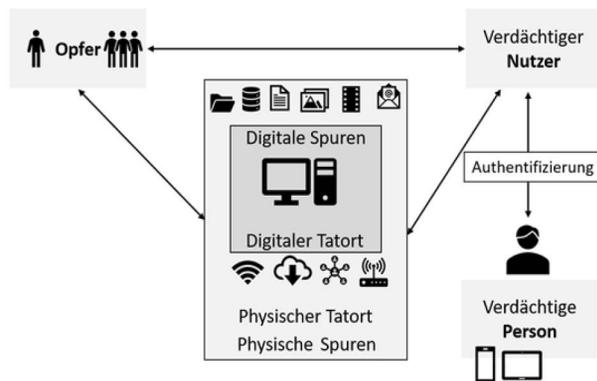


Abb. 3 Zusammenhang digitaler und realer Tatort auf Grundlage des Locard'schen Prinzips über die Verortung digitaler Geräte

ten bleiben. Daraus ergeben sich besondere Aufgaben an die Prozesse in der digitalen Forensik. Die Prozesse müssen effektiv und schnell ablaufen, um einen Verlust von Spuren zu verhindern und Manipulationen zu vermeiden. Das Konzept der Flüchtigkeit enthält 3 Stufen: Persistente, semipersistente und flüchtige Spuren. *Persistente Spuren* bleiben über einen langen Zeitraum, auch ohne permanente Stromversorgung, auf dem Speichermedium erhalten. *Semipersistente Spuren* sind bei aktiver Stromversorgung über einen langen Zeitraum im System gespeichert. *Flüchtige Spuren* sind auch bei einer permanenten Stromversorgung nur kurzzeitig verfügbar. Die Einteilung nach Flüchtigkeit stellt den zeitlichen Rahmen und die Reihenfolge der Sicherung (Order of Volatility) von digitalen Spuren dar.

Elektronische Daten befinden sich in der Regel persistent auf Datenträgern. Die Daten werden für den wahlfreien Zugriff in Dateisystemen organisiert. Dateisysteme sind die häufigste Quelle digitaler Spuren. Wenn Daten gerade verarbeitet werden, müssen sie im flüchtigen Speicher gehalten werden. Zur Übermittlung über Netzwerke werden Daten in der Regel in kleine Pakete zerlegt und von einem Knotenpunkt zum nächsten transferiert, bis sie am Ziel ankommen.

Ein anderes Konzept der forensischen Informatik beschäftigt sich mit der Fragestellung der Vermeidbarkeit. Man unterscheidet nach technisch vermeidbaren („non-essential“) und technisch unvermeidbaren („essential“) digitalen Spuren. Unvermeidbare Spuren sind im Vergleich zu vermeidbaren Spuren für die Funktionsweise essenziell notwendig. Da eine Manipulation bei technisch unvermeidbaren digitalen Spuren mit einem höheren Aufwand verbunden ist, ist die Aussagekraft dieser Spuren auch höher als bei den technisch vermeidbaren Spuren. Dies machen die unvermeidbaren Spuren für den Forensiker besonders vertrauenswürdig und sie besitzen in der Folge eine höhere Beweiskraft [3].

Im forensischen Kontext ergeben sich aus den Eigenschaften von digitalen Spuren unerbittliche Anforderungen an Werkzeuge und Anwendungen für die Sicherung und Analyse. Dazu gehört die Chain of Custody [10]. Dies bedeutet, dass der Nachweis über den Verbleib und die Bearbeitung einer digitalen Spur, ab dem Zeitpunkt der Erfassung, lückenlos erbracht werden muss. Diese Forderung bedingt strikte technische und organisatorische Forderungen an den gesamten digitalen Ermittlungsprozess.

Eine wichtige Aufgabe der Forensik besteht darin, die bestmögliche Tathergangsrekonstruktion auf Basis der vorhandenen Spuren zu erstellen. Die Tathergangsrekonstruktion soll als ein hypothesengetriebener Prozess geführt werden. Aus digitalen Spuren lassen sich in der Regel sogenannte Raum-Zeit-Muster ableiten. Diese eignen sich für eine Rekonstruktion des Tathergangs. Die Größe der Zeit kann direkt mit den Zeitstempeln der digitalen Spuren verknüpft werden, was in Form einer Timeline der Ereignisse

dargestellt werden kann. Die Raumdimension kann zum einem durch die Verortung der Geräte hergestellt werden und zum anderen aus dem Prozess der Authentifizierung der Personen.

Locard angewandt: Digitale Ermittlungsarbeit

Es gibt schon heute quasi keinen einzigen Kriminalfall mehr, in dem digitale Spuren keine Rolle spielen. Sogar im Zusammenhang mit „gefühl“ vollständig analogen Straftaten wie Sexualdelikten, Einbrüchen oder Raubüberfällen werden digitale Spuren zur Ermittlung herangezogen. Beispiele hierfür sind Funkzellendaten und Aufnahmen aus digitalen Überwachungssystemen.

Im polizeilichen Kontext spielen im Wesentlichen 3 unterschiedliche Untersuchungsziele eine Rolle:

- Identifizierung der für die Untersuchung relevanten Spuren
- Nachweis des vorgeworfenen Sachverhalts/Delikts oder Entkräftung der Vorwürfe
- Generierung von weiteren Ermittlungsansätzen

Diese Ziele sind für jede Untersuchung im Bereich der digitalen Forensik relevant. Das erste Ziel dient vorwiegend der Reduktion der Daten auf diejenigen, die für die Untersuchung von Bedeutung sind. Fallabhängig ist dies meist ein kleiner Anteil der vorhandenen Dateien (unterer einstelliger Promille- bis Prozentbereich). Die Relevanz für den Fall kann sich – abhängig von der konkreten Fragestellung – aus einer Vielzahl möglicher Aspekte ergeben:

1. Vorhandensein der Daten

Dies gilt vor allem dann, wenn es sich um Daten handelt, die sich auf dem Untersuchungsobjekt überhaupt nicht befinden dürften. Ein Beispiel sind kinderpornografische Daten. Da im Strafgesetzbuch der Besitz unter Strafe gestellt wird, ist mit dem Vorhandensein derartiger Dateien der Besitz – und damit in der Regel das Delikt – nachgewiesen.

2. Nachweis eines Sachverhalts bzw. der Beteiligung an einem solchen

Dies wird beispielsweise dadurch ermöglicht, dass sich die handelnden Personen bei der Tatausführung filmen. Beispiele aus der Praxis: Videos von einer Schlägerei, Bilder von den Tatverdächtigen mit Drogen/Geld/Waffen, Brandstifter posieren mit Feuerzeug vor Rauchsäule etc.

3. Nachweis der Anwesenheit an einem bestimmten Ort zu einer bestimmten Zeit

Indizien für die Anwesenheit an einem bestimmten Ort können einerseits aus den Aufnahmen selbst entstehen

(z. B. Gebäude oder Gegenstände im Hintergrund), andererseits aus den Metadaten der Mediendateien. Beispiele für Letzteres sind regelmäßig Geoinformationen, die in den EXIF/IPTC/XMP-Daten innerhalb oder im Zusammenhang mit der Dateien zu finden sind.

In der Praxis stellt schon das erste Ziel den Ermittler vor immense Herausforderungen, die derzeit nur mit erhöhten Personalressourcen zu lösen sind (siehe auch [11–13]). Oftmals beinhalten Fälle unglaubliche Mengen an Mediendateien, allein innerhalb einer beliebigen Chat-Anwendung. Üblicherweise werden massenhaft Bilder und Video in Chats geteilt. Dazu kommen noch große Anzahlen an Audiodateien, da viele Nutzer Sprachnachrichten einer textuellen Kommunikation vorziehen. Die Bewertung des Inhalts dieser Nachrichten allerdings kann derzeit – mangels in der Praxis nutzbarer semantischer Erkennung – fast ausschließlich manuell durch Ermittler vorgenommen werden. Hier fehlen zweifelsfrei zuverlässige Lösungen, z. B. in Form intelligenter Assistenzsysteme.

Genauso problematisch ist die Prüfung von Bildern und Videos auf deren Inhalt. Selbst klar definierbare Objekttypen (Fahrzeuge, Waffen, Drogen, Geld, Symbole verbotener Organisationen usw.) sind heute nur rudimentär automatisiert auswertbar; die Ergebnisse von Inhaltsprüfungen auf Basis aktueller künstliche-Intelligenz(KI)-unterstützter Systeme können lediglich als Anhalt und Grobprüfung gelten und sparen letztendlich nur wenig Ressourcen. Noch schlechter ist die Bilanz, wenn „unscharfe“ Kriterien dazukommen, die für den Fall von Relevanz sind. Beispiele hierfür sind die Differenzierung zwischen erlaubter Pornografie und solcher, die einer verbotenen Kategorie angehört. Die Kriterien sind – sofern das Alter der handelnden Personen nicht klar bekannt ist – nicht immer absolut trennscharf und damit auch einem unterstützenden KI-System nicht in einer ausreichenden Deutlichkeit antrainierbar.

Erschwert wird das alles noch dadurch, dass es in der kriminalistischen Praxis so etwas wie „den Standardfall“ nicht gibt. Jeder Fall ist anders, praktisch kommen Aspekte dazu, die den Fall einzigartig machen. Diese in eine technische Lösung einfließen zu lassen, ist eine der größten Herausforderungen.

Als Quintessenz läuft es derzeit in (viel zu) vielen Fällen darauf hinaus, dass Medieninhalte manuell geprüft und bewertet werden müssen, da diese von aktuell vorhandener Technik nur unzureichend in der notwendigen Qualität verarbeitet und bewertet werden können. Es scheint in den genutzten Anwendungen reichlich Optimierungspotenzial vorhanden zu sein. Ein Blick auf die aktuellen Arbeitsweisen soll das verdeutlichen:

In der Regel werden Datenträger heute „forensisch“ gesichert, das heißt die Speichermedien werden – sofern möglich – komplett auf unterster Datenebene als Image gesi-

chert („bitgenaue Kopie“) und in Form einer Containerdatei (meist im Encase-Witness-Disc-Image-Format) gespeichert. Zur Verhinderung von unerkannten Änderungen werden schon bei der Sicherung Hashwerte der Daten gespeichert, die später mit den Daten abgeglichen werden können. Meist werden Speichermedien, die Daten enthalten, derzeit physikalisch sichergestellt. Das bedeutet in der Praxis, dass die Ermittler die Computer, Festplatten oder Mobilfunkgeräte im Original mitnehmen. Anschließend wird von den Asservaten eine Kopie erstellt, die als neues Original der Daten gilt. Von dieser wird eine Arbeitskopie angefertigt, mit der die weitere Untersuchung durchgeführt wird. Datenschutz und Datensicherheit nehmen bei den Nutzern, direkt und indirekt, eine immer größere Rolle ein. Dies stellt somit die Ermittler vor erheblichen Schwierigkeiten. In immer mehr Fällen ist bereits die Erstellung einer Datenkopie eine Herausforderung. Abhängig vom System scheitert bereits solch ein Versuch aufgrund fehlender Schnittstellen, vollständiger Verschlüsselung und teilweise proprietärer Zugriffsmethoden. Von einer weiterführenden Aufbereitung der Daten kann dann keine Rede mehr sein.

Wenn die Datensicherung erfolgreich war, ist die nächste Herausforderung derzeit die ständig wachsende Datenmenge, die auf den Systemen gespeichert ist. Beispielsweise findet man in immer mehr Verfahren schon Smartphones mit Speichergrößen jenseits der TB-Grenze. Die wachsenden Speichergrößen bringen mit sich, dass es für die Nutzer kaum noch die Notwendigkeit gibt, ihr System „aufzuräumen“ und nicht mehr erforderliche Daten zu löschen (was aber aus forensischer Sicht nicht nur Nachteile mit sich bringt). Die Menschen werden zu „digitalen Messias“.

Aus der Erfahrung heraus bedingen fehlende praktisch nutzbare automatische Verfahren (wie auch der rechtliche Rahmen), dass viele Auswertevorgänge immer noch überwiegend manuell durchgeführt werden müssen. Die sichergestellten Datenmengen verhindern aber, dass deren Auswertung allein mit „mehr Personal“ garantiert werden kann.

Auf den Systemen finden sich Daten aus einer Vielzahl unterschiedlicher Quellen, die keiner nachvollziehbaren Struktur folgen. Beispiele hierfür sind Daten aus sozialen Netzwerken, Gruppenkommunikation und Daten aus Telefonüberwachungen (hier sowohl klassische Sprachaufzeichnungen als auch Netzwerkverkehr). Erschwert wird die Situation durch Kommunikation, die keinen nachvollziehbaren Regeln folgt (Slang, Emoticons, Digitalbilder mit eingebetteter Schrift, Kommunikation in Fremdsprachen, Sprachnachrichten in unterschiedlichsten Dialekten etc.) in Verbindung mit diversen inhaltlichen Kriterien. Dies stellt die automatisierte Auswertung – auch auf Basis von KI – derzeit vor teilweise nicht überwindbare Hindernisse. Dazu kommt noch die zeitliche Komponente, da viele Ermittlungen aus unterschiedlichen Gründen unter einem erheblichen zeitlichen Druck stehen.

Zum Schluss 2 kleine Beispiele aus der Praxis

Im Rahmen einer Ermittlung wegen Brandstiftung mit einem Millionenschaden werden 2 Tatverdächtige befragt. Die beiden wurden in zeitlichem Zusammenhang mit dem Brand von Zeugen in der Nähe gesehen, allerdings in einem öffentlichen Bereich. Beide bestreiten die Tat. Im Rahmen der Vernehmung wird bei einem der Täter ein Smartphone sichergestellt. Es soll noch während der laufenden Vernehmung ausgewertet werden um eventuelle Erkenntnisse in die Vernehmung einfließen zu lassen. Die Analyse ergab, dass keine Daten im direkten Zusammenhang mit dem Brandort (örtlich/zeitlich) existieren, die einen Hinweis auf die Täterschaft liefern, dafür aber um den betrachteten Zeitraum herum hunderte fremdsprachliche Nachrichten, die auf die Schnelle nicht übersetzt werden können. Die Wende bringt ein Foto, das einen der Tatverdächtigen zeigt, wie er mit einem Feuerzeug und einer Flasche Wein in den Händen ca. einen Kilometer vom Tatort entfernt vor der großen Rauchsäule „posiert“. Das Bild wird ausgedruckt und dem vernehmenden Beamten zugeleitet. Im Kontext der laufenden Vernehmung führt die Konfrontation mit dem Bild zu einem Geständnis eines der Tatverdächtigen. Der „vollständig analoge“ Fall wurde letztendlich durch digitale Forensik gelöst.

Im Rahmen eines Ermittlungsverfahrens in einem Mordfall konnte die Leiche trotz intensiver Suche unter anderem mithilfe von Spürhunden und Hubschrauberüberwachung nicht gefunden werden. Im Zuge der Ermittlungen konnten die Beamten jedoch einen Tatverdächtigen ermitteln, welcher sich aufgrund der Auswertung von Funkzellendaten in der Nähe des Tatorts befunden haben könnte. Aufgrund der Funkzellengröße, in dem sich das Smartphone des Tatverdächtigen eingebucht hatte, fiel es den Ermittlern jedoch schwer, den tatsächlichen Ablageort der Leiche zu lokalisieren. Im Rahmen der Vernehmung fiel den Beamten auf, dass der Tatverdächtige einen sogenannten „Fitnessstracker“ am Arm trug. Diesen konnten die Beamten sichern. Die für die weiteren Ermittlungen wichtigen GPS-Daten des Trackers konnten in der Cloud des Anbieters gesichert werden. Aufgrund der exakten Daten zu Laufstrecke, Höhenmeter etc. konnte die Strecke welche der Tatverdächtige zum Ablageort der Leiche zurückgelegt hatte rekonstruiert und die Leiche gefunden werden.

Die Locard'sche Intelligenz: KI und Ermittlungsarbeit

Im Jahre 2025 werden einer Schätzung zur Folge 55 Mrd. Geräte online sein [14]. Ein Tatort ohne digitale Spuren ist dann kaum noch denkbar. Die so anfallenden Daten, die relevant für eine Ermittlung sind, auszuwerten, ist zu-

nehmend nur mit maschineller Unterstützung möglich. Die Aufgaben und Herausforderungen in der digitalen Forensik, bei der Menschen im Mittelpunkt stehen, sind Teil des wissenschaftlichen Diskurses [15]. Einen Teil davon stellt die Unterstützung der Ermittlenden durch Assistenzsysteme dar. Dabei ist die Nachvollziehbarkeit der erzeugten Ergebnisse eine der notwendigen Herausforderungen. Mit der steigenden Verwendung von intelligenten Systemen wächst das Bedürfnis der Nachvollziehbarkeit sogar noch [16].

Die Entwicklungen der letzten Jahre haben gezeigt, dass meist die Heterogenität der zu verarbeitenden Spuren und deren Datenfehlern, wie inkorrekte oder veraltete Information, Inkonsistenzen oder fehlende Werte sowie die Menge der irrelevanten Daten, problematisch ist [17]. Das Fehlen von automatischer Datentyperkennung, z. B. durch Entropieanalysen [18], und der Mangel an ontologischer Integration, wie beispielsweise Data Property Klassifikation [19], und damit das Verständnis für die Bedeutung unstrukturierter Daten, macht dies zu einer hochgradig manuellen Arbeit.

