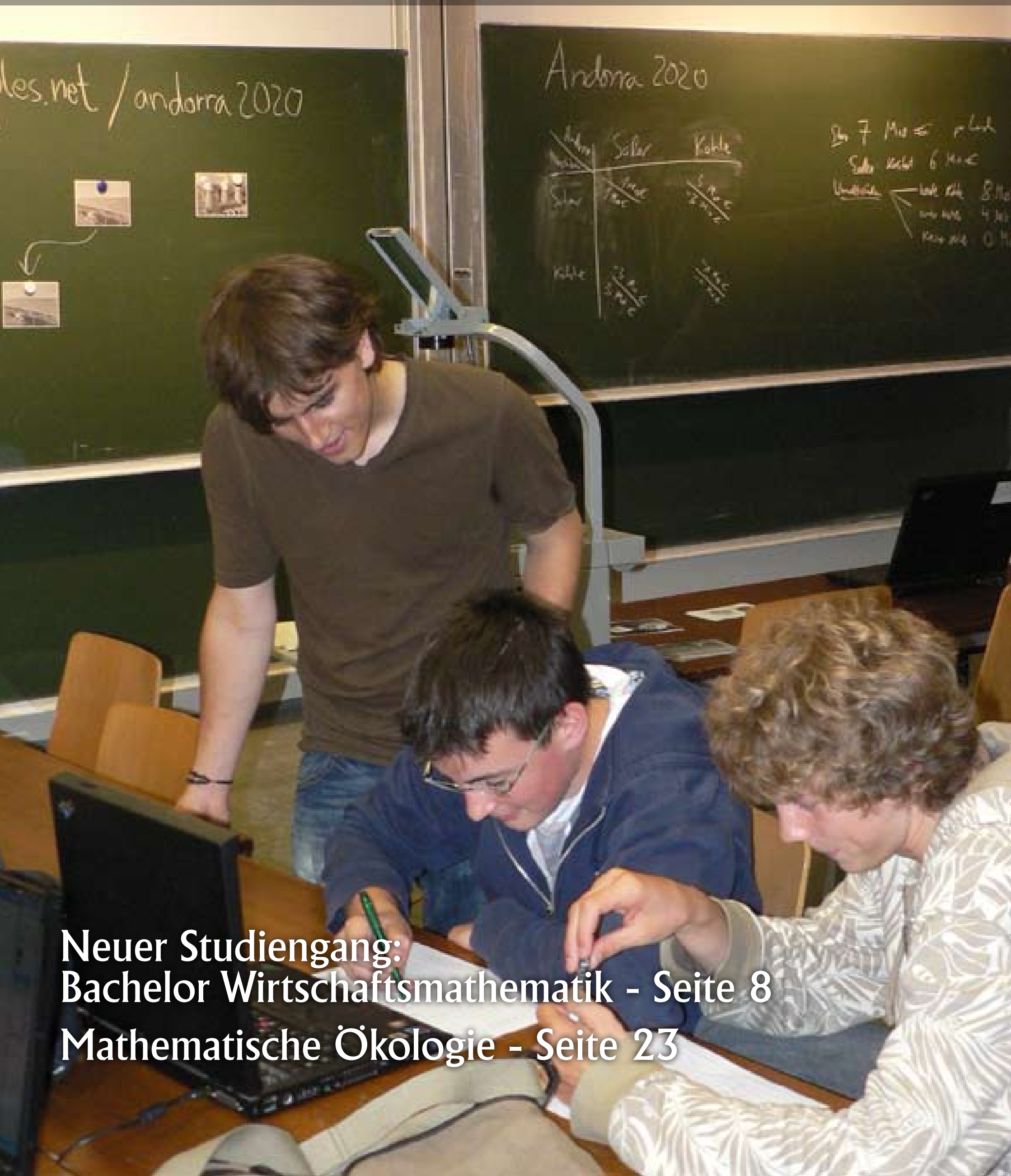
NR. 20 – JULI 2009

MATHE-LMU.DE

FÖRDERVEREIN MATHEMATIK IN WIRTSCHAFT, UNIVERSITÄT UND SCHULE AN DER LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT MÜNCHEN E.V.



Neuer Studiengang: Bachelor Wirtschaftsmathematik - Seite 8

Mathematische Ökologie - Seite 23

Liebe Leserinnen und Leser,

in den Zeiten der Finanzkrise wird von manchen Wirtschaftsexperten behauptet, dass unzureichende Nutzung der mathematischen Modelle bei der Beschreibung von Finanzprozessen einer der Gründe für die heutige beklagenswerte Lage war. Daraus folgern die Experten, dass der Bedarf der Finanzbranche an hoch qualifizierten Mathematikern in den nächsten Jahren weiter wachsen wird. Das Mathematische Institut der LMU hat entsprechend reagiert und wird einen neuen Bachelor-Studiengang in Wirtschaftsmathematik anbieten. (Siehe Seite 8 für eine Beschreibung des Studienganges.)
Ökologie und Klimawandel sind weitere Themen, die für die Menschheit von sehr großer Bedeutung sind. Und Mathematik hat sich auch in diesen Bereichen als sehr nützlich erwiesen. In diesem Heft präsentieren wir Ihnen den ersten Artikel einer zweiteiligen Serie über mathematische Modelle in der Ökologie. Für das nächste Heft planen wir einen Artikel über die Problematik des Klimawandels in der Ökologie.
Zum Schluss will ich mich den Lesern vorstellen. Seit Wintersemester 08/09 arbeite ich als Akademischer Rat am Mathematischen Institut und habe ab dem aktuellen Heft die Leitung der Redaktion von Herrn Steinlein übernommen.

Vitali Wachtel

Liebes Vereinsmitglied,

am 16. Juni 1999 wurde unser Förderverein im Sitzungsraum des Mathematischen Instituts aus der Taufe gehoben; damit jährt sich seine Gründung in diesen Tagen zum zehnten Male. Wichtige Ziele zur tatkräftigen Unterstützung der Mathematik an der LMU München durch finanzielle und ideelle Förderung von Forschung und Lehre wurden in der Satzung verankert, welche auch immer wieder durch die Beiträge und großzügigen Spenden sowie dem bewundernswerten Engagement der Mitglieder verwirklicht werden können. Als Flaggschiff des Vereins darf dabei sicherlich unsere Zeitschrift gelten, die von Professor Heinrich Steinlein begründet, geprägt und über die ganzen Jahre hinweg bis zu dieser Jubiläumsausgabe überaus erfolgreich geführt wurde. Weitere Aktivitäten unseres Vereins wurden auch heuer auf der Mitgliederversammlung vom 10. Juni 2009 thematisiert, welche durch einen spannenden und hochaktuellen Vortrag von Dr. Bernhard Vesenmayer zur numerischen Berechnung des Hedge-Fehlers einer Europäischen Option bereichert wurde. Wenn unser Verein zu seinem zehnten Geburtstag einen Wunsch offen hätte, so wäre dies wohl ein noch bunterer Strauß an interessanten Veranstaltungen – vielleicht wären Sie ja bereit, an dessen Erfüllung mitzuwirken.

Ihr Erwin Schörner

Impressum	**mathe-lmu.de**
Herausgeber	Förderverein Mathematik in Wirtschaft, Universität und Schule an der Ludwig-Maximilians-Universität München e.V., Mathematisches Institut, Universität München, Theresienstr. 39, 80333 München, fmwus@mathematik.uni-muenchen.de, Konto: 1267532, Bankleitzahl 700 500 00, Bayerische Landesbank
ViSdP	Vitali Wachtel, Mathematisches Institut, Universität München, Theresienstr. 39, 80333 München, Tel. 2180-4488, wachtel@mathematik.uni-muenchen.de
Redaktion	Katharina Belaga, Bernhard Emmer, Daniel Rost, Ingrid Schehrer, Erwin Schörner, Katharina Schüller, Heinrich Steinlein, Vitali Wachtel
Auflage	5000
Layout	Gerhard Koehler, München, kws@kws-koehler.de
Druck	Siller Offsetdruck, Künzelsau

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

Berichte aus dem Mathematischen Institut

Erweitertes Studienangebot

Der seit zwei Jahren erfolgreich angebotene Bachelorstudiengang Mathematik mit den Nebenfächern Informatik, Statistik, Betriebswirtschaftslehre, Volkswirtschaftslehre, Insurance and Risk Management sowie Experimentalphysik und Theoretische Physik soll nach den Vorstellungen des Mathematischen Instituts zum Wintersemester 2009/10 um einen eigenen Bachelorstudiengang Wirtschaftsmathematik ergänzt werden; die diesem neuen Studienangebot zugrundeliegende Konzeption wird in einem eigenen Beitrag auf Seite 8 ausführlich dargelegt.
Die durch die Neufassung der Lehramtsprüfungsordnung I vorgeschriebene Modularisierung auch der Lehramtsstudiengänge wird für das vertiefte Studium der Mathematik für ein Lehramt an Gymnasien durch das Mathematische Institut bereits zum Wintersemester 2009/10 mit einem innovativen Konzept umgesetzt; nähere Informationen finden Sie auf Seite 5. Eine W2-Professur und eine Akademische Ratsstelle, welche unserem Department im Rahmen eines Ausbauprogramms des Bayerischen Staatsministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kunst zugewiesen wurden, haben durch unser Institut ihre Ausrichtung in diesem wichtigen und zukunftsträchtigen Bereich gefunden.
Herr Dr. Heribert Zenk hat zum 1. Juli 2009 die aus Studienbeitragsmitteln finanzierte Stelle eines Studiengangskoordinators am Mathematischen Institut angetreten. Neben der Planung der vertieften Studiengänge Mathematik (Bachelor und Lehramt Gymnasium) und der Organisation der Lehre ist diese Stelle Kontaktadresse, Informationsportal und Vermittler für Studierende und umfasst alle das vertiefte Studium der Mathematik und Wirtschaftsmathematik betreffenden Probleme und Fragen.
Im Bereich des Unterrichtsfachs Mathematik für ein Lehramt an Grund-, Haupt- und Realschulen verfolgt das Mathematische Institut seit Langem das erfolgreiche Konzept eigener, speziell auf die Bedürfnisse dieser Studierendengruppe zugeschnittener Lehrveranstaltungen. Die fachwissenschaftliche Betreuung mit Studienberatung, seit dem Wintersemester 2002/03 von Herrn Dr. Erwin Schörner allein wahrgenommen, wurde im Hinblick auf die rasant steigenden Studierendenzahlen vom Mathematischen Institut durch die Schaffung einer zweiten Stelle für diesen wichtigen Aufgabenbereich verstärkt; diese wird seit dem 1. März 2009 durch Herrn Professor Dr. Daniel Rost ausgefüllt. Zusammen mit dem Lehrstuhl von Frau Professor Dr. Kristina Reiss für Didaktik der Mathematik und Informatik sind wir damit für die voraussichtlich zum Wintersemester 2010/11 erfolgende Modularisierung auch dieser Lehramtsstudiengänge bestens vorbereitet.

Personalien

Zum Ende des Sommersemesters 2009 werden Herr Prof. Dr. Volker Eberhardt, Herr Prof. Dr. Hans-Otto Georgii, Herr Prof. Dr. Albert Sachs, Herr Prof. Dr. Hans-Jürgen Schneider und Herr Prof. Dr. Martin Schottenloher in den Ruhestand treten.
Bei dem Berufungsverfahren für die W3-Professur in Finanzmathematik (Nachfolge Filipović) ist der Ruf an die Erstplatzierte ergangen; die Berufungsverhandlungen wurden aufgenommen.
Des Weiteren wurden die Berufungsverfahren für fünf W2-Professuren in Mathematik bzw. Angewandter Mathematik (Nachfolge Geor-

gii, Nachfolge Kalf, Nachfolge Sachs, Nachfolge Schneider, Nachfolge Steinlein) weiter vorangetrieben.

Veranstaltungen

Die Reihe „Mathematik am Samstag" wurde auch in diesem Frühjahr mit drei interessanten Vorträgen „Wie viel Platz braucht man, um eine Nadel zu drehen?", „Eine Differentialgleichung und ein möglicher Nachweis für eine Fälschung" und „Schokoladensoße, Passstraßen und Ringe: Wie man symmetrischen Gleichungen ihre Geheimnisse entlockt" erfolgreich fortgesetzt; die Veranstaltungen erfreuten sich wiederum großer Resonanz.
Der diesjährige „Tag der Fakultät" für Mathematik, Informatik und Statistik findet am Freitag, dem 24. Juli 2009, statt. Auch in diesem Jahr sind alle Interessierten und Freunde unserer Fakultät zu dieser Veranstaltung herzlich eingeladen.

Die Verabschiedung der Studierenden, die im vergangenen akademischen Jahr einen Abschluss in Mathematik oder Wirtschaftsmathematik erworben haben, soll auf Anregung des erweiterten Fakultätsrats künftig nicht mehr beim „Tag der Fakultät", sondern im Rahmen einer eigenen Veranstaltung erfolgen. Die erste Absolventenfeier, die bereits 2009 stattfinden soll, wird gerade vom Mathematischen Institut in Zusammenarbeit mit dem Förderverein Mathematik vorbereitet, um unseren Ehemaligen einen feierlichen Rahmen zur Würdigung ihrer akademischen Leistungen zu bieten.
In diesem Jahr findet zum zehnten Mal das überaus erfolgreiche Probestudium „LMU-Mathe-Sommer" statt; in der letzten Woche der bayerischen Sommerferien können sich interessierte Oberstufenschülerinnen und Oberstufenschüler ein authentisches Bild vom Mathematikstudium an der LMU machen; das Thema und alle weiteren Informationen finden Sie auf Seite 6–7.

Neu strukturierter Studiengang Mathematik für das gymnasiale Lehramt

Ab Wintersemester 09/10 bietet das Mathematische Institut der LMU den neu strukturierten Studiengang Mathematik für das gymnasiale Lehramt an. Dieser Studiengang geht konform mit dem Bologna-Prozess der Neuordnung von Studiengängen. Der Studiengang richtet sich mit speziell für das Lehramt ausgearbeiteten Vorlesungen an hoch motivierte Studierende des Studienfaches. Das Studium beginnt mit einer viersemestrigen Einführung in höhere Mathematik und mit begleitenden Kursen in Didaktik.

Fragen und Informationen:

Weitere Informationen entnehmen Sie bitte unserem Internetauftritt
http://www.mathematik.uni-muenchen.de/studium.php
oder Sie wenden sich an unseren Studiengangskoordinator
Dr. Heribert Zenk, Tel: +49 89 2180 4460, Heribert.Zenk@mathematik.uni-muenchen.de.

