



NR. 30 – JANUAR 2015

MATHE-LMU.DE

CARATHÉODORY-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER MATHEMATIK IN WIRTSCHAFT,
UNIVERSITÄT UND SCHULE AN DER LMU MÜNCHEN E.V.



Bachelor-Abschluss – und dann? - Seite 12

Ein Märchen von Statistik –
eine Wahrheit über die Natur - Seite 24

Liebe Leserinnen und Leser,

Liebes Vereinsmitglied,

wie schon im letzten Heft angekündigt greifen wir in dieser Ausgabe die Frage nach der Akzeptanz der Bachelor-Abschlüsse in (Wirtschafts-)Mathematik auf. Zum einen haben wir den sehr schönen Bericht von Frau Sarah Goob über ihre Tätigkeit bei Springer Basel erhalten. Zum anderen hat uns Herr Feilmeier den Kontakt zu den Personalabteilungen zweier Unternehmen vermittelt. Frau Sandra Romahn von msg life und Herr Peter Müller von Swiss Life haben uns dankenswerterweise viel Zeit für Interviews gewidmet, deren Ergebnisse auf den Seiten 12 – 13 zusammengefasst sind.

Der Praktikumsbericht ist diesmal in jeder Hinsicht ungewöhnlich, war es doch ein Praktikum nach dem ersten Lehramtsexamen in Namibia – lassen Sie sich von der Erzählung und den wunderbaren Bildern faszinieren!

Last but not least haben wir wieder einen spannenden mathematischen Artikel erhalten, der uns ein quantenmechanisches Phänomen näher bringt. Dass eine Spin-Off Firma der LMU entsprechende Experimentalaufbauten für Schulen und Universitäten entwickelt hat, macht den Artikel besonders aktuell.

Ihnen allen ein glückliches Jahr 2015

Heiner Steinlein

Titelbild: Beim Gruppenfoto des Probestudiums – hier nur ein kleiner Ausschnitt – stand nur der Fotograf im Regen.

die Weiterentwicklung der Carathéodory-Gesellschaft geht planmäßig voran. So konnten wir für unseren Beirat acht international bekannte Wissenschaftler und erfolgreiche Unternehmer gewinnen: Dr. Harald Benzing, Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Roland Bulirsch, Prof. Dr. Damir Filipović, Prof. Dr. Elmar Helten, Dr. Christian Hofer, Prof. Dr. Ulrich G. Oppel, Prof. Dr. Helmut Schwichtenberg und Prof. Dr. Heiner Steinlein.

Bei der für den 26. Januar terminierten Gemeinschaftsveranstaltung des Versicherungsmathematischen Kolloquiums der LMU mit der Carathéodory-Gesellschaft referiert Dr. Herbert Schneidemann, Vorstandsvorsitzender „die Bayerische“, zum derzeit alle in dieser Branche bewegenden Thema „Steuerung von Lebensversicherungsunternehmen in Zeiten von Solvency II und Niedrigzins“.

Für den 8. Mai, dem voraussichtlichen Termin auch unserer alljährlichen Mitgliederversammlung, planen wir gemeinsam mit dem Bayerischen Finanzzentrum e.V. eine halbtägige Vortragsveranstaltung in der LMU, die sich der Thematik „Big Data, Digitalisierung, adäquate mathematische Verfahren“ widmen wird, natürlich unter Einbeziehung hochrangiger Wissenschaftler und anerkannter Praktiker.

Sehen Sie bitte regelmäßig in unsere Homepage www.caratheodory-gesellschaft-lmu.de und Sie sind zeitnah über alle Aktivitäten informiert.

Ihr Manfred Feilmeier

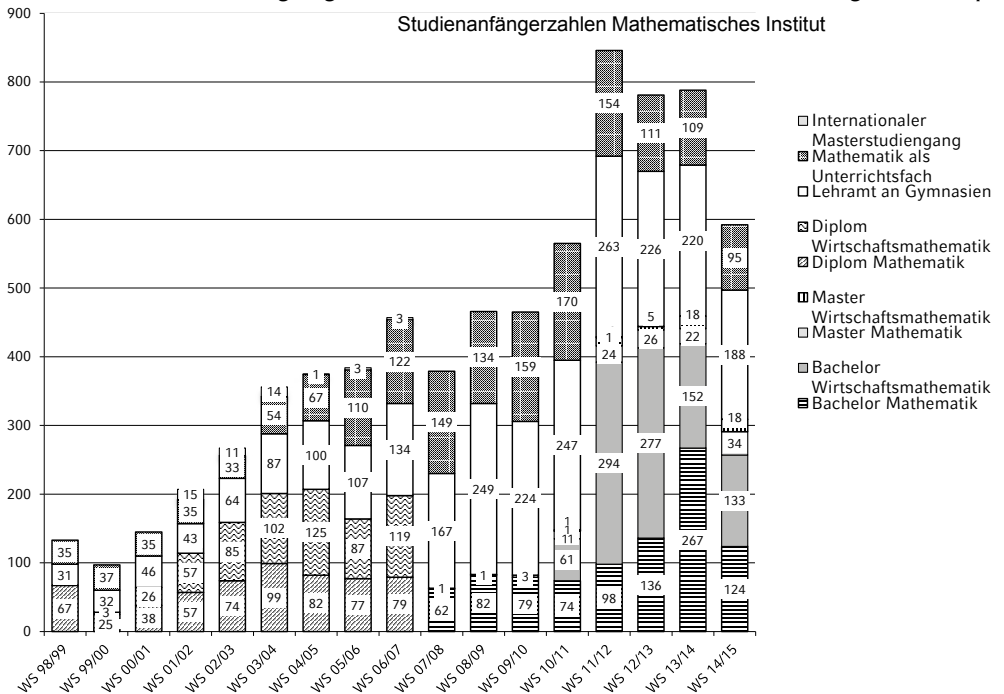
Impressum **mathe-lmu.de**
Herausgeber Carathéodory-Gesellschaft zur Förderung der Mathematik in Wirtschaft, Universität und Schule an der LMU München e.V.
 Mathematisches Institut, Universität München, Theresienstr. 39, 80333 München
 fmws@mathematik.uni-muenchen.de
 Konto: 1267532, Bankleitzahl 700 500 00, Bayerische Landesbank
ViSDP Manfred Feilmeier
 Sendlinger Straße 21, 80331 München,
 manfred.feilmeier@ubefei.com

Redaktion Katharina Belaga, Bernhard Emmer, Peter Pickl, Daniel Rost, Heinrich Steinlein, 5000
Auflage
Layout Gerhard Koehler, München, kws@kws-koehler.de
Druck WirmachenDruck.de

Die Redaktion bedankt sich bei den Firmen, die mit ihren Anzeigen die Herausgabe dieser Zeitung ermöglichen. Wir bitten die Leser um freundliche Beachtung der Anzeigen.

Nach drei Jahren mit extrem hohen Einschreibungszahlen sind sie in diesem Semester wieder auf das Niveau des Wintersemesters 2010/11 zurückgegangen, allerdings mit einem weit ausgewogeneren Verhältnis der Anfängerzahlen der Bachelorstudiengänge zu denen der Lehramtsstudiengänge. Interessant ist auch das kontinuierliche Wachstum der Anfängerzahlen in den Masterstudiengängen. Da hier auch ein Studienbeginn im Sommersemester möglich ist, kann man von jährlich etwa 1,5- bis 2-fachen Zahlen ausgehen. Vielleicht ist Ihnen aufgefallen, dass die Zahlen für frühere Semester nicht mit denen in der aktuellen Grafik übereinstimmen. An neuesten Einschreibungszahlen haben wir terminbedingt immer nur vorläufige zur Verfügung. Wir haben nun für die letzten vier Jahre diese durch die endgültigen Zahlen er-

Im Rahmen des neu gegründeten „Quantitative and Computational Systems Science Center“ fand am 17. Juli 2014 am Mathematischen Institut ein Eröffnungs-Workshop



statt. Eingeladene Sprecher waren Peter Pfaffelhuber (Freiburg), Tanja Stadler (Zürich) und Arne Traulsen (Plön).

Ebenfalls im Juli veranstaltete das Mathematische Institut mit Unterstützung der VW-Stiftung eine Summer School auf der Insel Frauenchiemsee. Die Veranstaltung mit Vorträgen und Tutorien zum Thema „Proof, Truth, Computation“ wurde von Prof. Helmut Schwichtenberg geleitet.

Ausnahmsweise schon Ende August fand im vergangenen Jahr wieder das beliebte Probestudium Mathematik statt. In einer einwöchigen Vorlesung mit Übungen zum Thema „Präzises Beweisen am Beispiel der Analysis“ lernten interessierte Schülerinnen und Schüler den Ablauf typischer Lehrveranstaltungen kennen. Aufgrund einer Erkrankung des Leiters Prof. Franz Merkl mussten die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter neben der Organisation und den Übungen kurzfristig auch die Vorlesung übernehmen. Herzlichen Dank für die Hilfe in dieser schwierigen Situation!

Mit dem Brückenkurs konnten Studienanfänger(innen) aus den Bachelor- und Lehramtsstudiengängen sich Anfang September wieder auf das Studium der Mathematik vorbereiten. Unter der Leitung von Prof. Stefan Ufer wurden schulische Mathematikinhalte aufgefrischt und dabei gleichzeitig Techniken und Arbeitsweisen eingeführt, die Studienanfänger(inne)n erfahrungsgemäß Schwierigkeiten bereiten.

Am Samstag, den 27.9.2014 fand am Mathematischen Institut die diesjährige feierliche Verabschiedung der Absolventinnen und Absolventen der Diplom-, Bachelor- und Masterstudiengänge statt. Nach den Ansprachen der Direktorin, des Studiendekans und eines Absolventenvertreters folgte die Rede des Vorsitzenden der Carathéodory-Gesell-

schaft, Prof. Manfred Feilmeier. Zum ersten Mal hat die bisher unter der Bezeichnung „Förderverein Mathematik“ bekannte Gesellschaft den Carathéodory-Preis für die besten Masterarbeiten und Promotionen verliehen. Die Preisträger 2014 sind Simon Philipp Gritschacher, Dr. Sebastian Schwarzacher und Dr. Stephan Stadler. Schließlich wurden alle 36 Absolvent(inn)en persönlich geehrt und mit einem Geschenk verabschiedet. Ein Streicherquartett und der anschließende Stehempfang ergänzten den festlichen Rahmen der Veranstaltung.

In der letzten Woche vor Beginn der Vorlesungen veranstaltete die GAF (Gruppe Aktiver Fachschaftler) wieder eine Orientierungsphase im Mathematischen Institut. Hier hatten neue Studierende Gelegenheit, den Uni-Alltag, die Kommilitonen und die Fachschaft kennenzulernen.

Auszeichnungen

Am 27. Juni 2014 feierte die LMU ihr 542. Stiftungsfest. Im Rahmen dieser Veranstaltung erhielt Prof. Dominic Breit vom Mathematischen Institut den Förderpreis der Münchener Universitätsgesellschaft für seine Habilitationsschrift zum Thema „Existence theory for generalized Newtonian fluids“.

Das Informationsdienstleistungs-Unternehmen Thomson Reuters hat eine neue Liste der weltweit einflussreichsten Wissenschaftler veröffentlicht. Dazu wurden auf der Grundlage der Datenbank „Web of Science“ die Zitate wissenschaftlicher Veröffentlichungen aus den Jahren 2002 – 2012 ausgewertet. Prof. Lars Diening vom Mathematischen Institut ist einer von nur drei deutschen und weltweit 98 gelisteten Mathematikern. Insgesamt werden in der aktuellen Liste „Highly Cited Researchers 2014“ sechs Wissenschaftler der LMU aufgeführt.

Neu am Institut

Dr. Dirk-André Deckert

Seit 1. September 2014 habe ich meine Arbeit als Leiter der Internationalen Nachwuchsforschergruppe „Interaction between Light and Matter“ des Elitenetz-



werks Bayern am Mathematischen Institut der LMU aufgenommen. Unser Forschungsschwerpunkt liegt auf der mathematischen Beschreibung der Wechselwirkung zwischen elektromagnetischen Feldern und geladenen Elementarteilchen. Dabei befinden wir uns in einer sehr interessanten Zeit, da dank Fortschritten in der Lasertechnologie eine neue Generation von Experimenten zu den Phänomenen der Strahlungsdämpfung und Elektron-Positron Paarerzeugung im Aufbau ist. Neben der Forschung beteilige ich mich an der Lehre und bringe zwei durch das Elitenetzwerk finanzierte Doktorandenstellen mit ans Institut. Hinsichtlich Lehrangebot und Master-Studenten werde ich vorwiegend dem Elitestudiengang TMP zuarbeiten.