Methoden der künstlichen Intelligenz auf forensische Untersuchungen werden bisher nicht nur aus technischen, sondern auch aus rechtlichen Gründen noch nicht eingesetzt [20]. Typische Anwendungen sind beispielsweise automatisches Profiling von Verdächtigen (z. B. mittels Social Media oder Open Source Intelligence), Fahrzeugidentifikation (z. B. automatische Nummernschilderkennung), Kryptowährungsanalysen oder automatische Erkennung von kinderpornografischen Schriften [21].

Mit der Zunahme der Nutzung weiterer Kommunikationskanäle wie Instant Messaging [22] ist die zu analysierende Menge an Spuren, weit über menschliches Vermögen hinaus, angewachsen. Durch die vereinfachte Verwendung von Anonymisierungstechniken entstehen dabei neue Herausforderungen wie die Verwendung von Autorenbestimmungsmethoden [23]. Bei klassischen Medien wie E-Mail wird dies schon seit Jahren beforscht [24], findet jedoch noch kaum Anwendung im forensischen Kontext. Auch Ansätze zur Verwendung von maschinellem Lernen in der Forensik sind schon länger Teil des wissenschaftlichen Diskurses [25].

An vielen Stellen in einer Ermittlung können Methoden der künstlichen Intelligenz die Arbeit erleichtern, auch wenn der Prozess einer Ermittlung zwischen mehreren Personen wechselt. Hier könnten Fehler vermieden und automatisierbare Prozessschritte durch maschinelles Lernen abgebildet und in Zukunft automatisch übernommen werden. Die Interaktion zwischen Forensikern und Ermittlern ist dabei je nach Kontext neu zu definieren. Ein Versuch, diesen Prozess zu formalisieren und zu analysieren, wurde in [26] unternommen. Dabei werden in [26] verschiedene Hilfestellungen vorgestellt (Trilogy und Sentinel, Coplik, Forensic Led Intelligence System und Crime Investigation Decision

Support System) und deren Probleme und Grenzen diskutiert. Leider sind Sprachmodelle wie BERT, GPT-3 und Bildmodelle wie Image GPT-3 [27], AlexNet oder VGG16 [28] noch nicht in forensischen Anwendungen integriert.

Die Enkel Locards – quo vadis?

Die Zusammenführung von digitalen und analogen Spuren, um die forensische Aufgabe zu erfüllen, stellt eine große Herausforderung für die moderne interdisziplinäre Forensik dar. Nicht nur durch die Menge der in Ermittlungsverfahren erhobenen Spuren, sondern auch durch die Verwertbarkeit müssen neue zielführende Werkzeuge entwickelt und evaluiert werden. Immer mehr Leute sind mobil digital unterwegs und geben immer mehr Informationen (bewusst oder unbewusst, letztlich aber freiwillig) über sich in Systeme ein, die diese in großen Datenbanken verarbeiten, zu Profilen zusammenführen und selbstständig Schlüsse ziehen. Computersysteme werden unser Leben zunehmend durchdringen. Mit der fortschreitenden Verbreitung von IoT-Devices (siehe Entwicklungen in den Bereichen Smarthome und Industrie 4.0) sowie Big Data und Cloud-Computing werden neue Angriffsvektoren geschaffen und die Kriminalitätsrate wird hier entsprechend ansteigen. Gleiches gilt für die computergestützte Einflussnahme auf Märkte und Personen. Cybercrime-as-a-Service ermöglicht es mehr und mehr auch Computerlaien, Straftaten zu begehen [29].

Der ständige technische Fortschritt wirft allerdings die Ermittlungsbehörden immer wieder zurück. Kaum ist eine Technik durchdrungen und es haben sich Standards in der IT-Forensik etabliert, wird diese Technik zunehmend disruptiv abgelöst. Dieses lässt sich am Beispiel der Speicherung von Daten auf der Festplatte verdeutlichen. Während Daten auf klassischen Magnetspeichern so gut wie immer wiederhergestellt werden können, wenn sie nur gelöscht und nicht überschrieben wurden, so geben die Controller heutiger SSD gelöschte Daten einfach nicht mehr heraus, wenn TRIM (Funktion stellt spezielle Verbindung des Betriebssystems zum SSD-Controller her) aktiviert wurde. Hier steht die IT-Forensik vor neuen Herausforderungen, Wege zu finden, die Daten trotzdem auszulesen. Controllermanipulation und Chiptransplantation stecken hier erst in den Kinderschuhen (siehe auch [30–32]).

Der immer größer werdenden Flut von auszuwertenden Daten, und somit auch des Informationsgehalts ist nur durch Automatisierung Herr zu werden. Verfahren der künstlichen Intelligenz können und werden die Ermittlungsbehörden zukünftig dabei zunehmend unterstützen. Dabei ist unter anderem die multimodale Verarbeitung von Daten eine eigene Herausforderung. Dazu gehörten beispielsweise die Objekterkennung und somit die Verbindung zwischen bildlichen und textlichen Darstellungen. Die semantische

Analyse von Bildern oder Videos wird dabei bis heute beforscht [33, 34]. Image GPT ist dabei ein aktuelles Beispiel, wie anhand von Bildern einem System Bezeichner, auch Labels genannt, angelern werden können. Dieses System kann mittels One-Shot-Learning Objekte auf Bildern erkennen, ohne diese vorher gesehen zu haben [35].

Viele Bereiche der KI-Forschung können Anwendung in der Forensik finden. Leider ist diese Verbindung noch nicht soweit etabliert, dass die wissenschaftliche Community hier ihre Evaluationen sucht. Datensätze, Problemstellungen und Anwendungsszenarien könnten und sollten geschaffen werden, damit mehr der neuen Methoden Anwendung finden. Speziell für den Anwendungsbereich der Ermittlungen ist jedoch, dass die in der Forschung entwickelten Prototypen jeweils auf ihre Erklärbarkeit und Nachvollziehbarkeit geprüft werden müssen. Ausreichend Verständnis der verwendeten Methoden ist notwendig, um sicherstellen zu können, dass hier kein Fehler in der Klassifikation entstanden ist. Bei den meisten sogenannten „Blackbox-Verfahren“ wie großen neuronalen Netzen, funktioniert eine Nachvollziehbarkeit jedoch nur bedingt [36]. Einer Anwendung dieser „Blackbox-Verfahren“ sind in einem Ermittlungsverfahren mehrere Hürden in den Weg gestellt: Sie müssen die richtige Erkenntnis erzeugen, dann aber auch rechtlich vor Gericht standhalten, indem erklärt werden kann, warum dieser Methode und ihrem Ergebnis getraut werden kann. Hier entsteht ein interessanter interdisziplinärer Forschungsbereich zwischen Informatik und Rechtswissenschaften.

Funding Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

1. Locard E (1930) Die Kriminaluntersuchung und ihre wissenschaftlichen Methoden. Kameradschaft, Berlin, S 139 (frz. Originalausgabe 1920: Locard, E: L'enquête criminelle et les méthodes scientifiques)

2. Inman K, Rudin N (2000) Principles and practice of criminalistics: the profession of forensic science. CRC, Boca Raton
3. Dewald A, Freiling FC (Hrsg) (2015) Forensische Informatik, 2. Aufl. Books on Demand, Norderstedt
4. Brinson A, Robinson A, Rogers M (2006) A cyber forensics ontology: creating a new approach to studying cyber forensics. *Digit Investig* 3:37–43
5. Stoyanova M, Nikoloudakis Y, Panagiotakis S, Pallis E, Markakis EK (2020) A survey on the internet of things (IoT) forensics: challenges, approaches, and open issues. *IEEE Commun Surv Tutor* 22(2):1191–1221
6. Gletschertraum (2007) Beweislehre – Der Beweis (Definition). [https://www.gletschertraum.de/Kriminalistik1/DerBeweis\(Definition\).html](https://www.gletschertraum.de/Kriminalistik1/DerBeweis(Definition).html). Zugegriffen: 14. Mai 2021 (Lehrmaterialien zur Kriminalistik I)
7. Momsen C, Hercher N (2014) Digitale Beweismittel im Strafprozess – Eignung, Gewinnung, Verwertung, Revisibilität. In: Die Akzeptanz des Rechtsstaats in der Justiz – 37. Strafverteidigertag 2014, S 173–196
8. Casey E (2011) Digital evidence and computer crime. Forensic science, computers, and the Internet, 3. Aufl. Academic Press, Waltham
9. Labudde D, Spranger M (Hrsg) (2017) Forensik in der digitalen Welt: Moderne Methoden der forensischen Fallarbeit in der digitalen und digitalisierten realen Welt, 1. Aufl. Springer Spektrum,
10. Lone AH, Mir RN (2019) Forensic-chain: blockchain based digital forensics chain of custody with PoC in Hyperledger Composer. *Digit Investig* 28:44–55
11. Garbers N (2019) Erkennung inkriminierter Bilder: Neuronale Netzarchitekturen und Hautanteilfilter im Vergleich. In: Honekamp W, Kühne E (Hrsg) Polizei-Informatik 2019, S 83–99
12. Mayer F, Steinebach M (2018) Unterstützung bei Bildsichtungen durch Deep Learning. In: Honekamp W, Bug S (Hrsg) Polizei-Informatik 2018, S 66–78
13. Schulze R (2016) LiDaKrA – Linked-Data Kriminalanalysestystem für die Ermittlungsunterstützung. In: Honekamp W, Mielke J (Hrsg) Polizei-Informatik 2016, S 31–34
14. Ouerfelli FE, Barbaria K, Zouari B, Fachkha C (2020) Prevention of DDoS attacks in IoT networks. *International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA 2020)*. Springer, Cham, S 1239–1250 https://doi.org/10.1007/978-3-030-44041-1_106
15. Sunde N, Itiel ED (2019) Cognitive and human factors in digital forensics: problems, challenges, and the way forward. *Digit Investig* 29:101–108. <https://doi.org/10.1016/j.diin.2019.03.011>
16. Arrieta AB, Díaz-Rodríguez N, Del Ser J, Bennetot A, Tabik S, Barbado A, Garcia S, Gil-Lopez S, Molina D, Benjamins R, Chatila R, Herrera F (2020) Explainable artificial intelligence (XAI): concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI. *Inf Fusion* 58:82–115
17. Garfinkel S (2012) Lessons learned writing digital forensics tools and managing a 30TB digital evidence corpus. *Digit Investig* 9:80–89
18. Conti G, Bratus S, Shubina A, Sangster B, Ragsdale R, Supan M, Lichtenberg A, Perez-Aleman R (2010) Automated mapping of large binary objects using primitive fragment type classification. *Digit Investig* 7(Supplement):3–12. <https://doi.org/10.1016/j.diin.2010.05.002>
19. Glimm B, Horrocks I, Motik B, Stoilos G (2010) Optimising ontology classification. In: *International semantic web conference*. Springer, Berlin, Heidelberg
20. Rademacher T (2020) Artificial intelligence and law enforcement. *Regulating artificial intelligence*. Springer, Cham, S 225–254
21. Raaijmakers S (2019) Artificial intelligence for law enforcement: challenges and opportunities. *IEEE Secur Priv* 17(5):74–77
22. O’Day DR, Ricardo AC (2013) Text message corpus: applying natural language processing to mobile device forensics. 2013 IEEE International Conference on Multimedia and Expo Workshops (ICMEW).
23. Iqbal F, Debbabi M, Fung BCM (2020) Artificial intelligence and digital forensics. In: *Machine learning for authorship attribution and cyber forensics*. Springer, Cham, S 139–150
24. De Vel O (2000) Mining e-mail authorship. *Workshop on Text Mining, ACM International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD’2000)*.
25. McClendon L, Meghanathan N (2015) Using machine learning algorithms to analyze crime data. *Mach Learn Appl* 2(1):1–12. <https://doi.org/10.5121/mlaij.2015.2101>
26. Giles O, Chapman B, Speers J (2020) Forensic intelligence and the analytical process. *Wiley Interdiscip Rev Data Min Knowl Discov* 10(3):e1354
27. Chen M, Radford A, Child R, Wu J, Jun H, Dhariwal P, Luan D, Sutskever I (2020) Generative pretraining from pixels. https://cdn.openai.com/papers/Generative_Pretraining_from_Pixels_V2.pdf. Zugegriffen: 14. Mai 2021 (*International Conference on Machine Learning*)
28. Zhang Y, Fu H, Dellandréa E (2017) Adapting convolutional neural networks on the shoeprint retrieval for forensic use. In: *Chinese Conference on Biometric Recognition*. Springer, Cham https://doi.org/10.1007/978-3-319-69923-3_56
29. Honekamp W (2018) Cybercrime: Aktuelle Erscheinungsformen und deren Bekämpfung. In: Lange HJ, Model T, Wendekamm M (Hrsg) *Zukunft der Polizei. Trends und Strategien*. Springer VS, Wiesbaden, S 47–59
30. Attingo Datenrettung (2020) Gefahr für gelöschte Daten: TRIM-Befehl bei Solid State Drives. <https://www.atingo.de/blog/gefahr-fuer-geloeschte-daten-trim-befehl-bei-solid-state-drives/>. Zugegriffen: 14. Mai 2021
31. O&O Software (2019) Benutzerhandbuch O&O SafeErase 12. <https://www.oo-software.com/de/docs/usersguide/oose14.pdf>. Zugegriffen: 14. Mai 2021
32. Voges H (2013) Workshop Windows 8.1 – Verwaltung und Fehlerbehebung. https://www.netz-weise-it.training/images/dokus/Handout_Wordshop_Windows_8.1.pdf. Zugegriffen: 14. Mai 2021
33. Cho J, Lu J, Schwenk D, Hajishirzi H, Kembhavi A (2020) X-LXMERT: paint, caption and answer questions with multimodal transformers. 2020 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP).
34. Carion N, Massa F, Synnaeve G, Usunier N, Kirillov A, Zagoruyko S (2020) End-to-end object detection with transformers. In: Vedaldi A, Bischof H, Brox T, Frahm JM (Hrsg) *Computer vision – ECCV 2020. Lecture notes in computer science*, Bd. 12346. Springer, Cham, S 213–229 https://doi.org/10.1007/978-3-030-58452-8_13
35. Chen M, Radford A, Sutskever I (2020) Image GT. <https://openai.com/blog/image-gpt/>. Zugegriffen: 14. Mai 2021
36. Samek W, Montavon G, Vedaldi A, Hansen LK, Müller K-R (Hrsg) (2019) *Explainable AI: interpreting, explaining and visualizing deep learning*, 1. Aufl. *Lecture notes in computer science*, Bd. 11700. Springer, Cham



Roman Povalej



Silvio Berner



Heiko Rittelmeier



Wilfried Honekamp



Johannes Fähndrich



Dirk Labudde

Lernende Entscheidungsbäume

Überholtes Verfahren oder vielseitige KI-Methode?

Tobias Knuth¹

Angenommen: 24. Juni 2021 / Online publiziert: 16. September 2021
© Der/die Autor(en) 2021

Zusammenfassung

Entscheidungsbäume bereichern moderne künstliche Intelligenz durch vielseitige Weiterentwicklungen. Lernende Entscheidungsbäume sind seit Jahrzehnten ein tradiertes Werkzeug zur Erstellung von erklärbaren Modellen zu Klassifikation und Regression. Während moderne Trends wie Deep Learning die Aufmerksamkeit der KI-Entwicklung auf sich ziehen, werden Entscheidungsbäume kontinuierlich weiterentwickelt, in neuen Bereichen eingesetzt und mit scheinbar im Wettstreit stehenden Methoden verschmolzen. Der Artikel stellt die Funktionsweise von Entscheidungsbäumen dar und zeigt Entwicklungen der aktuellen Forschung auf.

Entscheidungsbäume bereichern die explosionsartige Entwicklung künstlicher Intelligenz im 21. Jahrhundert auf vielfältige Weise durch Erklärbarkeit, leistungsstarke Ensembles und kreative Verwendungsmöglichkeiten wie zur Anomaliedetektion.

Einleitung

Bäume als Datenstruktur bilden heute ein fundamentales Konzept der Informatik, wo sie in vielen Bereichen effiziente Verfahren ermöglichen, beispielsweise bei Such- und Sortierverfahren. Erstmals nutzte der englische Mathematiker Arthur Cayley Bäume zur Strukturierung chemischer Verbindungen im Jahre 1857 [22].

Im Bereich der künstlichen Intelligenz (KI), genauer des maschinellen Lernens, stellen Entscheidungsbäume eine tradierte Methode dar, Muster zu erlernen und vorherzusagen. Die ersten Lernverfahren für Entscheidungsbäume wurden zwischen 1960 und 1980 publiziert [16] und seitdem sind viele Varianten entstanden. Besonders das explosionsartige Interesse an künstlicher Intelligenz im 21. Jahr-

hundert, das mit zahlreichen Prognosen über den Einfluss von KI auf Wirtschaft und Gesellschaft einhergeht [4, 25], bringt ständig neue Verfahren hervor und Trends wie das *Deep Learning*, eine Spezialform neuronaler Netze – welche ebenfalls eine jahrzehntelange Tradition pflegen –, ziehen die Aufmerksamkeit auf sich.

Das Interesse an Entscheidungsbäumen und ihren Weiterentwicklungen wie Random Forests stellt Abb. 1 im Vergleich zu neuronalen Netzen und Deep Learning am Beispiel der Suchmaschine Google für die letzten 10 Jahre dar. Deutlich zu erkennen ist ein konstantes, aber niedrigeres Suchvolumen in Bezug auf Entscheidungsbäume. Daher stellt sich die Frage, welche Rolle Entscheidungsbäume heutzutage im Vergleich zu anderen Verfahren spielen und welche Antworten sie auf die aktuellen methodischen Anforderungen der künstlichen Intelligenz geben.