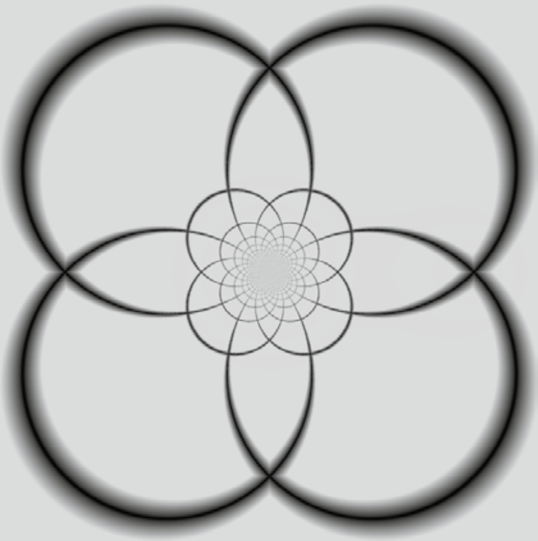
Probestudium Mathematik – LMU-Mathe-Sommer 2009

7. bis 11. September 2009

Einfach komplex

Ein Blick über den reellen Tellerrand

Leiter: Prof. Dr. Daniel Rost, Andreas Fackler



Der LMU-Mathe-Sommer bietet Ihnen einen Einblick ins Studium mit seinen typischen Veranstaltungen, sowie die Gelegenheit, ein spannendes Gebiet der Mathematik näher kennen zu lernen und in kleinen Gruppen interessante Problemstellungen selbstständig zu lösen. Die Teilnahme wird Ihnen den Einstieg ins Mathematik-Studium und in verwandte Studiengänge erleichtern.

Wie läuft der LMU-Mathe-Sommer ab?
Vormittags wird täglich eine Vorlesung stattfinden. Am Nachmittag gibt es Übungen in kleinen Gruppen, Exkursionen in die Pinakothek der Moderne und das neu eröffnete Museum Brandhorst, Präsentationen interessanter Berufsbilder durch Mathematiker aus der Praxis, sowie zum Ausklang eine Abschlussfeier.

Welche Vorkenntnisse sind nötig?
Vorausgesetzt werden die Lerninhalte der Jahrgangsstufe 10 in Mathematik. Sollten Sie die 10. Jahrgangsstufe noch nicht abgeschlossen haben, setzen Sie sich bitte mit uns in Verbindung.

Was kostet die Teilnahme?
Eine Teilnahmegebühr wird nicht erhoben, die Arbeitsmaterialien für die Übungen werden gestellt. Die mittägliche Verpflegung in der Mensa (freiwillig) kostet 3 – 4 € pro Tag.
Anreise- und Übernachtungskosten müssen Sie leider selbst tragen. Wir informieren Sie aber gerne über günstige Übernachtungsmöglichkeiten.

Weitere Informationen finden Sie hier:
Mathematisches Institut, LMU München
Kontaktbüro Probestudium
Theresienstraße 39
80333 München
Telefon: 089 2180 4427
E-Mail: probestudium@mathe.lmu.de
WWW: http://www.lmu-mathe-sommer.de

Neuer Studiengang: Bachelor Wirtschaftsmathematik

Kurzbeschreibung:

Das Mathematische Institut der LMU hat einen neuen Bachelorstudiengang in Wirtschaftsmathematik konzipiert. Wenn die Bachelorordnung rechtzeitig von der Rechtsabteilung der LMU verabschiedet wird, wird der Studiengang im Wintersemester 2009/2010 beginnen. Dieser interdisziplinäre Studiengang wurde in Kooperation mit der Fakultät für Betriebswirtschaftslehre und dem Institut für Statistik konzipiert. Der Bedarf der Wirtschaft an hoch qualifizierten, interdisziplinär ausgebildeten Fachkräften mit Kernkompetenzen im Bereich der Mathematik sowie profunden Kenntnissen in der Statistik und in den Wirtschaftswissenschaften ist groß und stetig zunehmend. Die Nachfrage an derart ausgebildeten Mathematikern und Mathematikerinnen ist durch Innovationen im Produkt- und Verwaltungsbereich sowie durch Regulierung und Internationalisierung der Märkte bedingt. Gerade die aktuelle Finanzkrise belegt eindrucksvoll den dringenden Bedarf an fundierten mathematischen Modellen zur Beschreibung und Analyse der hochkomplexen Finanzmarktmechanismen.

Mit diesem Abschluss eröffnen sich demnach hervorragende Chancen auf dem Arbeitsmarkt. Das Beschäftigungsfeld der Absolventen dieses Studiengangs umfasst insbesondere die Finanz- und Versicherungswirtschaft, d.h. Banken, Versicherungen, Unternehmensberatungen, etc.

Ausbildungsziele:

Das Studium der Wirtschaftsmathematik ist ein Studium der Mathematik und führt in grundlegende Strukturen und Techniken ein, die zur Analyse und Lösung mathematischer Probleme befähigen. In das Studium sind einschlägige Lehrveranstaltungen der Betriebswirtschaftslehre und Statistik integriert. Die Studierenden werden zudem in die Lage versetzt, abstrakte mathematische Lösungsverfahren in Computersoftware umzusetzen.

Studienablauf:

Der Bachelorstudiengang Wirtschaftsmathematik führt in der Regelstudienzeit von 6 Semestern zu einem berufsqualifizierenden Abschluss. Er besteht aus 19 Pflicht- sowie 3 Wahlpflichtveranstaltungen. Hierbei können die Wahlpflichtveranstaltungen aus einem Angebot von 22 Lehrveranstaltungen ausgewählt werden. Das Studium wird mit einer Bachelorarbeit vollendet. Kontakte zu potentiellen Arbeitgebern werden etwa durch Praktika und gemeinsam betreute Abschlussarbeiten gezielt gefördert. Zudem besteht die Möglichkeit, schon während des Studiums einen großen Teil der in der Wirtschaft hoch angesehenen Aktuarsprüfungen kostenlos abzulegen.

Fragen und Informationen:

Weitere Informationen entnehmen Sie bitte unserem Internetauftritt
http://www.mathematik.uni-muenchen.de/studium.php
oder Sie wenden sich an unseren Studiengangskoordinator
Dr. Heribert Zenk, Tel: +49 89 2180 4460, Heribert.Zenk@mathematik.uni-muenchen.de.

2008 – Jahr der Mathematik – Ein kurzer Rückblick

Seit 2000 werden vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gemeinsam mit verschiedenen Trägern die Wissenschaftsjahre ausgerichtet: 2009 heißt der Titel „Forschungsexpedition Deutschland", 2008 war das Jahr der Mathematik mit dem Motto „Alles, was zählt", das ist die Gegenwart und die jüngste Vergangenheit.
Hauptziele des Jahres der Mathematik waren, der breiten Öffentlichkeit die hohe Bedeutung dieser Wissenschaft aufzuzeigen und die Berührungsängste und Vorurteile, die zweifellos in fast allen Bevölkerungsschichten existieren, abzubauen, insbesondere aber den Nachwuchs an die Mathematik heranzuführen, Neugier für derartige Problemstellungen zu wecken, das Selbstvertrauen in die eigenen Fähigkeiten zu stärken und die Kinder und Jugendlichen für diese Disziplin zu begeistern: „Du kannst mehr Mathe, als du denkst.", so hieß denn auch einer der Kernsätze auf den Werbepostern, die zu Tausenden in Deutschland zu sehen waren.
Es gab eine ganze Reihe von Aktivitäten, an denen die mathematischen Fachgesellschaften DMV, GAMM, GDM und MNU beteiligt waren, in erster Linie aber waren die Lehrer an Schulen und Hochschulen aufgefordert, die Botschaft und Intention des Jahres ins Land zu tragen. An der LMU wurden die Fäden hauptsächlich von Prof. Dr. Martin Schottenloher gezogen, der mit Unterstützung eines kleinen Teams von Kollegen, Lehrern und Studierenden diverse Veranstaltungen plante, ihre Organisation vorantrieb und die Durchführung lenkte oder selbst übernahm: So hielten beispielsweise Professoren Vorträge an der Uni und an Schulen, ein mathematisches Preisausschreiben wurde für Schüler durchgeführt, im Hauptgebäude fand eine Filmwoche im Rahmen des MathFilm Festivals 2008 statt, Ausstellungen wie „IMAGINARY – mit den Augen der Mathematik" am Mathematischen Institut oder „Jüdische Mathematiker in der deutschsprachigen akademischen Kultur" im Deutschen Museum begeisterten die Besucher.
Jetzt schreiben wir 2009 und man darf nachfragen, was die verschiedenen Aktivitäten bewirkt und welche Spuren sie hinterlassen haben. Neben dem sehr positiven Echo, das von der Öffentlichkeit kam, die insbesondere auch anlässlich der Wissenschaftstage an den hochkarätigen Veranstaltungen in Sachen Mathematik teilnahm, möchte ich den Blick auf die Schulen lenken.
Zunächst ist es sehr erfreulich, dass die Deutsche Mathematiker-Vereinigung das Jahr 2008 zum Anlass nahm, ab sofort den Abiturpreis Mathematik für exzellente Abiturleistungen an allen Gymnasien in Deutschland zu verleihen. Von den Projekten der LMU scheinen mir zwei besonders erwähnenswert, deren Bedeutung in den nächsten Jahren zunehmen dürfte (vgl. die Beschreibungen in mathe-lmu.de, Heft 18 und 19): Es handelt sich um das MML-Projekt (Das Mobile MatheLabor), das gerade jüngeren Schülern den Zugang zur Mathematik erleichtern soll und sie für diese meist als zu trocken verschrieene Materie mit ungewöhnlichen Inhalten, die über den Schulstoff hinausgehen, gewinnen will. Das zweite ist das CMP-Projekt (Call a MatheProf), dessen Angebot darin besteht, dass Dozenten des Mathematischen Instituts entweder an der Schule oder am Institut selbst Vorträge zu verschiedenen von den Besuchern wählbaren Themen halten. Das MML-Projekt könnte unter anderem auch dazu dienen, den Schülern klarzumachen, dass Mathematik nicht nur aus der reinen Mathematik besteht – eine Fehlmei-

nung, die unter Schülern leider weit verbreitet ist –, sondern in erster Linie als angewandte Wissenschaft eine wichtige Rolle spielt und für viele Studiengänge z.B. in den Natur- und Ingenieurwissenschaften, in der Informatik, Wirtschaft, Psychologie, Medizin usw. benötigt wird. Wer wäre besser geeignet, den Schülern diese Erkenntnis glaubhaft und rechtzeitig zu vermitteln, als die Vertreter der Uni selbst?

Die große Aufgabe und Chance des CMP-Projekts hängt direkt mit der Neugestaltung der gymnasialen Oberstufe im G8 zusammen, die ab dem nächsten Schuljahr in der 11. und 12. Jahrgangsstufe zwei Seminarfächer mit jeweils zwei Wochenstunden vorsieht: Das W-Seminar, in dem allgemeine Methoden des wissenschaftspropädeutischen Arbeitens vermittelt werden, die dann auch in einer Seminararbeit nachgewiesen werden müssen, und das P-Seminar, ein Projekt-Seminar zur Studien- und Berufsorientierung, in dem Kontakte zu externen Partnern und insbesondere auch zu den Hochschulen gefordert werden, um einen möglichst nahtlosen und zielgerichteten Übergang von der Schule zur Hochschule zu gewährleisten. Über Studiengänge aufzuklären und dabei auch geeignete Kandidaten für ein Studium der Mathematik oder Naturwissenschaften zu gewinnen, das könnte sicherlich CMP übernehmen.

Wenn von diesen Ideen auch nur ein kleiner Teil in den nächsten Jahren Realität werden könnte, dann hätte das Jahr der Mathematik mit seinen vielfältigen Aktionen weit über 2008 hinaus seinen Zweck erfüllt und für die Herausforderung Mathematik neue Anhänger hinzugewonnen!

Konrad Ossiander

PS: Nähere Informationen zum MML-Projekt sowie zum CMP-Projekt findet man auf der Homepage des Mathematischen Instituts der LMU unter http://www.mathematik.uni-muenchen.de/schulen/MML.pdf bzw. http://www.mathematik.uni-muenchen.de/schulen/CMP/index.php

MML in Aktion am 16. Mai 2009

Es ist der 16. Mai 2009 um 8.45 Uhr, mitten im Mai. Ein verregneter Samstagmorgen. Eigentlich sollte das Mathematische Institut im Stillen liegen. Aber immer mehr Schüler treffen ein. Denn heute findet das Mobile MatheLabor (MML) im Rahmen der bundesweiten Veranstaltungsreihe „MatheMonat Mai“ statt. Es ist ein Angebot der LMU und richtet sich an Schüler aus den achten und neunten Klassen, um ihnen die Mathematik, die in der Schule oft als langweilig bezeichnet wird, wieder näher zu bringen. Um 9.30 Uhr wird mit fast 90 Schülern (teilweise sogar aus Rosenheim angereist) mit einem Preisrätsel gestartet und danach geht es direkt mit den Workshops los. Bereits im Vorfeld wurden die Schüler nach Klassen und Schulen auf die 5 verschiedenen Workshops verteilt, es werden heute Themen wie Polyeder, Knotentheorie, Spieltheorie, Fraktale oder Strichcodes behandelt, und zwar weniger im gewohnten Vortragsstil als im Stile einer Reihe von Experimenten, der zum Mitmachen, Ausprobieren und Spekulieren anregt. Nachdem die Schüler zugehört und ausprobiert, getestet und versucht haben, werden nach etwa neunzig Minuten die Workshops beendet und es steht vor dem Hörsaal B 005 ein Imbiss und Getränke für die Schüler bereit. Das Mobile MatheLabor neigt sich nun auch schon dem

Ende zu, denn es findet jetzt „nur noch“ die Preisverleihung und Auflösung der Rätselfragen statt. Zu gewinnen gibt es als Hauptpreis ein Netbook, für einige Schüler war das auch der überzeugendste Grund, am MML teilzunehmen. Um 13 Uhr ist dann alles vorbei und das Gebäude liegt wieder im Stillen. Alles in allem ein gelungener Tag.

Wie hat es Euch denn gefallen? Auf diese Frage in der Woche danach kam einheitlich „super“ und „schön war es“ zurück. Besonders gefiel die Tatsache, dass die Workshops nicht nur theoretisch, sondern zu einem großen Teil praktischer Natur waren. Sei es die Spieltheorie über Andorra 2020 am Computer zu testen, oder eigene Knoten zu knoten, oder Polyeder zu bauen. „Mathematik kann wirklich interessant sein“, so ein Mädchen aus dem Michaeli-Gymnasium München, „aber Mathematik zu studieren kann ich mir trotzdem nicht vorstellen. Da muss man dann sicherlich auch die ganze Theorie lernen …“ Da hat sie wohl Recht, aber der Erfolg hat sich zumindest bei den befragten Schülern insofern eingestellt, als das Substantiv Mathematik von dem Adjektiv langweilig in den Köpfen getrennt wurde. Viele würden an einer solchen Veranstaltung gerne wieder teilnehmen, sofern denn noch einmal die Möglichkeit besteht. Die einzigen Kritikpunkte an diesem Tag wurden über die Preisrätsel und die Preisverleihung vergeben. Der Wunsch nach einer regulären Preisverleihung (also nicht mit dem 1. Preis zu beginnen) war scheinbar recht groß. Interessanter allerdings war die Kritik an den Fragen des Preisrätsels. Hier kam es fast unisono zurück: Das war doch viel zu leicht! Nun ja, einige Fragen waren wirklich leicht, es waren aber auch keinerlei Voraussetzungen erwartet. Und auf die Frage, ob sie denn die Preisrätselfrage über das Ziegenproblem beantworten konnten, hieß es: Das ist doch bekannt wie ein bunter Hund, die Antwort weiß doch jeder. Nun ja, das sei einmal dahingestellt, aber eins ist sicher: Das MML ist bei den Schülern sehr gut angekommen und war somit ein voller Erfolg.