Selbst studierte ich Physik an der Fakultät für Physik der LMU und der UQ in Australien. Im Anschluss promovierte ich am Mathematischen Institut der LMU über die Lösungstheorie einer Klasse neutraler Funktional-differentialgleichungen mit unbeschränkten, vauseilenden und verzögerten Argumenten und über die Konstruktion der Zeitentwicklung in der Quantenelektrodynamik in externen Feldern. Nach einem einjährigen Aufenthalt als Post-Doc und einer dreijährigen Anstellung als Kremer Assistant Professor an der University of California, Davis habe ich mich schon fast wieder an das neue Wetter gewöhnt, und verbringe nun die übrige freie Zeit mit der Gitarre anstatt dem Surfboard.

Neu am Institut

Prof. Oliver Goertsches

Seit dem Wintersemester 2014/15 ist Oliver Goertsches W2-Professor für Reine Mathematik am Mathematischen Institut der LMU. Sein Forschungsgebiet ist im



Grenzbereich zwischen Differentialgeometrie und Algebraischer Topologie angesiedelt. Er befasst sich hauptsächlich mit Liegruppenwirkungen auf verschiedensten geometrischen Objekten: Dies können Riemannsche, symplektische oder Sasakimannigfaltigkeiten sein, aber auch homogene Räume, symmetrische Räume oder Riemannsche Blätterungen. Besonders reizvoll sind für ihn Aussagen über die globale Struktur eines Objekts, die man aus der Existenz einer Symmetriegruppe einer gewissen Art folgern kann.

Oliver Goertsches wurde 1981 in Köln geboren. Auch nach seinem Diplomstudium an der Universität zu Köln blieb er seiner Heimatstadt treu und wurde dort Doktorand im SFB/Transregio 12. Nach der Promotion bei Gudlaugur Thorbergsson im Jahre 2006 mit einer Arbeit über Riemannsche Supergeometrie folgten Postdocaufenthalte am Max-Planck-Institut für Mathematik in Bonn, an der University of California, Irvine, sowie an der Universität zu Köln. 2011 wurde er Juniorprofessor für Mathematik, insbesondere Differentialgeometrie, in Hamburg, wo er sowohl im Sonderforschungsbereich 676 als auch im Graduiertenkolleg 1670 tätig war. Von dort wechselte er Anfang Oktober zusammen mit einem seiner beiden Doktoranden nach München, begleitet von seiner nun am Institut für Kunstgeschichte der LMU tätigen Ehefrau und ihrem gemeinsamen fast vierjährigen Sohn.

Prof. Dr. Gerhard Winkler (1946 – 2014)

Wir trauern um unseren langjährigen Kollegen Prof. Dr. Gerhard Winkler, der am 4. November 2014 kurz vor seinem 68. Geburtstag gestorben ist.

Gerhard Winkler hat an unserem Mathematischen Institut studiert und im Jahre 1977 mit einer Arbeit über Integraldarstellungen von Maßen bei Professor H. G. Kellerer auch promoviert. Seine Assistentenzeit bis zur Habilitation im Jahr 1984 verbrachte er ebenfalls an unserem Institut. Seine Habilitationsschrift wurde unter dem Titel „Choquet Order and Simples – with Applications in Probabilistic Models“ als Springer Lecture Notes No. 1145 veröffentlicht. Es folgte für ihn eine Zeit wechselnder befristeter Stellen, unter anderem an der Medizinischen Hochschule Lübeck. Damals entstanden das Lehrbuch „Stochastic Integrals“ (1990, gemeinsam mit H. v. Weizsäcker) und die Monographie „Image Analysis, Random Fields and Dynamic Monte Carlo Methods“ (1995). Diese wurde mehrfach neu aufgelegt und gedruckt und auch ins Russische und Chinesische übersetzt.

Im April 1997 wurde Gerhard Winkler zum Leiter der Arbeitsgruppe „Stochastische Modellierung und Statistik“ am neugegründeten Institut für Biomathematik und Biometrie (IBB) des damaligen GSF-Forschungszentrums für Umwelt und Gesundheit (jetzt ICB am Helmholtz-Zentrum) in Neuherberg berufen. Der Schwerpunkt seiner wissenschaftlichen Arbeit dort lag auf der Entwicklung statistischer Methoden für die Bild- und



Signalanalyse. In diesem Rahmen war er auch an mehreren größeren Forschungsprojekten beteiligt, darunter dem SFB 386 „Statistische Analyse diskreter Strukturen“ und dem DFG Schwerpunktprogramm 1114 „Mathematische Methoden zur Zeitreihenanalyse und digitalen Bildverarbeitung“. Außerdem nutzte er seine Leitungsfunktion, um sich dezidiert für den wissen-

schaftlichen Nachwuchs einzusetzen.

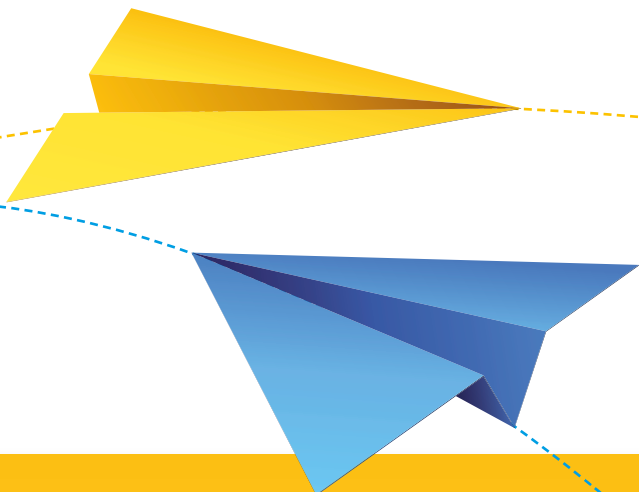
Im Februar 1993 wurde Gerhard Winkler zum außerplanmäßigen Professor an unserer Fakultät ernannt. Aber nicht erst seit damals hielt er regelmäßig Vorlesungen aus dem Bereich der Stochastik und Analysis, insbesondere mehrmals die „Einführung in die Stochastik“. Er pflegte einen äußerst lebendigen, rhetorisch markanten und bei den Studierenden beliebten Vorlesungsstil. So würzte er zum Beispiel die „Einführung in die Stochastik“ nicht nur mit philosophischen Anmerkungen und Exkursen über antike Würfelspiele, sondern auch mit einem ausführlichen Zitat über den Zufall aus Karl Valentins „Orchesterprobe“. Es machte ihm ein Vergnügen zu erzählen, wie er sich vor Gericht verteidigen musste, weil er dieses Zitat mit seinem Skriptum frei zugänglich ins Netz gestellt und damit angeblich das Urheberrecht verletzt hatte, und diesen Prozess klar gewann.

Seine persönliche Ausstrahlungskraft und sein Engagement bleiben uns in lebhafter Erinnerung.

*Hans-Otto Georgii, Franz Merkl,
Heinrich v. Weizsäcker*



LUDWIG-
MAXIMILIANS-
UNIVERSITÄT
MÜNCHEN



ÜBERFLIEGER GESUCHT!

Ihr seid in der Jahrgangsstufe 12?

Dann haben wir eine gute Idee, was ihr mit euren abgeschlossenen Facharbeiten noch tun könnt:

Beteiligt euch mit euren Arbeiten an einem besonderen Wettbewerb!



DR. HANS RIEGEL-STIFTUNG

**Dr. Hans Riegel-Fachpreise
für Mathematik, Biologie, Chemie, Physik,
Informatik und Geographie**

Teilnahmeberechtigt sind alle Schülerinnen und Schüler der 12. Jahrgangsstufe der Gymnasien in München und Umland (S-Bahn-Bereich).

Teilnahmebedingungen sowie das Formblatt

»Bewerbung für die Dr. Hans Riegel-Fachpreise« findet ihr unter:

www.physik.uni-muenchen.de/DrHansRiegelFachpreis

Bericht über meine Erfahrungen beim Unterrichten in Namibia



Brukkaros Krater, südliches Namibia

Im Herbst 2013 lernte ich annähernd täglich für mein Staatsexamen in Mathematik und Schulpsychologie für das Lehramt an Gymnasien. Nach dieser Zeit fühlte ich mich nicht in der Lage, sofort das Referendariat anzutreten. Ich brauchte dringend eine Auszeit, wollte jedoch gleichzeitig auch praktische Erfahrungen im Unterrichten sammeln. So bot sich die Gelegenheit förmlich an, über den BLIV nach Namibia zu reisen, um dort für ein halbes Jahr zu unterrichten.

Mit einigen anderen Lehrämtern, die denselben Plan hatten wie ich, landete ich am 31.12.2013 in Namibia. Als ich um Mitternacht mitten auf einer Straße in Windhuk Silverster feierte, ahnte ich, dass 2014 ein grandioses Jahr werden würde. Ich ahnte allerdings noch nicht, dass ich die Menschen, mit denen ich feierte, in den folgenden Monaten so fest ins Herz schließen würde.

Nachdem wir das Home Office zwei Wochen lang täglich an unser längst überfälliges Visum erinnert hatten, konnten wir Mitte Januar das erste Trimester in den Schulen beginnen. Insgesamt waren wir 24 Personen, die im ganzen Land verstreut eingesetzt wurden. Dieses Praktikum ist unbezahlt, den Praktikanten werden jedoch Verpflegung (oft in den Schulkantinen oder durch Essensgeld) und Unterkunft (meist in den Hostels der Schulen oder in Gastfamilien) zur Verfüg-

ung gestellt. Eventuell wird auch ein kleines Taschengeld ausgezahlt, sofern die Schule es sich leisten kann.

Die Spanne der schulischen Qualität ist in Namibia sehr groß. Dies wird vor allem im Vergleich von staatlichen und privaten Schulen deutlich. An vielen schulischen Einrichtungen herrscht noch eine kulturelle Trennung, und zu den pädagogischen Mitteln zählt manchmal noch körperliche Züchtigung. Hinzu kommt, dass es vor allem den staatlichen Schulen gravierend an finanziellen Mitteln fehlt. So sind oft weder Schulbücher noch die notwendige schulische Ausstattung vorhanden. Im Gegensatz dazu weisen manche privaten Schulen, wie die DHPS, die Deutsche Höhere Privatschule, einen sehr hohen Standard auf. Hier besteht sogar die Möglichkeit, einen deutschen Schulabschluss zu erlangen.

Ich selbst unterrichtete Deutsch als Fremdsprache und Kunst an einer namibischen Privatschule in Walvis Bay. Die kleine Schüleranzahl (260) ermöglichte es, auch kleinste Problemfälle in der täglichen Lehrerkonferenz zu besprechen und sich so sehr gut um jeden einzelnen Schüler zu kümmern. Der Unterricht erfolgte in der Amtssprache Englisch, was nicht immer leicht war. Denn die Muttersprache der Kinder war oft nicht Englisch, sondern Afrikaans, Deutsch (als

Relikt der Kolonialzeit) oder eine der vielen Völkersprachen. Neben Kindern, die aus wohlhabenden Familien stammten, kamen auch einige aus armen Verhältnissen, die über ein finanzielles Förderprogramm an der Schule aufgenommen wurden. Die kulturelle Vielfalt wurde an dieser Schule erfreulicherweise zu einem kulturellen Miteinander. Weder Geld noch Hautfarbe spielten hier eine Rolle. Das Klima war herzlich und sozial, und so habe auch ich die Zeit an dieser Schule sehr genossen. Ich lernte, sicher vor einer Klasse zu stehen und mich auf die Schüler und die verschiedenen Kulturen einzustellen. Dass ich dabei nicht Mathematik unterrichtete, war zuerst ein Wermutstropfen, welcher jedoch schnell trocknete. Denn stattdessen stand für mich der pädagogische Umgang mit den Kindern im Vordergrund.

Gerade diese praktische pädagogische Erfahrung hat mir im Studium oft gefehlt. In Namibia fand ich endlich den passenden Rahmen, um meine eigene Lehrerpersönlichkeit ohne Beurteilungsdruck zu finden.