Zu diesen Anforderungen gehört neben dem Streben nach hoher Güte von Klassifikatoren, die anhand eines Merkmals, wie beispielsweise der Quote richtiger Entscheidungen (Accuracy), gemessen wird, auch eine Reihe von komplexen Themen, die KI-Systeme berücksichtigen müssen, um für die Gesellschaft nützlich zu sein. Sie beinhalten Fragen unter anderem in Bezug auf Ethik, Sicherheit und Korrektheit [23]. Ein interessanter Forschungszweig ist *Explainable AI (XAI)*, denn der Interpretierbarkeit und Erklärbarkeit von Modellen kommt eine wachsende Bedeutung zu [20]. So schafft beispielsweise die neue Datenschutzgrundverordnung ein *Recht zur Erklärung* von algorithmischen Entscheidungen [8], aber bei Weitem nicht

✉ Tobias Knuth
contact@tobiasknuth.de

¹ FOM Hochschule für Ökonomie & Management gGmbH,
Herkulesstraße 32, 45127 Essen, Deutschland

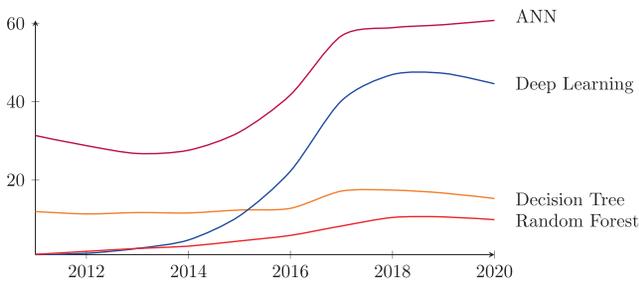


Abb. 1 Relatives Suchinteresse nach Themengebieten (ohne Einheit), aggregiert pro Jahr. Die Daten stammen von Google Trends (google.com/trends)

alle KI-Verfahren lassen dies zu. Neuronale Netze gelten beispielsweise als Blackbox-Modelle.

Entscheidungsbäume werden in verschiedensten Bereichen eingesetzt, wie zur Betrugsprävention im Gesundheitswesen [14] und im Finanzbereich [17], zur (erklärenden) Untersuchung von Autounfällen [9] oder im Bereich Recommender Systems zur Generierung von Empfehlungen für Kunden [13]. In vergleichenden Studien teilen sich Entscheidungsbäume und neuronale Netze teilweise die Spitzenposition in Bezug auf die Popularität [14]. Entscheidungsbäume eignen sich durch ihre natürliche Transparenz für alle Anwendungen, in denen ein Verständnis der Entscheidungen unverzichtbar ist, beispielsweise in medizinischen Anwendungen oder bei potenziell diskriminierenden Fragestellungen, zu denen Einschätzungen zur Kreditwürdigkeit oder dem Betrugsrisiko gehören, die mit persönlichen bzw. demografischen Daten beantwortet werden sollen. Darüber hinaus können Entscheidungsbäume helfen, Wissen aus Daten zu extrahieren und explizit darzustellen. Entscheidungsbäume lassen sich leicht visualisieren, ähneln den Entscheidungsprozessen von Menschen und können in Regeln übersetzt werden [12, 16].

Der Artikel leistet 3 Beiträge: Erstens wird ein konzeptioneller Rahmen zur Beschreibung der Komponenten maschinellen Lernens vorgestellt, in den Entscheidungsbäume eingeordnet werden. Zweitens werden die charakteristischen Ideen von Entscheidungsbäumen anschaulich dargestellt. Drittens werden Entscheidungsbäume aus verschiedenen Perspektiven beleuchtet, um die vielseitigen Einsatzgebiete dieser Technik aufzuzeigen, darunter leistungsstarke Ensemblemethoden wie Gradient Boosted Trees und Random Forests sowie ein kreativer Ansatz zur Anomalieerkennung mittels Isolation Forests.

Komponenten maschinellen Lernens

Der Begriff der künstlichen Intelligenz umfasst Disziplinen wie die Entwicklung intelligenter Agenten, Robotik und auch das maschinelle Lernen (ML). Eine klassische De-

finition maschinellen Lernens besagt, dass ein Programm lernt, wenn die an einer Metrik gemessene Leistung des Programms bei der Bewältigung einer definierten Aufgabe mit zunehmender Erfahrung steigt [16]. Die Verfahren werden in überwachtes, semiüberwachtes und unüberwachtes Lernen unterteilt. Ein Modell lernt überwacht, wenn neben den Eingabedaten (unabhängigen Variablen, Features, Prädiktoren) auch die Daten der Zielvariablen bereitstehen, also Referenzwerte für richtige Entscheidungen existieren. Entscheidungsbäume fallen in diese Kategorie. Im Gegensatz hierzu erfordern unüberwachte Lernverfahren keine Referenzwerte und semiüberwachtes Lernen verbindet beide Ansätze miteinander.

Eine andere Form der Strukturierung orientiert sich an 3 Komponenten, in die sich jedes ML-Verfahren zerlegen lässt: Repräsentation, Evaluation und Optimierung. Die Repräsentation beschreibt die Form des Modells, wie die Geradengleichung einer linearen Regression oder die Struktur und die Verbindungsgewichte eines neuronalen Netzes. Die Evaluation bezieht sich auf die Frage, wie die Güte des Modells gemessen werden kann; dies geschieht beispielsweise mit der Summe der Fehlerquadrate oder der Entropie. Die Optimierung stellt das Werkzeug, um von einem Gütezustand in einen besseren zu gelangen. Hierfür stehen je nach Problemstellung Methoden wie der Gradientenabstieg oder lineare Programmierung zur Verfügung [5, 16].

Entscheidungsbäume werden durch die Baumstruktur mit ihrer Wurzel, den Verzweigungen, inneren Knoten und Blättern repräsentiert. Ein traditionelles Optimierungsverfahren stellt an jeder Verzweigung die Frage: „Welche Variable sollte für die nächste Verzweigung verwendet werden?“ Die Evaluation erfolgt abhängig von Klassifikation oder Regression beispielsweise mit der Quote richtiger Entscheidungen (Accuracy). Diese Komponenten werden im folgenden Abschnitt kurz vorgestellt.

Grundlagen von Entscheidungsbäumen

Seit den ersten Publikationen sind zahlreiche algorithmische Varianten entwickelt worden. Im Folgenden werden die zentralen Gedanken des bekannten ID3-Algorithmus vorgestellt [16, 19, 24], neben Varianten wie C4.5 und CART [11]. ID3 ist ein Greedy-Algorithmus, d. h. das Lernproblem wird in aufeinanderfolgende Teilschritte zerlegt, die einzeln optimiert werden; mittlerweile existieren auch Ansätze zur globalen Optimierung [18].

Abb. 2 zeigt einen Entscheidungsbaum mit diskreten Variablen an den Knoten. Die 3 Variablen *Bewölkung*, *Temperatur* und *Regenvorhersage* werden herangezogen, um zu einer Entscheidung zu gelangen. Zur Prognose eines Werts folgt man dem jeweiligen Pfad des Baums und liest das Ergebnis ab. Ist es beispielsweise sonnig und warm, wird

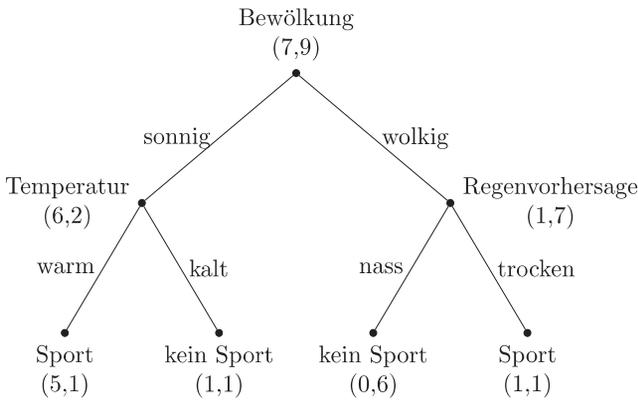


Abb. 2 Exemplarischer, manuell konstruierter Entscheidungsbaum zur Frage, ob heute Sport gemacht werden sollte

Sport gemacht. Ist es wolzig und nass, wird kein Sport gemacht. Die Zahlen in Klammern geben an, wie viele Instanzen des Datensatzes auf den jeweiligen Pfad zutreffen (Sport, kein Sport), d.h. im Datensatz wurde insgesamt 7-mal Sport gemacht und 9-mal nicht; an sonnigen und warmen Tagen wurde 5-mal Sport gemacht und 1-mal nicht. Man beachte, dass in diesem Beispiel anhand der verfügbaren Daten keine fehlerfreie Klassifikation möglich ist.

Entscheidungsbäume haben darüber hinaus die nützliche Eigenschaft, dass sie sich in Mengen von alternativen Regeln übersetzen lassen. Der Baum in der Abbildung kann beispielsweise ebenfalls durch die folgenden Regeln ausgedrückt werden, welche zu denselben Klassifikationsergebnissen führen. Jeder Pfad des Baums entspricht hierbei einer *und*-verknüpften Bedingung. Alle Pfade desselben Ergebnisses sind *oder*-verknüpft.

$$(sonnig \wedge warm) \vee (wolzig \wedge trocken) \Rightarrow Sport$$

$$(sonnig \wedge kalt) \vee (wolzig \wedge nass) \Rightarrow kein Sport$$

Wie aber wird ein Baum wie oben dargestellt konstruiert? Abb. 3 stellt den iterativen Teilungsprozess, der dem

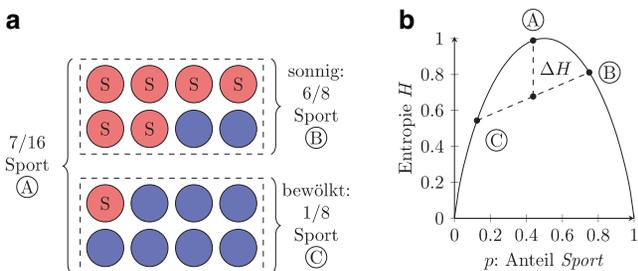


Abb. 3 Die Entropie ($H = \sum_{i=1}^2 - p_i \log_2 p_i$) gibt das Maß der Unsicherheit an, wobei p den prozentualen Anteil der Variablen von Interesse darstellt. Je besser die Daten (a) sich anhand der Ausprägungen einer Variablen in *Sport* und *kein Sport* unterteilen lassen, desto kleiner die Entropie und desto größer der Informationsgewinn durch die Verzweigung (b)

ID3-Algorithmus (Iterative Dichotomiser) seinen Namen gibt, anhand der ersten Variablen dar. Der Baum in Abb. 2 beginnt mit der Variable *Bewölkung*, weil diese den größten *Information Gain* bietet. Information Gain bezeichnet die Differenz zwischen 2 Entropiewerten, einem Maß für die Entscheidungsunsicherheit. In der Abbildung besteht der gesamte Datensatz A – wie oben – aus 7 Instanzen, in denen Sport gemacht wird und 9, in denen kein Sport gemacht wird. Die Entropie ist in der Abbildung (rechts) entsprechend hoch, da beide Ereignisse fast mit gleicher Wahrscheinlichkeit auftreten. Wird der Datensatz nun anhand der *Bewölkung* in sonnig und bewölkt unterteilt, sinkt das gewichtete Mittel der Teildatensätze B (enthält nun überwiegend Sportinstanzen) und C (enthält nun fast keine Sportinstanzen) und liegt nun unter A, d.h. die Klassifikation der Teildatensätze gelingt besser als die Klassifikation des Gesamtdatensatzes. Dieses Greedy-Verfahren wird an den Knoten wiederholt, bis ein Abbruchkriterium erreicht ist, spätestens aber, wenn jeder Pfad des Baums zu einer eindeutigen Klassifikation führt oder keine Variablen zum Teilen mehr verfügbar sind.

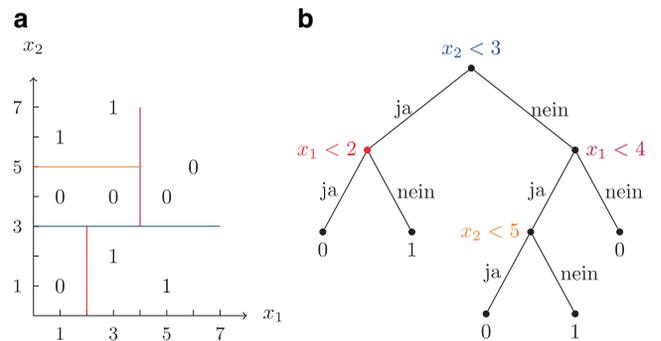


Abb. 4 Entscheidungsbaum (b) mit eingezeichneten Entscheidungsgrenzen (a). Die Ungleichungen (Tests) in b entsprechen den Geraden in a, welche die Daten in die zu prognostizierenden Kategorien unterteilen, in diesem Beispiel in Nullen und Einsen

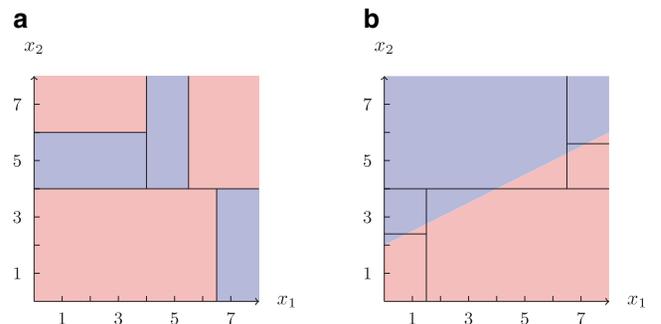


Abb. 5 Die exemplarischen, rechtwinkligen und nichtlinearen Entscheidungsgrenzen (a) lassen sich durch den Entscheidungsbaum perfekt abbilden. Die linearen Entscheidungsgrenzen (b) können nur approximiert werden, welche eine lineare Regression problemlos modellieren könnte

Numerische Attribute lassen sich mit Ungleichungen integrieren, wie Abb. 4b mithilfe der numerischen Variablen x_1 und x_2 zeigt. Die durch die Ungleichungen entstehenden Regionen lassen sich visualisieren (Abb. 4a). Jede Ungleichung einer Variablen unterteilt die entsprechende Region im Diagramm in 2 Subregionen. Beispielsweise definiert die Ungleichung $x_1 < 2$ im Baum links in Verbindung mit der Wurzel $x_2 < 3$ das Rechteck unten links in der Abbildung von den Koordinaten (0,0) bis (2,3). Da Entscheidungsbäume den Raum rechteckig partitionieren, sind sie strukturell benachteiligt, wenn Entscheidungsgrenzen beispielsweise diagonal verlaufen. Eine Diagonale kann in diesem Falle nur durch häufige Unterteilung angenähert werden, ähnlich wie eine Treppe eine Gerade annähert, je kleiner die Stufen sind. Diesen Sachverhalt stellt Abb. 5 dar. Dass die Stärke von Entscheidungsbäumen in der Verarbeitung nichtlinearer Probleme mit diskreten Variablen liegt, bestätigt eine vergleichende Studie zur Diagnose von Hautläsionen, in der die Bäume aufgrund des hohen Anteils numerischer Variablen schlechtere Ergebnisse erzielten als alternative Verfahren [6].

Entscheidungsbäume tendieren dazu, lang und komplex zu werden, um die Trainingsdaten bestmöglich abzubilden. Dies führt zu *Overfitting* [12], d.h. das Modell bildet die Trainingsdaten besser ab als neue, unbekannte Daten, was falsche Sicherheit vermittelt und zu vermeiden ist. Kürzere, einfachere Bäume sind daher zu bevorzugen und diverse, teilweise nachträgliche Kürzungsverfahren (Pruning) von Bäumen existieren. Der Preis für die Verständlichkeit und Einfachheit von Entscheidungsbäumen ist ihre im Vergleich zu anderen Verfahren geringere Genauigkeit und Robustheit [10, 12, 27], d.h. Klassifikationen sind relativ betrachtet häufiger falsch und kleine Änderungen der Daten können grundlegende Änderungen der Baumstruktur bewirken. Dies ist allerdings kein spezieller Nachteil von Entscheidungsbäumen, sondern Verständlichkeit und Leistungsfähigkeit von ML-Modellen scheinen in einem inversen Verhältnis zueinanderzustehen [10]. Innerhalb der Familie der Entscheidungsbäume existieren unter anderem Random Forests und Gradient Boosted Trees, welche diese Nachteile ausgleichen und in den folgenden Abschnitten vorgestellt werden. Daneben wird ein kreatives Verfahren von Entscheidungsbäumen zur Anomaliedetektion vorgestellt, die Isolation Forests.

Fortgeschrittene Methoden

Eine typische Strategie zur Stärkung von Modellen im maschinellen Lernen ist der Einsatz von Ensembles. Random Forests bestehen aus einer Vielzahl demokratisch abstimmer einzelner Bäume, deren Variablenauswahl zufällig variiert wird. Das Ergebnis sind leistungsstarke Modelle. In-

tensive Debatten mit den Titeln „Do we Need Hundreds of Classifiers to Solve Real World Classification Problems?“ zugunsten der Random Forests und „Are Random Forests Truly the Best Classifiers?“ als Antwort darauf werden zu der Frage geführt, wie leistungsstark Random Forests sein können [7, 26]. Eine weitere Alternative stellen Gradient Boosted Trees dar [1], welche nicht wie bei Random Forests gleichzeitig eine Vielzahl von Bäumen erstellen, sondern nacheinander, sodass jeder zusätzliche Baum eine Verbesserung darstellt. Man kann sich dies wie ein Team vorstellen, in dem jedes neue Mitglied eine Funktion übernimmt, die dem Team noch fehlte. Beide Varianten verschaffen Entscheidungsbäumen den Sprung in die Oberklasse der überwachten Lernalgorithmen, büßen dabei aber durch die Ensemblemethode die besondere Erklärbarkeit der Bäume ein.