Anna-Adele Jeltsch

Auslandsstudium

Ungarn

Mein Aufenthalt im wunderschönen Budapest erstreckte sich über zwei Semester von September 2006 bis Juni 2007. Da mein Vater aus Ungarn stammt, suchte ich gezielt eine Möglichkeit, in Budapest zu studieren. Unsere Fakultät bietet jedoch kein Erasmus-Programm mit der Eötvös Loránd Tudományi Universität (ELTE) an, so dass ich letztendlich mit dem Freemover Programm des DAAD nach Ungarn kam, und von diesem erhielt ich auch ein kleines Stipendium in ähnlicher Höhe wie die Erasmus-Studenten.

Zur Auffrischung meiner Sprachkenntnisse besuchte ich vor Beginn meines Auslandsstudiums im August einen zweiwöchigen Intensivsprachkurs in Pécs (eine der Kulturhauptstädte 2010) und traf dort auch deutsche Studenten anderer Städte, denen der Sprachkurs von Erasmus bezahlt wurde. Kümmert man sich also rechtzeitig darum, so gibt es bestimmt auch die Möglichkeit, dass der DAAD einen Sprachkurs bezahlt. Diese zwei Wochen ermöglichten mir, schon vorab Kontakte mit zukünftigen Budapester Studenten aus aller Welt und allen Fachrichtungen zu knüpfen.

An der ELTE besuchte ich ausschließlich Vorlesungen auf Ungarisch und lernte so vorwiegend ungarische Studenten kennen. Diese klärten mich auch über ihre Wohnsituation auf: Leben die Eltern nicht in Budapest, so wohnen viele in Studentenwohnheimen (ca. 35 Euro Miete pro Monat) in einem kleinen Dreibettzimmer, oder sie mieten sich gemeinsam kleine Appartements und wohnen dann beispielsweise zu viert in einer 2-Zimmer Wohnung. Für deutsche Verhältnisse sind die Mietpreise jedoch sehr günstig, so dass viele Erasmus-Studenten Wohngemeinschaften mit angemessener Zimmerzahl in schönen, gut gelegenen Wohnungen gründen. Des Weiteren braucht man sich hinsichtlich der Verpflegungskosten keine allzu großen Sorgen machen, da die Preise unter dem deutschen Niveau liegen.

Die Freizeitaktivitäten in der 1,7 Millionen Stadt Budapest, die mehr als 10 % der ungarischen Bevölkerung beheimatet, sind fast unerschöpflich, angefangen mit Besichtigungstouren bzw. -spaziergängen in der alten Innenstadt mit ihren zahlreichen Sehenswürdigkeiten über erholsame Stunden in den Thermalbädern und Besuchen von Museen bis hin zu nächtlichen Entdeckungen der unzähligen Clubs, Kneipen, Restaurants und Teehäusern. Für jeden Geschmack ist sicherlich etwas zu finden.

Man kann seinen Horizont auch hinsichtlich der Mathematik erweitern, wenn die ungarischen Sprachkenntnisse ein gewisses Niveau erreichen, da auch viele Veranstaltungen in Bereichen der universellen Algebra, der Geometrie, der diskreten Mathematik und der Geschichte der Mathematik abgehalten werden, die an der LMU nicht angeboten werden. Aber auch die nach Wunsch

Fischerbastei bei Nacht

Budapest

und Absprache mit den Dozenten in Englisch abgehaltenen Seminare bieten Austauschstudenten ein inhaltlich vielfältiges und interessantes Angebot. Zusätzlich muss man sich jedoch auf einen anderen Stil der Professoren bezüglich der Vorlesungen einrichten, diese schreiben nur stichpunktartig die wichtigsten Schritte der Beweise an die Tafel und sparen sich detaillierte Anschriften. Einerseits besteht der Vorteil, dass die Studenten zum Mitdenken animiert bzw. verpflichtet sind, andererseits muss der Nachteil hingenommen werden, dass die Nachbearbeitung der Mitschrift aufwendiger und zeitintensiver ist. Die Vorlesungen finden in der Regel nur zweistündig pro Woche statt, genauso wie die Übungen, für die man keine Aufgaben zu Hause vorzubereiten hat. Insgesamt ist mir aufgefallen, dass das Niveau etwas höher und das Wissen weiter gefächert war als in Deutschland, was vielleicht auch daran liegt, dass es einige mathematische Gymnasien in Ungarn gibt, die die Schüler schon zu Schulzeiten auf die höhere Mathematik vorbereiten. Hierfür spricht auch, dass ich keinen einzigen Mathe-Studenten getroffen habe, der nicht auf solch einer mathematischen Schule gewesen war. Die Studenten müssen an der ELTE in den ersten Semestern alle die gleichen Vorlesungen hören und können sich später für ein Spezialgebiet entscheiden. Jede Vorlesung der ersten Semester muss auch bestanden werden, d.h. es muss eine mündliche Prüfung am Ende vom Semester erfolgreich absolviert werden. Diese Prüfungen sehen meistens so aus: Der Professor bittet 4-6 Studenten zu sich und lässt jeden einen Zettel ziehen, auf dem eine Fragestellung oder ein Thema geschrieben steht. Nun hat der Student ca. 10 Minuten Zeit, sich etwas zu seinem Thema zu überlegen und muss dann dem Dozenten seine Überlegungen vortragen. Anschließend stellt der Professor noch einige Fragen. Diese Prüfungen finden immer in der so genannten Prüfungszeit, die auf die Vorlesungszeit folgt, statt, so dass es auch mal vorkommen kann, dass man zwischen seiner letzten Prüfung und dem Anfang des neuen Semesters nur zwei Wochen Ferien hat.

Ist man das Studium an der LMU in München gewohnt, so mögen einem manche Dinge an der Universität in Budapest gewöhnungsbedürftig erscheinen, aber genau diese kleinen Unterschiede und Erlebnisse machen das Auslandsstudium erst aus und berichtenswert. Der Abschied von Budapest fiel mir zwar schwer, aber es war auch schön, sich wieder in den ehemals gewohnten Uni-Alltag an der LMU einzufinden.

Miriam Kertai

Italien

Als ob jemand etwas geahnt hätte, war eine der E-Mails, die mich erwartete, als ich Mitte März aus meinem Urlaub in Genua wiederkam, eine Bitte, diesen Artikel zu schreiben. Und hier bin ich nun, mit aufgefrischten Erinnerungen und neuen Fotos von alten Freunden und wohlbekannten Orten.

Um die Antwort auf die am häufigsten gestellte Frage vorwegzunehmen: Natürlich würde ich wieder nach Genua fahren. Und ich würde auch wieder 2 Semester bleiben. Warum ausgerechnet Italien? Nun ja, ich wollte Italienisch lernen und irgendwie ist Italien mir schon immer „sympathisch“ gewesen.

Genua ist eine sehr schöne Stadt, die zu Unrecht touristisch verkannt ist, zumindest meiner Meinung nach. Wenn ich schön sage, meine ich wildromantisch mit all dem Dreck, Lärm und Verkehr einer italienischen Großstadt, aber auch mit wundervollen alten Gebäuden, die eigentlich mal wieder renoviert gehörten, und sehenswerten Stadtvierteln sowie atemberaubenden Ausblicken, was bei dieser Stadt, eingezwängt zwischen Bergen und Meer, wohl kein Wunder ist.

Rund um Genua gibt es wunderschöne Landschaften und Orte von Camogli nach Portofino, die Cinque Terre, Portovenere; all das ist eine Wanderung und/oder Bootsfahrt wert.

Falls jemandem inzwischen der Verdacht gekommen sein sollte: Natürlich habe ich in Genua auch studiert! Zu den interessantesten Sachen, die ich dort gemacht habe, gehören: Spieltheorie 2 bei Stef Tijs (meine einzige Vorlesung auf Englisch) und das anschließende Mini-Forschungsseminar zu kooperativen 3-Personen-Spielen, Theorie der Kategorien, Anwendung der Mathematik in der Medizin, Statistic Learning und auf jeden Fall die Mithilfe bei der Vorbereitung des Coppa Fermat, einem Mathematikwettbewerb für Schülergruppen.

Übrigens ist Mathe auf italienisch auch nicht schwieriger zu verstehen, und die Professoren sprechen ein viel verständlicheres Italienisch als zum Beispiel die Jugendlichen. Ich habe zwar in der Uni einige sehr nette Leute kennen gelernt, allerdings sieht man sich dann meist auch nur dort, da viele nach Genua pendeln und das Wochenende zu Hause verbringen. Aber vom Vorurteil, die Genuesen seien verschlossen und geizig (chiusi e tirchi), stimmt zumindest der erste Teil – aus Sicht einer Deutschen – nicht.

Viele Freunde, zu denen ich auch jetzt noch Kontakt habe, habe ich dann im Salsatanzkurs im CUS (Pendant der ZHS) gefunden. Das war wirklich eine der besten Sachen, die mir passieren konnten: zweimal pro Woche war abends der Kurs, und im Schnitt ein weiteres Mal pro Woche sind wir zusammen zum Tanzen gegangen. Allerdings muss ich davor warnen, denn es besteht hohe Suchtgefahr, und es ist sicher das, was mir jetzt am meisten fehlt. Ich tanze zwar jetzt auch in München ab und zu Salsa, aber es macht schon einen Unterschied, in einer größeren Gruppe so regelmäßig wegzugehen.

Auch in Genua ist kulinarisch einiges geboten, und es gibt viele Dinge, die man auf jeden Fall dort probieren sollte: Pasta fresca im Allgemeinen und Pansotti al sugo di noci im Besonderen, Focaccia, eine Art Pizzabrot, in allen Farben und Formen – am besten


Corniglia in Cinque Terre


Genua

finde ich sie pur. Es gibt sie beispielsweise in der Via XX Settembre (Haupteinkaufsstraße, immer laut und lebhaft) oder in Boccadasse (der „Postkartenort von Genua“, winziger Strand am Ende des Corso Italia, der Promenade am Meer). Ich würde sagen, die Focaccia ist für die Genuesen, was für den Münchner eine Brezn ist: eigentlich nichts besonderes, aber wenn sie richtig frisch ist, gibt es nichts Besseres für den kleinen Hunger zwischendurch, die Kinder bekommen beim Einkaufen ein Stück in die Hand gedrückt und es ist definitiv etwas, was man vermisst, sobald man es längere Zeit nicht gegessen hat. In Boccadasse gibt es auch leckere gelbe Farinata aus Kichererbsenmehl, angeblich haben das die Römer schon auf ihren Schilden in der Sonne gebacken. Ganz in der Nähe am Corso Italia gibt es eine der besten Eisdielen Genuas, aber auch in den engen Gassen der vicoli (in der Altstadt) gibt es einige Traditionseisdielen. Probieren sollte man auf jeden Fall Panera (Sahne, Zucker, Espresso als Halbgefrorenes, gibt es nicht in den Sommermonaten) und Pinoli (Pinienkerne).
Mein liebster Stadtteil von Genua ist ein kleiner Vorort auf der Levante, der irgendwann eingemeindet wurde: Nervi. Dort gibt es eine wunderschöne Uferpromenade, die Brandung des Meeres bricht sich an den dunklen Felsen, einen großen Park mit einem bezaubernden Rosengarten, Palmen, Pinien und grauen Eichhörnchen.
So, jetzt bin ich selbst ins Träumen gekommen, das sind auf jeden Fall Dinge, die ich vermisse. Außerdem sind die Wochenmärkte mit Kleidung und allem Möglichen, die Lebensmittelmärkte ein Erlebnis, sowie ganz allgemein das Angebot an Gemüse und frischem Obst; im Sommer habe ich z.B. kiloweise Melonen, Pfirsiche und Kirschen verspeist.
Alles in allem habe ich es mir sehr gut gehen lassen, die Momente der Einsamkeit gehen auch vorbei, schließlich gibt es so viel zu entdecken. Mein Italienisch habe ich auch verbessert (ich habe ein gutes Jahr vor dem Aufenthalt angefangen es zu lernen), auch wenn es einem schnell ein bisschen abhanden kommt – beim Telefonieren, so ganz ohne Hände und Füße stocke ich jetzt schon manchmal –, man braucht nur ungefähr einen Tag im Lande um wieder reinzukommen. Zudem ist Italienisch eine tolle Sprache, die man auf Grund der vielen Vokale sehr schnell und sehr gut verstehen kann.
Selbstverständlich gibt es auch einige Gründe, sich in München wieder wohl zu fühlen: das Radeln hat mir gefehlt, das Brot, die großen und vielen Parks, die U-Bahn, ein ordentlicher Winter mit Temperaturen unter Null und Schnee, Badeseen, saubere und begehbare Gehsteige, wenig Verkehr. Wahrscheinlich bin ich ein bisschen zu deutsch? Aber ich bin wirklich gespannt, was meine Italiener über München sagen, wenn sie zu Besuch kommen. Ich werde sicher immer wieder nach Genua fahren, die Stadt am Meer ist mir im Herzen geblieben; der nächste Flug ist schon gebucht.

Sonja Mielchen

Holland

Von Anfang Februar bis Ende Juni 2008 war ich an der Universiteit Leiden in Leiden/Holland. Obwohl ich mich erst im September 2007 entschlossen hatte, ins Ausland zu gehen, waren die Vorbereitungen erstaunlich problemlos. Die Erasmuspapiere waren schnell ausgefüllt, 2–3 Anrufe im Auslandsamt der jeweiligen Uni und schon war alles fix. Da ich zu diesem Zeitpunkt bereits Niederländisch sprach, hatte ich zugegeben auch eine Sorge weniger. Nach einer kurzen Anpassungsphase (Wo ist was?) fand ich mich in Leiden schnell zurecht und auch bald neue Bekannte.

Aber wieso Leiden? Leiden ist eine kleine, sympathische Universitätsstadt. Kulturell Interessierte kommen in der Geburtsstadt Rembrandts und Armin van Buurens sicherlich nicht zu kurz. Letzterer ist bereits ein deutlicher Hinweis auf das lebendige Nachtleben der Stadt. Wem das nicht reicht: In 30 Minuten ist man mit dem Zug in Amsterdam oder Utrecht, und auch das Meer ist Luftlinie sicher nicht weit weg. Luftlinie! Denn bei schönem Wetter ist Stau auf dem Weg zum Strand. Da hilft dann auch die Queuing Theory nicht weiter. „File“ (nl. für Stau) ist sowieso ein Wort, an das man sich gewöhnen muss, wenn man in den Niederlanden mit dem Auto unterwegs ist. Deshalb ist es ratsam, sich in guter, alter holländischer Manier ein „fiets“ (Fahrrad) zu besorgen.