Aber nicht nur die schulischen Erfahrungen machten diesen Auslandsaufenthalt so unvergesslich. In den Ferien und an den Wochenenden ließ ich keine Gelegenheit aus, dieses atemberaubend schöne Land zu er-



Epupa Falls, Nordnamibia an der Grenze zu Angola



Safari im Etosha Nationalpark

kunden. Die Landschaft in Namibia wechselt alle hundert Kilometer ihr Bild. Sie reicht von kargen Felslandschaften oder Wüsten über mintgrüne Berghänge und rote Felsen bis hin zu tropischen Flüssen im Norden. Der Fish River Canyon als zweitgrößter Canyon der Welt, die riesigen roten Dünen von Sossusvlei und die in der Wüste versunkene Diamantenstadt Kolmanskop im Süden standen der Safari im Etosha Nationalpark oder den



Im Etosha Nationalpark



Sossusvlei, Namib-Naukluft Park

Dickschwanzskorpion kennen. In Etosha bestaunte ich riesige Zebra- und Giraffenherden und hielt den Atem an, wenn plötzlich ein Löwe oder Nashorn vor dem Auto auftauchte. Aber kein anderes Tier hat mich so beeindruckt wie der Elefant. Bei der ersten Begegnung mit einem dieser gigantischen Tiere war ich von seiner ehrfurchtgebietenden Aura noch lange danach ergriffen.

Meine Zeit in Namibia war wundervoll, und ich bin froh, mich für diese Auszeit entschieden zu haben. Ich habe dabei viel über mich selbst, über das Land und dessen Kulturen gelernt. Ein paar Erkenntnisse will ich hier noch weiter geben, falls der ein oder andere Leser eine Reise nach Namibia plant:

Campingstuhlleihen sollte man in Namibia lieber auf Skorpione untersuchen. – Chamäleons färben sich rot und fauchen, wenn sie wütend werden. – Nilpferde sehen niedlich aus, sind aber unfreundliche Zeitgenossen. – Nach einem halben Jahr sagt man Sätze wie: „Ich wunder, ob wir genug für den Braai haben.“ (= „Ich frage mich, ob wir genug zum Grillen haben.“) – Die Kenntnis von Pi nützt in einer namibischen Disco gar nichts, denn die Namibierinnen können ihre

Bootstouren durch Krokodil- und Nilpferdflüsse im Norden in nichts nach.

Ich fuhr zwischen Robben Kajak, beobachtete Delphine vom Strand aus und lernte kleine und gefährliche Wüstentiere, wie den Tok Tokkie (Nebeltrinker-Käfer), die Rad-schlagende Weißspinne oder den haarigen

Hüften bestimmt besser kreisen. – Eine wundervolle Gastmutter kann einem auch weit von Zuhause ein Stückchen Heimat bieten. – Nach einer langen Zeit, in der man fast ausschließlich seinen Kopf beansprucht hat, tut es gut, auf sein Herz zu hören.

Jana Brettner

Bachelor-Abschluss – und dann?

„Was nun?“ fragen sich wohl viele Studierende, wenn sie glücklich den Abschluss im Bachelor-Studium geschafft haben: Berufsleben oder erst noch das Master-Studium? Wir haben das Gefühl, dass da noch viel Unsicherheit herrscht, und haben uns deshalb mit der Frage der Akzeptanz der Bachelor-Abschlüsse in Mathematik bzw. Wirtschaftsmathematik in Unternehmen auseinandergesetzt.

Auf Vermittlung von Professor Feilmeier haben wir Kontakt aufgenommen zu zwei Personalabteilungen von Firmen mit dem Tätigkeitsbereich Lebensversicherungen: Herr Peter Müller, Personaldirektor bei Swiss Life stand Frau Belaga und mir zu einem einstündigen Interview am Standort Garching-Hochbrück zur Verfügung. Swiss Life ist der führende Lebensversicherer in der Schweiz mit Tochtergesellschaften u.a. in Frankreich und eben auch in Deutschland. Die zweite Firma msg life ist selbst kein Versicherungsunternehmen, sondern ein führender Anbieter von Software und Beratung für Lebensversicherer und Einrichtungen der privaten Altersvorsorge mit Hauptsitz in Leinfelden-Echterdingen. Hier hatten wir die Möglichkeit eines ausführlichen Telefongesprächs mit Frau Sandra Romahn von der Abteilung Human Resources.

Natürlich darf man nicht erwarten, dass wir mit diesen Interviews so fundierte Aussagen gewinnen konnten wie mit einer groß angelegten Studie. Dennoch hoffen wir, dass sie speziell für unsere Studierenden eine Hilfe sein werden.

Sowohl Swiss Life wie auch msg life haben schon mehrere Bachelor-Absolventen mit mathematischem Abschluss eingestellt und mit ihnen offensichtlich gute Erfahrungen gemacht. In beiden Firmen werden Bewerber

mit Bachelor-Abschluss genauso berücksichtigt wie solche mit einem höheren Abschluss. Frau Romahn betonte, dass ihre Firma Stellen in der Regel ohne Festlegung auf die Art des Abschlusses ausschreibt und mit einer Ausschreibung in der Regel Absolventen verschiedener Studiengänge angesprochen werden.

Wichtig ist, dass überhaupt ein Abschluss vorliegt, und der sollte gut sein: Bei der Gesamtnote sollte eine Eins oder Zwei vor dem Komma stehen. Worauf bei Bewerbern noch geachtet wird, ist eine kurze Studiendauer, Kommunikationsfähigkeit und ob die Studienzeit auch für ein einschlägiges Ferienpraktikum genutzt wurde. Beide Firmen haben für Letzteres Angebote, wobei Frau Romahn betonte, dass man für ein solches Praktikum mindestens zwei Monate veranschlagen sollte. Eine eher geringere Rolle spielen die fachlichen Spezialisierungen im Bachelor-Studium. Frau Romahn erwähnte aber, dass aus Sicht ihrer Firma ein versicherungs- und finanzmathematischer Fokus sowie (nicht notwendig vertiefte) Programmierkenntnisse, eventuell auch Informatik als Nebenfach von Interesse sind. Ob die Abschlüsse in Mathematik und die in Wirtschaftsmathematik gleich willkommen sind, wurde einhellig mit „ja“ beantwortet. Die Wirtschaftsmathematik sei zwar für einige Aufgabenstellungen „näher dran“, sagte Frau Romahn, doch dies sei kein grundsätzliches Kriterium.

Auf die Frage, welche Gründe erfahrungsgemäß für den Berufseinstieg schon nach dem Bachelor-Examen genannt werden, kam einhellig die Antwort, dass die Bewerber nun endlich praktisch tätig sein und Berufserfahrung sammeln wollten, was nach immerhin mehr als 15 Jahren Schul- und Universitätsausbildung gut nachvollziehbar ist.

Eingesetzt werden Mathematiker bei Swiss Life im Aktuariat, Risikomanagement, Controlling, in der Rechnungslegung oder der konzeptionellen technischen Entwicklung, wobei Anfänger auf dem Sachbearbeiter-Level eingestellt werden. Berufsanfänger bei msvg erhalten in der Regel die Möglichkeit, sich in verschiedenen Rollen auszuprobieren, etwa als „Junior Consultant/Software Engineer“. Die Hochschulabschlüsse betreffend wird dabei anscheinend kein Unterschied gemacht. Höchstens kann man vielleicht tendenziell von einem höheren Abschluss auf eine schnellere Einarbeitung schließen.

Was die Anfangsgehälter betrifft, so sprechen zwar Studien davon, dass man sich mit nur einem Bachelor-Abschluss auch mit einem etwas niedrigeren Anfangsgehalt zufrieden geben muss, doch wurde dies von unseren Gesprächspartnern relativiert: Insgesamt orientiert sich die Bezahlung an der Komplexität und dem Anforderungsprofil der Tätigkeit und nicht an der formalen Qualifikation. Angebote für Weiterbildung und Höherqualifikation stehen den Mitarbeitern unabhängig von der Art des Abschlusses offen. So wird z.B. die Ausbildung zum Aktuar gefördert. Herr Müller sprach in diesem Zusammenhang eine Frage an, bei der Swiss Life erst noch ein Konzept entwickeln will: Man erwartet, dass sich manche Bachelor-Absolventen nach etwa zwei bis drei Jahren Tätigkeit in der Firma mit einem Master-Studium nachqualifizieren wollen. Wie dies organisatorisch ausgestaltet werden könnte, z.B. die Freistellung von der Tätigkeit in der Firma (denkbar zwei Jahre; berufsbegleitend wäre der Firma lieber) oder eine finanzielle Förderung betreffend, und wie man etwa mit unserem Mathematischen Institut zusammenarbeiten könnte in Fragen der aus Sicht der Firma interessan-

ten Spezialisierungsangebote, muss noch eingehend besprochen werden. Herr Müller berichtete von der Beobachtung, dass Bewerber mit Master-Abschluss ein stärkeres Interesse an den Aufstiegsmöglichkeiten in der Firma zeigen. Dabei kann eine Fachkarriere bis zur Ebene der Abteilungsleiter führen; ein Aufstieg in die Führungsebene steht im Verhältnis zur Fachlaufbahn weniger Mitarbeitern offen und wird mit speziellen Qualifizierungsprogrammen gefördert.

Eine Frage, die unabhängig von der Art des Abschlusses ist, haben wir auch noch angesprochen: Wirkt sich ein Auslandsstudium positiv auf die Einstellungschancen aus? Natürlich wird die Vertiefung der Sprachkenntnisse sowie der Gewinn an Lebenserfahrung und Persönlichkeitsentwicklung geschätzt, doch ein Auslandsstudium ist für beide Firmen kein entscheidendes Kriterium für eine Einstellung.

Kehren wir zurück zur anfänglich gestellten Frage: Sollte ein Bachelor-Absolvent möglichst direkt in das Berufsleben einsteigen oder sollte sie oder er besser zuerst noch ein Master-Studium dranhängen? Aus Sicht der von uns befragten Firmen kann man nichts falsch machen, wie auch immer man sich entscheidet.

Aber wie schon oben angedeutet rate ich zur Vorsicht: Im Mathematikstudium lernt man schon früh, dass man für einen Spezialfall gewonnene Erkenntnisse nicht beliebig auf eine allgemeinere Situation übertragen kann. Das Spektrum der Berufsmöglichkeiten für Mathematiker und die Zahl der als Arbeitgeber in Frage kommenden Firmen ist so groß, dass unsere Umfrage sicher nicht repräsentativ sein kann, sondern nur ein Puzzlestein unter mehreren für die Entscheidungsfindung.

Heiner Steinlein

Wissenschaftliches Verlagswesen: Mathematikbuchplanung beim Springer-Verlag

Vor einiger Zeit hat mich Herr Prof. Pickl gefragt, ob ich nicht für die Institutszeitschrift MATHE-LMU.DE etwas über meine Arbeit beim Springer-Verlag schreiben möchte. Herr Prof. Pickl hatte meine Bachelorarbeit betreut und wusste, dass ich nach dem Abschluss in Heidelberg ein Praktikum im wissenschaftlichen Verlagswesen, genauer in der Mathematikbuchplanung machen wollte. Nach der halbjährigen Praktikumszeit bin ich für das Masterstudium wieder zurück nach München.

Per Laptop habe ich dann zwei weitere Jahre neben meinem Studium als Aushilfe für meine Praktikumsabteilung gearbeitet. Inzwischen habe ich mit dem Studium aufgehört und bin im Dezember nach Basel gezogen. Bei meinem neuen Arbeitgeber, der Springer Basel AG (die wie der Springer-Verlag zur Springer Science+Business Media Gruppe gehört) arbeite ich als Assistant Editor (Planungsassistentin) nun im Bereich des Birkhäuser Buchprogramms für Mathematik- und Wissenschaftsgeschichte.