Eine besonders kreative Anwendung von Entscheidungsbäumen sind die Isolation Forests zur Anomaliedetektion [15]. Anomalien sind Auffälligkeiten in Daten. Eine Form sind räumliche Anomalien, d.h. solche Datenpunkte sind ungewöhnlich, die von anderen weit entfernt liegen. Der Gedanke hinter Isolation Forests lautet: Wenn Entscheidungsgrenzen so lange *zufällig* gesetzt werden, bis jeder Datenpunkt allein in einem eigenen abgegrenzten Kästchen liegt (d.h. isoliert wurde), ist es wahrscheinlicher, dass Anomalien schneller isoliert werden. Das bedeutet, dass Anomalien im Baum näher an der Wurzel sind. Mittels eines Isolation Forests lässt sich die durchschnittliche Höhe eines Punkts im Baum als Anomaliewert interpretieren. Das Konzept eines einzelnen Isolation Trees ist in Abb. 6 dargestellt. Je weiter ein Punkt von anderen entfernt ist, desto schneller lässt er sich isolieren. Die Abbildung rechts zeigt, dass die Verwendung der Linien 1, 2 und 4 bereits ausreicht, um alle 3 Anomalien zu finden. In der Praxis funktioniert die Methode erstaunlich gut, obwohl Entscheidungsbäume konzeptionell weit von klassischen Verfahren der Anomaliedetektion entfernt sind. Darüber hinaus zeichnen sich Isolation Forests durch lineare Laufzeit und hohe Skalierbarkeit aus [15].

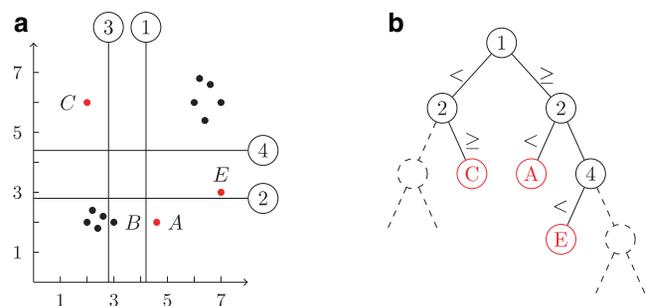


Abb. 6 Isolation Tree. Die zufällig gesetzten Linien 1–4 (a) unterteilen den Raum in 9 Rechtecke. Nach 4 Schritten sind bereits alle 3 Anomalien isoliert und im Baum vertreten

Schluss

Entscheidungsbäume zählen mittlerweile zu den klassischen Methoden maschinellen Lernens und haben sich im Laufe der Jahrzehnte in viele Richtungen weiterentwickelt. Einzelne Entscheidungsbäume zeichnen sich durch ihre Erklärbarkeit aus, Random Forests und Gradient Boosted Trees erreichen beeindruckende Ergebnisse im Vergleich zu führenden Alternativen wie neuronalen Netzen. Kreative Anwendungen wie Isolation Forests führen Entscheidungsbäume in untypische Bereiche wie die Anomaliedetektion.

Zuletzt lassen sich einzelne, erklärbare Entscheidungsbäume mit Blackbox-Modellen auf verschiedene Arten verschmelzen [28] oder ergänzen: Entscheidungsbäume werden nicht anhand eines Datensatzes trainiert, sondern mithilfe eines vortrainierten Blackbox-Modells, wie eines neuronalen Netzes. Die Nutzung von sogenannten Post-Hoc-Modellen besteht daher aus 2 Schritten: Zuerst wird mithilfe eines Datensatzes ein Blackbox-Modell trainiert und im Anschluss wird der Output dieses Modells verwendet, um einen Entscheidungsbaum zu konstruieren. Faszinierend ist dabei, dass Post-Hoc-Modelle, die dadurch lernen, das Blackbox-Modell zu imitieren, bessere Ergebnisse als Entscheidungsbäume erzielen, die direkt mit den ursprünglichen Daten trainiert wurden [2, 3, 21]; die Blackbox-Modelle gehen mit den Entscheidungsbäumen eine symbiotische Beziehung ein, ein spannendes Forschungsfeld mit Potenzial für erklärbare *und* leistungsstarke Modelle. Die traditionellen Entscheidungsbäume werden ständig weiterentwickelt und stellen ein vielseitiges Werkzeug für moderne KI-Anwendungen dar.

Funding Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

- Chen T, Guestrin C (2016) XGBoost: a scalable tree boosting system. arXiv. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785>
- Confalonieri R, Weyde T, Besold TR, Moscoso del Prado Martín F (2021) Using ontologies to enhance human understandability of global post-hoc explanations of black-box models. *Artif Intell* 296:103471
- Craven MW, Shavlik JW (1995) Extracting tree-structured representations of trained networks. Proceedings of the 8th International Conference on Neural Information Processing Systems. NIPS'95. MIT Press, Cambridge, S 24–30
- Davenport T, Guha A, Grewal D, Bressgott T (2020) How artificial intelligence will change the future of marketing. *J of the Acad Mark Sci* 48(1):24–42
- Domingos P (2012) A few useful things to know about machine learning. *Commun ACM* 55(10):78–87
- Dreiseitl S, Ohno-Machado L, Kittler H, Vinterbo S, Billhardt H, Binder M (2001) A comparison of machine learning methods for the diagnosis of pigmented skin lesions. *J Biomed Inform* 34(1):28–36
- Fernández-Delgado M, Cernadas E, Barro S, Amorim D (2014) Do we need hundreds of classifiers to solve real world classification problems? *J Mach Learn Res* 15(1):3133–3181
- Goodman B, Flaxman S (2016) European Union regulations on algorithmic decision-making and a “right to explanation”. *AI Mag* 38(3):50–57 (vorgestellt auf dem 2016 ICML Workshop on Human Interpretability in Machine Learning (WHI 2016), New York, NY)
- Griselda L, Juan DO, Joaquín A (2012) Using decision trees to extract decision rules from police reports on road accidents. *Procedia Soc Behav Sci* 53:106–114
- Gunning D, Aha D (2019) DARPA's explainable artificial intelligence (XAI) program. *AI Mag* 40(2):44–58
- Hastie T, Tibshirani R, Friedman J (2013) The elements of statistical learning. Springer, New York
- James G, Witten D, Hastie T, Tibshirani R (2013) An introduction to statistical learning. Springer texts in statistics, Bd. 103. Springer, New York
- Karimi R, Nanopoulos A, Schmidt-Thieme L (2015) A supervised active learning framework for recommender systems based on decision trees. *User Model User-Adapt Interact* 25(1):39–64
- Li J, Huang KY, Jin J, Shi J (2008) A survey on statistical methods for health care fraud detection. *Health Care Manage Sci* 11(3):275–287
- Liu FT, Ting KM, Zhou ZH (2008) Isolation forest. 2008 Eighth IEEE International Conference on Data Mining. IEEE, Pisa, S 413–422
- Mitchell T (1997) Machine learning. McGraw-Hill series in computer science. McGraw-Hill, Singapur
- Ngai EWT, Hu Y, Wong YH, Chen Y, Sun X (2011) The application of data mining techniques in financial fraud detection: a classification framework and an academic review of literature. *Decis Support Syst* 50(3):559–569
- Norouzi M, Collins MD, Johnson M, Fleet DJ, Kohli P (2015) Efficient non-greedy optimization of decision trees. NIPS'15 Proceedings of the 28th International Conference on Neural Information Processing Systems. MIT Press, Cambridge, S 1729–1737
- Quinlan JR (1986) Induction of decision trees. *Mach Learn* 1(1):81–106
- Rai A (2020) Explainable AI: from black box to glass box. *J of the Acad Mark Sci* 48(1):137–141
- Renard X, Woloszko N, Aigrain J, Detyniecki M (2019) Concept tree: high-level representation of variables for more interpretable surrogate decision trees. ICML Workshop on Human in the Loop Learning (HILL 2019), Long Beach, USA. arXiv:1906.01297

22. Rosen KH (2012) Discrete mathematics and its applications, 7. Aufl. McGraw-Hill, New York
23. Russell S, Dewey D, Tegmark M (2015) Research priorities for robust and beneficial artificial intelligence. *AI Mag* 36(4):105
24. Russell SJ, Norvig P, Davis E (2010) Artificial intelligence: a modern approach, 3. Aufl. Prentice Hall series in artificial intelligence. Prentice Hall, Upper Saddle River
25. Shankar V (2018) How artificial intelligence (AI) is reshaping retailing. *J Retail* 94(4):vi–xi
26. Wainberg M, Alipanahi B, Frey BJ (2016) Are random forests truly the best classifiers? *J Mach Learn Res* 17:1–5
27. Xu F, Uszkoreit H, Du Y, Fan W, Zhao D, Zhu J (2019) Explainable AI: a brief survey on history, research areas, approaches and challenges. In: Tang J, Kan MY, Zhao D, Li S, Zan H (Hrsg) *Natural language processing and Chinese computing*, Bd. 11839. Springer, Cham, S 563–574
28. Yang Y, Morillo IG, Hospedales TM (2018) Deep neural decision trees. 2018 ICML Workshop on Human Interpretability in Machine Learning (WHI 2018), Stockholm, Sweden. arXiv:1806.06988

Nationale Forschungsdateninfrastruktur (NFDI)

Nathalie Hartl¹  · Elena Wössner  · York Sure-Vetter 

Angenommen: 30. Juli 2021 / Online publiziert: 26. August 2021
© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2021

Zusammenfassung

In der Nationalen Forschungsdateninfrastruktur (NFDI) werden wertvolle Forschungsdaten für das gesamte deutsche Wissenschaftssystem systematisch erschlossen, vernetzt und nachhaltig nutzbar gemacht. Bislang sind diese meist dezentral, projektbezogen oder nur zeitlich begrenzt verfügbar. Mit der NFDI soll ein digitaler Wissensspeicher unter Berücksichtigung der FAIR-Prinzipien (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) geschaffen werden. Bereits vorhandene Daten können zur Bearbeitung weiterer Forschungsfragen genutzt werden und neue Erkenntnisse und Innovationen ermöglichen. Bis zu 30 NFDI-Konsortien, Zusammenschlüsse verschiedener Einrichtungen innerhalb eines Forschungsfeldes, arbeiten zusammen interdisziplinär an der Zielumsetzung. Um die Aktivitäten zum Aufbau einer Nationalen Forschungsdateninfrastruktur zu koordinieren, wurde der gemeinnützige Verein Nationale Forschungsdateninfrastruktur (NFDI) e.V. mit Sitz in Karlsruhe im Oktober 2020 gegründet. Gemeinsam gestalten Verein und NFDI-Konsortien die Zukunft des Forschungsdatenmanagements in Deutschland. Darüber hinaus soll NFDI auch am Aufbau internationaler Initiativen, beispielsweise der European Open Science Cloud (EOSC), mitwirken.

Täglich wächst die Menge an wertvollen Forschungsdaten. Doch große Teile davon sind aktuell nur für eingeschränkte Personenkreise sowie zeitlich begrenzt verfügbar. Forschungsdaten werden häufig auf einzelnen Servern oder Rechnern in wenig standardisierten Formaten gespeichert. Eine sinnvolle Archivierung mit Möglichkeit zur Nachnutzung ist in die wenigsten Forschungsprozesse standardmäßig integriert, sodass Zugänge zu Wissen verlorengehen. Um dies zu ändern, ist die Nationale Forschungsdateninfrastruktur (NFDI) von Bund und Ländern ins Leben gerufen worden.

Ziel von NFDI ist es, ein systematisches sowie nachhaltiges Forschungsdatenmanagement aufzubauen, zu koordinieren und dabei bereits bestehende Strukturen besser zu vernetzen. Relevante Daten sollen nicht länger ungenutzt auf den Servern einzelner Einrichtungen ohne zentralen Zugang schlummern, sondern nach den FAIR-Prinzipien [1] (Findable, Accessible, Interoperable und Reusable – also auffindbar, zugänglich, interoperabel und wiederverwendbar) zur Verfügung gestellt werden.

Ein verbesserter Zugang zu digitalen Datenschatzen soll den Wissenschaftsstandort Deutschland stärken, den Austausch verschiedener Forschungseinheiten sowie -disziplinen fördern und zudem das Forschungsdatenmanagement auf internationaler Ebene vereinfachen [2]. Um Potenziale fächerübergreifend ausschöpfen zu können und gleichzeitig Bedarfe unterschiedlicher Communitys zu berücksichtigen, werden bis zu 30 NFDI-Konsortien durch Bund und Länder gefördert, die jeweils verschiedene Forschungsbereiche vertreten. Um die Aktivitäten zum Aufbau einer Nationalen Forschungsdateninfrastruktur fachlich zu steuern und zu koordinieren wurde der gemeinnützige Verein Nationale Forschungsdateninfrastruktur (NFDI) e. V. mit Sitz in Karlsruhe gegründet. Gemeinsam gestalten die NFDI-Konsortien und der NFDI-Verein die Zukunft des Forschungsdatenmanagements in Deutschland.

Von der Notwendigkeit eines besseren Forschungsdatenmanagements zur Vereinsgründung

Die Empfehlung, eine koordinierte Forschungsdateninfrastruktur in Deutschland aufzubauen, kam vom Rat für Informationsinfrastrukturen (RfII). Mit einer Nationalen Forschungsdateninfrastruktur in Form eines bundesweiten, verteilten, wachsenden Netzwerks soll ein „neues Rückgrat für

✉ Nathalie Hartl
info@nfdi.de

¹ Nationale Forschungsdateninfrastruktur (NFDI) e.V., Karlsruhe, Deutschland

das Forschungsdatenmanagement“ in Deutschland geschaffen werden [3]. Dahinter steht die Vision, Forschung disziplinübergreifend effektiver zu gestalten. Denn immer mehr wissenschaftliche Entdeckungen werden heute mit bereits vorhandenen Forschungsdaten gemacht. Diese können z. B. unter neuen Fragestellungen betrachtet werden oder mit anderen Datensätzen verknüpft werden. Ein gut zugänglicher digitaler Wissensspeicher erlaubt neuen Erkenntnisgewinn und befördert Innovationen, die der Gesellschaft nutzen. Bund und Länder haben sich dem Vorschlag des RfII angeschlossen und im November 2018 eine Vereinbarung zum Aufbau und zur Förderung einer NFDI getroffen [4].

Fachgetriebene Vernetzung als Schlüssel zum Erfolg

In der Bund-Länder-Vereinbarung wurde festgelegt, insgesamt bis zu 30 Konsortien zu fördern, die in 3 Ausschreibungsrunden in einem wissenschaftsgeleiteten Verfahren ausgewählt werden. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) koordiniert das Verfahren zur Begutachtung der Bewerbungen und ein Expertengremium prüft und bewertet die Anträge [5]. Die Gemeinsame Wissenschaftskonferenz (GWK) entscheidet auf dieser Basis letztlich, welche Konsortien gefördert werden. Bei der Auswahl der Konsortien wird darauf Wert gelegt, die Wissenschaftslandschaft möglichst breit abzubilden. Das spiegelt sich auch bei der Betrachtung der bereits geförderten Konsortien aus den ersten beiden Förderrunden wider. Die 9 Konsortien DataPLANT, GHGA, KonsortSWD, NFDI4BioDiversity, NFDI4Cat, NFDI4Chem, NFDI4Culture, NFDI4Health und NFDI4Ing sind im Oktober 2020 gestartet. Im Juli 2021 haben weitere 10 Konsortien, BERD@NFDI, DAPHNE4NFDI, FAIRmat, MaRDI, NFDI4DataScience, NFDI4Earth, NFDI4Microbiota, NFDI-MatWerk, PUNCH4NFDI und Text+ ihre Förderzusagen erhalten [6]. Damit arbeiten verschiedenste Bereiche – von Kultur-, über Sozial-, Geistes- und Ingenieurwissenschaften bis hin zu Lebens- und Naturwissenschaften – an gemeinsamen Lösungen für individuelle Probleme.

Der konsortialübergreifende Austausch ist dabei Grundlage für den Erfolg von NFDI. So ergeben sich auch Vernetzungen, die auf den ersten Blick ungewöhnlich erscheinen können, beispielsweise zwischen Chemie und Kulturwissenschaft: Die Untersuchung und Restauration von Kunstwerken kann mittels chemischer Analysen von verwendeten Materialien und den dazu vorliegenden Daten optimiert werden.

Querschnittsthemen, die mehrere Konsortien betreffen, sollen im Verein in sogenannten Sektionen bearbeitet werden. Beispiele für Querschnittsthemen sind die gemeinsame Modellierung von Metadaten-Schemata und Ontologien,

gemeinsame Infrastrukturdienste und Dienstleistungen zum Thema Forschungsdatenmanagement, rechtliche und ethische Fragen rund um das Teilen von Forschungsdaten oder auch die Etablierung der Zitierung von Forschungsdaten in wissenschaftlichen Veröffentlichungen. Durch das gemeinsame Bearbeiten der Querschnittsthemen können sich fächerübergreifende Standards entwickeln. Ziel ist, dass diese Standards durch die Einbindung der unterschiedlichen Communitys eine breite Akzeptanz erfahren.