Aber auch fachlich gesehen ist Leiden sicher keine schlechte Wahl. Die Fakultät ist im Vergleich zu München nicht groß, und man findet sehr schnell Anschluss. Auch eine gut sortierte Bibliothek fehlt nicht. Dafür fehlten die Damen und Herren bei der Ausleihe. Diese geschah auf Vertrauensbasis. Wie mir berichtet wurde, hat sich dies aber mittlerweile geändert.

Es gibt in den Niederlanden naturgemäß nicht sehr viele Mathematikstudenten. Deshalb haben sich die Universitäten zu einem gemeinsamen Masterprogramm entschieden. Das bedeutet, dass man im Rahmen dieses Programms Vorlesungen an verschiedenen Universitäten in ganz Holland besuchen kann. Die Reisekosten mit dem Zug werden hierbei übrigens vollständig erstattet. Das Angebot an Kursen kann sich aufgrund dieses zusammengelegten Masterprogramms durchaus mit dem Münchens messen und umfasst alle Teilbereiche der Mathematik. Ich hatte mich entschlossen, die Vorlesungen Stochastic Processes, Stochastic Differential Equations, Queuing Theory, Cryptology sowie Elliptic Curves zu besuchen. Die Vorlesungen fanden an drei verschiedenen Universitäten statt: an der Uni Utrecht sowie der VU und der UvA in Amsterdam. Sie bestanden aus jeweils einer 2-stündigen Sitzung pro Woche mit anschließender Übung. Das Niveau der Vorlesungen entspricht in etwa dem in Deutschland. In den Vorlesungen begnügt man sich mit Beweisskizzen oder Ideen, um ein schnelleres Vorankommen im Stoff zu ermöglichen. Das ist anfangs vielleicht ungewohnt, aber durchaus erfrischend. Erwartet wird, dass man die vollständigen Beweise zu Hause anhand von Büchern nacharbeitet, und natürlich genügen bei den Hausaufgabenblättern, die es auch in Holland gibt, keine Beweisideen. Die Kurse sind klein, so dass schnell eine familiäre Atmosphäre entsteht. Dies liegt sicher


Academiegebouw Universiteit Leiden

auch zu einem guten Teil an der offenen und herzlichen Art der Holländer. Die Vorlesungen im Masterprogramm sind übrigens auf Englisch. Obwohl Niederländisch recht nah am Deutschen ist, fällt einem das Üben der Sprache im Alltag als Anfänger oft nicht leicht, da die meisten Holländer gut Englisch sprechen. Niederländisch Sprachkurse vor Ort sind relativ teuer. Darum empfiehlt es sich, bereits in München einen Sprachkurs zu besuchen. Mit ein bisschen Hartnäckigkeit sollte einem Niederländisch dann keine Probleme bereiten.

Die gehobene Mensakultur, wie wir sie aus München gewöhnt sind, fehlt in Holland. Das Angebot besteht meist aus Obst, belegten Broten sowie dem Klassiker *Broodje* Kroket. Warme Mahlzeiten sucht man vergebens. Dafür spielt Holland Fast-Food technisch in einer anderen Liga; ich nenne nur Nasi, Bami, Kroketen und natürlich die besten Pommes Frites der Welt mit Mayo. Zusammen mit dem tollen Fisch sollte ein Austausch nach Holland am Essen also nicht scheitern.

Zusammenfassend kann ich sagen, dass ich eine wunderbare Zeit in Leiden verbracht habe. Jedem, der Lust auf ein Auslandssemester/-jahr hat, kann ich Holland und insbesondere Leiden nur wärmstens empfehlen. (Links: *www.mastermath.nl, www.leidenuniv.nl*)

Raimund Malischek

Karrieren bei BMW

Mathematik in der Industrie – ein persönlicher Erfahrungsbericht

Als mich kürzlich ein Kollege ansprach, ob ich nicht, als ehemaliger Diplomand der LMU, einen Artikel über meine Karriere schreiben möchte, erklärte ich mich sofort einverstanden, meine berufliche Entwicklung bei BMW dem Leserkreis der Zeitschrift mathe-lmu.de mitzuteilen.

Einige Erinnerungen an die (vor-)studentische Zeit:

Im Wesentlichen waren es Lehrkräfte am Gymnasium Lindenberg, die mich für die Mathematik begeisterten. So entstand wohl der Wunsch, ihnen nachzueifern und Mathe/Physik für das Lehramt zu studieren. Im Rahmen des Wehrdienstes wurde ein EDV-Kurs angeboten, der uns zu einem Besuch des Rechenzentrums bei der Fa. Kunert in Immenstadt führte. Die riesige Anlage war für mich zur damaligen Zeit schon sehr beeindruckend. Da bereits 1975 abzusehen war, dass es wohl eine Lehrerschwemme nach Studien-Abschluss geben

Karrieren

wird, die wohl in die Arbeitslosigkeit oder in entfernte Gegenden Bayerns als Referendar führen würde, was beides für mich nicht besonders reizvoll war, entschied ich mich, den Studiengang Mathematik mit Abschluss Diplom zu wählen, zugegeben, ohne genau zu wissen, was man damit anfangen kann.
Im 2. Studienjahr belegte ich eine Lehrveranstaltung mit dem Titel „Einführung in den Gebrauch von Rechenanlagen mit Maschinenpraktikum“ und stanzte dabei fleißig Löcher in blaue Lochstreifen und flickte und klebte Fragmente zu intelligenten Programmen zusammen. Danach gab es bald die Möglichkeit, Löcher in Karten zu stanzen, diese zu Stapeln zu arrangieren und abzugeben und auf das Ergebnis zu warten. Die Innovation waren dann schließlich Bildschirme im LRZ, mit denen man sehr komfortabel programmieren konnte.
Im weiteren Verlauf des Studiums legte ich meinen Schwerpunkt auf die Numerische Mathematik, weil ich hier eine Möglichkeit sah, beide Fraktionen, nämlich die Informatik und die Mathematik sinnvoll zu verheiraten.
Mein beruflicher Werdegang:
Aufgrund einer Blind-Bewerbung bei BMW startete ich am 1.4.1982 als „selbstständiger Organisationsprogrammierer“ in einer, damals dem Vorstandsressort zugeordneten, kleinen Abteilung im 13. Stockwerk des BMW-Hochhauses. Meine primäre Aufgabe war der Anwender-Support der Programmiersprache APL (A Programming Language). Hier ein APL-Beispiel zur Erzeugung der Zahlen von 1 bis 100 mittels des Operators ι (iota) und Ermittlung der Gesamtsumme: +/ι100
Ich weiß, die Summe der Zahlen von 1 bis 100 hätte der junge Gauß schneller berechnet, aber es war für mich trotzdem, gerade als Uni-Absolvent der Fachrichtung Mathematik, faszinierend, wie kompakt diese Sprache dies löste. Um diese Sonderzeichen eingeben zu können, war dazu eine besondere Tastatur notwendig, und die Programme waren wegen ihrer Kürze und Knappheit nicht besonders gut lesbar, aber es gab doch immerhin bereits zu dieser Zeit die Möglichkeit, interaktiv in einem „eigenen“ Workspace zu arbeiten, lange bevor der PC das Licht der Büros erblickte.
Während dieser Zeit arbeitete ich auch an diversen Programmierprojekten und unterstützte die jährlich stattfindende Hauptversammlung der Aktionäre und des Vorstands mit einem in APL geschriebenen Zugangs- und Stimmkartenauswertesystem. Als Highlight durfte ich bereits im ersten Jahr als BMW-Repräsentant nach Heidelberg zu einer internationalen APL-Konferenz. Die Hin- und Rückfahrt in einem BMW 323 i, damals das Topmodell der 3’Reihe, zog mich derart in den Bann, dass mir klar wurde, dass ich bei der richtigen Firma untergekommen war.
Nach 5 Jahren initiierte ich selbst einen Wechsel in das Wissenschafts-Ressort als Berechnungsingenieur, wo ich mir wieder mehr Nähe zur Mathematik versprach, da dort auch Fahr- und Crashsimulationen mit Hilfe der finiten Elemente-Methode entwickelt wurden. Ich bekam die Aufgabe, ein Workstationkonzept, inkl. PC-Betreuung der Fachstellen, umzusetzen. Nach einem Jahr übernahm ich in der IT-Stelle des Werkes München ein Projekt zum Anlauf des neuen E36, mit den Schwerpunkten Qualität und Logistik. Ich implementierte ein INGRES-basiertes Datenbank-Retrieval-System auf einem Intel 386-XENIX-Server, das über „named Pipes“ mit einem SIEMENS-Prozessrechner kommunizierte. Im Jahre 1991 wechselte ich in eine zentrale Fachstelle, die sich mit Qua-

litätssystemen und Teilebedarfsrechnungen beschäftigte. Ein Thema dabei war die Istanalyse mit Hilfe der Strukturierten Analyse (SA) von Datenflüssen und Schnittstellen mittels StP (Software through Pictures) auf einer SUN-Workstation. Ein weiterer Wechsel führte mich in die objekt-orientierte Welt mit Smalltalk, C++ und OO-Klassenbibliotheken im Thema „wiederverwendbare Bausteine".
Nachdem ich aus den vorhergegangenen Einsätzen relationales DB-KnowHow und SQL-Kenntnisse erworben hatte und aktuell eine Stelle im Oracle-DB-Team frei geworden war, wechselte ich in diese Gruppe. Hier war ein virtuelles Team gebildet worden, welches alle Oracle-DBAs aus diversen Werken zusammenbrachte. Als der bis dahin das Team leitende Kollege in ein anderes Ressort wechselte, übernahm ich das Team.

Prozesse und Abläufe zu durchschauen, zu hinterfragen und Optimierungen daran vorzunehmen, sind wesentliche Inhalte meiner aktuellen Aufgabe, und ich glaube, dass mich das Studium der Mathematik befähigt hat, Eigenschaften, wie analytisches und strukturiertes Denken, zu entwickeln und zu verfeinern, um komplexe Themen auf das Wesentliche reduzieren und klar und auch für andere verständlich darstellen zu können. Ich hoffe auch gezeigt zu haben, dass gerade im steten und schnellen Wandel der Technologie es überaus wichtig ist, eine hohe Lernbereitschaft zu zeigen und sehr flexibel auf Veränderungen zu reagieren bzw. selbst aktiv welche zu initiieren.

Alfred Maluche

Von der Mathematik zur Software-Entwicklung und von der Universität in die Industrie

Im Herbst 1989, also vor fast genau 20 Jahren, begann ich mein Mathematikstudium an der LMU, zunächst mit den Nebenfächern Physik und Informatik. Beim Vordiplom entschied ich mich dann für Informatik als Prüfungsfach.
Im Hauptstudium vertiefte ich meine Interessen zunächst in Algebra und spezialisierte mich dann auf die Theorie der Hopf-Algebren, wobei ich jedoch relativ rasch den Faden verlor, weil ich mir keine irgendwie geartete Vorstellung von den behandelten Objekten mehr machen konnte. Wie anders war das doch in der Differentialgeometrie-Vorlesung, mit der Prof. Tromba seinen kurzen Aufenthalt an unserem Institut begann! Und so wurde dieses Gebiet auch mein Diplomthema. Es ging um Verzweigungspunkte von Minimalflächen, wie sie in der Douglas'-Rado'schen Lösung auftreten können, in der Natur aber nie beobachtet werden, weil sie zu Selbstdurchdringungen der Flächen führen würden. Hier kamen mir fundierte Kenntnisse der Funktionentheorie aus dem Grundstudium zugute.
Nach meinem Diplom Ende 1994 in München ging ich für einen Gastbesuch für 3 Monate nach Bonn, wo ich dann ein Stipendium am Graduiertenkolleg zur Promotion erhielt. So promovierte ich in erfreulich kurzer Zeit Ende 1996 bei Prof. Hildebrandt und Prof. Tromba, der in der Zwischenzeit wieder nach Santa Cruz (Kalifornien) zurückgekehrt war, wieder über Verzweigungspunk-

Karrieren

te vom Minimalflächen, dieses Mal aber auf dem Rand der Fläche. Selbstdurchdringungen treten hier nicht notwendig auf, aber ob diese Objekte in der Natur vorkommen, ist bis heute unklar. Im unmittelbaren Anschluss an die Promotion bot mir Prof. Hildebrandt eine Assistentenstelle an seinem Institut an, auf der ich bis Anfang 2001 blieb, unterbrochen von einem 10-monatigen Forschungsaufenthalt an der Stanford University in Kalifornien.

In dieser Zeit, insbesondere, da sich keine Fortschritte bei meiner Forschung an den Minimalflächen einstellten (Prof. Tromba sagte mir erst 2007, dass er nun zwar Ergebnisse habe, aber diese hätten ihn Jahre seines Lebens gekostet – etwas, was man sich als angehender Wissenschaftler heutzutage wohl nicht mehr leisten kann), beschloss ich, noch „rechtzeitig", d.h. halbwegs jung, den Schritt in die Industrie zu wagen.

Da ich mich in meiner Jugend ausführlich mit dem Programmieren von Computern beschäftigt hatte, ging ich in die Software-Entwicklung bei einer kleinen Firma. Diese hatte einen Schwerpunkt bei der hardwarenahen Programmierung von Telekommunikationssystemen. Als „Quereinsteiger", immerhin hatte ich aber Informatik als Nebenfach studiert, bekam ich in den ersten Wochen zwar nur kleine Testaufgaben, aber bald war ich im Team vollständig integriert und tief in die C-Programmierung und das Zusammenspiel mit Datenbanken involviert. Leider verschlechterte sich im Laufe von 2003 die Wirtschaftslage, insbesondere auf dem Handy-Sektor, so dass einem Großteil der Angestellten gekündigt werden musste, und als Neueinsteiger war ich natürlich mit dabei. Glücklicherweise hatte ich mich bereits im Vorfeld umgesehen und hielt zeitgleich mit der Kündigung einen Arbeitsvertrag bei BMW in der Hand, wo ich auch heute noch beschäftigt bin.

Der Schritt von einer kleinen Firma mit etwa 100 Mitarbeitern zum Großunternehmen BMW mit ca. 100.000 Mitarbeitern verlief für mich allerdings unauffälliger als erwartet, da ich in einem kleinen Entwicklungsbereich landete, der relativ selbständig alle möglichen Themen von der Konstruktion über Logistik und Fertigung bis hin zum Verkauf behandelt, aber daher auch oft individuelle Programm-Lösungen benötigt – ein gefundenes Fressen für einen Mathematiker mit Freude an der Analyse und Spaß am Programmieren. Das Zusammenspiel von Benutzeroberflächen, Datenbanken und wirklichen Gütern und Menschen ist eine eigene Herausforderung.