Innerhalb des Verlags ist die Planungsabteilung für die Manuskriptakquise und die anschließende Betreuung der Projekte zuständig. Aus meiner Sicht ist sie die Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Verlag. Der Planer (Editor) ist eine Art Vermittler zwischen Autoren und den verlegerischen Prozessen. Viele Mathematikplaner kommen aus der Wissenschaft oder haben in Mathematik promoviert. Sie haben aus ihrer akademischen Zeit Bekanntschaften in der Mathematikwelt und kennen sich in ihrem Fachgebiet



aus. Dieses Wissen und ihre Kontakte bringen sie in den Verlag mit. Mit dem Mathematik-Bachelor bin ich kein eigenständiger Planer, sondern Planungsassistentin. Während der Planer insbesondere auch den persönlichen Kontakt zu Autoren und der Fachwelt pflegt, z.B. durch Besuche von Konferenzen, Seminarveranstaltungen und anderen Terminen des mathematischen

Kalenders, obliegt mir eher die praktische Betreuung der Buchprojekte. Eine besonders wichtige Rolle spielt dabei die Organisation einer gründlichen fachlichen Begutachtung, da eine fundierte inhaltliche Beurteilung verlagsintern für Manuskripte im Bereich Forschungsliteratur kaum möglich ist. Für Projekte, die in einer Reihe erscheinen sollen, erfolgt der Begutachtungsprozess zusätzlich in Absprache und mit der Unterstützung der entsprechenden Reihenherausgeber, die der Buchreihe und dem Verlag als „Aushängeschild“ dienen und mit für die Qualität der Veröffentlichungen in ihrer Reihe bürgen. Gegenüber den Autoren ist die Begutachtung absolut anonym. Nach erfolgreicher Evaluierung beginnt der zweite große Teil meiner Aufgaben, die Vorbereitung des Manuskripts für die Herstellung. Dabei ist eine Vielzahl von Dingen zu berücksichtigen. Es muss z.B. sichergestellt werden, dass mit der Veröffentlichung keine Copyrights verletzt werden. Die Manuskripte sollten mit den Springer Layout Standards kompatibel sein. Alle relevanten Informationen für eine bestmögliche Vermarktung müssen vorbereitet und mit den Autoren abgestimmt

Karrieren

werden (Buchrückentexte, kurze Autorenbiographien, Keywords, MSC Codes etc.). Sind diese Fragen mit den Autoren final geklärt und alles Vertragliche geregelt, muss das Projekt noch entsprechend der erhaltenen Informationen in der Datenbank geführt werden. Nun kann es an die Kollegen der Produktionsabteilung weitergeleitet werden, die dann aus Manuskript-pdf, TeX source file und Marketinginformationen die Daten für Druck- und E-Publikationen herstellen.

Praktisch heißt das sehr viel E-Mail Korrespondenz mit Mathematikern weltweit. Ich bitte sie um ihre Hilfe mit einem Gutachten, beantworte Fragen der Autoren, kläre vertragliche Details (z.B. im Todesfall eines Autors) mit Co-Autoren und Erben.

Anfänglich hat es mich besonders erstaunt, wie abwechslungsreich und vielfältig diese

Aufgaben sind. Da jedes Projekt ein bisschen anders ist, bleibt die Arbeit immer interessant. Überraschend und erfreulich finde ich auch, dass man so viele nette „Bekanntschaften“ macht und einen erweiterten Einblick in die akademische Welt bekommt, den ich so aus dem Studium nicht kannte. Mir war z.B. nicht bewusst, dass Professoren und andere Fachteilnehmer auf Tagungen und ähnlichen Veranstaltungen oft selbst zu „Vorlesungen“ (Vorträgen) gehen und Notizen machen, wie Studenten an der Uni.

Zusammenfassend gefällt mir an meinem Beruf die Vielfältigkeit der Tätigkeiten, die interessanten „Geschäftspartner“ (Autoren, Band- und Reihenherausgeber) und nicht zuletzt natürlich, dass ich am Ende eines Projekts das fertige Buch in der Hand halten kann.

Sarah Goob

Anzeige

Fachbuchhandlung + Medienservice



KARL RAU

Sortiment



Architektur Bauliteratur BWL Chemie
Datenverarbeitung Elektrotechnik
Geowissenschaften Informatik
Management Maschinenbau
Mathematik Physik Sprachen VWL

Service

Unabhängige, qualifizierte Beratung

Beschaffung von Medien aller Art:

- Bücher, Zeitschriften, Loseblattwerke, CD-ROM, Online-Datenbanken etc.
- Neue und antiquarische Titel aus dem Inland und Ausland

Speziell für Organisationen:

Unser Service "Alles aus einer Hand"

KARL RAU e.K.

Theresienstraße 100, 80333 München

Tel. 089 3090 568 40

info@karl-rau.de

Fax 089 3090 568 49

www.karl-rau.de

Heute vor 18:00 bestellen, morgen ab 8:00 abholen! *

* Gilt in der Regel für Bücher, die Sie von Montag bis Freitag vor 18:00 Uhr bestellen. Am Samstag bestellen Sie bitte vor 12:00 Uhr. Dann können Sie die Bücher in der Regel schon am Montag ab 8:00 Uhr abholen :-)

Rätselecke

Überstunden

Ich habe beschlossen, heute länger zu arbeiten als vorgestern, aber kürzer als vor einer Woche. Wie lange kann ich diese Regel durchhalten, wenn ich auch die Wochenenden durcharbeite?

Noch ein Schachbrett

Auf einem Schachbrett werden 15 Figuren so aufgestellt, dass in jeder horizontalen und in jeder vertikalen Reihe mindestens eine Figur steht. Gibt es immer eine Figur, die vom Brett genommen werden kann, so dass die restlichen Figuren die obige Bedingung weiterhin erfüllen?

Weihnachtsfeier

Auf der studentischen Weihnachtsfeier gab es runde und quadratische Tische. Für die Tischdecken hat das Geld nicht ausgereicht; so hat man beschlossen, die runden Tische mit quadratischen Servietten und die quadratischen Tische mit runden Servietten zu decken. Wie groß müssen die Servietten sein, damit man mit jeweils 4 Servietten einen Tisch vollständig abdecken kann?

Zucker

Im Zirkus gibt es 10 Affen, die mit einem Zuckerstück für ihre Kunststücke belohnt werden sollen. Die quadratischen Zuckerstücke sind in zwei gleichen Stapeln in Quaderform aufgestapelt. Der Clown nimmt ein Stück Zucker von einem Stapel und legt es auf den anderen Stapel. Die Zuschauer werden von ihm aufgefordert, einen Stapel zu wählen und auf die Affen zu verteilen. Es versteht sich von selbst, dass die Affen jeweils die gleiche Anzahl an Zuckerstücken bekommen sollen. Werden die Zuschauer die Aufgabe lösen können?

Lösungen zu den Rätseln von Ausgabe 29

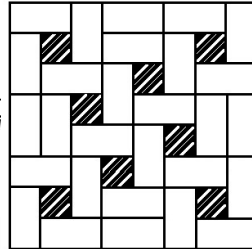
Rolltreppe

Wenn ich mit meinem Hund die Rolltreppe nehme, läuft er sofort los und ist viel schneller oben als ich. Wer von uns hat dabei mehr Stufen erklimmen müssen?

Der Hund. Durch das langsame Gehen erreiche ich einige Stufen nicht, da sie schon verschwunden sind, bevor ich oben angelangt bin.

Das Schachbrett

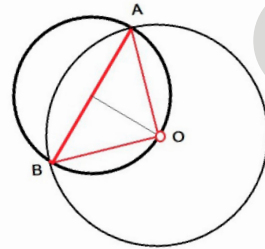
Verteile 28 Dominosteine auf einem Schachbrett so, dass kein Dominostein auf dem Brett bewegt werden kann. Ein Dominostein sei dabei doppelt so lang und genau so breit wie ein Schachbrettfeld.



Kreise

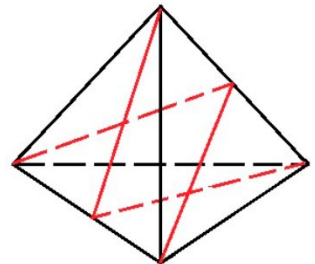
Ein aus dem Papier ausgeschnittener Kreis wird auf einen anderen Kreis, der eine doppelte Fläche hat, so gelegt, dass der Rand den Mittelpunkt des größeren Kreises berührt. Was kann man über die Schnittpunkte der beiden Kreise sagen?

Die Radius des größeren Kreises ist das $\sqrt{2}$ -fache vom Radius des kleineren Kreises. Damit ist AB ein Durchmesser des kleineren Kreises.



Tetraeder

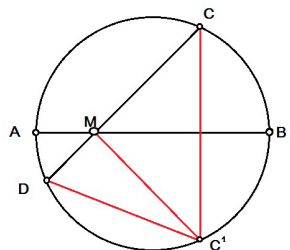
Kann man durch einige Schnitte ein reguläres Papier-Tetraeder in einen Papier-Ring verwandeln? Gibt es auch eine Möglichkeit, die Aufgabe so zu lösen, dass die Breite des Papier-Ringes der Hälfte der Tetraeder-Kante entspricht?



Der Punkt auf dem Durchmesser

Eine Sekante schneide einen Durchmesser eines Kreises unter einem 45° -Winkel. Der Schnittpunkt heiße M, die Schnittpunkte der Sekante mit dem Kreis C und D. Zeige, dass die Summe $\overline{CM}^2 + \overline{DM}^2$ nicht von der Position des Punktes M auf dem Durchmesser abhängt.

Sei C' der Punkt, der symmetrisch zu C bzgl. des Durchmessers AB ist. Dann ist $\angle CMC'$ ein rechter Winkel und folglich $\overline{CM}^2 + \overline{DM}^2 = \overline{C'M}^2 + \overline{DM}^2 = \overline{C'D}^2$. Der Winkel $\angle C'CD$ beträgt 45° , folglich beträgt der Bogen $\widehat{C'D}$ 90° und somit hat die Sekante C'D die Länge $\overline{AB}/\sqrt{2}$, hängt also von der Position von M nicht ab.



Wie man mit dem Rucksackproblem seine Beute maximieren kann

Waren Sie schon einmal in der Maximilianstraße und haben den glitzernden Schmuck in den Schaufenstern der Juweliere bewundert? All die Edelsteine in ihren goldenen Fassungen, die Markenuhren, die funkeln-den Diademe? Als kombinatorischer Optimierer – oder Optimiererin – stellen Sie sich nun bitte vor, Sie würden einen dieser Läden ausrauben.

Dabei haben Sie, ganz dem Klischee des Mathematikers folgend, kein großes handwerkliches Geschick gezeigt, denn der Alarm ist bereits ausgelöst und die Polizei könnte jeden Moment eintreffen. Sie waren allerdings vorausschauend genug und haben ein Gepäckstück – den besagten Rucksack! – dabei. Natürlich können Sie damit nicht den gesamten Inhalt des Ladens nach Hause schleppen. Also, die Zeit drängt, was nehmen Sie mit??

Beim eindimensionalen Rucksackproblem, vor dem Sie gerade stehen, haben Sie n Schmuckstücke zur Auswahl, wobei jeweils das i -te Schmuckstück das Gewicht w_i (weight) und den Wert v_i (value) hat. Für den Rucksack gilt die Gewichtsschranke b (bound), mehr können Sie nicht tragen. Wir nehmen an, dass dies alles natürliche Zahlen sind.

Wo ist nun eigentlich das Problem? Sie könnten ja einfach mit Ihrem schnellen Smartphone alle Kombinationen berechnen, sie auf ihre Größe und das Gewicht testen und so die beste Option herausfiltern. Oder nicht?

Nun ja. Bei einem sehr kleinen Juwelier mit nur 60 Stücken in der Auslage haben wir 2^{60} Kombinationsmöglichkeiten, was selbst mit einer sehr optimistischen Schätzung von 1.000.000.000 Berechnungen in der Sekunde mehr als 36 Jahre in Anspruch



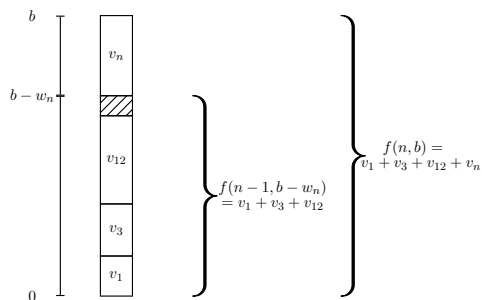
nehmen würde. Wir können annehmen, dass die Polizei selbst im Feierabendverkehr bis dahin eingetroffen ist.