Auch innerhalb der einzelnen Konsortien findet eine fachliche Vernetzung statt, da hinter jedem Konsortium mehrere Partner, wie beispielsweise Universitäten und Forschungszentren, stehen. Im Konsortium NFDI4Health engagieren sich z. B. 18 (ko-)antragstellende Einrichtungen und 35 weitere Partner. Diese arbeiten unter anderem daran, die Forschung im Rahmen der COVID-19-Pandemie effektiver zu machen [7]. Etabliert werden soll ein Verfahren, mit dem Gesundheitsdaten aus verschiedenen Quellen und Studien miteinander verknüpft werden können (Record Linkage), um ein möglichst umfassendes Bild der Erkrankten zu erhalten. Neue Erkenntnisse zu Infektionswegen und zum Verlauf von COVID-19 können so schneller gewonnen werden. Bei dem Austausch ist es wichtig, die besondere Sensibilität der Daten sowie damit verbundene rechtliche Fragestellungen zu berücksichtigen.

Aber nicht nur im Fall der Coronapandemie kann eine optimierte, gemeinsame Dateninfrastruktur dabei helfen, Sachverhalte besser zu verstehen und daraus Handlungen oder Innovationen abzuleiten. Auch das Thema Klimawandel und die damit verbundenen Auswirkungen lassen sich besser erfassen, wenn viele Daten berücksichtigt werden können. Das Konsortium NFDI4Biodiversity widmet sich beispielsweise dem klimaverursachten Biodiversitätsverlust und möglichen Lösungen. KonsortSWD forscht unter anderem zu den Auswirkungen des Klimawandels auf internationale und nationale Migration, indem historische Klimadaten mit Migrationsdaten verknüpft werden.

Insgesamt zeigen die verschiedenen Beispiele aus den Reihen der Konsortien, welche Potenziale eine nachhaltige Strategie für Forschungsdatenmanagement entfalten kann.

Der NFDI-Verein: Viele Organe – ein Ziel

Das *NFDI-Direktorat* bildet den Vereinsvorstand, koordiniert die Aktivitäten des Vereins, fördert den Austausch und repräsentiert den Verein in der Öffentlichkeit. Die Geschäftsstelle des Direktorats mit mehreren Mitarbeiter:innen ist in Karlsruhe angesiedelt. Daneben gibt es das *Kuratorium* als administrativ-strategisches Kontrollgremium, den *Wissenschaftlichen Senat* als inhaltlich-strategisches Gremium, die *Konsortialversammlung*, welche konsortialübergreifend die inhaltlich-technischen Grund-

sätze bestimmt, sowie die *Mitgliederversammlung*, in der alle Vereinsmitglieder zusammenkommen [8]. Weitere Informationen zu den Vereinsorganen enthält die Satzung.¹

Auf den ersten Blick mag die Struktur von NFDI mit den verschiedenen Vereinsorganen komplex anmuten. Erst die Einbindung einer großen Anzahl an Communitys und Institutionen ermöglicht es jedoch, neue und allgemein akzeptierte Standards zum Forschungsdatenmanagement nach den FAIR-Prinzipien zu formulieren, die künftig nahtlos in Forschungsprozesse integriert werden. Das bedeutet im Detail:

- *Findable*: Es existieren mehr und mehr Datensätze, die jedoch oft im „Big-Data-Dschungel“ untergehen. NFDI möchte eine Art Kompass schaffen, mit dem sich Forschende durch das Datendickicht navigieren können. Metadaten und Persistent Identifier sind dabei die Koordinaten auf der Daten-Dschungel-Landkarte, die dabei helfen, Gesuchtes leichter auffindbar zu machen.
- *Accessible*: Zu viele Datenschätze fristen ihr Dasein in einsamen Kellerregalen und auf vergessenen, überholten Speichermedien. Um ihr Potenzial zu nutzen, müssen sie bewahrt und systematisch für Mensch und Maschine zugänglich gemacht werden. Durch digitale Langzeitarchivierung und standardisierte Kommunikationsprotokolle soll die Suche im staubigen Kellerregal durch wenige Klicks am Laptop abgelöst werden. Zugänglich bedeutet hier nicht, dass jede „Kellertür“ immer und für alle offensteht. Ziel ist ein dauerhafter und offener Zugriff auf Metadaten, die vor allem auch Informationen über die Voraussetzungen für den Datenabruf enthalten. Auch bei wem der „Kellerschlüssel“ abgeholt werden kann, soll darin gespeichert sein.
- *Interoperable*: Englisch oder Deutsch, Python oder Java – verschiedene Forschungscommunities nutzen verschiedene Sprachen mit unterschiedlichen Syntaxen, Semantiken und Vokabeln. So auch bei Forschungsdaten. Unterschiedliche Formate, Terminologien und Standards machen einen Austausch und das Zusammenführen von Daten ineffizient. Die Entwicklung gemeinsamer Standards mit kompatiblen Formaten sowie einer interoperablen Darstellung von Metadaten und gemeinsam definierten Terminologien und Ontologien führt zu einer für Menschen verständlichen und für Maschinen verarbeitbaren Sprache. Oder zumindest zu einer geeigneten Übersetzungsmöglichkeit.
- *Reusable*: Früher mussten Forscher:innen für neue Erkenntnisse oft um die Welt segeln, heute werden immer mehr Entdeckungen vom Laptop aus gemacht – und zwar mit bereits vorhanden Daten. Finden Wissenschaftler:innen interessante Datensätze, ist deren Wiederver-

wendung und Weiterverarbeitung häufig weder effizient noch effektiv, da wichtige Informationen zu Kontext, Provenienz (Datenherkunft), Nutzungslizenzen und Zitation nicht unmittelbar vorhanden und schwer bis gar nicht auffindbar sind. Gemeinsam entwickelte Leitfäden zur Ausgestaltung der Metadaten und empfehlenswerten Datenformaten tragen wohl nicht mehr zur Entdeckung eines neuen Kontinents bei, aber vielleicht zur Entdeckung eines neuen Planeten. Oder zum Erhalt unserer Erde und ihrer Vielfalt.

Wandel der Wissenschaftskultur

Wesentliche Ziele von NFDI sind erreicht, wenn sich Forschende bewusst und offen dem Thema Forschungsdatenmanagement zuwenden und Datenkompetenz entwickeln. NFDI kann somit ein Katalysator für den kulturellen Wandel in allen Wissenschaftsdisziplinen sein, der die Entwicklungen hin zum kompetenten Umgang mit Forschungsdaten, nachhaltigen Forschungsdatenmanagement und selbstverständlichen Teilen von Forschungsdaten – unter Beachtung rechtlicher Rahmenbedingungen – beschleunigt.

Eine starke Motivation zum Teilen von Daten kann die Etablierung eines Reputationssystems sein, das Personen ähnlich wie beim Publizieren von Forschungsergebnissen für ihre Leistungen honoriert. Im Rahmen der geplanten Sektion Training & Education sollen mit bedarfsorientierten Aus- und Weiterbildungsangeboten die Kompetenzen von (Nachwuchs-)Wissenschaftler:innen in den Bereichen Data Literacy und FAIR-Konzepten gestärkt sowie das Bewusstsein für Forschungsdatenmanagement erhöht werden.

Internationale Anbindung

Auch auf internationaler Ebene verfolgen Initiativen das Ziel, den Zugang zu wissenschaftlichen Daten in Zukunft zu vereinfachen. Die Europäische Kommission hat dazu die European Open Science Cloud (EOSC) ins Leben gerufen. Angestrebt wird, unter Beteiligung verschiedener Nationen, eine Cloud-Infrastruktur zu schaffen [10]. NFDI wird Deutschland als mandatiertes Mitglied in der EOSC Association repräsentieren und sicherstellen, dass die nationalen Entwicklungen nahtlos an die internationalen anknüpfen.

Eine weitere Dateninfrastruktur-Initiative auf europäischer Ebene ist Gaia-X [11], an der Wirtschaft und Wissenschaft gemeinsam mitwirken. Im Mai 2021 haben NFDI und Gaia-X das Verbundprojekt FAIR Data Spaces gestartet, welches vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wird. Gemeinsam soll ein cloudbasierter Datenraum unter Berücksichtigung der FAIR-Prinzipien kreiert werden. Bislang nicht genutzte

¹ Mehr über den Aufbau erfahren Sie in unserer Satzung: [9].

Potenziale sollen hierbei durch den Wissenstransfer zwischen Wirtschaft und Wissenschaft ausgeschöpft werden [12].

Darüber hinaus sind die einzelnen Konsortien ebenfalls mit internationalen Organisationen vernetzt, beispielsweise das Konsortium GHGA (German Human Genome Phenome Archive) mit dem europäischen Genomarchiv (EGA) und der Global Alliance for Genomics and Health (GA4GH). Die gemeinsame Bereitstellung von Genomdaten kann unter anderem dabei helfen, dank einer breiteren Datenbasis seltene genetische Erkrankungen besser zu verstehen.

NFDI möchte sowohl deutschlandweit als auch international ein übergreifendes Forschungsdatenmanagement etablieren und Partner zusammenbringen, die gemeinsame Werte und ein hoher Qualitätsanspruch an Daten einen.

Mitglied von NFDI werden

Aktuell hat der NFDI-Verein 142 Mitglieder (Stand 20.07.2021), darunter Ministerien, Universitäten, Hochschulen, Institute und andere Organisationen aus dem Wissenschaftsbereich. Mehr Informationen sowie das Antragsformular zur Mitgliedschaft sind auf der Internetseite des Vereins www.nfdi.de zu finden.

NFDI besser kennenlernen

Der Verein ist sowohl auf den sozialen Netzwerken Twitter @NFDI_de als auch LinkedIn (National Research Data Infrastructure Germany (NFDI)) vertreten. Hier werden aktuelle Neuigkeiten sowie Jobangebote geteilt.

In der Vortragsreihe InfraTalks geben Wissenschaftler:innen aus den Konsortien immer am ersten Montag des Monats Einblicke in ihre Forschung und aktuelle Problemfelder. Übertragen werden die Vorträge auf dem YouTube-Kanal NFDI Direktorat. Hier sind die InfraTalks auch noch nach den Live-Streams abrufbar.² Weitere Informationen finden sich auf der Vereinshomepage.

² Link YouTube-Kanal NFDI Direktorat: [13].

Literatur

1. Wilkinson M et al (2016) The FAIR guiding principles for scientific data management and stewardship. <https://www.nature.com/articles/sdata201618>. Zugegriffen: 16. Juli 2021 (Sci Data 3, Artikelnr. 160018)
2. Bundesministerium für Forschung und Bildung (2021) Nationale Forschungsdateninfrastruktur. <https://www.bmbf.de/de/nationale-forschungsdateninfrastruktur-8299.html>. Zugegriffen: 16. Juli 2021
3. Rat für Informationsinfrastrukturen (2016) Leistung aus Vielfalt. Empfehlungen zu Strukturen, Prozessen und Finanzierung des Forschungsdatenmanagements in Deutschland. <https://rfii.de/download/rfii-empfehlungen-2016/>. Zugegriffen: 16. Juli 2021
4. GWK (2018) Bund-Länder-Vereinbarung zu Aufbau und Förderung einer Nationalen Forschungsdateninfrastruktur (NFDI). <https://www.gwk-bonn.de/fileadmin/Redaktion/Dokumente/Papers/NFDI.pdf>. Zugegriffen: 16. Juli 2021
5. Deutsche Forschungsgemeinschaft (2021) Informationen und Erklärvideos zu NFDI und dem Begutachtungsprozess bei der Auswahl der Konsortien. <https://www.dfg.de/foerderung/programme/nfdi/>. Zugegriffen: 16. Juli 2021
6. Nationale Forschungsdateninfrastruktur (2021) Übersicht zu den geförderten Konsortien. <https://www.nfdi.de/konsortien-2>. Zugegriffen: 16. Juli 2021
7. NFDI4Health (2021) Task force COVID-19. <https://www.nfdi4health.de/de/task-force-covid-19/>. Zugegriffen: 16. Juli 2021
8. Kraft S, Schmalen A, Seitz-Moskaliuk H, Sure-Vetter Y, Knebes J, Lübke E, Wössner E (2021) Nationale Forschungsdateninfrastruktur (NFDI) e. V.: Aufbau und Ziele. Bausteine Forschungsdatenmanagement, Nr. 2/2021. <https://bausteine-fdm.de/article/view/8332>. Zugegriffen: 17. August 2021
9. Nationale Forschungsdateninfrastruktur (2021) Informationen zum NFDI-Verein. <https://www.nfdi.de/verein>. Zugegriffen: 16. Juli 2021
10. European Commission (2021) European open science cloud. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/open-science-cloud>. Zugegriffen: 16. Juli 2021
11. Gaia-X (2021) Homepage. <https://www.gaia-x.eu/>. Zugegriffen: 16. Juli 2021
12. Bundesministerium für Bildung und Forschung (2021) Karliczek: Mit FAIR-Data Spaces schaffen wir einen gemeinsamen Datenraum für Wissenschaft und Wirtschaft. <https://www.bmbf.de/de/karliczek-mit-fair-data-spaces-schaffen-wir-einen-gemeinsamen-datenraum-fuer-wissenschaft-14723.html>. Zugegriffen: 16. Juli 2021
13. NFDI Direktorat (2021) YouTube-Kanal. <https://www.youtube.com/channel/UCTz321rUFOvrKOGkFfhyhLQ>. Zugegriffen: 16. Juli 2021

Gewissensbits – wie würden Sie urteilen?

Georg Rainer Hofmann¹ · Debora Weber-Wulff²

Online publiziert: 30. August 2021
© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2021

Mit den ethischen Leitlinien der GI haben wir es uns zur Aufgabe gemacht, Diskurse zu ethischen Problemen der Informatik zu initiieren und zu fördern. Mitglieder der Fachgruppe „Informatik und Ethik“ der GI stellen ein hypothetisches, aber realistisches Fallbeispiel vor, das zur Diskussion anregen soll. Die Fälle können von Interessierten im Blog der Fachgruppe auf der GI-Website <https://gewissensbits.gi.de> kommentiert und diskutiert werden.



Fallbeispiel: Digitales Bargeld?

Ahmad, Benjamin und Celina treffen sich nach Arbeitschluss in einem Café. Die drei haben zusammen an der Universität Memmingen studiert. Sie sind alle im Fintech-Gewerbe tätig, aber für unterschiedliche Firmen. Nachdem sie ihre Bestellungen aufgegeben haben, beginnt Ahmad von seiner Firma zu erzählen. „Wir sind dabei, digitales

Bargeld herzustellen!“ Benjamin zieht die Augenbrauen zusammen. „Was wollt ihr da machen, digitales Bargeld? Bargeld ist nicht digital – und digitales Geld ist kein Bargeld. Beides gleichzeitig geht nicht.“ Er grinst Ahmad herausfordernd an.

„Doch, doch“, sagt Ahmad. „Wir werden mit einer Blockchain-Technologie arbeiten, damit unser digitales Geld so anonym wie Bargeld ist. Und wir wollen halt eine Lösung aus der EU haben, wegen der DSGVO. Datensparsamkeit ist unser oberstes Gebot!“ Celina verschluckt sich gerade an ihrem Tee. „Nee, Blockchain? Sag mal, hast du damals in der Uni nicht beim Thema Kryptografie aufgepasst? Blockchain kann keine Anonymität garantieren! Wann immer du mit deinem ‚digitalen Bargeld‘ zahlst, gibt es quasi ein Bewegungsmuster in der Blockchain. Im Laufe der Zeit kann man dich ohne weiteres de-anonymisieren – man erkennt deine charakteristischen Geldausgaben, wenn man es darauf anlegt. Ich arbeite ja für diese Rabattkartenfirma ‚Memmingen-Card‘. Von daher weiß ich genau, dass man aus den Daten der Zahlungsvorgänge die jeweiligen Inhaber unserer ‚Memmingen-Card‘ rekonstruieren kann.“

Der Kuchen kommt, und die Freunde fokussieren ihre Aufmerksamkeit für eine Weile auf die Leckereien.

Nach einer Weile fragt Benjamin in die Runde; „Habt ihr auch von dem großen Ransomware-Hack bei dieser einen Bank neulich gehört? Wir sind ja hier ‚nur‘ in einem Café – aber was ist, wenn du gerade tanken musst und diese digitalen Zahlungssysteme, Blockchain oder was auch immer, nicht erreicht werden können? Dann stehst du dumm da, denn du kannst das Benzin an der Tankstelle nicht bezahlen, das du aber dringend brauchst!“

Celina: „Und überhaupt, was passiert, wenn alle Leute auf digitales Geld bei der Bank umsteigen wollen oder müssen? Wenn es, wie jetzt, Negativzinsen gibt, dann kann man mit Bargeldbesitz noch ausweichen. Denn wenn alles Geld als digitales Geld bei den Banken liegt, werden diese daran sehr gut verdienen können. Nee, nee, ich meine, wir dürfen das Bargeld nicht aufgeben.“

Ahmad fragt weiter: „Aber was machst du denn jetzt für ein Projekt, Benjamin?“ – „Naja, auch wir sind dabei,

✉ Debora Weber-Wulff
weberwu@htw-berlin.de

¹ TH Aschaffenburg, Aschaffenburg, Deutschland

² HTW Berlin, Berlin, Deutschland

‚irgendwas‘ mit Blockchain zu machen. Der Aufsichtsrat hat beschlossen, dass wir uns hierzu Kompetenzen aufbauen müssen. Der Vorstand hat unser Team angewiesen, nach dem Motto: Hier ist viel Geld und wenig Zeit, macht mal was damit.“ Aber Ahmad will weiter wissen: „Und was wollt ihr denn konkret machen?“ Benjamin antwortet: „Wir sind dabei, die persönlichen täglichen finanziellen Transaktionen auf Blockchain-Basis zu implementieren.“

Darüber regt sich Celina auf, „Mensch, dann bleiben ja die Transaktionsdaten auf ewig erhalten. Eure Blockchain vergisst ja nichts! Können wir das wollen, dass man auch in 25 Jahren noch weiß, dass wir heute in diesem Café gesessen sind, und was wir hier ausgegeben haben?“ Ahmad wirft ein: „Ach komm, in 25 Jahren gibt es ganz andere Technologien, da wird man das nicht mehr nachvollziehen können. Und wen interessiert das dann überhaupt noch?“ Benjamin stellt klar, dass der Sinn von Transaktionen ja gerade der ist, dass man Jahre später nachvollziehen kann, was passiert ist. Das ist wichtig, um ggf. bei Strafermittlungen erforderliche Nachweise zu erbringen.