Klar, mathematische Inhalte aus dem Studium habe ich (fast) nie zur Anwendung bringen können, aber es geht ja auch mehr um das Verwenden von exakter, formaler Sprache sowie das Denken in (und Finden von) Strukturen, die einen Mathematiker ausmachen. Und davon wimmelt es in der Industrie. Und, bei gewissenhafter Arbeit sind die Erfolgserlebnisse leichter und schneller zu erreichen (dafür natürlich nicht so tief) wie in der Forschung. Es ist natürlich sehr zufriedenstellend, wenn man einen mathematischen Satz von universaler Gültigkeit beweist, den aber vielleicht nur 50 Leute zu Gesicht bekommen oder gar zu würdigen wissen, aber ich empfinde es als ebenso befriedigend, wenn 200 Leute in ihrer täglichen Arbeit mit Programmen konfrontiert sind, an denen man selbst geschrieben hat.

Bis heute habe ich den Schritt in die Industrie nicht bereut.

Daniel Wienholtz

Rätselecke

Lösungen zu den Rätseln von Ausgabe 19

Mit Hilfe der Kanten eines Würfels der Seitenlänge a lassen sich leicht drei paarweise windschiefe Geraden finden, deren Abstand jeweils a ist. Wer findet vier Geraden, die paarweise windschief sind und den Abstand a besitzen?

Ein Quader mit quadratischer Grundfläche der Seitenlänge a sowie der Höhe h wird so in ein kartesisches Koordinatensystem gelegt, dass er die Eckpunkte $(\pm a/2, \pm a/2, \pm h/2)$ besitzt. Durch die Seitenmitten $M_1 = (0,-a/2,-h/2)$ und $M_2 = (0,a/2,-h/2)$ werden die Geraden g_1 und g_2 mit den Richtungsvektoren (1,0,-1) und (1,0,1) gelegt; damit sind g_1 und g_2 windschief mit der gemeinsamen Lotgeraden M_1M_2 und besitzen damit den Abstand a; analog sind die beiden Geraden g_3 und g_4 durch die Seitenmitten $M_3 = (-a/2,0,h/2)$ und $M_4 = (a/2,0,h/2)$ mit den Richtungsvektoren (0,1,-1) und (0,1,1) windschief und besitzen den Abstand a. Auch die vier anderen Geradenpaare sind nicht parallel, und die Höhe h kann im Hinblick auf die symmetrische Anlage der Konstruktion noch so bestimmt werden, dass deren Abstand jeweils a beträgt; dies ist nach der bekannten Formel genau für $h = \sqrt{3}a$ der Fall.

Max hat in einer Broschüre zum „Jahr der Mathematik 2008“ folgendes klassisches Rätsel gefunden:

$$\begin{array}{cccccc} & G & A & U & S & S \\ + & R & I & E & S & E \\ \hline E & U & K & L & I & D \end{array}$$

Dabei sollen die zehn Buchstaben in den Namen der drei Mathematiker so durch die Ziffern 0,…,9 ersetzt werden, dass die Rechnung (im Dezimalsystem) stimmt.

$$\begin{array}{cccccc} & 4 & 7 & 0 & 8 & 8 \\ + & 5 & 6 & 1 & 8 & 1 \\ \hline 1 & 0 & 3 & 2 & 6 & 9 \end{array} \quad \text{oder} \quad \begin{array}{cccccc} & 5 & 7 & 0 & 8 & 8 \\ + & 4 & 6 & 1 & 8 & 1 \\ \hline 1 & 0 & 3 & 2 & 6 & 9 \end{array}$$

Ein hochrangig besetztes Gremium kümmert sich um wichtige Projekte, die es stets in dieselben sieben Arbeitsbereiche gliedert; bei jedem Projekt ist nun jedes der sieben Mitglieder für einen Bereich zuständig. Nach dem völligen Scheitern eines Projekts P wendet sich das Gremium dem nächsten Projekt Q zu, wobei jedes Mitglied diesmal einen anderen Arbeitsbereich als beim Projekt P übernehmen soll. Wie viele Möglichkeiten gibt es für die neue Aufgabenverteilung?

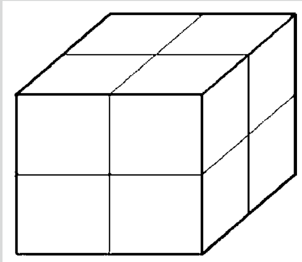
Für die neue Aufgabenverteilung gibt es mehrere mögliche Konstellationen:

- Ringtausch aller sieben Mitglieder mit $6! = 720$ Möglichkeiten,
- Ringtausch von fünf Mitgliedern (bei Aufgabenwechsel der beiden anderen) mit $\binom{7}{5} \cdot 4! = 504$ Möglichkeiten,
- Ringtausch von vier Mitgliedern und Ringtausch der anderen drei Mitglieder mit $\binom{7}{4} \cdot 3! \cdot 2! = 420$ Möglichkeiten,
- Ringtausch von drei Mitgliedern und jeweils Aufgabenwechsel der zwei verbleibenden Paare mit $\binom{7}{4} \cdot 2! \cdot 3 = 210$ Möglichkeiten.

Zusammen ergeben sich also $720 + 504 + 420 + 210 = 1854$ Möglichkeiten.

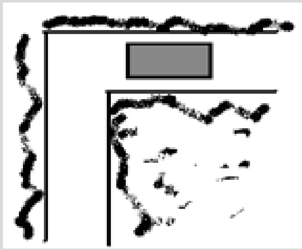
Rätselecke

Würfel färben



Jede Fläche eines Würfels ist in vier gleiche Quadrate geteilt. Wie viele unterschiedlich aussehende Würfel kann man erhalten, wenn man diese Quadrate in den Farben Blau, Gelb oder Rot so einfärbt, dass Quadrate mit einer gemeinsamen Seite verschieden gefärbt sind? Wie viele Quadrate von jeder Farbe gibt es dann?

Ein Floß auf einem Kanal

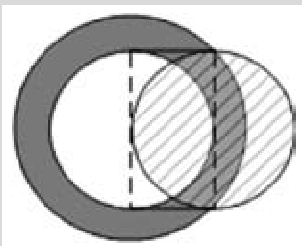


Ein Kanal der Breite *h* hat an einer Stelle einen rechtwinkligen Knick. Welche maximale Fläche darf ein rechteckiges Floß besitzen, damit es diesen Kanal befahren kann?

Schachturnier

Bei einem Schachturnier hat jeder Teilnehmer genauso viele Partien mit den weißen Figuren gewonnen, wie der Rest der Teilnehmer mit den schwarzen Figuren gewonnen hat. Stimmt es, dass alle Teilnehmer dieselbe Anzahl von Siegen feiern konnten?

Flächen



Welcher Flächeninhalt ist größer, der des grau gefärbten Ringes oder derjenige des schraffierten Kreises?

Mathematische Ökologie:
Schildkröten, Eisbären und Mathematik

Péter Molnár

Eisbären und Mathematik? Klingt komisch – ist aber so.
Hätte mir vor sechs Jahren, als ich noch für meine Diplomprüfungen gelernt habe, jemand gesagt, ich würde mal mit Eisbären arbeiten, ich hätte ihn für verrückt erklärt.
Klar, … als ich mein Mathematikstudium begann, habe ich oft gehört, dass man als Mathematiker in so ziemlich allen Berufen arbeiten kann. Natürlich, … geglaubt hab ich das auch (und glaube es auch heute noch), sonst hätte ich dieses als etwas abstrakt geltende Studium vielleicht gar nicht erst begonnen. Aber jetzt mal im Ernst: Eisbären?

Ein Mathematiker entdeckt die Ökologie
Als ich 2003 meinen Abschluss an der LMU machte, war ich mir noch nicht ganz im Klaren darüber, was ich beruflich machen wollte.
Neben der Mathematik war die Biologie schon immer mein Steckenpferd, und gerne hätte ich beide Gebiete auch beruflich unter einen Hut gebracht. Aber wie? Die Biologie ist nicht gerade als das klassische Arbeitsgebiet für Mathematiker bekannt und schien (im Gegensatz z.B. zu Physik oder Chemie) weitgehend ohne unser Handwerkszeug auszukommen.
Ausnahmen bestätigen natürlich die Regel – in diesem Fall durch die sog. Computational Biology, wo mathematische Modelle und Algorithmen angewandt werden, um genetische Strukturen und Prozesse zu verstehen. Interessant, aber noch nicht ganz das, was mir vorschwebte. Dennoch machte ich mich vorsichtig auf die Suche nach einer Doktorandenstelle. Und wie ich mich so durch tausende Webseiten kämpfte, fiel auf einer dieser Seiten das Wort Mathematische Ökologie. Und plötzlich war ich hellwach. Für jemanden, der seine Liebe zur Biologie in der freien Natur entdeckte und am liebsten jede freie Minute durch die Wälder, Wüsten und Berge dieser Erde streifen würde, war das genau das richtige Schlagwort.
Laut Schulbuch-Definition untersucht die Ökologie das Zusammenwirken abiotischer und biotischer Faktoren in und zwischen Ökosystemen. Sie ist die Wissenschaft der Wechselbeziehungen, welche die Lebensbedingungen, die Häufigkeit und die Verbreitung von Lebewesen bestimmen.
Und das sollte man mathematisch angehen können?
Natürlich hatte ich während meines Studiums vom exponentiellen Wachstum gehört, eine Konsequenz der wohl einfachsten Differentialgleichung, die besagt, dass sich die Wachstumsrate einer Population proportional zu ihrer Größe verhält. In anderen Worten:

$$(1) \qquad \frac{dN}{dt} = rN\,.$$

Oder das Lotka-Volterra Räuber-Beute-Modell, das kurz im Rahmen einer Einführungsvorlesung für Differentialgleichungen erwähnt wurde. Dieses Modell nimmt vereinfachend an, dass die Beutepopulation in Abwesenheit von Räubern exponentiell wächst, während die Räuberpopulation in Abwesenheit von Beutetieren exponentiell abnimmt. Die Geburtenrate der Räuber hängt von der Rate ab, mit der Beutetiere gefressen werden können, welche wiederum durch die sog. *law of mass action* modelliert wird (d.h. Räuber und Beutetiere treffen sich mit einer Rate, die sich proportional zum Produkt der beiden Populationsgrößen verhält – eine Annahme, die sich aus einfachen *random walk* Modellen ableiten lässt). Dies kann im folgenden Differentialgleichungssystem formalisiert werden:

$$\frac{dN}{dt} = rN - cNP \qquad (2) \qquad \frac{dP}{dt} = bNP - mP \; ,$$

Dennoch. Dass ganze Populationen und Ökosysteme solchen vereinfachten mathematischen Modellen folgen sollten, erschien mir irgendwie utopisch. Schauen wir uns z.B. das Lotka-Volterra Modell an: Mathematisch schön – kein Zweifel. Biologisch sinnvoll – mag sein. Dennoch ist es bisher kaum jemandem gelungen, die Räuber-Beute-Zyklen, die das Modell vorhersagt, in der Natur nachzuweisen. Ist ja eigentlich auch klar. Nur selten ist ein Räuber-Beute-System so einfach wie in dem Modell dargestellt.

Ein Beispiel: Eulen fressen Mäuse. Schön und gut. Aber kann man daraus schließen, dass ein Eulen-Mäuse Räuber-Beute-Zyklus entstehen muss? Ein blindes Anwenden des Lotka-Volterra Modells würde das implizieren. Fangen wir z.B. mit vielen Mäusen und wenigen Eulen an. Genug Futter, dass die Eulenpopulation wächst. Mit der wachsenden Population steigt aber auch der Futterbedarf. Die Mäusepopulation sinkt. Und im Gegenzug – da nicht mehr genug Futter für alle Eulen vorhanden ist – sinkt jetzt die Eulenpopulation. Weniger Eulen, also werden wieder weniger Mäuse gefressen, die Mäusepopulation steigt. Wir sind wieder am Anfang – ein Zyklus, der eine mathematische Konsequenz des Modells ist. Aber nur zwei Arten? Das scheint irgendwie unrealistisch …

Schlangen fressen doch auch Mäuse. Und um das Ganze noch komplizierter zu machen, Schlangen werden auch gefressen. Und zwar von Eulen. Gut, sagt der Mathematiker, kein Problem, das lässt sich auch alles sehr schön in einem Modell darstellen. Drei Arten, drei Differentialgleichungen.

Ja, aber was fressen eigentlich die Mäuse? Sagen wir Körner. Ist es realistisch anzunehmen, dass immer genug Futter für die Mäusepopulation da ist, wie im Grundmodell angenommen? Was, wenn es zu viele Mäuse gibt? Kein Problem, wir führen einfach eine weitere Variable ein, die das Körnerkontingent darstellt. Das ist natürlich ebenfalls dynamisch (und kann ähnlich modelliert werden wie oben, nur dass eben jetzt die Mäuse die Räuber sind). Drei Tierarten plus Körner, vier Differentialgleichungen – kein Problem.

Aber was, wenn es eine Dürre gibt? Wie viele Körner es gibt, hängt doch bestimmt auch von den Wetterbedingungen ab. Führen wir jetzt eine zeitabhängige Variable ein? Möglich ist das schon, aber einfacher wird das Problem dadurch nicht. Mathematisch wird's langsam kompliziert, und dabei ist noch nicht mal klar, ob diese Komplikation auch wirklich notwendig ist. Dass es Klima- und Wetterschwankungen gibt, ist unbestreitbar, aber ob diese die Eulen-Schlangen-Mäuse-Dynamik beeinflussen, erschließt sich auf den ersten Blick nicht. Vielleicht sollten wir lieber Füchse noch mit einrechnen? Die fressen schließlich auch Mäuse. Oder aber die räumliche Verteilung der Arten berücksichtigen? Partielle Differentialgleichungen wären möglich. Was ist mit Krankheiten und Parasiten? All das könnte einen Einfluss haben. Und wie definieren wir eigentlich die Populationen? In Wirklichkeit ist es wohl kaum so, das wir je eine diskrete und wohldefinierte Eulen-, Schlangen- und Mäusepopulation haben, die sich dann untereinander regulieren, und nur durch Geburten- und Sterberaten ändern (es sei denn, wir befinden uns auf einer unerreichbaren Insel, vielleicht irgendwo im Pazifik). Mäuse gibt es z.B. hoch oben in den Bergen, bis über die Baumgrenze hinaus. Dort dürften Schlangen als wechselwarme Tiere ziemliche Schwierigkeiten mit dem Überleben haben. Und ob jetzt die Mäuse in den kalten Bergen und die Mäuse in den warmen Tälern zwei unterschiedliche Populationen bilden, das sei jetzt auch mal dahingestellt.

Mathematische Ökologie also … Wie um alles in der Welt soll das funktionieren?