Intuitiv scheint es sinnvoll, Schmuckstücke mit hoher Effizienz v_i/w_i zu bevorzugen – man könnte alle Stücke nach ihrer Effizienz ordnen und dann sukzessive in den Rucksack packen, bis dieser voll ist: Zuerst die Diamantringe (teuer und zugleich sehr leicht), dann ein Collier, etc. Das ginge zwar sehr schnell, allerdings hätten Sie irgendwann ein Goldkettchen in der Hand, das beispielsweise 80g wiegt, aber Sie hätten nur noch Kapazität für 20g. Wären Sie nicht kombinatorischer Optimierer und würden stattdessen kontinuierlich arbeiten, wäre das Ziel nun zum Greifen nahe: Sie würden ein Viertel der

Goldkette abtrennen und wären sich sicher, die optimale Lösung gefunden zu haben. Wenn Sie allerdings keine Goldschmiedsäge dabei haben und Teile entweder einpacken oder nicht einpacken können, haben Sie ein Problem. Natürlich könnten Sie dieses letzte Goldkettchen einfach herauslassen, aber Sie hätten damit oft keine Optimallösung, sondern nur eine mitunter recht akzeptable Näherung. (Solche Algorithmen nennt man Heuristiken.) Insbesondere können Sie sich bei keinem der bisher nach diesem Schema gepackten Gegenstände sicher sein, dass er eine gute Wahl war! Überlegen Sie sich z.B. dieses Vorgehen für: $n=3$, $b=2$, $w_1=2$, $v_1=3$, $w_2=1$, $v_2=2$, $w_3=6$, $v_3=6$.

Halten wir uns stattdessen lieber an ein Motto der Mathematiker: „Wenn du ein Problem nicht lösen kannst, so löse ein einfacheres.“ Sei dazu $f(i,b)$ die optimale Lösung für i Schmuckstücke und Gewichtsschranke b , die die Werte aller in der Optimallösung enthaltenen Schmuckstücke aufsummiert. Sozusagen der Gesamtwert Ihres Diebesgutes, wenn Sie alles richtig machen.

Man könnte $f(i,b)$ schnell berechnen, wenn man die optimalen Lösungen für weniger Stücke und kleinere Schranken kennen würde. Denn was ist $f(i,b)$? Wenn das i -te Schmuckstück nicht Teil der optimalen Lösung $f(i,b)$



ist, gilt einfach $f(i,b) = f(i-1,b)$. Wenn das i -te Schmuckstück aber in der optimalen Lösung $f(i,b)$ in den Rucksack gepackt wird, interessiert uns noch der Optimalwert des Rests, also wie man $i-1$ Stücke in einen Rucksack mit Schranke $b-w_i$ packt. In diesem Fall ist also $f(i,b) = v_i + f(i-1, b-w_i)$ (siehe Skizze). Ist nun $f(i-1,b) > v_i + f(i-1, b-w_i)$, so wird das i -te Stück nicht gepackt, andernfalls schon – wir wollen ja den Gewinn maximieren.

So bestimmt man iterativ alle Optimalwerte für Rucksäcke der Größe 1 bis b , die 1 bis n Schmuckstücke beinhalten. Der Anfang dieser Iteration ist denkbar einfach: Für $f(1,k)$ fragt man sich jeweils für das Stück Nummer 1, ob man es – wenn man nur dieses eine Stück hätte – in einen Rucksack der Größe k packen würde. Naja, sollte es hineinpassen ($w_1 \leq k$), wird man das tun, und sollte es nicht hineinpassen ($w_1 > k$), dann geht dies nicht.

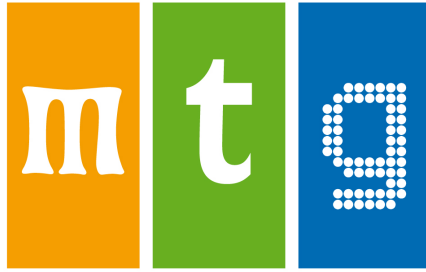
Dieses Vorgehen – Aufteilen auf Teilprobleme – nennt man Dynamische Programmierung. Klar, Sie müssen bei diesem Algorithmus für alle Teilprobleme (die Sie ja eigentlich gar nicht interessieren) Optimallösungen bestimmen. Aber was schätzen Sie, wie viel schneller ist dieses Vorgehen im Gegensatz zur obigen Brute-Force-Methode, ebenfalls für 60 Schmuckstücke und einen Rucksack der Größe 500? Vielleicht ein wenig schneller? 34 Jahre? Fast. In Java programmiert reden wir über Größenordnungen von einer Sekunde, was Ihre Fluchtoptionen deutlich verbessern sollte.

Natürlich stellt sich das Rucksackproblem auch in legaleren Situationen – diese zu finden bleibt dem geeigneten Leser allerdings zur Übung überlassen.

P-Seminar

– Vorbereitung auf das spätere Berufsleben

Ein P-Seminar, Kurzform für „Projekt-Seminar“, soll Schülerinnen und Schülern in Bayern helfen, eine gewisse Orientierung zu bekommen für das, was sie später beruflich machen wollen. So kann man P-Se-



Maria-Theresia-Gymnasium München

minare mit verschiedenen Schwerpunkten wählen, wie z.B. Wirtschaft oder eben auch Mathematik. Das Ziel unseres diesjährigen Seminars ist es, den „Mathe-Monat-Mai“ kurz „MMM“ (siehe Artikel „Was ist MML? Und MMM“), zu organisieren und durchzuführen. Bei „MMM“ werden Mathematik-Workshops im Rahmen des „Mobilen Mathe-Labors“ für die Schülerinnen und Schüler der weiterführenden Schulen im Raum München angeboten. „MMM“ wird in Kooperation mit dem Mathematischen Institut der LMU durchgeführt werden und findet im Mathematischen Institut statt (siehe nachfolgenden Artikel). Übergeordnetes Ziel des Projekts aus Sicht der Teilnehmer des P-Seminars ist es, einen praktischen Einblick in das Projektmanagement zu erhalten. Zugleich ist das direkte Ziel des Projekts, den angesprochenen Schülerinnen und Schülern einen interessanten und guten Mathematik-Tag „MMM“ anzubieten, „MMM“ durchzuführen und zu evaluieren. Damit wird eine Tradition fortgesetzt, denn es handelt sich um den 7. solchen Workshop seit 2008.

Damit der Tag später auch reibungsfrei abläuft, sind viele Dinge zu beachten, zu planen und zu organisieren. Deshalb wird das Projekt in unterschiedliche Phasen, die alle aufeinander aufbauen, aufgeteilt. Es gibt insgesamt vier Phasen. Derzeit befindet sich unser P-Se-

minar in der Mitte der ersten Phase, der sogenannten „Vorarbeits- und Auftragsklärungs“-Phase. Es hat bereits ein Gespräch zwischen Herrn Professor Schottenloher (LMU), Herrn Professor Pickl (LMU), unserer Lehrerin Frau

StDin Leeb (Maria-Theresia-Gymnasium) und den Teilnehmern des Seminars „Organisation eines Mathematikwettbewerbs“ gegeben, bei dem verschiedene Ideen zum Ablauf des gesamten „MMM“ und der vorläufige Termin, Samstag, der 13.06.2015, besprochen wurden. Dieses Treffen hat ebenfalls dazu gedient, sich gegenseitig kennenzulernen und zu erfahren, was der jeweils andere sich im Hinblick auf dieses Projekt vorstellt.

Die Herausforderungen, denen wir als Seminarteilnehmer gegenüber stehen, sind zum einen die Planung des „MMM“, wie z.B. das gesamte Programm des Tages festlegen, Aufgaben stellen, Teilnehmer finden, Themen der einzelnen Veranstaltungen festlegen und zugehörige Dozenten gewinnen, Finanzierung der Gewinne und des Essens sichern etc., zum anderen die Ausführung der Veranstaltung am 13.06.2015 und die Evaluation. Dabei wollen wir dem eigenen Anspruch, nämlich zum Erfolg des Projekts Wesentliches beizutragen, gerecht werden. Mit der Übergabe eines Abschlussberichts an Herrn Schottenloher und Herrn Pickl soll das Projekt zu Beginn des nächsten Schuljahres beendet werden.

Zu den Inhalten des ganzen, drei Schulhalbjahre dauernden P-Seminars gehört, neben der Durchführung eines Projekts, die Studien- und Berufsorientierung, zu der es zusätzlich

auch Vorträge und Veranstaltungen gibt. Jungendliche sollen einen Einblick in die Arbeitswelt bekommen, um so die spätere Berufswahl eingrenzen zu können.

Ein weiterer Vorteil des Seminars ist, dass das Arbeiten innerhalb der Gruppe dem des späteren Arbeitslebens in vielerlei Hinsicht sehr nahe kommt. So muss zu einem bestimmten Zeitpunkt ein bestimmtes Ergebnis, in unserem Fall die fertige Planung für den Mathematik-Tag „MMM“, vorliegen und auch die Organisation am Veranstaltungstag selbst gesichert sein. Das kann nur erreicht werden, wenn alle Teilnehmer an einem Strang ziehen. Hierzu wird das Seminar in Untergruppen

eingeteilt, die verschiedene Aufgabenbereiche abdecken. Damit die Untergruppen maximal effektiv arbeiten können, sind die Schüler so aufgeteilt, dass sie ihre individuellen Stärken ausnutzen und so zum gemeinsamen Gelingen des Seminars beitragen können. So besteht eine Gruppe beispielsweise aus einem „Macher“, „Entwickler“, „Teamer“ und einem „Analytiker“. Um die Stärken der Schüler festzustellen, wurde der sogenannte „META-Test“ durchgeführt. In den kommenden Wochen wird dann die „Feinplanungs“-Phase eingeleitet, die wiederum von der „Projektrealisierung“ und dem „Projektabschluss“ abgelöst wird.

Sebastian Ploner

Was ist MML? Und MMM?

Seit etwa 7 Jahren besteht seitens des Mathematischen Instituts in Zusammenarbeit mit mehreren Lehrkräften das Angebot, in die Schulen zu gehen und für die Schulen im Umkreis München lebensnahe und attraktive Mathematik-Workshops durchzuführen, – unter dem Kürzel MML für „Mobiles Mathe-Labor“. Der Name erklärt sich damit, dass „Labor“ immer attraktiv klingt, und ein „Mathe-Labor“ darüber hinaus verspricht, dass dort aktiv und evtl. gemeinsam interessante Mathematik veranstaltet wird. Schließlich „mobil“: Es braucht kaum Geräte oder Einrichtungen für die Mathematik, oft reicht eine Tafel oder ein Blatt Papier, gelegentlich hilft ein Sack Würfel für statistische Experimente, eine Kollektion von Bausteinen zum Bauen von Flächen oder eine Sammlung von Seilen zum Knüpfen von Knoten.

Im Zentrum dieses Angebots stehen dabei folgende Ziele:

- Es soll der Spaß an mathematischen Inhalten vermittelt werden.
- Lehrkräfte sollen entlastet und zu weiteren Ideen angeregt werden.
- Die Eigenaktivität der Schülerinnen und Schüler soll gefördert werden.
- Neue, im Unterricht noch nicht behandelte Themen sollen vorgestellt bzw. vorbereitet werden.
- Es soll für die Mathematik als Ganzes geworben werden.

Wie funktioniert das organisatorisch? Lehrkräfte wenden sich an das Mathematische Institut der LMU und vereinbaren einen Termin zu einem der möglichen Themen. In der Regel übernimmt dann ein Dozent des Mathematischen Instituts oder eine Lehrkraft einen etwa zweistündigen Workshop über ein festgelegtes Thema an der jeweiligen Schule: Das Mobile Mathe-Labor tritt in Aktion. Es

hat aber auch schon Anfragen aus größerer Entfernung gegeben, z.B. vor kurzem aus Düsseldorf, und dann findet der Workshop eben – ganz mobil – im Mathematischen Institut statt. Und schließlich, einmal im Jahr – bisher meist im Mai – werden an einem Samstag eine ganze Reihe von MML-Workshops zusammen mit einem Wettbewerb angeboten, zu denen Schülerinnen und Schüler aus der Umgebung eingeladen sind. Für diese Veranstaltung am Samstag hat sich das Kürzel „MMM“ eingebürgert.

Was wird im Rahmen von MML angeboten? Es gibt eine Reihe von unterschiedlichen mathematischen Themen (Unterrichtseinheiten), die jeweils ausführlich aufbereitet sind. Dazu kann sorgfältig präpariertes Material geliefert werden. Jede dieser Einheiten (Sets) aus Anleitungen zum Thema und zugehörigem Material entspricht der Anleitung zur Durchführung eines gemeinsamen Experiments mit Versuchsanordnung und Gerät in einem Labor. Die Schülerinnen und Schüler sollen in Gruppen- oder Einzelarbeit Aufgaben lösen, Fragestellungen entwickeln, evtl. etwas basteln oder ausprobieren. Mathematik kann hier also als „Mathe zum Anfassen“ erlebt werden. Die grundlegende Konzeption der Sets zu den jeweiligen Themen ist darauf ausgerichtet, dass die Schülerinnen und Schüler zu eigenständiger Arbeit angeregt werden. Die Sets brauchen keinen festen Platz, die Bearbeitung der Themen lassen sich in jedem Raum durchführen, insofern ist die Gesamtheit der Sets als ein mobiles Labor anzusehen. Lehrer oder auch Schülergruppen können die gewünschten Sets anfordern, gegebenenfalls mit einem Dozenten oder Studenten, der die Veranstaltung durchführt. Die Themen sind außerdem so gestaltet, dass sowohl leistungsstarke als auch schwächere

Schülerinnen und Schüler in der Lage sind, die gestellten Aufgaben oder Fragen zu beantworten und zu bearbeiten, und ihren Spaß dabei haben.