Gegen Ende der Kaffeerunde kommt die Kellnerin zum Abrechnen. Celina zieht ihre Geldbörse und Bargeld aus der Tasche. „Oh, haben Sie das Schild am Eingang nicht gesehen? Wir nehmen kein Bargeld mehr an. Haben Sie keine Kreditkarte oder eine girocard? Wir sind hier ein rein digitales Unternehmen. Wir haben schon zu oft Falschgeld untergejubelt bekommen.“

Celina besteht darauf, bar zu bezahlen, denn wenn sie digital bezahlt, kann ihre Frau auf dem Kontoauszug sehen, dass sie noch im Café war – und sie hatte eigentlich versprochen, weniger oft in den teuren Innenstadtcafés zu essen. Sie sagt, sie zahle sowieso lieber in bar. „Da weiß ich immer, wieviel Geld ich noch habe. Bei diesen Karten vergesse ich manchmal schon, wieviel Geld ich ausgegeben habe.“ Da schaltet sich Benjamin ein: „Na, dann zahl ich halt zusammen mit meiner Karte und ihr gebt mir das dann in bar.“ Er grinst Ahmad an: „Wobei du das doch eh abschaffen willst, das Bargeld.“ Celina zückt aber doch noch ihre ‚Memmingen-Card‘, um die Rabattpunkte für die Ausgaben im Café zu sammeln. „Das kriegt meine Frau nicht mit“, sagt sie, und grinst.

Fragen

1. Wenn Celina unbedingt mit Bargeld zahlen will, ist es dann okay, wenn Benjamin einspringt und für sie die „digitale“ Bezahlung übernimmt?
2. Celina will nicht mit Karte zahlen, aber sie zögert nicht, Rabattpunkte zu sammeln. Ist das ein Widerspruch?
3. „Irgendwas mit Blockchain“ ist sehr angesagt. Ist es sinnvoll, dass Benjamin für eine technische Lösung unbedingt Einsatzgebiete sucht?
4. Müsste Ahmad nicht genauer fragen, ob die Anonymität der Kunden durch die von ihm realisierte Blockchain wirklich geschützt ist? Verstehen alle Kunden von Ahmads Firma wirklich, was Pseudoanonymität ist?
5. Ist es sinnvoll, dass Ahmad an einer europäischen Lösung arbeitet, statt nur auf ausländische Ideen zu setzen?
6. Sollten Firmen darauf bestehen dürfen, dass die Kunden bargeldlos bezahlen? Reicht ein Schild am Eingang aus? Schließlich sind Bargeldgeschäfte gesetzlich erlaubt.
7. Sollte Bargeld besser abgeschafft werden? Das würde Schwarzgeldgeschäfte doch sehr erschweren.
8. Müsste Benjamin spezielle Datenschutzvorkehrungen treffen, wenn er die Privatsphäre von Kunden mit Transaktionen dokumentiert?
9. Inwiefern können Personen gänzlich ausgeschlossen werden, wenn sie nicht im Besitz der Infrastruktur sind? Nicht jede Person hat zum Beispiel eine Kreditkarte.
10. Was passiert, wenn die Internet Service Provider ausfallen? Oder wenn es in einer Katastrophe z. B. über eine längere Zeit Stromausfall gibt? Wie kann man dann notwendige Güter bezahlen?

Die Fachgruppe ist unter <https://fg-ie.gi.de/> erreichbar. Unser Buch „Gewissensbisse – Ethische Probleme der Informatik. Biometrie – Datenschutz – geistiges Eigentum“ ist im Oktober 2009 im Transkript-Verlag erschienen.

Pflichten im Auftragsverarbeitungsverhältnis

Ursula Sury¹

Online publiziert: 26. August 2021
© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2021

Die Ausgangslage

Die fortlaufende Digitalisierung ermöglicht Unternehmen eine Automatisierung und Vereinfachung ihrer Geschäftsprozesse. Aufgrund fehlender Fachkompetenz, den teilweise hohen Kosten oder des Ziels flexibel zu bleiben, werden teilweise ganze Arbeitsprozesse ausgelagert.

Folglich werden riesige Datenmengen, mit denen Unternehmen in ihren täglichen Prozessen umgehen müssen, auf externen Clouds/Plattformen verwaltet. Die Bedeutung des Outsourcings nimmt stetig zu, weshalb es wichtig ist die Pflichten im Auftragsverarbeitungsverhältnis zu kennen.

Dieser Artikel soll die rechtlichen Aspekte des Auftragsverarbeiters nach der europäischen Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) sowie dem revidierten Datenschutzgesetz (nDSG) und der Verordnung (nVDSG) der Schweiz beleuchten.

Was ist ein Auftragsverarbeiter?

Das nDSG, welches voraussichtlich 2022 in Kraft treten wird, spricht nicht von einem Auftragsverarbeiter, sondern von einem Auftragsbearbeiter. Einfachheitshalber wird im Folgenden der Begriff des Auftragsverarbeiters (DSGVO) verwendet.

Ein Auftragsverarbeiter ist eine natürliche oder juristische Person, eine Behörde, Einrichtung oder andere Stelle, die personenbezogene Daten im Auftrag des Verantwortlichen verarbeitet (Art. 4 Nr. 8 DSGVO; Art. 5 lit. k nDSG).

In der Regel besitzt der Auftragsverarbeiter keine Entscheidungsbefugnis über die Daten, verfolgt bezüglich den personenbezogenen Daten keinen eigenen Geschäftszweck und steht in keiner vertraglichen Beziehung mit dem Betroffenen, dessen Daten er bearbeitet. Der Datenverantwortliche

legt demgegenüber den Zweck und die Mittel der Datenverarbeitung fest.

Beispiele für Auftragsverarbeiter sind: Cloud-Anbieter wie Google Drive, externe Call-Center, E-Mail-Provider, Hostler von Onlineshops/Webseiten oder externe Wartungsdienstleister.

Was ist kein Auftragsverarbeiter?

Eigenständig agierende Berufsgruppen sind keine Auftragsverarbeiter und somit eigenverantwortlich (beispielsweise bei Rechtsanwälten, Steuerberater oder Ärzten).

Grundsätzlich liegt ebenfalls keine Auftragsverarbeitung vor, wenn anstatt einer aktiven Verarbeitung der Daten, der Dienstleister nur Support-Tätigkeiten übernimmt.

Entgegen einem weitverbreiteten Trugschluss liegt keine Auftragsverarbeitung vor, wenn die Verantwortung für die Bearbeitung von Daten bei mehreren Personen gemeinsam (Joint Controllershhip) vorhanden ist (Art. 26 DSGVO). Dies folgt, da der Auftragsverarbeiter keine Entscheidungsbefugnis über die Zwecke und Mittel der Verarbeitung besitzt, sondern aufgrund von Weisungen des Verantwortlichen tätig wird.

Wo liegt die rechtliche Problematik?

Die Übertragung einer Datenbearbeitung an einen Dritten ist heute gängige Praxis. Sie birgt jedoch Risiken – wie namentlich den unbefugten Zugriff auf die Daten, Datenverluste oder ungenügende Datensicherheit.

Bei jeglicher Auslagerung von Datenbearbeitung bleibt der Auftraggeber vollumfänglich verantwortlich (Art. 82 DSGVO; Art. 9 nDSG; Art. 6 nVDSG).

Besonders zu beachten ist der Datentransfer in Drittländer (Art. 44 ff. DSGVO; Art. 16 ff. nDSG; Art. 8 ff. nVDSG). Datenexporte dürfen nur in Drittländer mit angemessenen Datenschutzgesetzen erfolgen. Ansonsten muss anderweitig ein angemessenes Datenschutzniveau gewähr-

✉ Ursula Sury
ursula.sury@hslu.ch

¹ Luzern, Schweiz

leistet werden (z. B. Standardvertragsklauseln oder *Binding Corporate Rules*).

Pflichten des Verantwortlichen (Auftraggebers)

Der Auftraggeber hat insbesondere die Pflicht, den Auftragsverarbeiter sorgfältig auszuwählen, über den Zweck und Umfang der Datenbearbeitung zu instruieren und die Einhaltung der Datenbearbeitungsgrundsätze zu überwachen (Erwägungsgrund 81 zur DSGVO; Art. 55 des Schweizer Obligationenrechts).

Auswahl: Der Verantwortliche darf die Bearbeitung nur an jene Auftragsverarbeiter übertragen, welche die technischen und organisatorischen Massnahmen erbringen können, damit die Verarbeitung im Einklang mit den rechtlichen Anforderungen erfolgt (Art. 28 Abs. 1 DSGVO; Art. 8, 9 nDSG).

Instruktion: Dementsprechend muss zwischen dem Auftraggeber und dem Auftragnehmer ein Auftragsdatenverarbeitungs-Vertrag (ADV) ausgestaltet werden (Art. 28 Abs. 3 DSGVO), durch welchen die Pflichten des Verantwortlichen auf den Auftragsverarbeiter übertragen werden. Anders als die DSGVO sieht das nDSG indes keine detaillierten Anforderungen an Verträge zur Auftragsverarbeitung vor, sodass DSGVO-konforme Verträge mit dem kommenden nDSG kompatibel sind.

Überwachung: Es gilt regelmäßig zu prüfen, dass der Auftragsverarbeiter diese Vorgaben einhält. Dies kann durch Vorlegen von Revisionsberichten, Zertifizierungen oder einem Datenschutzaudit vor Ort möglich sein (Art. 9 Abs. 2, Art. 13 nDSG; Art. 6 nVDSG).

Der Empfänger der Daten muss der betroffenen Person mitgeteilt werden. Mindestens ist dabei die Kategorie des Empfängers zu nennen, also dass es sich um einen Auftragsverarbeiter handelt (Art. 13 Abs. 1 DSGVO; Art. 19 Abs. 2 lit. c nDSG).

Zudem müssen Verantwortliche (sowie der Auftragsverarbeiter) je ein Verzeichnis ihrer Bearbeitungstätigkeiten führen (Art. 30 DSGVO; Art. 12 Abs. 1 nDSG). In der Schweiz werden jedoch Unternehmen mit weniger als 250 Mitarbeitenden ausgenommen, deren Datenbearbeitungen ein geringes Risiko von Persönlichkeitsverletzungen mit sich bringt (Art. 12 Abs. 5 nDSG; Art. 26 nVDSG).

Pflichten eines Auftragsverarbeiters (Auftragnehmer)

Selbst wenn der Auftragsverarbeiter nicht der eigentliche Verantwortliche der Datenbearbeitung ist, muss dieser ebenfalls die Datenschutzkonformität garantieren und ist

somit mitverantwortlich für den Verarbeitungsprozess (28 Abs. 3 DSGVO; Art. 9 nDSG). Der Auftragsverarbeiter darf die ihm übertragenen Daten nur soweit bearbeiten, wie es dem Verantwortlichen selbst gestattet ist.

Daraus ergeben sich die selben Pflichten, welche ein Verantwortlicher selbst einhalten muss, wie beispielsweise ein Verarbeitungsverzeichnis zu erstellen (Art. 30 DSGVO; Art. 12 Abs. 1 nDSG; Art. 4 nVDSG), mit der Datenschutzaufsicht zusammenzuarbeiten (Art. 31 DSGVO), die technischen und organisatorischen Massnahmen der Datensicherheit einzuhalten (Art. 32 Abs. 1 DSGVO; Art. 8 Abs. 3 nDSG) oder eine Folgenabschätzung durchzuführen (Art. 28 Abs. 3 lit. f i. V. m. Art. 35 DSGVO; Art. 22 nDSG).

Zudem trifft den Auftragsverarbeiter eine Unterstützungspflicht gegenüber dem Verantwortlichen, wenn dieser seinen Pflichten nicht nachkommen kann oder will (Art. 28 Abs. 3 e, f DSGVO).

Der Auftragsverarbeiter ist verpflichtet, eine Verletzung des Schutzes personenbezogener Daten zu melden. Gemäß DSGVO (Art. 28 Abs. 3 lit. f i. V. m. Art. 33/ Art. 34 DSGVO) muss er dies direkt an die Datenschutzaufsichtsbehörde und die betroffene Person melden, währenddessen laut nDSG (Art. 24 Abs. 3 nDSG; Art. 19 nVDSG) lediglich eine Meldepflicht für den Verantwortlichen der Daten besteht. Der Auftragsverarbeiter erfüllt seine Meldepflicht mit der Meldung an den Verantwortlichen, welche so rasch wie möglich erfolgen muss (Art. 24 Abs. 3 nDSG).

Sollte der Auftragsverarbeiter wiederum einen Unterauftragsverarbeiter hinzuziehen, so braucht dies die Zustimmung des Verantwortlichen (Art. 28 Abs. 2 DSGVO; Art. 9 Abs. 3 nDSG).

Welche Sanktionen drohen?

Grundsätzlich haftet der Verantwortliche mit dem Auftragsverarbeiter zusammen für Handlungen im Auftragsverarbeitungsverhältnis (Art. 82 DSGVO).

Bei Verstößen gegen die Pflichten des Verantwortlichen respektive des Auftragsverarbeiters (gemäß Art. 28 bzw. 32 DSGVO) können Bußgelder bis zu 10.000.000 € oder bis zu 2 % des gesamten weltweit erzielten Jahresumsatzes verhängt werden (Art. 83 Abs. 4 DSGVO).

Während heute in der Schweiz lediglich Bußgelder von 10.000.- CHF (Schweizer Franken) ausgesprochen werden können, wird durch das nDSG das Strafmaß auf bis zu 250.000 CHF (Art. 60 nDSG) erhöht.

Im Gegensatz zur DSGVO ist der Normadressat in der Schweiz auf natürliche Personen beschränkt. Zwar obliegt die verwaltungsrechtliche Pflicht dem Unternehmen, zugerechnet wird die Verletzung jedoch den Leitungspersonen (Art. 29 StGB; Art. 6 VStrR). Die Bußgelder richten sich im Auftragsverarbeitungsverhältnis grundsätzlich gegen die

verantwortliche Person, welche die Datenbearbeitung einem anderen überlässt (Art. 6 nVDSG). Gewinne können zudem nach den Bestimmungen des Schweizer Strafgesetzbuches eingezogen werden.

Neben einem Bußgeld können auch Schadenersatzforderungen der einzelnen geschädigten Personen der bearbeiteten Daten drohen. Zudem können die Behörden der EU-Mitgliedsstaaten auch ein zeitlich begrenztes Verbot der Datenverarbeitung aussprechen.

Fazit

- Mit dem revidierten Schweizer Datenschutzgesetz nähern sich die Regelungen um das Auftragsverarbeitungsverhältnis an die DSGVO an.

- Die Abgrenzung zwischen Verantwortliche und Auftragsverarbeiter ist nicht immer ganz einfach.
- Da empfindliche Strafen bei einem Auftragsverarbeitungsverhältnis drohen, ist es wichtig, dass die Verantwortlichkeiten vertraglich klar geregelt werden.

Ursula Sury ist selbständige Rechtsanwältin in Luzern (CH) und Vizedirektorin an der Hochschule Luzern – Informatik. Sie ist zudem Dozentin für Informatikrecht in verschiedenen Nachdiplomstudien, welche am Institut für Wirtschaftsinformatik der Hochschule durchgeführt werden. Die Autorin ist hauptsächlich im Bereich Informatikrecht und Datenschutz tätig.

Um etliche Ecken ged8

Gehirn-Jogging auf Basis der math.- und informatisch-orientierten Rechtschreibreform

Rolf Windenberg¹

Online publiziert: 30. August 2021

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2021

Abb. 1 Regeln und Knobelaufgaben mit kleiner Hilfe zur Lösung der zweiten Knobelaufgabe [1] Die Auflösungen finden sich im nächsten Heft.