Nun – so viel vorneweg – es ist möglich. Mehr noch, die Ökologie macht zurzeit eine wissenschaftliche – man könnte fast sagen, mathematische – Revolution durch:
Bis in die späten 70er Jahre galten mathematische Modelle als exotisch, und der Großteil der wissenschaftlichen Arbeiten beruhte auf der statistischen Analyse von Felddaten. Modelle galten als unrealistisch („Wie soll man die Natur in ein paar Gleichungen beschreiben können?"), und daher nutzlos. Es gab natürlich Ausnahmen, aber meist wurden Modelle mit Standardargumenten kritisiert und wieder verworfen. Etwa folgendermaßen: „Die Variablen X und Y wurden zwar im Modell M berücksichtigt, aber Studie A zeigt eindeutig, dass die Variable Z mindestens ebenso wichtig ist. M mag zwar theoretisch interessant sein, da es aber Z nicht enthält, kann es unmöglich Ökosystem B erklären." Bastelte man ein neues Modell N, welches Z enthielt, wurde es mit ähnlichen Argumenten wieder verworfen. Ganz so wie im obigen Eulen-Schlangen-Mäuse-Beispiel.
Seit etwa 30 Jahren aber wächst die Anzahl der wissenschaftlichen Arbeiten, die auf mathematisch ökologischen Modellen basieren, fast exponentiell. Fast ebenso schnell wächst die Anzahl mathematisch ökologischer Forschungsgruppen, was sich auch in der Vergabe von Forschungsgeldern widerspiegelt.
So sitze ich nun fünf Jahre später in Kanada, mit einem Doktortitel in Mathematischer Ökologie, und habe das gegenteilige Problem. Wo ich mir anfangs kaum ein einziges funktionierendes Beispiel vorstellen konnte (vielleicht mit Ausnahme von kontrollierten Laborpopulationen), fällt es mir jetzt schwer, mich auf wenige Beispiele zu beschränken, um in der Kürze dieses Artikels sowohl den Nutzen als auch die Vielfalt der Mathematik in der Ökologie zu illustrieren.
Wie bekämpft man am besten Schädlinge? Wo sollen die Grenzen eines Nationalparks liegen? Wie verhindert man die Ausbreitung von Krankheiten? Gibt es allgemeine Regeln, oder sollte die Weltgesundheitsorganisation unterschiedliche Strategien anwenden für, sagen wir, Malaria, Gelbfieber, Cholera und West-Nil-Virus? Sollen Jäger junge oder alte Tiere schießen, Männchen oder Weibchen? Macht es Sinn, lokal ausgestorbene Arten wieder einzuführen? Und wenn ja, wie viele Tiere soll man freilassen? Und wo? Wie wird sich der Klimawandel auf die Zukunft einer Spezies auswirken? Wann sollten Schulkinder gegen Masern geimpft werden, um eine Epidemie zu verhindern? Vor oder nach den Schulferien? Alle Kinder, oder reicht ein gewisser Prozentsatz? Welche Faktoren waren für das Aussterben der Wandertaube verantwortlich, die bis vor 100 Jahren als der häufigste Vogel der Welt galt? Die Jagd? Die zunehmende Industrialisierung Nordamerikas und die einhergehende Zerstörung ihres Lebensraums? Was auch immer die Antwort ist, welche Lehren können wir daraus ziehen für zukünftige Artenschutzstrategien? Und was ist mit dem Walfang? Ist das Einstellen des Walfangs und der folgende Anstieg der Walpopulationen verantwortlich für den Rückgang der Fischbestände? Und wenn ja, ist es möglich, den Walfang wieder aufzunehmen, in einer Art, die sowohl stabile (wenn auch kleinere) Walpopulationen als auch hohe Fischbestände, die den menschlichen Bedarf decken, garantiert (dies wird immer wieder von Japan gefordert)?
Die Liste ist endlos, und obige Beispiele sind nur ein kleiner Bruchteil der Fragen, die heutzutage mit mathematischen Modellen angegangen werden.
Doch bevor wir uns konkreten Beispielen zuwenden, müssen wir uns auf ein paar Grundregeln einigen, die zeigen, wie mathematische Modelle Ökosysteme trotz deren Komplexität erklären können und was mathematische Modelle können und was nicht. Grundregeln, die die Arbeitsweise mathe-

matischer Ökologen definieren. Und die mir als Quereinsteiger so einiges Kopfzerbrechen bereitet haben.

Einstein und der Elefant

1. Für jedes beliebige Ökosystem kann sich jeder Wissenschaftler tausende Modelle ausdenken, alle mehr oder weniger plausibel. Aber ganz egal wie kompliziert oder einfach ein Modell ist, es ist niemals „wahr"! Das „korrekte Modell" existiert nicht. Ein Modell ist immer eine Vereinfachung der Wirklichkeit. Ganz so wie in der Parabel von den blinden Männern (Wissenschaftler), die versuchen, durch Tasten (Modelle) einen Elefanten (die Wirklichkeit) zu beschreiben (siehe z.B. John Godfrey Saxe's Gedicht „The blind men and the elephant"). Könnten wir ein Modell konstruieren, das bis ins kleinste Detail der Wirklichkeit entspricht, dann bräuchten wir kein Modell mehr – wir würden die Wirklichkeit selbst verstehen. Konsequenterweise kann man die Richtigkeit eines Modells auch nicht beweisen. Am ehesten kann man Modelle noch als wissenschaftliche Hypothesen verstehen, welche durch Daten erhärtet beziehungsweise widerlegt werden können (ganz so wie statistische Hypothesen).

Aber – und das ist wichtig – ein Modell kann zwar niemals wahr sein, aber ein Modell kann „besser" sein als ein anderes.

2. Wenn aber ein Modell niemals richtig sein kann, wie findet man dann das beste Modell? Nun, zunächst müssen wir uns überlegen, warum wir überhaupt ein Modell wollen. Soll uns das Modell helfen, ein bestimmtes Ökosystem besser zu verstehen? Oder soll es uns helfen, das System zu manipulieren, um ein bestimmtes Ergebnis zu erzielen? Oder sind wir eher daran interessiert, vorherzusagen, wie das System in *x* Jahren aussehen wird?

Diese klassische (wenn auch etwas vereinfachende) Dreiteilung – Verständnis, Kontrolle, Prädiktion – definiert annähernd, worauf wir bei der Modellkonstruktion Wert legen müssen. Das Lotka-Volterra Modell z.B. ist sehr allgemein gehalten, dafür aber recht unrealistisch. Es kann daher zum allgemeinen Verständnis von Räuber-Beute-Systemen beitragen, würde aber wohl kaum zur Vorhersage von Räuber- und Beute-Populationsgrößen angewandt werden. Wollen wir hingegen ein System kontrollieren (z.B. festlegen, wie viele Hirsche im Bayerischen Wald gejagt werden dürfen, ohne dass die Population sinkt), oder gar Vorhersagen treffen (z.B. wie viele Eisbären es in 30 Jahren noch geben wird, wenn der Klimawandel fortschreitet wie bisher), brauchen wir realistischere Modelle. Da sich aber Realismus und Allgemeingültigkeit meist gegenseitig ausschließen, sind solche Modelle eben nur auf die spezifische Fragestellung anwendbar. Das Eisbärenmodell würde wohl nichts darüber aussagen, wie viele Hirsche es in 30 Jahren im Bayerischen Wald geben wird, obwohl das Klima sich natürlich auch hier ändert. Das mag trivial klingen, führt uns aber zum nächsten und wichtigsten Punkt. Wie viel Realismus braucht ein Modell? Und wie entscheiden wir, welche Systemkomponenten wir modellieren und welche nicht?

3. Um es mit Einstein zu sagen: Ein Modell soll so einfach wie möglich sein, aber nicht einfacher.

Diese Aussage ist gültig wie eh und je, und reflektiert das wissenschaftliche Prinzip von Occam's Razor. Der Teufel steckt aber im Detail, denn es ist selten auf den ersten Blick klar, was in ein Modell einfließen soll, was zu einfach ist, was zu komplex. Nehmen wir das Beispiel der Hirschjagd. Interessiert uns nur die Populationsgröße nach der Jagd, reicht vielleicht ein einfaches Modell, das die Geburten-, Sterbe- und Jagdraten beinhaltet. Interessieren wir uns aber auch für die räumliche Aufteilung der Population, brauchen wir ein komplexeres, ein räumlich explizites, Modell. Das bringt uns zurück zur Frage nach dem Zweck eines Modells.

Aber auch unabhängig vom Zweck stellt sich die Frage, was für ein Populationsmodell angemessen ist. Wir wollen wichtige Faktoren berücksichtigen, unwichtige auslassen. Ist es z.B. sinnvoll anzunehmen, dass Geburtenraten konstant sind? Zunächst einmal scheint es trivial, dass sie es nicht sind. Sie werden von Faktoren abhängen wie dem Wetter, der Populationsgröße, oder einfach nur stochastisch variieren aufgrund irgendwelcher nicht näher bestimmbarer Faktoren. All dies lässt sich natürlich modellieren, aber sind diese Details auch wichtig? Je mehr Modellterme wir einführen, desto mehr potentielle Fehlerquellen gibt es. Messfehler werden in jedem neuen Parameter auftreten. Und je mehr Messfehler es gibt, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass unsere Vorhersagen von der Wirklichkeit abweichen. Und zu allem Überfluss wird mit jedem neuen Term unser Modell unübersichtlicher und damit schwerer zu analysieren.

Wir brauchen daher Kriterien, um zu entscheiden, welche Details relevant sind. Biologische Intuition ist hierbei unabdingbar, aber bei weitem nicht genug. Statistische Methoden und Informationstheorie sind mindestens genauso wichtig.

Nehmen wir z.B. an, wir hätten uns nach langwierigen biologischen Forschungen auf zwei Kandidatenmodelle für die Hirsch-Populationsdynamik im Bayerischen Wald geeinigt. Eins mit konstanten Geburten- und Sterberaten, und eins, in welchem diese Raten Schneefall-abhängig sind. Zusätzlich haben wir einen 30 Jahre langen Datensatz über Populationsgrößen im Dezember. Schneefalldaten haben wir auch. Können wir diese Daten verwenden, um zu entscheiden, welches Modell angemessener ist?

Nun, beide Modelle treffen Vorhersagen für die Populationsdynamik in diesen 30 Jahren. Einige Parameter (wie z.B. die Geburten- und Sterberaten) mögen unbekannt sein, aber diese lassen sich mit Hilfe des Datensatzes und *Maximum Likelihood* Methoden, wie der *Least Squares Optimization*, bestimmen. Die Frage ist aber, welches Modell die Daten besser erklärt. Auf den ersten Blick natürlich das komplexere Modell, da es mehr Parameter und damit mehr Flexibilität hat. Aber diese Flexibilität hat einen Preis. Mehr Parameter müssen geschätzt werden, und das Modell beinhaltet eine zusätzliche Hypothese, nämlich, dass Schneefall eine wichtige Komponente in der Hirsch-Populationsdynamik darstellt. Wichtig in dem Sinn, dass wir Populationsdaten deutlich besser vorhersagen können, wenn wir den Schneefall berücksichtigen. Ist das so? Würde das Modell mit Schneefall bessere Vorhersagen treffen als das Modell ohne? In anderen Worten, ist das komplexere Modell nur wenig oder signifikant besser als das einfachere Modell, wenn es darum geht, die Daten zu erklären? Um das zu entscheiden, brauchen wir statistische Methoden wie den *Likelihood Ratio Test* oder aber Informationskriterien wie das zurzeit äußerst populäre *Akaike Information Criterion*, kurz *AIC*. Im Prinzip berücksichtigen solche Methoden einerseits, wie gut ein Modell die Daten erklärt, wiegen dies aber auf gegen die Anzahl der verwendeten Parameter (also die verlorenen Freiheitsgrade beim *Model Fitting*). Komplexere Modelle können daher insgesamt schlechter abschneiden als einfachere Versionen – im Prinzip eine Formalisierung von Occam's Razor: Die einfachere Erklärung ist besser, es sei denn, es gibt genug Evidenz für die komplexere Hypothese.

Um kurz zusammenzufassen:

1. Mathematische Modelle sind ungemein nützlich in der Ökologie, um Hypothesen zu testen, Vorhersagen zu treffen oder um einzuschätzen, wie sich Systemmanipulationen auf ein Ökosystem auswirken.
2. Ein Modell ist niemals „wahr“. Das korrekte Modell existiert nicht.
3. Modelle sind stets zweckgebunden, und der Zweck leitet maßgeblich den Modellierungsprozess.

4. Ein Modell sollte so einfach wie möglich sein, aber nicht einfacher.

Nun haben mir (und auch vielen anderen Mathematikern) vor allem der zweite und der vierte Punkt am Anfang meines Studiums viele Kopfschmerzen bereitet. Als Mathematiker fällt es oft schwer zu akzeptieren, dass man die absolute Wahrheit nicht finden kann. Dass man nichts beweisen kann. Das aber ist genau das, was die Mathematik von den reinen Naturwissenschaften unterscheidet: Die Mathematik ist hauptsächlich deduktiv, die Biologie hingegen hauptsächlich induktiv. Intuitiv mag man das akzeptieren, aber ich kann ohne zu lügen behaupten, dass ich die ersten zwei Jahre meines Doktorandenstudiums gebraucht habe, bis mir das in Fleisch und Blut überging.

Ähnliches gilt für Punkt Nummer 4: Am Anfang meiner Forschungszeit habe ich viele komplexe Modelle formuliert und viel Zeit damit verbracht, diese zu analysieren. Das war zwar faszinierend (und ein valider Ansatz in der rein theoretischen Ökologie), aber relativ fruchtlos, um echte Daten zu erklären. Es stellte sich immer wieder heraus, dass die einfachsten Modelle zugleich die nützlichsten waren.

Wie ein Zellbiologe in unserem *Mathematical Biology* Seminar sagte: „Modellieren ist eine Kunst. Und die Kunst besteht nicht darin, zu entscheiden, was man modelliert, sondern darin zu entscheiden, was man getrost herauslassen kann."

Nach diesem wissenschaftsphilosophischen Exkurs wollen wir uns nun aber endlich ein paar Fallbeispielen zuwenden. Leider muss ich hierbei aber gleich vorwegnehmen, dass es mir in der Kürze dieses Artikels unmöglich war, alle biologischen und mathematischen Argumente wiederzugeben. Ich hoffe dennoch, dass es mir gelingt, Ihnen einen ersten Geschmack der Mathematik in der Ökologie zu vermitteln, und erlaube es mir, für die Details auf die Originalartikel zu verweisen.

Mathematik und Meeresschildkröten

Es gibt 7 Meeresschildkröten-Arten, und alle sind mehr oder weniger direkt vom Aussterben bedroht. Dementsprechend heiß wird diskutiert, wie man Schildkröten am besten schützen kann.