Die Sets aus dem MML, die momentan bereit stehen, reichen über Fragen aus der Spieltheorie, der Knotentheorie und der Geometrie (etwa über Polyeder) hin bis zur Anwendung von zahlentheoretischen Methoden bei der Erstellung von Strichcodes (die ja z.B. auf jedem Joghurtbecher zu finden sind).

MML und MMM sind aus Sicht der beteiligten Lehrkräfte wertvolle Beiträge zur Kooperation zwischen Hochschule und Schule und tragen dazu bei, dass Mathematik in der Schule als ein attraktives Fach wahrgenommen wird. Das ist ja nicht nur im Interesse der Lehrkräfte, die dieses Fach häufig mit großer Leidenschaft unterrichten, sondern auch im Interesse des Mathematischen Instituts der LMU, das sich über den Zulauf von mathematikbegeisterten Studierenden freut.

Es passt auch hervorragend, dass MMM im kommenden Jahr am 13.6.2015 für Schüler von Schülern organisiert wird (siehe Artikel oben).

Martin Schottenloher



MML – Initialzündung zum intensiven Austausch

Prof. Rudolf Fritsch 75

Am 30. September 2014 vollendete unser emeritierter Ordinarius für Didaktik der Mathematik Prof. Rudolf Fritsch sein 75. Lebensjahr. Die Sudetendeutsche Akademie der Wissenschaften und Künste, deren Präsident Herr Fritsch seit 2006 ist, organisierte an diesem Tag ihm zu Ehren ein Festkolloquium. Den Festvortrag zum Thema „Rudolf Fritsch, Mathematiker, Didaktiker und politischer Brückenbauer“ hielt Prof. Karl Strambach, Erlangen. Es freut uns sehr, dass uns einige Fotos dieser Veranstaltung zur Verfügung gestellt wurden (Fotos: Susanne Habel, München).

Von Herrn Fritsch ging die Initiative zur Gründung unseres Fördervereins – heute Carathéodory-Gesellschaft – aus, für den er auch mehrere Jahre im Vorstand tätig war. Im Namen der Redaktion von MATHE-LMU.DE wünsche ich ihm für die kommenden Jahre weiterhin viel Tatkraft und Stabilität der Gesundheit.

Heiner Steinlein



Professor Karl Strambach



*Das Geschenk der
Naturwissenschaftlichen
Klasse der Akademie*



*Monsignore Karl Wuchterl,
Epizpriester Apostolos Malamoussis*



*Sparkassendirektor Siegfried Sureck aus Altomünster überreicht
ein Gemälde von Professor Walter Gaudnek*

Ein Märchen von Statistik – eine Wahrheit über die Natur

Über Einsteins geisterhafte Fernwirkung, Bells Ungleichung und die Nicht-Lokalität der Natur. Von Dirk-André Deckert und Peter Pickl.

Es war einmal vor langer, langer Zeit ein recht bekannter Physiker. Er war in der Physik-Gemeinde unter dem Namen Professor Bob bekannt. Das war natürlich nicht sein richtiger Name. Er arbeitete nämlich auf einem äußerst brisanten Forschungsgebiet, und als vorsichtiger Mensch und um etwaigen Ärger mit seinen Kollegen zu vermeiden, veröffentlichte er meist unter diesem Akronym. Aber all das machte ihm an diesem Abend keine Sorgen. Vielmehr bereitete ihm Kopfzerbrechen, warum seine Studenten in der letzten mündlichen Prüfung viel schlechter als erwartet abgeschlossen hatten. Viel schlimmer noch, er konnte den Gedanken nicht abschütteln, dass mit der von den Prüfungsprotokollen stammenden Statistik etwas nicht stimmt. Natürlich wurde es seinen Studenten dadurch nicht gerade einfacher gemacht, dass sie im Zuge der Prüfungsordnung des neuen Vordiplom/Diplom-Studiengangs gleich noch im Anschluss eine weitere Prüfung in der Mathematik absolvieren mussten. Nichtsdestotrotz war es aber ein starker Jahrgang, und wenigstens sollte doch die Statistik Rückschlüsse auf einen Trend zulassen, um damit zukünftige Vorlesungen anzupassen. Diesmal jedoch war er ratlos, denn die Statistik wies seltsamste Korrelationen auf.

1. Die Prüfung

Professor Bob rieb sich die Stirn und ging im Kopf noch einmal den Prüfungsablauf durch. Die Studenten wurden in Zweierpaaren gleichzeitig von ihm und seinem Assistenten in verschiedenen Zimmern geprüft.

Aus Zeitgründen wurde pro Prüfling nur eine von drei gleich schwierigen Fragestellungen gegeben. Die drei verschiedenen Fragestellungen hatte er am Vortag mit seinem Assistenten abgesprochen, und in jeder Prüfung wurde immer ein Würfel geworfen, um gemäß der Augenzahlen 1-2, 3-4 und 5-6 die jeweilige Frage fair-verteilt auszuwählen. In den beiden Prüfungsprotokollen wurden dann pro Prüfung die Fragestellungen sowie die vom Studenten erhaltenen Antworten notiert. Sein Assistent erstellte dann aus diesen Protokollen eine Zusammenfassung, die Professor Bob nun in den Händen hielt. Tabelle 1 zeigt einen kleinen Auszug daraus. Die vollständige Liste hat eigentlich 123 Einträge und wurde aus editorischen Gründen gekürzt. Jede Zeile zeigt eine fortlaufende Nummer #, die gestellten Fragen und die Bewertung der Antworten der jeweils zwei gleichzeitig gehaltenen Prüfungen – die Namen der Studenten wurden hier natürlich herausgelöscht. Die zwei Prüfungszimmer sind mit den Zahlen 1 und 2 bezeichnet. Die im Zimmer $i = 1, 2$ gestellte Frage F_i hat drei mögliche Werte α, β und γ , welche Abkürzungen für die drei verschiedenen Fragestellungen sind. Die im Zimmer $i = 1, 2$ auf die Fragestellung $\varphi = \alpha, \beta, \gamma$ gegebenen Antwort R_i^φ nimmt die Werte -1 für falsch und 1 für fast oder ganz richtig an.

#	F_1	F_2	$A_1^{F_1}$	$A_2^{F_2}$
1	β	β	-1	-1
2	α	γ	-1	1
3	α	β	1	1
4	γ	α	-1	1
5	γ	γ	1	1
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$

Abbildung 1: Zusammenfassung der Prüfungsprotokolle

2. Seltsame Korrelationen

Beim flüchtigen Durchsehen der langen Liste mochte es einem nicht sofort auffallen, und deshalb nahm dies Professor Bob seinem Assistenten auch nicht böse – dieser hatte wegen der Lehrbelastung sowie so viel zu wenig Zeit für seine Forschung, und er klagte bereits darüber, dass sein Experiment kaum brauchbare Daten liefere – jedoch beim genaueren Hinschauen konnte man folgende Korrelationen ausmachen: Immer wenn zufällig die gleiche Fragestellung in den beiden Prüfungszimmern gestellt wurde, waren die Bewertungen der Antworten gleich, d.h. für alle Fragestellungen $\varphi = \alpha, \beta, \gamma$ galt:

$$F_1 = \varphi = F_2 \quad \Rightarrow \quad A_1^\varphi = A_2^\varphi. \quad (1)$$

Eine Korrelation von Prüfungsergebnissen ist für Prüfer wie Prüflinge häufig eine unangenehme Angelegenheit. Gerade das korrelierte Auftreten fehlerhafter Antworten legt den Verdacht nahe, dass die Prüflinge voneinander abgeschrieben oder, wie in unserem Beispiel einer mündlichen Prüfung, auf irgendeine andere Art miteinander kommuniziert haben, *nachdem* die Prüfungsfrage gestellt wurde. Jedoch hatte Professor Bob eine sehr hohe Meinung von seinen Studenten, die er jetzt bereits seit einigen Semestern kannte, und schenkte diesem Gedanken zunächst keine weitere Beachtung. „Es könnte doch sein“, dachte sich Professor Bob, „dass die jeweiligen Paare von Studenten sich gemeinsam auf die Prüfung vorbereitet hatten.“ Dadurch würden sie in der Prüfung dieselben Fehler machen, was die Korrelationen der Fehler erklären könnte, ohne dem Bild, das Professor Bob von seinen Studenten hatte, zu widersprechen. Vielleicht war ja die Ursache ein fehlerhaftes Skript zur Vorlesung? Aber sein Assistent hatte ein wundervolles Skript ausgearbeitet und

den Studenten in der Bibliothek als Kopiervorlage zur Verfügung gestellt. Außerdem müssten dann die Korrelationen auch paarübergreifend auftreten. Professor Bob betrachtete nochmals die Aufzeichnungen der Prüfungsergebnisse. Nein – eine Korrelation zwischen den verschiedenen Paaren war nicht zu erkennen. Sollte doch alles nur ein ganz besonderer Zufall gewesen sein? Dieser hätte aber äußerst besonders sein müssen, denn immerhin wurden ganze 123 Studentenpaare geprüft, und darunter waren die obigen Korrelationen perfekt. An Zufälle glaubte Professor Bob aber aus guten Gründen nicht.

Wie man es auch dreht und wendet – es muss irgendeine Form des Austauschs zwischen den Studenten stattgefunden haben. Dadurch blieben lediglich die folgenden Optionen:

- (I) Die Studentenpaare sprachen sich vor der Prüfung ab.
- (II) Die Studentenpaare kommunizierten während der Prüfung miteinander.

Im Klartext ausgedrückt würde (II) bedeuten, dass die Studenten geschummelt haben – wenn auch nicht besonders gut. Wie bereits erwähnt hatte er aber eine hohe Meinung von seinen Studenten und hielt diese Erklärung für unwahrscheinlich. Wie hätten sie denn auch kommunizieren sollen? Smartphones gab es ja zu seiner Zeit noch gar nicht. Dennoch ist auch Erklärung (I) nicht einfach zu akzeptieren, denn danach müsste eine sehr spezielle Absprache vor der Prüfung getroffen werden, die einerseits die Korrelationen (1) produziert, aber auch sonst der Statistik gerecht wird. Ist so etwas denn überhaupt möglich? Und warum sollten die Studenten das tun? In Hinblick auf die Zensur scheint ein solches Vorgehen nicht besonders sinnvoll zu sein. Von der Müdigkeit überwältigt ging Pro-

fessor Bob zu Bett und schlief mit diesen Gedanken ein.

3. Mathematische Vorüberlegungen

Am darauf folgenden Tag traf Professor Bob seine Kollegin Professor Alice aus der Mathematik zum Nachmittagskaffee. Sie war eine ebenso renommierte Wahrscheinlichkeitstheoretikerin und hielt die besagte Mathematik-Klausur kurz nach Professor Bobs Prüfung. Natürlich fragte er sie zugleich, wie denn ihre Klausur ausgefallen sei. Als gäbe es keinen Zweifel, antwortete sie verwundert, dass dieser Jahrgang besonders gut abgeschnitten habe. Darüber erleichtert, musste ihr Professor Bob nun von seiner Prüfung, den seltsamen Korrelationen und seinen zwei möglichen Erklärungen berichten. Professor Alice kehrte in sich und überlegte. Als sie wieder aufblickte, meinte sie, dass man aufgrund der Statistik aber in gewissen Fällen schon zwischen den beiden Erklärungen entscheiden könne. Sie bekräftigte ihre Aussage mit dem folgenden einfachen Beispiel:

„Sagen wir, es gibt nur zwei verschiedene Fragen α und β und man hat folgende perfekte Korrelationen festgestellt.“ Sie holte einen Stift aus ihrer Tasche und skizzierte Tabelle 2 auf einer Serviette.