Regeln:

- Verwendung einfacher math. Symbole und von Zahlen
- Aussprache von Großbuchstaben wie im Alphabet
- Bei der informatisch-orientierten Reform: zusätzlich Verwendung programmiersprachlicher Symbole

Beispiel: „O • 8“ steht für „Oma lacht“

Knobelaufgaben:

- Anfänger: zum $(b1.N)$ füllt
- Spielerei mit Buchstaben: die KC wurD aggrSivR von sek+e zu sek+e
- Fortgeschrittene: R vRsTt (S • wldR), um etliche EckN zu dNkN
- Experten: (k1e) probleme
- Genies: Dtlf Btr8eT $\forall s \frac{d \text{ sehr}(t)}{dt}$
- Informatisch-orientiert:
if NOT corona then goto freudN
/* mit Variablendeklaration BOOLEAN corona */



✉ Rolf Windenberg
wolfinger@informatik.uni-hamburg.de

¹ Fachbereich Informatik, Universität Hamburg, Hamburg, Deutschland

Auflösungen aus dem letzten Heft (4/2021):

- Vertrauensbruch [wegen: v-R-trau-N-s-Bruch]
 - Hunde, die bellen, beißen nicht [wegen: h-und-e, d-I-b-L-N, beiß-N-nicht]
 - aufgebrachte Menge [wegen: auf-G-br-acht-e-Menge]
 - die Technik des Stabhochsprungs ist keineswegs einfach [wegen: d-I-T-chnik-D-s-stab-hoch-sprungs-ist-k-ein-S-weg-s-einfach]
- der Klavierspieler spielte ab und zu auch mal allein [wegen: D-r-kla-vier-s-pi-l-R-s-pi-l-T-ab-und-zu-auch-mal-alle-in]
 - ein durchaus effizientes Hardwareprodukt [wegen: ein-durch-aus-F-izi-N-t-S-(H-rd-ware)-Produkt]

Literatur

1. Windenberg R, Hasselfang RW (2018) Um etliche Ecken ged8 (Version 2.0). Shaker Media, Düren

Achtung.Datentrickserei

Abrechnungsbetrug in der Gastronomie – Süßer die Kassen so klingen

Hans-J. Lenz¹

Online publiziert: 10. Juni 2021

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2021

Manchmal ist es gar nicht so falsch, sich wie in dem Film „Die Feuerzangenbowle“ von 1944 ein wenig dumm zu stellen und aus dieser Perspektive heraus Dinge des alltäglichen Lebens zu betrachten. Tun wir das einmal, wie es Lehrer Professor Bömmel in dem obigen Film seinen Schülern empfahl, und betrachten wir den Besuch einer Gaststätte als Einstieg in das breite Thema Abrechnungsbetrug.

Nach dem Genuss von Speisen und Getränken besteht in Restaurants bekanntlich die Pflicht, die Leistung zu bezahlen. Sie ist vor Ort und sofort fällig, damit die Kasse klingelt – wortwörtlich bei Barzahlung. Klingelt sie wirklich immer? Wie es vielen meiner Bekannten und Freunde geht, habe auch ich ein mulmiges Gefühl, wenn die Bedienung keinen Beleg aushändigt oder nur Beträge handschriftlich auf einem Block krakelt – ohne Firma, Datum, geschweige denn Steuernummer, versteht sich. Auch die moderne digitale Variante, die Zeche auf einem vorgehaltenen Smartphone oder ähnlichem Endgerät summarisch nachzuweisen, muss nicht erzwingen, dass die Zeche gebucht und die 19 % Mehrwertsteuer an das zuständige Finanzamt abgeführt wird. Denn im ersten Fall fällt kein Beleg an, und im zweiten lässt sich softwaretechnisch die Buchung notfalls entweder komplett unterdrücken, im Journal (Liste chronologisch sortierter Transaktionen) leicht zurücksetzen (beispielsweise durch Gegenbuchung stornieren) oder gar löschen. Der graue Markt bietet dazu geeignete Software an. Die Medien in Berlin berichteten darüber hinaus, dass betrügerische Wirte sogar zwei Registrierkassen in Betrieb hatten. Eine für scheinbare Umsatzerfassung, die andere Kasse für steuerlich zu deklarierende Umsätze – wenn man so will, die betrügerische Variante der doppelten Buchhal-

tung. Für die Redlichkeit von Wirten dagegen spricht seit eh und je die unaufgeforderte Übergabe der Rechnung bei nicht barer Zahlung zusammen mit dem Beleg über die erfolgte Giro- oder Kreditkartenzahlung. Dabei ist nicht der völlig unverbindliche „Info-Druck“ gemeint, der gerne zusammen mit ein paar Bonbons am Ende des Besuchs im Restaurant vorgelegt wird [1].

Bei der Vielzahl der Gaststätten, die deutschlandweit existieren und ehrlich abrechnen sowie angesichts der vielen Restaurantbesuche, die die große Mehrzahl der Gäste als unauffällig in Erinnerung hat, scheint das obige Geschehen an den Haaren herbeigezogen und letztlich vernachlässigbar zu sein. Dem ist nicht so, wie sich nicht nur in Berlin zeigte. In dem gleichermaßen bei Einheimischen und Touristen beliebten Kiez rund um den Savignyplatz in Berlin – Teil der City West – setzte ab 2018 in kurzer Zeit ein fast synchrones, Dritten unerklärliches „Restaurantsterben“ ein, obwohl diese Betriebe abends bestens besucht waren – lange noch vor der Schließung wegen der COVID-19-Pandemie. Die Restaurants hatten von innen Schilder mit dem Vermerk an die Eingangstür geklebt, dass nach „Renovierung“ wieder geöffnet werde. Was war geschehen? Der Grund war simpel: Eben jene Gastronomen sind bei unerwarteten und unangekündigten Schwerpunktkontrollen der Berliner Finanzbehörde erwischt worden [2]. 2019 gab es in Berlin rund 15.000 Gastronomiebetriebe, von denen nach Angaben des Berliner Finanzsenators nur 3,5 % kontrolliert wurden. Wie Der Tagesspiegel [2] berichtete, brachten Betriebsprüfungen in 2019 von 1535 Berliner Gastronomiebetrieben dem Berliner Fiskus Mehreinnahmen von satten 40,6 Mio. €, wobei allein 5,5 Mio. € auf nur zehn Betriebe entfielen. Wie die Finanzbehörde weiter berichtete, wurden 62 Straf- oder Bußgeldverfahren eingeleitet, etliche begleitet von einstweiligen Betriebsschließungen. Der ehemalige Finanzminister von NRW, Norbert Walter-Borjahn, bezifferte den Gesamtschaden des Mehrwertsteuerbetrugs in 2016, verursacht durch manipulierte Registrier-

✉ Hans-J. Lenz
Hans-J.Lenz@fu-berlin.de

¹ Freie Universität Berlin, Berlin, Deutschland

kassen bei Geschäften und Gaststätten, deutschlandweit auf 5–10 Mrd. € [3]. Der Berliner Senat setzte sich zum Ziel, ab 2019 die bisherige Prüfquote von 3,5% mehr als zu verdoppeln und baute flankierend auf eine so genannte Kassennachschau, die nunmehr seit 2018 möglich ist. Sie umfasst nichts anderes als die Buchungssätze auf Ordnungsmäßigkeit des Geschäftsablaufs online zu überprüfen. Weiteres regelt die Kassensicherungsordnung von 2020. Diese zwingt Geschäfte und Restaurants darüber hinaus, Bons unaufgefordert auszuhändigen, Registrierkassen durch eine zertifizierte Sicherheitseinrichtung zu schützen, um simples Löschen von Umsätzen oder andere Datenmanipulationen zu verhindern. Weiterhin gilt, dass ab 2010 gekaufte Kassen, die sich baubedingt bis 2020 nicht nachrüsten lassen, ab 2022 außer Betrieb zu stellen sind. Der Umstellungsaufwand für die Gewerbetreibenden ist, wie sich denken lässt, erheblich und kann nicht aus der Portokasse, geschweige denn aus einer schwarzen Kasse, bezahlt werden. Die Bundesregierung beziffert den Aufwand auf einmalig etwa 1,6 Mrd. € [3].

Zurückblickend lässt sich festhalten, dass für den Kladradatsch in Berlin nicht nur betrügerische Wirte mit einem Geschäftsmodell verantwortlich waren, das auf schwarzen Kassen, Schwarzgeld, Schwarzarbeit und Umsatzsteuerbetrug basierte, sondern in nicht unerheblichem Maße auch die Finanzbehörden selbst. Sie prüften über Jahre hinweg kaum oder lax, insbesondere wegen zu knapper Personalausstattung bei den Betriebsprüfern. Die Abschmelzung der Personaldecke im öffentlichen Dienst war seit der Wende erklärte Politik des ehemaligen Finanzsenators Sarrazin und der Senatskanzlei. Derartige Unstimmigkeiten bei Abrechnungen in der Gastronomie sind typisch für deutsche Großstädte. Zu deren Bekämpfung liefern die Fachgebiete Controlling, Revision und Compliance die methodischen und organisatorischen Grundlagen. Kommen erste Zweifel an einem ordnungsgemäßen Ablauf der Geschäftsprozesse auf, gibt es bereits Auffälligkeiten oder wird gar Veruntreuung und Unterschlagung vermutet, so ist angezeigt, „forensische Datenanalytik“ zu starten, die vorweg Plausibilitätsberechnungen – auch Alternativ- oder Fermi-Abschätzungen genannt – durchführt [4]. Dieser modellbezogene Ansatz basiert generell gesehen auf Vergleichs- oder Kennwerten, die aus Längsschnitt- oder Querschnittsdaten oder beiden in gepoolter Form berechnet werden können. Sie liefert jedoch nur Indizien, keine gerichtsfesten Beweise. Denn die betrieblichen Daten sind unvollständig und widersprüchlich, und die Analyseergebnisse gehen zwangsläufig mit Unschärfe und Unsicherheit der Abschätzungen einher. Die vorangehende Datenanalyse gibt allerdings gezielte Hinweise, welche Daten Auffälligkeiten zeigen und welche Geschäftsbereiche möglicherweise betroffen sind. So kann anschließend eine detaillierte Prüfung der Daten, also der Aktenvermerke, Lieferscheine,

Buchungen, Telefonaufzeichnungen, Mails und sonstiger Belege, aus betriebswirtschaftlicher und juristischer Sicht erfolgen. Diese Zwei-Phasen-Vorgehensweise ist weniger aufwendig als eine reine Aktenprüfung von Anfang an.

Im betrachteten Kontext wird methodisch so vorgegangen, dass die Anzahl der Gäste oder die monatlichen Essen- und Getränkebestellungen (E) einer Gastronomie über Betriebe mit vergleichbarer Größe, Kategorie und Lage in ähnlicher Jahreszeit abgeschätzt werden. Der zugehörige Preisvektor (p) kann beispielsweise der aktuellen Speisekarte entnommen werden. Im Modell $\hat{U} = Ep$ symbolisiert \hat{U} den Schätzer oder Vergleichswert des Umsatzes. Überwiegend wird in der Praxis ein deterministisches Modell genutzt, wobei E , p fest vorgegeben sind. Sind diese Größen unscharf, lassen sich stochastische oder Fuzzy-Set-Ansätze verwenden [4, 5, 7]. Dann tritt zum Vergleichswert ein Unschärfbereich $\pm u$ hinzu, der von einer gewählten Konfidenz $1 - \alpha$ abhängt, beispielsweise $1 - \alpha = 99\%$. Der Vergleichsumsatz wird mit dem Istwert des Umsatzes (U) abgeglichen, um zu prüfen, ob dieser möglicherweise zu klein ausgewiesen ist, d. h. $U < \hat{U}$. Denn ein betrügerischer Wirt verkleinert seinen Umsatz um die Schwarzgeschäfte. Zusätzliche Einsicht in ein illegales Geschäftsgebaren vermittelt die Kostenanalyse, die einen ähnliche Modellansatz nutzt. Hier wird die Anzahl der Essensbestellungen sowie der bestellten Getränke (E) wie oben geschildert vorgegeben. Die Frage ist dann nur noch, welcher Verbrauch bzw. welche Kosten dazu betrieblich zwingend nötig sind. Dafür müssen Herstellkostenatz (h) je Gericht und der Einkaufspreis (e) je Getränk ermittelt werden. Folglich erhält man als geschätzte Kosten $\hat{K} = Eh + Ge$. Die Abweichung der geschätzten von den Istkosten (K) gibt Aufschluss über mögliche Irregularitäten im Betrieb. Hier ist eine Fallunterscheidung angebracht. Besteht der Verdacht auf nicht abgerechnete Bewirtungen und „downsized“ der betrügerische Wirt nicht proportional seine Kosten, sondern streicht beispielsweise teure Wein- und Wildbestellungen für private Zwecke als Schwarzgeldanlage ein – Privatverbrauch als Betriebsausgaben handels- und steuerlich zu deklarieren ist in Betrüger Kreisen gang und gäbe – dann sollte $\Delta_K = K - \hat{K}$ groß ausfallen. In einem solchen Fall schließt sich der Dateneine Kausalanalyse an. Sie muss dem Wirt Abrechnungsbetrug bei Kosten und Umsatz anhand aufwendiger Prüfung der Geschäftsunterlagen betriebswirtschaftlich und juristisch gesichert nachweisen. Gelingt dies nicht, ist der Restaurantbetreiber soweit gesehen entlastet.

Es gibt Fälle, wo die betrieblichen Daten im Gesamtzusammenhang vorschriftenkonform erscheinen, der Prüfer jedoch intuitiv Datenmanipulationen vermutet. Hierüber berichtet F. Wehrheim, ein ehemaliger deutscher Steuerfahnder, in ausgesprochen unterhaltsamer Form [6]. Die hessische Steuerfahndung setzte eine Fahndungsgruppe ein, die ein ins Visier genommenen China-Restaurant, das man ver-

dächtigte, aber dem man nichts nachweisen konnte, über einen längeren Zeitraum per Video aus einem gegenüberliegenden Haus beobachtete. Über die Anzahl der überraschend vielen am Eingang erfassten Gäste wurde auf die Anzahl an Bestellungen geschlossen und mittels der ausgewiesenen Preise auf den Gesamtumsatz hochgerechnet. Dabei hat es die Steuerfahndung einfach; denn ihre Festsetzungen werden von den Gerichten eo ipso akzeptiert.

Am Rande sei angemerkt, dass die obigen modellgestützten Plausibilitätsberechnungen auch in der Großindustrie anwendbar sind, um Unwirtschaftlichkeiten oder Diebstahl in den unterschiedlichen Bereichen aufzudecken oder die Produktionsplanung zu unterstützen, Sollwerte zu berechnen. Eine solche analytische Prüfung startet mit aggregierten Größen und führt die Kosten- und Leistungsrechnung zusammen. Dabei stellen Stücklisten einerseits oder Bayesche Netzwerke andererseits die entscheidenden Methoden dar, um den periodenbezogenen Verbrauch an Rohstoffen und Halbfertigfabrikaten sowie den Einsatz von Arbeitsstunden zur Herstellung von Enderzeugnissen mit ihren oft millionenfachen Varianten strukturell und mengenmäßig zu erfassen [4, 5, 7].

Abschließend rufen wir dem Leser den Spruch eines unbekanntenen Verfassers in Erinnerung, den wir alle angesichts des Risikos, selbst übers Ohr gehauen zu werden, beherzigen sollten: „If a man defrauds you one time, he is a rascal; if he does it twice, you are a fool“.

Literatur

1. Matthies B (2019) TischGESPRÄCH. Der Tagesspiegel, 14.09.19, S MG1
2. Zawatka-Gerlach U (2019) Steuerfahnder sind ihr Geld wert. Der Tagesspiegel, 9.9.2019, S 7
3. Freund K (2016) Gegen Steuerbetrug an Registrierkassen. www.handwerksblatt.de. Zugegriffen: 22.03.21
4. Müller R, Lenz HJ (2013) Business intelligence. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg
5. Gebhardt J et al (2006) Graphical models for industrial planning on complex domains. In: Della Riccia G et al (Hrsg) Decision theory and multi-agent planning. Springer, Wien, New York, S 131–143
6. Wehrheim F, Gösele M (2011) Inside Steuerfahndung. Riva, München
7. Kluth M (1996) Wissensbasiertes Controlling von Fertigungseinzelkosten. Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden

Mitteilungen der GI im Informatik Spektrum 5/2021

Cornelia Winter

Online publiziert: 20. August 2021
© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2021

Aus Vorstand und Präsidium

Vorstands- und Präsidiumswahl 2021

In diesem Jahr wird sowohl der Vorstand als auch ein Teil des GI-Präsidiums neu gewählt. Die Wahl läuft von Mitte Oktober bis zum 2. Dezember 2021. Alle ordentlichen und korporativen Mitglieder sind wahlberechtigt. Präsidium und Mitgliederversammlung haben über die Wahllisten entschieden. Alle Kandidatinnen und Kandidaten finden Sie mit ausführlichen Informationen unter <https://gi.de/wahlen>.

Ergebnisse der Präsidiumssitzung vom 24./25. Juni 2021

Das Präsidium stimmt den vorgelegten Wirtschaftsplänen für die Jahre 2021 und 2022 zu (24 ja, 1 nein, 1 Enthaltung).

Das Präsidium stimmt der vom Vorstand vorgeschlagenen Beitragsstruktur und -höhe für das Jahr 2022 zu (22 ja, 3 nein, 1 Enthaltung).

Das Präsidium stimmt der Ordnung der Wahlen und Abstimmungen zu (19 ja, 0 nein, 4 Enthaltungen).

Das Präsidium stimmt der Geschäftsordnung der Gliederungen zu (20 ja, 0 nein, 3 Enthaltungen).

Das Präsidium stimmt der Geschäftsordnung des Präsidiums zu (20 ja, 0 nein, 3 Enthaltungen).

Das Präsidium stimmt der Geschäftsordnung des Vorstandes zu (20 ja, 0 nein, 3 Enthaltungen).

Das Präsidium stimmt der Geschäftsordnung der Geschäftsführung zu (ja 20, nein 0, 3 Enthaltungen).

Das Präsidium stimmt der Beitragsordnung zu (20 ja, 1 nein, 2 Enthaltungen).

Das Präsidium stimmt der vorgelegten Liste der Kandidatinnen und Kandidaten für die Präsidiumswahl 2021 zu (21 ja, 0 nein, 0 Enthaltung).