Bis in die späten 80er Jahre waren Schutzmaßnahmen darauf bedacht, die Überlebensrate der neugeborenen Schildkröten zu erhöhen.. Einige von Ihnen werden sich vielleicht an Bilder erinnern, wie Tierschützer Jungschildkröten von ihren Schlupfstellen am Strand sicher ins Wasser brachten – nicht, dass sie auf ihrem gefährlichen Weg von Möwen oder anderen Räubern gefressen würden.

Aber ist das wirklich der beste Weg, die Schildkrötenpopulation wieder aufzupäppeln? Alle möglichen Bedrohungen existieren: Schildkröten geraten z.B. oft in riesige Krabben- und Fischfangnetze und müssen ersticken, wenn sie nicht rechtzeitig einen Weg nach draußen finden. Umweltverschmutzung und die (illegale) Jagd stellen zusätzliche Probleme dar.

Wenn wir wirklich etwas bewirken wollen, aber vielleicht nur beschränkte Mittel (politische oder finanzielle) zur Verfügung haben, sollen wir unsere Bemühungen dann auf einen aktiven Schutz der Eier und der Jungtiere konzentrieren? Schließlich würden viele kleine Schildkröten den Weg vom Strand ins Wasser normalerweise nicht überleben, und wir können ihnen relativ leicht auf den Sprung helfen. Andererseits kann es natürlich sein, dass die meisten dennoch sterben werden, bevor sie das Erwachsenenalter erreichen, und dass solche Bemühungen daher relativ ineffekiv sind. Sollen wir uns also lieber auf die erwachsenen Tiere konzentrieren? Vielleicht können wir nur wenige Tiere durch entsprechende Schutzmaßnahmen vor einem Tod im Krabbennetz bewahren, aber andererseits bedeutet jedes gerettete Weibchen voraussichtlich jede Menge neue Jungtiere. Aber reicht das? Jungtiere oder Erwachsene? Was

macht mehr Sinn? Bis in die späten 80er Jahre wusste das keiner, eine Lösung des Problems war nicht in Sicht, und weiterhin konzentrierten sich alle Bemühungen auf die Jungen – bis Deborah Crouse, Larry Crowder und Hal Caswell sich genau diese Frage stellten.
Sie interessierten sich dafür, ob es mehr Sinn macht zu versuchen, die Mortalitätsrate von Jungschildkröten oder erwachsenen Tieren zu reduzieren. Also brauchten sie ein Populationsmodell, welches die Altersstruktur zumindest annähernd berücksichtigt.
Nun, schauen wir uns folgendes (hier leicht vereinfachtes) Modell an. Sei

(3) $\quad \overline{n}_t = (n_1, \ldots, n_5)_t$

ein Vektor, der die Anzahl der neugeborenen Schildkröten (n_1), der kleinen (n_2), mittelgroßen (n_3), sowie großen (n_4) Jungtiere und der erwachsenen Schildkröten (n_5) im Jahr t wiedergibt. Hierbei betrachten wir nur Weibchen. Mit Hilfe einer Übergangsmatrix A kann man hieraus nun die Populationsstruktur und Größe im Jahr t+1 berechnen:

(4) $\quad \overline{n}_{t+1} = A\overline{n}_t$

wobei A folgende Form annimmt:

$$(5) \quad A = \begin{pmatrix} P_1 & 0 & 0 & 0 & F \\ G_1 & P_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & G_2 & P_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & G_3 & P_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & G_4 & P_5 \end{pmatrix}$$

Hierbei bezeichnet G_i den Prozentsatz der Schildkröten in Gruppe i, die sowohl ein Jahr überleben als auch genug wachsen, um in Gruppe i+1 aufzusteigen. Analog ist P_i der Prozentsatz der Schildkröten in Gruppe i, die zwar überleben, aber nicht genug wachsen, und daher auch im folgenden Jahr in Gruppe i bleiben werden. F bezeichnet die Anzahl der Eier, die ein erwachsenes Weibchen in einem Jahr legt.
Aus dieser Formulierung der Populationsdynamik lässt sich nun so einiges ableiten. Z.B. kann man zeigen, dass eine Population nach einer gewissen Zeit eine sog. *stable stage distribution* erreicht, und mit einer konstanten Rate λ wächst. Das heißt, dass nach einer gewissen Übergangszeit sich die Populationsstruktur nicht mehr ändert, und somit

(6) $\quad \overline{n}_{t+1} = \lambda\overline{n}_t$

gilt. Weiterhin kann man zeigen, dass die Wachstumsrate λ durch den dominanten Eigenwert von A gegeben ist, und die zugehörige stable stage distribution durch den rechten Eigenvektor zu λ.
Hieraus lässt sich leicht folgendes Managementziel formulieren: „Erhöhe die Überlebensraten so, dass λ so groß wie möglich wird, und hierbei mindestens größer eins" (für λ<1 nimmt die Population ab).
Doch um auf die ursprüngliche Fragestellung zurückzukommen, was macht mehr Sinn? Die Überlebensrate der Neugeborenen (σ_1), die implizit in P_1 und G_1 auftaucht, zu erhöhen, oder die Überlebensrate der älteren Tiere (σ_2 – σ_5)? Diese Frage lässt sich nun, da das Populationsmodell steht, mit einer einfachen Sensitivitätsanalyse beantworten: Um festzustellen, welche Änderungen den größten Effekt auf das Populationswachstum hätten, vergleicht man einfach folgende Ableitungen für i = 1,…, 5:

$$(7) \quad \frac{\partial\lambda}{\partial\sigma_i} = \frac{\partial\lambda}{\partial P_i}\frac{\partial P_i}{\partial\sigma_i} + \frac{\partial\lambda}{\partial G_i}\frac{\partial G_i}{\partial\sigma_i}$$

Und tatsächlich: Crouse *et al.* (1987) stellten fest, dass es völlig uneffektiv ist, Neugeborenen-Überlebensraten erhöhen zu wollen, und dass man einen etwa zehmnal größeren Effekt erzielen kann, wenn man sich auf die erwachsenen Tiere konzentriert. Mehr noch, am Fallbeispiel der Unechten Karettschildkröte (noch eine der am wenigsten gefährdeten Arten) zeigten sie, dass erstens die Population sinkt (λ=0,945), und zweitens, dass es praktisch unmöglich ist, λ>1 zu erreichen, wenn man den Schutz ausschließlich auf die Jungtiere und Eier konzentriert.
Dieses ausgesprochen einfache mathematische Modell enthält natürlich viele biologische Details nicht. Dennoch gibt es uns eine

eindeutige Antwort auf die Frage nach Sinn und Unsinn des damals üblichen Populationsmanagements. Und tatsächlich hatte es einen ungemein starken Einfluss auf den Schildkrötenschutz. Als praktisch direkte Konsequenz auf Crouse *et al.*'s Arbeit wurden sog. TED-Netze (**T**urtle **E**xcluding **D**evice) in den USA verbindlich eingeführt. Diese Krabbennetze enthalten Schlupflöcher für Schildkröten, die es ihnen erlauben, in die Freiheit zu schwimmen, sollten sie in eines dieser Netze geraten.
Details zu dieser Studie finden Sie auch in Caswell (2001), das nebenbei eine hervorragende Einführung in Matrix-Populationsmodelle und deren Anwendungen darstellt.

Mathematik und Epidemiologie: West-Nil-Virus in Nordamerika

Das West-Nil-Fieber ist eine von Viren verursachte Krankheit, die häufig in Afrika, im Nahen Osten und in Westasien vorkommt. Sie wird durch infizierte Stechmücken übertragen, hauptsächlich auf Vögel, aber ab und an sind auch Menschen, Pferde und andere Säugetiere betroffen. Im Menschen verläuft die Krankheit oft symptomfrei, kann aber auch tödlich enden.
In Nordamerika war die Krankheit bis 1999 nicht zu finden. Dann aber tauchte sie urplötzlich in New York City auf, von wo sie sich rasant über den gesamten Kontinent ausbreitete. Seitdem sind mehr als 1000 Menschen an ihr gestorben. Die Frage ist natürlich, wie wir am besten die Virenverbreitung eindämmen können.
Nun, dafür müssen wir zunächst die Viren-Populationsdynamik verstehen: Wie schon erwähnt, wird der Virus von infizierten Stechmücken auf Vögel übertragen. Letztere fungieren als Zwischenwirt, der Virus vermehrt sich im Vogelkörper. Wenn dann eine nicht-infizierte Stechmücke solch einen Vogel sticht, nimmt sie den Virus auf, der Zyklus beginnt erneut. Säugetiere können zwar erkranken, wenn sie von einer infizierten Mücke gestochen werden, sind aber keine geeigneten Zwischenwirte.
Irgendwie müssen wir also den Mücken-Vogel-Mücken Zyklus unterbrechen. Aber wie macht man das am besten? Insektenvernichtungsmittel? Wenn ja, wie viel? Und wo? Oder macht es mehr Sinn, die Anzahl der Vögel zu reduzieren? Und gleichfalls: Wenn ja, wie viele Vögel müssten wir töten, damit diese Strategie effektiv ist? Und wo?
Nun, diese Frage (bis auf das „Wo“, das sparen wir der Einfachheit halber erstmal aus) lässt sich eventuell mit ein bisschen Mathematik beantworten. Schauen wir uns z.B. folgendes Modell an (Wonham *et al.* 2004):

$$\frac{dS_B}{dt} = -abI_M \frac{S_B}{N_B}$$

$$\frac{dI_B}{dt} = abI_M \frac{S_B}{N_B} - \mu_V I_B - gI_B$$

$$\frac{dR_B}{dt} = gI_B$$

$$\frac{dX_B}{dt} = \mu_V I_B$$

$$\frac{dL_M}{dt} = \beta_M (S_M + E_M + I_M) - mL_M - \mu_L L_M$$

$$\frac{dS_M}{dt} = -acS_M \frac{I_B}{N_B} + mL_M - \mu_A S_M$$

$$\frac{dE_M}{dt} = acS_M \frac{I_B}{N_B} - kE_M - \mu_A E_M$$

$$\frac{dI_M}{dt} = kE_M - \mu_A I_M$$

Dieses Gleichungssystem ist eine der einfachst möglichen mathematischen Repräsentationen der Infektionsdynamik (ein sog. SIR-Modell), wobei S_B, I_B, R_B, und X_B die Anzahl der nicht-infizierten („susceptible“ – S_B), infizierten (I_B), wieder genesenen („recovered“ – R_B), und toten (X_B) Vögel darstellt. L_M ist die Anzahl der Moskitolarven, die Anzahl der erwachsenen Moskitos ist $S_M + E_M + I_M$, wobei S_M Moskitos nicht-infiziert („susceptible"), E_M Moskitos infiziert, aber noch nicht ansteckend (während der Inkubationszeit – „exposed"), und I_M Moskitos ansteckend sind („infectious"). Moskitos legen Eier mit einer *per capita* Rate β_M und sterben mit Rate μ_L (Larven) beziehungsweise μ_A (Erwachsene – „Adults"). *m* ist die *maturation* Rate, also die *per capita* Rate, mit der Larven erwachsen werden, und *k* die *per capita* Rate, mit der *exposed* Moskitos *infectious* werden. Die zwei Terme, $abI_M S_B / N_B$ und $abS_M I_B / N_B$, beschreiben die Rate der Neuinfektionen, die dadurch entstehen, dass infizierte Moskitos nicht-infizierte Vögel stechen, bzw. umgekehrt, dass nicht-infizierte Moskitos infizierte Vögel stechen. Infizierte Vögel sterben mit *per capita* Rate μ_V und genesen mit Rate *g*.

Das Modell ist natürlich noch nicht komplett, es muss noch parametrisiert werden. Das ist nicht ganz einfach und beinhaltet Feldforschung kombiniert mit Mathematik, aber der Kürze halber möchte ich hier auf den Originalartikel Wonham *et al.* (2004) verweisen. Gleiches gilt für die Modellanalyse, aber ein paar wichtige Schritte will ich hier doch erwähnen:

Um den Virenzyklus zu verstehen, bestimmt man zunächst das sog. *krankheitsfreie Equilibrium*, d.h. das Populationsequilibrium, in

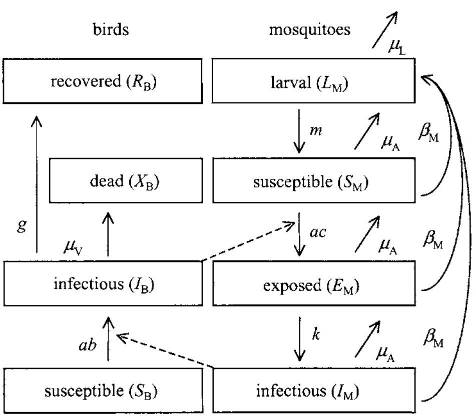


Abbildung 1: Schema der Viren-Populationsdynamik (übernommen von Wonham et al. (2004), S. 502 mit freundlicher Genehmigung der Royal Society of London)

dem sich die Vögel befinden würden, wenn es keine ansteckenden Moskitos gäbe. Das ist einfach, denn in diesem Fall bleiben trivialerweise alle Vögel *susceptible*, also in der Klasse S_B (da dieses Grundmodell nur für eine Moskitosaison formuliert ist, wird angenommen, dass wegen der Kürze der Zeit gesunde Vögel nicht sterben und keine neuen Vögel geboren werden). Hieraus berechnet man die sog. *disease basic reproduction number* R_0, welche als die Anzahl der Sekundärinfektionen definiert ist, die entstehen würden, falls eine einzige infizierte Mücke in dieses krankheitsfreie Equilibrium eingeführt wird. Wenn $R_0<1$, ist das krankheitsfreie Equilibrium stabil. Wenn aber $R_0>1$, dann ist es instabil, es kommt zum Epidemieausbruch.

Für das gegebene Modell kann man

$$R_0 = \sqrt{\frac{ab}{\mu_A} \frac{ac \frac{S_{M0}}{N_{B0}} \left(\frac{k}{k+\mu_A} \right)}{(\mu_V + g)}} \qquad (8)$$

zeigen, wobei S_{M0} und N_{B0} die jeweilige Anzahl der erwachsenen Moskitos und Vögel zu Saisonbeginn darstellt.

Aus diesem Zusammenhang sieht man leicht, dass Moskitokontrolle (z.B. Pestizide) Sinn macht, ein gezieltes Verkleinern der Vogelpopulation aber das genaue Gegenteil bewirkt: Je weniger Vögel, desto größer ist R_0, und die Wahrscheinlichkeit für einen Epidemieausbruch steigt. Mehr noch, mit den entsprechenden Parameterwerten konnten Wonham *et al.* (2004) berechnen, dass im Jahre 2000 eine 40–70 % Reduktion der Moskitopopulation einen West-Nil-Fieber-Ausbruch verhindert hätte. Zukünftige Krankheits-Kontrollstrategien können auch aus diesem und ähnlichen Modellen abgeleitet werden.