F_1	F_2	$A_1^{F_1}$	$A_2^{F_2}$
α	α	1	1
β	α	1	1
β	β	1	1
α	β	-1	1

Abbildung 2: Ein einfaches Beispiel

„Machen wir weiter die Annahme“, so fuhr sie fort, „dass die Antworten *vor* der Prüfung abgesprochen wurden, also dass Erklärung (I) gilt. Demnach müssen die möglichen Werte A_i^φ für $i = 1, 2$ und

$\varphi = \alpha, \beta$ vor der Prüfung festgelegt sein und nicht von den in der Zukunft gestellten Fragen F_1 und F_2 abhängen.“ Professor Bob überlegte kurz. „Was meinen Sie mit ‚festgelegt‘?“, fragte er. „Könnte es nicht sein, dass das Ergebnis, auch nachdem sich die Studenten getrennt haben, von einem gewissen Zufall abhängt? Ich denke da zum Beispiel an Folgendes: Die Studenten werfen, nachdem die Frage gestellt wurde, eine Münze, und anhand des Ergebnisses des Münzwurfes antworten sie dann mit einer richtigen oder falschen Antwort. Dann ist die Antwort nicht festgelegt, trotzdem haben die Prüflinge nicht geschummelt.“ „Das ist schon richtig“, erwiderte Professor Alice, „jedoch ändert dies nichts an der Unabhängigkeit! Stellen Sie sich vor, die Münze wird bereits *vor* der Fragestellung geworfen und man sieht nach Stellung der Frage lediglich nach, was das Ergebnis des Wurfes war. Dies ändert offensichtlich nichts an den Ergebnissen im Vergleich zu der von Ihnen vorgeschlagenen Strategie. Wir können also einfach annehmen, dass jeglicher Zufall in der Vergangenheit stattfand, also die Antworten vor den Fragestellungen bereits festgelegt sind, ohne den allgemeinen Fall zu beschränken.“ „Da haben sie recht“, sagte Professor Bob, „außerdem ist mir gerade aufgefallen, dass alle Antworten beim Betreten des Raumes bereits festgelegt sein müssen, da man sonst im Fall gleicher Fragestellung keine perfekten Korrelationen bekommen würde.“

Professor Alice und Professor Bob kamen also zu dem Schluss, dass jede Absprache unabhängig von den gestellten Fragen nach Tabelle 2 die Folgerungen

$$A_1^\alpha = 1 \quad \Leftrightarrow \quad A_2^\alpha = 1, \quad (2)$$

$$A_1^\beta = 1 \quad \Leftrightarrow \quad A_2^\alpha = 1, \quad (3)$$

$$A_1^\beta = 1 \quad \Leftrightarrow \quad A_2^\beta = 1, \quad (4)$$

$$A_1^\alpha = -1 \quad \Leftrightarrow \quad A_2^\beta = 1, \quad (5)$$

erfüllen muss. „Daraus bekommen wir aber

$$\begin{aligned} A_1^\alpha = 1 &\Rightarrow A_2^\alpha = 1 \Rightarrow A_1^\beta = 1 \\ &\Rightarrow A_2^\beta = 1 \Rightarrow A_1^\alpha = -1, \end{aligned}$$

was natürlich ein Widerspruch ist“, meinte Professor Alice, „und dies bedeutet, dass unsere Annahme falsch ist. Es existiert also keine Absprache, die ohne Kenntnis der Fragen F_1 und F_2 die Korrelationen aus Tabelle 2 produzieren könnte. Solange es sich nicht um einen besonderen Zufall handelt, ist der Schluss folglich, dass Erklärung (II) richtig ist, also dass die Studenten nach Kenntnis der Fragestellung irgendwie kommuniziert haben müssen.“

4. Überführung der Studenten

Professor Bob nickte verständlich, während er schon in seiner Ledertasche kramte, bis er endlich die Ergebnisliste seiner Prüfung fand. Er ordnete die Seiten, legte sie schließlich auf den Tisch und meinte zu Professor Alice, dass man hier doch ähnlich vorgehen könne. Um also zwischen Erklärung (I) und (II) zu entscheiden, brauche man ein Kriterium, anhand dessen man jede mögliche vor der Prüfung getroffene Absprache testen könne. Es verging einige Zeit, und beide Professoren starrten still die Seiten auf und ab. Bei dem genauen Durchsehen wurden sie auf eine weitere seltsame Korrelation aufmerksam. Zusätzlich zu den perfekten Koinzidenzkorrelationen (1) traten alle anderen Koinzidenzen mit jeweils der gleichen relativen Häufigkeit, nämlich $1/4$, auf. Professor Alice holte nun ein leeres Blatt Papier aus ihrer Tasche und meinte, dass man jetzt mathematisch genau arbeiten müsse, und der zu dem Problem passende Formalismus ist der der Wahrscheinlichkeitstheorie. Sie notierte in diesem Formalismus: „Sei (Ω, σ, P) ein Wahrscheinlichkeitsraum, dann sind die Fragen F_i und die möglichen Antworten A_i^φ

für $i = 1, 2$ und $\varphi = \alpha, \beta, \gamma$ Zufallsvariablen, d.h. messbare Funktionen

$$F_i : \Omega \rightarrow \{\alpha, \beta, \gamma\}, \quad A_i^\varphi : \Omega \rightarrow \{-1, 1\}."$$

Was der Raum der Elementarereignisse Ω , die darauf definierte Sigma-Algebra σ und das Maß P genau ist, würde erst mal keine Rolle spielen, da uns nur relative Häufigkeiten bestimmter Werte von Zufallsvariablen interessieren. Vom Formalismus vorerst unbeeindruckt meinte Professor Bob weiter: „Nehmen wir also wie in Ihrem Beispiel an, dass Erklärung (I) die richtige ist, d.h. die Studenten haben sich nur vor der Prüfung abgesprochen.“ „Gut“, antwortete Professor Alice und schrieb:

Annahme 1. Für alle $i = 1, 2$ und $\varphi = \alpha, \beta, \gamma$ sind die Zufallsvariablen der Antworten A_i^φ von denen der Fragen F_1 und F_2 paarweise unabhängig.

„Fakt ist aber“, so unterbrach sie Professor Bob eifrig, „dass es die perfekten Korrelationen (1) bei gleichen Fragen gibt und dass nach unserer Beobachtung alle anderen Koinzidenzen mit der relativen Häufigkeit $1/4$ auftreten.“ Bevor Professor Bob mit seinem Satz fertig war, bestätigte Professor Alice schreibend: „Da nach Annahme 1 die Antworten A_i^φ paarweise unabhängig von den F_i sind, bedeutet (1) Folgendes:

$$A_1^\varphi = A_2^\varphi \quad \text{für alle } \varphi = \alpha, \beta, \gamma, \quad (6)$$

und weiter verzeichnen wir die beobachteten relativen Häufigkeiten $1/4$ der anderen Koinzidenzen mit:

$$\begin{aligned} P(A_1^\alpha = A_2^\beta) &= \frac{1}{4}, \\ P(A_1^\beta = A_2^\gamma) &= \frac{1}{4}, \\ P(A_1^\gamma = A_2^\alpha) &= \frac{1}{4}. \end{aligned} \quad (7)$$

Die Frage, ob denn irgendeine Absprache vor der Prüfung die Korrelationen (6)-(7) produzieren kann, bedeutet mathematisch, ob denn solche Zufallsvariablen A_i^φ , die (6)-(7) erfüllen, überhaupt auf dem Wahrscheinlichkeitsraum (Ω, σ, P) existieren.“ Es verging wieder einige Zeit, bis Professor Bob bemerkte, dass das Ereignis

$$A_1^\alpha = A_1^\beta \text{ oder } A_1^\beta = A_1^\gamma \text{ oder } A_1^\gamma = A_1^\alpha$$

doch sicher sei, denn es sei ausgeschlossen, dass keine der drei Gleichungen erfüllt sei, wenn als Werte der Zufallsvariablen nur 1 und -1 in Frage kämen. Professor Alice antwortete, dass dies wahr sei, also gälte wegen der perfekten Korrelationen (6) auch

$$P(A_1^\alpha = A_2^\beta \vee A_1^\beta = A_2^\gamma \vee A_1^\gamma = A_2^\alpha) = 1, \quad (8)$$

wobei $\vee$ ‚oder‘ bedeute, und meinte erfreut, dass man damit sofort nach den Gesetzen der Wahrscheinlichkeitstheorie eine Ungleichung bekäme, nämlich

$$\begin{aligned} P(A_1^\alpha = A_2^\beta \vee A_1^\beta = A_2^\gamma \vee A_1^\gamma = A_2^\alpha) \\ \leq P(A_1^\alpha = A_2^\beta) + P(A_1^\beta = A_2^\gamma) \\ + P(A_1^\gamma = A_2^\alpha). \end{aligned} \quad (9)$$

„Sicher“, murmelte Professor Bob, „auf der rechten Seite würde man ja vielleicht gewisse Ereignisse mehrfach zählen“, und schon ging beiden ein Licht auf. Setzt man nun die Fakten (7) beziehungsweise (8) auf der rechten bzw. linken Seite von (9) ein, bekommt man

$$\begin{aligned} 1 = P(A_1^\alpha = A_2^\beta \vee A_1^\beta = A_2^\gamma \vee A_1^\gamma = A_2^\alpha) \\ \leq P(A_1^\alpha = A_2^\beta) + P(A_1^\beta = A_2^\gamma) \\ + P(A_1^\gamma = A_2^\alpha) = \frac{3}{4}. \end{aligned}$$

Ein Widerspruch also – das war es! Von der Eleganz ihres Arguments beeindruckt

lächelten sich die beiden Professoren an, bis sie plötzlich doch schauderten. Annahme 1 war falsch, d.h. die Studenten haben offensichtlich während der Prüfung miteinander kommuniziert! Erstens war es schwer zu glauben, denn sie kannten ihre Studenten gut und hätten niemals von ihnen erwartet zu schummeln. Zweitens, und hierzu muss noch einmal gesagt werden, dass Smartphones damals noch lang nicht erfunden waren, wie hätten die Studenten, die ja während der Prüfung in verschiedenen Zimmern saßen, überhaupt miteinander kommunizieren sollen? Das war doch auch fast eine Unmöglichkeit.

5. Verwechslung

Auf dem Weg zu seinem Büro zurück überlegte Professor Bob hin und her. Der mathematische Beweis war schlüssig, doch die Konsequenz fast unmöglich. Ein Dilemma, aber es blieb ihm als Wissenschaftler nur die eine Möglichkeit, sich mit der unbequemen Konsequenz abfinden, dass seine Studenten es irgendwie geschafft haben, während der Prüfung zu kommunizieren. Als er endlich ankam, lief ihm schon höchst aufgeregt sein Assistent entgegen. Mit blassem Gesicht fing er gleich an zu erklären. Er habe die Ergebnisliste der Prüfung versehentlich mit der seines Experiments vertauscht! Die Studenten haben wie erwartet sehr zufriedenstellend abgeschnitten, es sei alles eine große Verwechslung gewesen. Professor Bob fiel sicherlich ein Stein vom Herzen, aber was bedeuteten dann die seltsamen Korrelationen für das Experiment? Sein Assistent hatte eine eigenartige Teilchenquelle gebaut, die auseinander laufende Paare von Teilchen erzeugen kann. Das besondere an diese Paaren ist, dass diese eben seltsamste Korrelationen aufweisen. Wenn die Teilchen dasselbe von sogenannten Stern-Gerlach-Magneten erzeugte