- Prof. Dr. Holger Hünemohr, HS Rhein-Main, Fachbereich Design, Informatik, Medien
- Edna Kropp, Senior Technical Product Manager bei LivePerson
- Christof Leng, SRE-Manager bei Google
- Prof. Dr. Daniela Nicklas, Uni Bamberg, Lehrstuhl für Informatik, insbesondere Mobile Softwaresysteme/Mobilität
- Dr. Jan Sürmeli, FZI Außenstelle Berlin, Abteilungsleiter
- Katharina Weitz Uni Augsburg, Lehrstuhl für Mensch-zentrierte Künstliche Intelligenz; Wissenschaftliche Mitarbeiterin

Das Präsidium stimmt der vorgelegten Liste der Kandidatinnen und Kandidaten für die Vorstandswahl 2021 zu (21 ja, 0 nein, 0 Enthaltung).

- Christine Regitz, SAP, als Präsidentin
- Prof. Dr. Ulrike Lucke, Universität Potsdam, als Vizepräsidentin
- Prof. Dr. Erhard Rahm, Universität Leipzig, als Vizepräsident
- Prof. Dr. Martin Wolf, FH Aachen, als Vizepräsident

Das Präsidium stimmt der vorgelegten Liste für die Findungskommission für die Präsidiumswahl 2022 zu (20 ja, 0 nein, 1 Enthaltung).

- Prof. Dr. Jörg Desel, Fernuniversität Hagen
- Prof. Dr. Dominik Herrmann, Universität Bamberg (Sprecher)
- Prof. Dr. Michael Koch, Universität der Bundeswehr München
- Kirsten Messer-Schmidt, excepture Bonn
- Prof. Dr. Gudrun Schiedermeier, FH Landshut
- Prof. Dr. Maria Wimmer, Universität Koblenz-Landau

Das Präsidium stimmt der vorgelegten Liste für den Wahlausschuss 2021 zu (20 ja, 0 nein, 1 Enthaltung).

- Prof. Dr. Gerit Hornung, Universität Kassel (Sprecher)
- Prof. Dr. Rüdiger Grimm, Universität Koblenz-Landau (stellvertretender Sprecher)
- Prof. Dr. Thomas Barton, Hochschule Worms
- Karl-Heinz Künkel, GI Bonn
- Kirsten Messer-Schmidt, Excepture Bonn
- Prof. Dr. Gerd Stumme, Universität Kassel
- Cornelia Winter, GI Bonn

Das Präsidium stimmt den vorgeschlagenen Personen als Rechnungsprüfer für das Jahr 2021 zu (21 ja, 0 nein, 0 Enthaltung).

- Prof. Dr. Michael Meier, Universität Bonn
- Prof. Dr. Christoph Rosenkranz, Universität Köln

Folgende Personen werden bestätigt, bzw. benannt zu (23 ja, 0 nein, 0 Enthaltung):

- Dr. Steffen Schilke als Vertretung der Regionalgruppen im Präsidium
- Prof. Dr. Christina Class als Sprecherin des FB IUG (Wiederwahl)
- Dr. Stefan Ullrich, stv. Sprecher des FB IUG (Wiederwahl)

Das Präsidium stimmt der Verabschiedung der Empfehlungen zu Data Science zu (21 ja, 0 nein, 2 Enthaltungen).

Das Präsidium stimmt der Umbenennung des PAK e-Science in PAK NFDI zu (21 ja, 0 nein, 0 Enthaltung).

Das Präsidium stimmt der Verabschiedung des Leitfadens für gendersensible Sprache zu (18 ja, 3 nein, 2 Enthaltungen).

Aus der Geschäftsstelle

Unsere Geschäftsstellen befinden sich in ständiger Bewegung. Insbesondere in der Geschäftsstelle Berlin gibt es durch das vielfältige Projektgeschäft immer wieder neue Gesichter. Wenn Sie sich dafür interessieren, wer in der GI hauptamtlich aktiv ist: auf unserer Webseite finden Sie nahezu alle Gesichter: <https://gi.de/kontakt>.

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit der GI

GI veröffentlicht Empfehlungen zur Gestaltung von Data-Science-Masterstudiengängen (14. Juli 2021)

Das Präsidium der Gesellschaft für Informatik e. V. (GI) hat Empfehlungen für die Gestaltung von Data-Science-Masterstudiengängen auf Basis eines Bachelors in (Wirtschafts-) Informatik oder Mathematik verabschiedet. Sie sollen als Grundlage für die Akkreditierung entsprechender Studiengänge dienen.

Dem kompetenten Umgang mit Daten kommt in der zunehmend digital vernetzten Welt eine immer größere Bedeutung zu. Das betrifft auch die Auseinandersetzung mit dem Datenumgang in der Wissenschaft, sei es in den Natur-, Lebens- und Ingenieurwissenschaften oder in den Sozial- und Gesellschaftswissenschaften. Data Science ist damit eine Schlüsseldisziplin des Informationszeitalters. Entsprechend rasant wächst die Zahl an Data-Science-Studienangeboten, die auf die hohe Nachfrage und den deutlichen Fachkräftemangel an qualifizierten Data Scientists reagieren. Doch einheitliche Standards für Data-Science-Studiengänge gibt es bisher nicht.

Die Empfehlungen basieren auf dem im Dezember 2019 veröffentlichten Arbeitspapier „Data Science: Lern- und Ausbildungsinhalte“, welches ebenfalls durch die Task Force erstellt wurde. Adressiert werden dort im ersten Schritt Personen, die bereits einen einschlägigen Bachelorabschluss in Informatik, Mathematik, Statistik oder Vergleichbarem vorweisen können und eine Tätigkeit als Data Scientist in der Forschung oder Industrie anstreben. Diese Zielgruppe wurde im Arbeitspapier als Persona A definiert.

Die Empfehlungen berücksichtigen damit weder isolierte Masterprogramme noch streng konsekutive Studienverläufe im Bereich Data Science. Im Fokus stehen vielmehr Inhalte, die gemeinsam mit einem fundierenden Bachelorstudium gelehrt werden sollen. Dadurch beantworten die Empfehlungen im Wesentlichen auch die Frage, wie verschiedene Zugangsvoraussetzungen innerhalb eines Masterstudiengangs Data Science so synchronisiert werden können, dass Studierende mit diversen Vorkenntnissen letztlich ein gleiches Kompetenzniveau im Umgang mit Daten aufweisen. Auf der GI-Website stehen die Empfehlungen zum Download bereit. https://gi.de/fileadmin/GI/Hauptseite/Service/Publikationen/Empfehlungen/Empfehlungen_Masterstudiengaenge_DataScience_2021.pdf.

Den kompletten Text der Pressemitteilungen finden Sie unter <https://gi.de/aktuelles/presse>.

Aus den GI-Gliederungen

Promotionspreis Sicherheit ausgeschrieben

Der CAST e. V. und der Fachbereich „Sicherheit – Schutz und Zuverlässigkeit“ der Gesellschaft für Informatik e. V. (GI) vergeben einen Preis für eine hervorragende Leistung im Bereich der IT-Sicherheit. Die Dissertation muss in einem Themengebiet des Fachbereichs Sicherheit bzw. seiner Fachgruppen angesiedelt sein.

Preiswürdig sind Arbeiten, die einen Fortschritt für die IT-Sicherheit bedeuten, und solche, die einen Zugewinn von



Abb. 1 Das deutsche Team bei der IOI 2021 (an den vier Tischen im Vordergrund, *vlnr*): Saleh Poorabbasi, Bumjun Kim, Marc Strufe, Lucas Schwebler. Im Hintergrund die Teamleiter Julian Baldus und Philip Wellnitz. (Quelle: BWINF)

Sicherheit in IT-Anwendungen ermöglichen. Der Preis ist mit 3000,- Euro dotiert.

Bewerberinnen bzw. Bewerber sollten die Promotion abgeschlossen haben oder kurz vor dem Abschluss stehen. Die Arbeit darf zum Zeitpunkt der Einreichung nicht länger als 24 Monate abgeschlossen sein. Die Arbeit darf bereits für andere Preise nominiert worden sein. Einsendeschluss ist der 15. Dezember 2021 (23.59 Uhr MEZ).

Weitere Details unter <https://fb-sicherheit.gi.de/mitteilung/cast-gi-promotionspreis-it-sicherheit-2022-aufruf-zur-einreichung>.

Bundesweit Informatiknachwuchs fördern

Internationale Informatik-Olympiade (IOI) 2021: Zweimal Bronze für Deutschland

Nach 2020 war Singapur erneut Gastgeber der IOI, doch auch in diesem Jahr erzwang die Pandemie eine digitale Austragung. Das deutsche IOI-Team hatte sein Quartier in Königswinter bei Bonn aufgeschlagen. Die Teilnahme wurde, nebst Rahmenprogramm, von den Bundesweiten Informatikwettbewerben realisiert (Abb. 1).

Mit Marc Strufe aus Gönheim und Saleh Poorabbasi aus Düsseldorf sicherten sich zwei der insgesamt vier deutschen Teammitglieder eine Bronzemedaille. Strufe lag nur kurz hinter den Silberrängen und beendet damit eine erfolgreiche Saison. Er hatte bereits bei der Ostsee-Informatikolympiade (BOI) Bronze gewonnen, gemeinsam mit Lucas Schwebler aus Sandhausen. Schwebler verpasste bei der IOI knapp die Medaillentränge, genau wie Bumjun Kim aus Dresden.

Gesamtsieger der IOI 2021 wurde Mingyang Deng aus China, der 600 von 600 Punkten erzielte; er konnte als einziger alle sechs Aufgaben perfekt lösen. Das Team aus China war auch insgesamt erfolgreich und belegte die vier ersten Plätze. Die Schlussfeier für die 351 Informatik-Olympionik*innen wurde von den 88 Teams aus aller Welt am Bildschirm verfolgt.

Die IOI ist die jährliche Jugendweltmeisterschaft in Informatik. In zwei Prüfungen lösten die Olympionik*innen extrem anspruchsvolle Probleme, die Höchstbegabung, theoretische Vorkenntnisse auf Hochschulniveau und fehlerfreies Implementieren verlangen. Unter anderem galt es, Gensequenzen zu vergleichen und ein neuartiges Prozessordesign auszuprobieren.

2022 soll die IOI in Indonesien vor Ort stattfinden. Eine Chance zur Teilnahme haben die besten Teilnehmerinnen und Teilnehmer des 39. Bundeswettbewerbs Informatik.

GI-Tagungen

27.10.2021

Online

TÜV-AI-Conference

<https://www.tuev-verband.de/events/konferenzen/ai-conference/tuevr-ai-conference-2021>

03.11.2021–05.11.2021

online

International Embedded Systems Symposium

<https://www.iess.org/>

26.09.2022–30.09.2022

Hamburg

INFORMATIK 2022

gs@gi.de

06.03.2023–10.03.2023

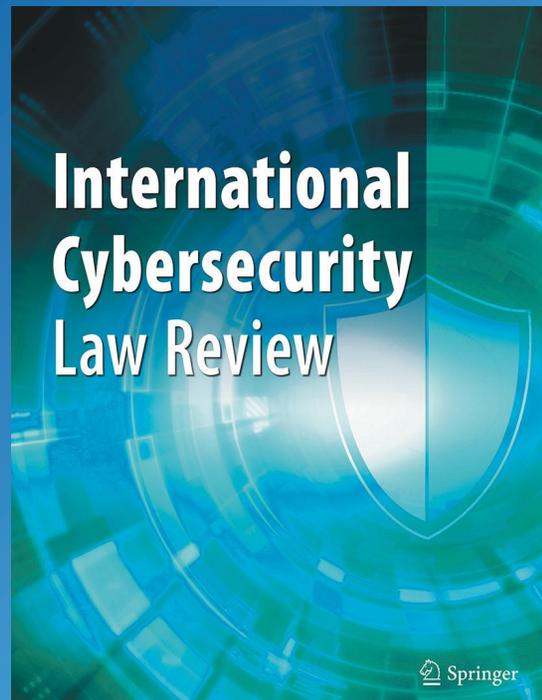
Dresden

20. Fachtagung für Datenbanksysteme für Business, Technologie und Web

BTW 2023

<https://btw2023-dresden.de/>

Editor-in-Chief:
Dennis-Kenji Kipker



International Cybersecurity Law Review

Zeitschrift für Cybersicherheit und Recht

International Cybersecurity Law Review - Zeitschrift für Cybersicherheit und Recht

The International Cybersecurity Law Review (ICLR) is chiefly aimed at professionals interested in developments in international cybersecurity, data security, technology, law and regulation. Articles deal with compliance and security regulation, as well as related issues around the globe. Thus, ICLR is providing crucial and reliable information for anyone who is doing IT related business internationally.

Die International Cybersecurity Law Review (ICLR) richtet sich vor allem an Fachleute, die sich für Entwicklungen in den Bereichen internationale Cybersicherheit, Datensicherheit, Technologie, Recht und Regulierung interessieren. Die Artikel befassen sich mit der Einhaltung von Vorschriften und Sicherheitsbestimmungen sowie mit verwandten Themen rund um den Globus. Somit stellt ICLR entscheidende und zuverlässige Informationen für jeden bereit, der international im IT-Bereich tätig ist.

Jetzt bestellen auf springer.com/shop oder in Ihrer Buchhandlung

Part of **SPRINGER NATURE**

Lehrbuch Informatik



M. Homeister
Quantum Computing verstehen
 Grundlagen – Anwendungen –
 Perspektiven

5., aktualisierte u. erw. Aufl. 2018, XI,
 328 S. 83 Abb., 15 Abb. in Farbe.
 Brosch.

€ (D) 34,99 | € (A) 35,97 | *sFr 39,00

ISBN 978-3-658-22883-5

€ 26,99 | *sFr 31,00

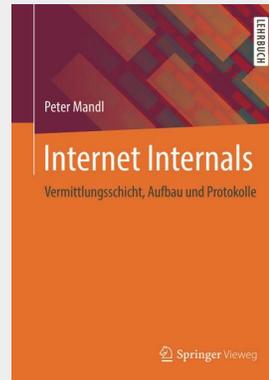
ISBN 978-3-658-22884-2 (eBook)

- Quantum Computing begreifen – ohne spezielle Vorkenntnisse
- Erklärt konkrete Anwendungen und aktuelle Forschung: von Grovers Suchalgorithmus bis Quantenkryptographie
- Alle wichtigen Begriffe werden umfassend erklärt

Nach der technologischen Revolution, die die Erfindung des Computers ausgelöst hat, steht mit der Zusammenführung von Computing und Quantenmechanik die nächste bevor: Quantum Computing. Anschaulich und auf Beispiele gestützt führt dieses Buch in die Grundlagen des Quantum Computing ein. Was ein Quantencomputer ist und was er kann wird anhand von Algorithmen erläutert, also anhand von konkreten Rechenverfahren. Dieser an den Grundlagen orientierte Zugang befähigt Leserinnen und Leser aktuelle und auch künftige Entwicklungen einzuordnen. Um zu verstehen, wie Quantencomputer rechnen, erklärt der Autor, der als Professor für Informatik an der TH Brandenburg lehrt, zunächst die einfachen quantenmechanischen Prinzipien und stellt diese so anwendungsorientiert wie nur möglich dar.

Ihre Vorteile in unserem Online Shop:

Über 280.000 Titel aus allen Fachgebieten | eBooks sind auf allen Endgeräten nutzbar |
 Kostenloser Versand für Printbücher weltweit



P. Mandl
Internet Internals
 Vermittlungsschicht, Aufbau
 und Protokolle

2019, XII, 197 S. 102 Abb. Brosch.

€ (D) 32,99 | € (A) 33,92 | *sFr 36,50

ISBN 978-3-658-23535-2

€ 24,99 | *sFr 29,00

ISBN 978-3-658-23536-9 (eBook)

- Überblick über den Aufbau des Internets
- Erklärung von Protokollen und Algorithmen der Internet-Vermittlungsschicht
- Anschauliche Erläuterung des Zusammenwirkens der Internet-Mechanismen

Lernen Sie in diesem Buch alles über Vermittlungsschicht und Aufbau des Internets und die Übertragung von Informationen Sie haben sich schon immer gefragt, wie das World Wide Web aufgebaut ist? Sie suchen eine Einführung in die „Internet Internals“? Dieses Buch über die Vermittlungsschicht des Internets gibt Ihnen Antworten. Es führt Sie in die Grundlagen der Übertragung von Daten im Netz ein und vermittelt Ihnen dabei einen Überblick über den Aufbau des Internets. Die große Stärke dieses Buchs über die Vermittlungsschicht des Internets liegt darin, dass es komplexe Sachverhalte wie Protokolle und Algorithmen im Detail beschreibt, dabei jedoch stets verständlich und übersichtlich bleibt. Die Inhalte von „Internet Internals“ Autor Peter Mandl gewährt dem Leser einen möglichst tiefen wie breiten Einblick in die Kommunikationsstrukturen des World Wide Webs.

€ (D) sind gebundene Ladenpreise in Deutschland und enthalten 7 % für Printprodukte bzw. 19 % MwSt. für elektronische Produkte. € (A) sind gebundene Ladenpreise in Österreich und enthalten 10 % für Printprodukte bzw. 20 % MwSt. für elektronische Produkte. Die mit * gekennzeichneten Preise sind unverbindliche Preisempfehlungen und enthalten die landesübliche MwSt. Preisänderungen und Irrtümer vorbehalten.

Jetzt bestellen auf springer.com/informatik oder in der Buchhandlung

Part of **SPRINGER NATURE**