inhomogene Magnetfeld durchqueren, läuft ohne Ausnahme eines der Teilchen entlang der Symmetrieachse des Magnetfelds nach oben, während das andere nach unten läuft. Man kann zwar nicht beeinflussen, welches der Teilchen nach oben bzw. nach unten läuft, aber die Korrelation ist perfekt. Die auftretenden relativen Häufigkeiten der Ablenkung nach oben bzw. unten sind, wie beim Münzwurf, $1/2$. Ohne kaum Luft geschnappt zu haben, erklärte sein Assistent weiter, dass er drei verschiedene Winkeleinstellungen der Symmetrieachse seiner Magneten verwende, nämlich $\alpha = 0^\circ$, $\beta = 120^\circ$ und $\gamma = 240^\circ$ und dass er den linken Stern-Gerlach-Magnet mit 1 und den rechten mit 2 bezeichne. Die Ablenkungen bzgl. eines Winkels φ des linken Teilchen notiere er mit 1 für nach *oben* bzw. -1 für *unten* und bei dem rechten Teilchen genau anders herum, da es ihm dann in den Listen einfacher machen würde, die Anti-Korrelationen der Teilchenpaare zu erkennen. Die Winkeleinstellungen $\varphi = \alpha, \beta, \gamma$ am Magneten $i = 1, 2$ bezeichne er mit der Variablen W_1 und W_2 . Diese seien zufällig, aber gleichverteilt und unabhängig gewählt. Die Ergebnisse seiner Messung bezeichne er mit E_i^φ . Am Tag der Prüfung habe er noch lange gearbeitet, um die Zeit wieder reinzuholen, und aus Müdigkeit die Ergebnislisten von Experiment und Prüfung vertauscht. Professor Bob versuchte ihn zu beruhigen und erzählte nun von den von ihm und seiner Kollegin angestellten Überlegungen. Die Aufregung riss natürlich nicht ab, denn klarerweise ist dort F_i durch W_i und A_i^φ durch E_i^φ für alle $i = 1, 2$ und $\varphi = \alpha, \beta, \gamma$ gleichzusetzen, und man bekommt eine Aussage für das Experiment. „Die Teilchen sprechen sich nicht allein *vor* der Messung miteinander ab, um die seltsamen Korrelationen zu produzieren“, sagte Professor Bob, „sie kommunizieren noch während der Messung!“ Mit diesen Worten

wollte Professor Bob erleichtert seinen Assistent zurück ins Labor schicken, um die Teilchen besser voneinander abzuschirmen, wobei sicher die Korrelationen verschwinden müssten. Sein Assistent erklärte aber sofort, dass die Messungen der Teilchen eines Paares aus Platzgründen in getrennten Zimmern stattfänden. Die Zimmer seien gute 400 m voneinander entfernt, die Messzeit betrage aber unter $1 \mu\text{s}$. D.h. kein lichtschnelles Signal könne in dieser Zeit von einem der Teilchen ausgesendet das andere erreichen. Die Konsequenz war also, dass die Teilchen überlichtschnell miteinander wechselwirken! Das ist in der Tat sehr unbequem, denn diese Konsequenz scheint vorerst im Widerspruch zum Paradigma der Relativitätstheorie zu stehen, nämlich der sogenannten Lokalitätsannahme, dass keine Information schneller als die Lichtgeschwindigkeit übertragen werden kann.

6. Kausalitätsprobleme

Professor Bob wurde immer unbehaglicher zumute. Die Freude, die ihm die hervorragenden Klausurergebnisse und sein wiedergewonnenes Vertrauen in die Ehrlichkeit seiner Studenten bereitet hatten, war mit einem Schlag verfliegen. Er erinnerte sich an seine Jahre als Schüler, in denen er sich für die damals noch sehr junge Relativitätstheorie begeisterte – der Grund für ihn, Physik zu studieren. Natürlich war ihm bewusst, dass die Möglichkeit der Übertragung einer Nachricht mit einer Geschwindigkeit schneller als das Licht auch Nachrichtenübertragung in die Vergangenheit ermöglicht. „Folglich könnte er“, und es kam ihm nun ein besonders absonderliches, aber zur Verdeutlichung des Problems gut geeignetes Gedankenexperiment in den Sinn, „prinzipiell über einen Mittelsmann eine Botschaft in die Vergangenheit schicken, die zur Folge hat, dass die eigene Ge-

burt verhindert wird.“ Dabei bereitete Professor Bob weniger der Gedanke an sein verfrühtes Ableben Sorgen – es handelte sich hier ja nur um ein fiktives Gedankenexperiment –, sondern die mit dieser Idee verbundenen Kausalitätsprobleme. Eine solche Botschaft würde bewirken, dass er selbst nie geboren worden wäre, folglich auch nicht die Möglichkeit hätte, jene Botschaft zu versenden. Die Konsequenz wäre, dass seine Geburt eben nicht verhindert würde und er doch existieren würde, also doch die Botschaft versenden könne ... Man kann sich vorstellen, dass die folgende Diskussion mit seinem Studenten lange bis in die Abendstunden dauerte.

Sollte die Relativitätstheorie nicht korrekt sein? Undenkbar! Schließlich erlaubte sie die einheitliche Beschreibung der elektrischen und magnetischen Kräfte, von ihrem Erfolg in der Beschreibung der Gravitation ganz zu schweigen. Er überlegte weiter: „Nehmen wir an, Student 1 würde uns mit seiner Antwort etwas über die dem Studenten 2 gestellte Frage mitteilen.“ Professor Bob zog es vor, noch weiter in diesem anschaulichen Bild der Prüfung zu denken, obwohl es sich ja eigentlich um Messresultate des Experiments handelte. „Im Extremfall antwortet Student 1 mit einer richtigen Antwort auf seine Frage, falls man dem Studenten 2 die Frage α gestellt hat und mit einer falschen Antwort in den beiden anderen Fällen. Dies könnten die beiden Fragesteller ausnutzen, um eine Nachricht zu übermitteln.“ In der Tat: Gegeben sei eine beliebige Zahlenfolge von Nullen und Einsen, die nur dem Assistenten bekannt ist. Der Assistent könnte bei einer Null die Frage α , bei einer Eins die Frage β stellen. Der Professor könnte nun an den Antworten der von ihm gestellten Fragen die Zahlenfolge ablesen. Professor Bob und sein Assistent schnitten die Liste mitig durch und studierten, was mit einer der

Hälften über die Geschehnisse im jeweils anderen Labor herauszufinden war. Nach einiger Zeit gaben sie auf. „Vielleicht“, meinte der Assistent, „gibt es ja eine gewisse Verbundenheit der voneinander räumlich getrennten Teilchen, die aber von einer Art ist, dass man damit keine Informationen austauschen kann?“ Professor Bob war stolz auf seinen Assistenten. Dies würde das Kausalitätsproblem beheben. Er dachte diese Idee weiter: „Ja, es könnte sein, dass die Antwort des ersten Studenten zwar von den Geschehnissen im anderen Zimmer abhängt, jedoch unabhängig von der im anderen Zimmer gestellten Frage ist.“ – „Verstehe ich nicht“, entgegnete sein Assistent. „Nun ja, alle Antworten könnten unabhängig von der im anderen Zimmer gestellten Frage sein, aber von der im anderen Zimmer gestellten Frage gemeinsam mit der im anderen Zimmer gegebenen Antwort abhängen! Dadurch bestünde weiterhin eine Abhängigkeit von den Geschehnissen im anderen Zimmer, jedoch würde man diese nicht ausnutzen können, um Information auszutauschen. Solange der zweite Prüfer nicht die Antworten seines Studenten beeinflussen kann und diese zufällig zu selben Anteilen mal wahr und mal falsch sind, kann der eine Prüfer dem anderen nichts mitteilen. Die seltsam anmutende Korrelation der Antworten könnte also frühestens dann bemerkt werden, wenn sich die beiden Prüfer treffen und ihre Listen vergleichen.“ Und genauso stellte es sich heraus, denn die Antworten schienen gleichverteilt und wohl unabhängig von der im jeweilig anderen Zimmer gestellten Frage bzw. Winkeleinstellung im Experiment. Ein Kausalitätsproblem gab es also nicht, und mit jenen Erkenntnissen aus Mathematik und Physik lebten Professor Bob, sein Assistent und Professor Alice ein langes Leben, glücklich und zufrieden.

7. Mathematik $\cap$ Physik

Wenn auch die obige Geschichte vielleicht ein Märchen ist, so sind die Korrelationen (6) und (7) Fakt und lange bekannt. Sie wurden nicht nur experimentell gemessen (z.B. [4]), sondern auch von der Quantenmechanik vorhergesagt, und zwar genau mit den oben angegebenen Werten. Letzteres ist aber erstmal nicht so relevant. Im obigen Argument wurde schließlich nirgends die Quantenmechanik gebraucht. Die Tragweite der nach Bell [2] benannten Ungleichung (9) geht weit über die Quantenmechanik hinaus. Für sich allein ist sie zuerst zwar nur eine mathematische Folgerung aus der Wahrscheinlichkeitstheorie, die gemäß der Axiome der Mathematik schlicht und einfach wahr ist. Soweit aber die Physik sicherstellt, dass (6) und (7) wahr sind, ist die Konsequenz, dass jede Theorie, die erfolgreich solche Korrelationen beschreiben soll, eine überlichtschnelle Wechselwirkung zwischen der Teilchen, oder, wie Einstein es nannte, geisterhafte Fernwirkung zulassen muss.

Die Realisierung des Experiment ist natürlich viel komplexer als oben beschrieben. Obige Darstellung geht nur auf das Gedankenexperiment von Einstein, Podolsky und Rosen zurück [1], das aufgrund des Widerspruchs zur Relativitätstheorie die Unvollständigkeit der Quantenmechanik zeigen sollte. Dieses wurde von Bell [2] richtiggestellt. Die Quantenmechanik ist nicht falsch, weil sie nicht-lokal ist, sondern vielmehr muss jede Theorie, die die Natur dieser Korrelationen erfolgreich beschreiben soll, nicht-lokal sein. Die Hauptschwierigkeiten im Experiment sind die benötigten kurzen Messzeiten, die Abschirmung der Teilchenpaare von Störungen über große Entfernungen, und die Verlässlichkeit der Statistik. Letzterer Punkt ist besonders wichtig, denn schließ-

lich beruht der mathematische Beweis auf hypothetischen relativen Häufigkeiten für abzählbar unendlich viele Wiederholungen des Experiments. Da nur endlich viele Messungen zu Verfügung stehen, muss im Sinne des schwachen Gesetzes für große Zahlen noch bestimmt werden, wie viel Statistik nötig ist, um den relativen Häufigkeiten trauen zu können. Aufgrund dieser Schwierigkeiten wird das Experiment nicht mit Bell-Zuständen von Elektronenpaaren und Stern-Gerlach-Magneten, die deren Spin-1/2-Werte messen, durchgeführt, sondern z.B. mit sogenannten GHSZ Zuständen [3] von Photonen, deren Polarisationen gemessen werden. Die entsprechenden Experimente laufen unter dem Namen *Bell Tests*. Eine moderne Version befindet sich derzeit im Aufbau an der Fakultät für Physik der LMU München in der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Weinfurter. Die Optik, um Verschränkungen von Photonen zu messen, wird dabei immer kleiner und kostengünstiger, und inzwischen gibt es auch eine Spin-Off Firma, die unter dem Namen *qutools*¹ kompakte und einfach bedienbare Experimente mit verschränkten Photonen Universitäten und Schulen zugänglich macht.

Literatur

- [1] A. Einstein, B. Podolsky, N. Rosen, *Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?*, Phys. Rev. 47: 777, 1935.
- [2] J.S. Bell, *Speakable and Unsayable in Quantum Mechanics*, Cambridge University Press, 1987.
- [3] D. Greenberger, M. Horne, A. Shimony, A. Zeilinger, *Bell's theorem without inequalities*, Am. J. Phys. 58 (12): 1131, 1990.
- [4] A. Aspect, J. Dalibard, G. Roger, *Experimental test of Bell's inequalities using time-varying analyzers*, Phys. Rev. Lett. 49 (25):1804, 1982.

¹<http://www.qutools.com>

Wie könnten Sie Ihrem Studium wahre Größe verleihen?

- ☐ Indem Sie über Dinge nachdenken, über die noch keiner nachgedacht hat
- ☐ Wenn Sie eine Abschlussarbeit über das höchste Gebäude der Erde schreiben
- ☐ Mit einem Praktikum über Naturgefahren in touristischen Ballungszentren
- ☐ Durch eine Diskussion mit Ärzten, Ingenieuren und Seismologen
- ☐ Mit jedem der genannten Punkte



Haben Sie Lust, mit uns Projekte von globaler Tragweite zu bewegen? Als einer der führenden Rückversicherer der Welt durchleuchten wir Risiken aller Art und sichern sie ab. Ob Großbauprojekte, Klimawandel oder Raumfahrt: Absolvieren Sie Ihre ersten Schritte ins Berufsleben in vielfältigen Themenfeldern, die die Menschheit heute und in Zukunft bewegen. Profitieren Sie vom Wissen und Netzwerk unserer Mitarbeiter und legen Sie bereits während des Studiums den Grundstein für eine erfolgreiche berufliche Zukunft.



Wie Sie sich schon als Student bei Munich Re einbringen können, erfahren Sie unter munichre.com/karriere