Allerdings soll hier auch noch einmal betont werden, dass andere Modelle denkbar sind. Später formulierte Alternativmodelle haben z.B. Wonham *et al.*'s Vorhersagen bezüglich der Moskitokontrolle bestätigt, widersprechen aber bezüglich der Vogelkontrolle (siehe Lewis *et al.* 2005 und Wonham *et al.* 2006). Solche Debatten sind äußerst hilfreich: Sie zeigen, an welchen Stellen unser wissenschaftliches Verständnis noch lückenhaft ist, und helfen so zu entscheiden, was für Daten wir sammeln müssen. Um dann natürlich weiter Modelle zu formulieren … ein iterativer Prozess.

Alles in allem kann man aber ohne weiteres sagen, dass mathematisch-epidemiologische Modelle ein wesentliches Werkzeug in der Krankheitsbekämpfung darstellen. Nicht nur beim West-Nil-Virus, sondern bei so ziemlich allen Krankheiten, die die Menschheit zurzeit beschäftigen.

Mathematik und die Eisbären

Zu guter Letzt noch ein Beispiel aus meiner eigenen Forschung.

Dass Eisbären durch den Klimawandel gefährdet sind, ist allgemein bekannt. Weniger bekannt ist die Tatsache, dass Eisbären in Kanada auch gejagt werden. Diese Jagd pauschal zu verbieten, mag zwar wünschenswert aus der Sicht von Tierschützern sein, ist aber politisch problematisch, da die Bärenjagd sowohl kulturell als auch finanziell eine hohe Bedeutung für die Ureinwohner Kanadas (die Inuit) hat. Dennoch scheint es klar, dass die Jagd eine zusätzliche Bedrohung für Eisbärpopulationen darstellen kann, wenn Jagdquoten zu hoch angesetzt werden.

Aber wie soll man festlegen, wie viele Eisbären geschossen werden dürfen? Können uns mathematische Modelle helfen, diese Entscheidung zu treffen?

Nun, aus langwierigen Feldforschungen kennen wir sowohl Geburten- als auch Sterberaten (die übrigens auch nur mit Hilfe von stochastischen Methoden, sog. *mark-recapture* Modellen, bestimmt werden konnten). Mit diesen Daten lässt sich (ähnlich wie für Schildkröten, Gleichungen (4) und (5)) ein Populationsmodell formulieren, mit welchem wir die gegenwärtige Wachstumsrate λ bestimmen können. Aus dieser wiederum lässt sich eine zulässige Jagdquote ableiten (praktisch in Umkehrung der Fragestellung bei Schildkröten wollen wir nun wissen, wie viele Bären geschossen werden können, so dass $\lambda>1$ weiterhin gewährleistet ist).

Solche vereinfachten Modelle werden zwar gegenwärtig verwendet, um zulässige Jagdquoten zu bestimmen, sind aber problematisch, da nur die Weibchen einer Population betrachtet werden. Es wird quasi implizit vorausgesetzt, dass stets genug Männchen in einer Population vorhanden sind, um alle Weibchen zu befruchten, und dass somit das Populationswachstum ausschließlich durch die Anzahl der Weibchen bestimmt wird. Diese vereinfachende Annahme wiederum basiert darauf, dass Eisbären polygam sind (d.h. ein Männchen paart sich normalerweise mit mehreren Weibchen, so dass wenige Männchen in einer Population genügen sollten, um alle Weibchen zu befruchten). Die logische Konsequenz dieser Annahmen ist eine höhere zulässige Abschussquote, wenn sich die Jagd auf die Männchen konzentriert.

Aber sind diese Annahmen auch gerechtfertigt? Oder ist dies ein Fall, wo ein einfaches Modell wichtige Komponenten der Populationsdynamik vernachlässigt und somit zu falschen Schlüssen kommt?

Schließlich sind mehr als zwei Drittel der geschossenen Tiere männlich, und dementsprechend sind in den meisten kanadischen Populationen nur noch wenige erwachsene Männchen vorhanden. Aber wann ist „wenig" „zu wenig"? Wann ist der Punkt erreicht, an dem die Geburtenraten sinken, weil nicht genug Männchen vorhanden sind, um alle Weibchen zu befruchten (ein sog. *Allee-Effekt*)? Um diese Frage zu beantworten, müssen wir uns mit dem Eisbärenpaarungssystem beschäftigen.

Eisbären paaren sich zwischen Anfang April und Ende Mai. Während dieser Zeit suchen

Männchen aktiv nach Weibchen, indem sie deren Spuren im Schnee verfolgen. Wenn ein Männchen ein Weibchen findet, bilden sie ein Paar, welches ungefähr 2 Wochen zusammenbleibt (vorausgesetzt das Weibchen akzeptiert das Männchen). Anschließend trennt sich das Paar, und das Männchen beginnt seine Suche erneut. Das Problem ist allerdings, dass Eisbären nur in relativ geringen Dichten vorkommen (etwa in der Größenordnung von 1–10 Bären pro 1000 km²), und dass es daher relativ lange dauern kann, bis sich ein Paar findet. Rechnet man nun ein, dass ein Paar etwa 2 Wochen zusammenbleibt und dass die Paarungszeit nur 60 Tage dauert, scheint es klar, dass ein Männchen nur eine begrenzte Zahl von Weibchen finden und befruchten kann – eine Dynamik, die leicht zu einem Allee-Effekt führen kann.

Um nun zu verstehen, wie die Befruchtungswahrscheinlichkeit einzelner Weibchen von der Anzahl der erwachsenen Männchen (m_0) und Weibchen (f_0) in einer Population abhängt, schauen wir uns folgendes Modell für die Paarungsdynamik an (Molnár *et al.* 2008):

$$\text{(9a)} \qquad \underbrace{\frac{dM}{dt}}_{\substack{\text{Dichte der}\\\text{ungepaarten}\\\text{Männchen}}} = -\underbrace{\sigma M F}_{\text{Paarbildung}} + \underbrace{\mu P}_{\text{Paarauflösung}}$$

$$\text{(9b)} \qquad \underbrace{\frac{dF}{dt}}_{\substack{\text{Dichte der}\\\text{unbefruchteten}\\\text{Weibchen}}} = -\underbrace{\sigma M F}_{\text{Paarbildung}}$$

$$\text{(9c)} \qquad \underbrace{\frac{dP}{dt}}_{\substack{\text{Dichte}\\\text{der Paare}}} = \underbrace{\sigma M F}_{\text{Paarbildung}} - \underbrace{\mu P}_{\text{Paarauflösung}}$$

$$\text{(9d)} \qquad \underbrace{\frac{dF^*}{dt}}_{\substack{\text{Dichte der}\\\text{befruchteten}\\\text{Weibchen}}} = \underbrace{\mu P}_{\text{Paarauflösung}}$$

Am Anfang der Paarungszeit sind alle Bären Einzelgänger, und alle Weibchen unbefruchtet, d.h. $M(0) = m_0$, $F(0) = f_0$, $P(0) = 0$, $F^*(0) = 0$. Die Rate, mit der sich Paare bilden, ist (analog zum Lotka-Volterra Räuber-Beute-Modell) durch eine Anwendung der *law of mass action* modelliert. Paare bleiben μ^{-1} Zeiteinheiten zusammen, d.h. sie lösen sich mit Rate μ auf. Am Ende der Paarungszeit T sind dann $1-F(T)/f_0$ Prozent der Weibchen befruchtet. Wie hoch allerdings $1-F(T)/f_0$ ist, hängt von den Anfangsbedingungen m_0 und f_0 sowie den Parameterwerten σ und μ ab.

Wie können wir also dieses Modell nutzen, um Jagdquoten festzulegen, die die Rolle der Männchen in der Reproduktion berücksichtigen?

Nun, zum einen beeinflussen wir m_0 und f_0 direkt durch die Jagd. Würden wir also σ und μ kennen, könnten wir ein erweitertes Populationsmodell formulieren (wie in Gleichungen (4) und (5), nur dass wir jetzt beide Geschlechter berücksichtigen würden), das sowohl geschlechter-spezifische Jagdquoten als auch die Paarungsdynamik und die daraus resultierenden Geburtenraten berücksichtigt.

Wie aber sollen wir σ und μ bestimmen? Direkte Observierung ist aufgrund der Unzugänglichkeit der Arktis praktisch unmöglich.

Stattdessen wollen wir folgenden Datensatz verwenden, der über 5 Jahre hinweg in der Population von Lancaster Sound im Norden Kanadas gesammelt wurde: Während der Paarungssaison flogen Forscher im Hubschrauber jeden Tag durch das Populationsgebiet und zählten, wie viele ungepaarte Männchen, ungepaarte Weibchen sowie Bärenpaare sie sahen. Viele Bären konnten sie auf diese Weise zwar nicht finden (an guten Tagen vielleicht 10–15 Beobachtungen – in einer Population von über 1000 Bären), aber dennoch können durch diese Beobachtungen die Parameter σ und μ geschätzt werden:

Angenommen nämlich, dass an einem Tag t genau $c(t)$ Sichtungen gemacht wurden, und dass alle Sichtungen voneinander unabhängig sind, dann ist die Wahrscheinlichkeit, dass diese $c(t)$ Sichtungen aus genau $m(t)$ ungepaarten Männchen, $f(t)$ ungepaarten Weibchen und $p(t)$ Paaren bestehen (wobei $c(t) = m(t)+f(t)+p(t)$), gegeben durch folgendes multinomiales Wahrscheinlichkeitsmodell:

$$(10)\quad \Pr\big(m(t), f(t), p(t) \,|\, c(t)\big) = \frac{c(t)!}{m(t)!\,f(t)!\,p(t)!}\big(p_M(t)\big)^{m(t)}\big(p_F(t)\big)^{f(t)}\big(p_P(t)\big)^{p(t)}$$

wobei

$$(11a)\quad p_M(t) = \frac{M(t)}{M(t)+F(t)+F^*(t)+P(t)} = \frac{M(t)}{m_0+f_0-P(t)}$$

$$(11b)\quad p_F(t) = \frac{F(t)+F^*(t)}{M(t)+F(t)+F^*(t)+P(t)} = \frac{F(t)+F^*(t)}{m_0+f_0-P(t)}$$

$$(11c)\quad p_P(t) = \frac{P(t)}{M(t)+F(t)+F^*(t)+P(t)} = \frac{P(t)}{m_0+f_0-P(t)}$$

Die Wahrscheinlichkeit für einen bestimmten Datensatz hängt somit über die Gleichungen (10) und (11) von den Parametern σ und μ ab. Diese Parameter können somit durch *Maximum Likelihood* bestimmt werden, nämlich durch Minimierung der folgenden Funktion:

$$(12)\quad -l\left(\sigma,\mu \,|\, m(t_1), f(t_1), p(t_1),\ldots,m(t_n), f(t_n), p(t_n)\right) = -\ln\left(\prod_{i=1}^{n}\Pr\big(m(t_i), f(t_i), p(t_i) \,|\, c(t_i)\big)\right),$$

wobei t_1 und t_n den ersten beziehungsweise letzten Beobachtungstag repräsentieren.

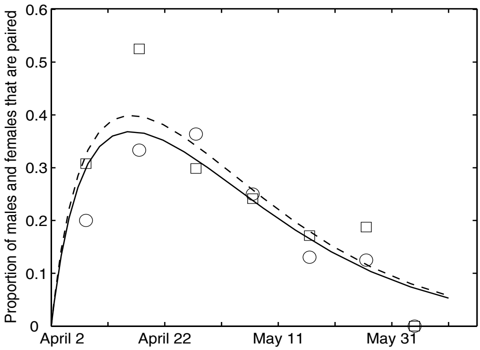


Abbildung 2: Der Prozentsatz der gepaarten Männchen und Weibchen an einem gegebenen Tag während der Paarungszeit in Lancaster Sound, wie vom Modell vorhergesagt (Männchen: durchgezogene Linie; Weibchen: gebrochene Linie) bzw. beobachtet (Männchen: Kreise; Weibchen: Quadrate). Alle Daten wurden hier zur besseren Veranschaulichung in 10-Tages-Intervalle zusammengefasst. Anfangsbedingungen: m_0 = 489 Bären / 238 862 km²; f_0 = 451 Bären / 238 862 km². Modellparameter, geschätzt durch Maximum Likelihood: σ = 2,05 km² h⁻¹, μ⁻¹ = 17,5 Tage. Die Abbildung ist Molnár et al. (2008) entnommen.

Und in der Tat, durch diese Prozedur gelang es uns, nicht nur die Parameter zu schätzen [σ=2,05 km² h⁻¹ (vereinfacht gesagt sucht ein Männchen relativ zur Bewegung der Weibchen im Schnitt 2,05 km² pro Stunde ab); μ^{-1} = 17,5 Tage (d.h. ein Paar bleibt im Schnitt 17,5 Tage zusammen)], sondern auch zu zeigen, dass mit eben diesen Parametern das Eisbärenpaarungssystem hervorragend durch das Modell (9) repräsentiert ist (Abb. 2). Mit anderen Worten, wir haben nun ein valides mechanistisches Modell für die Eisbärenpaarungsdynamik, das wir verwenden können, um uns zu überlegen, was passieren würde, wenn wir die Anfangsbedingungen m_0 und f_0 durch die Jagd manipulieren.

Abbildung 3 zeigt uns die Befruchtungswahrscheinlichkeit einzelner Weibchen ($1-F(T)/f_0$) in Abhängigkeit von eben diesen Anfangsbedingungen, und ein paar Ergebnisse sind auf den ersten Blick offensichtlich:

1. Die Befruchtungswahrscheinlichkeit hängt sowohl von m_0 als auch von f_0 ab (bzw. analog, wie in Abbildung 3 dargestellt, von der Gesamtpopulationsdichte $m_0 + f_0$, und dem Geschlechterverhältnis m_0 / f_0).

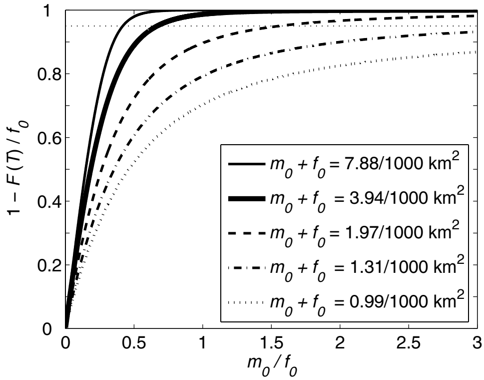


Abbildung 3: Der erwartete Prozentsatz an befruchteten Weibchen, $1-F(T)/f_0$ in Abhängigkeit vom Geschlechterverhältnis m_0/f_0 und der Gesamtpopulationsdichte $m_0 + f_0$. Fünf verschiedene Dichten gezeigt, wobei die beobachtete Dichte in Lancaster Sound (3,94 Bären pro 1000 km²) der dicken durchgezogenen Linie entspricht. Die horizontale gepunktete Linie entspricht einer 95 % Befruchtungswahrscheinlichkeit. Modellparameter sind σ = 2,05 km² h⁻¹, μ⁻¹ = 17,5 Tage. Die Abbildung ist Molnár et al. (2008) entnommen.

2. Wenn es zu wenige Männchen gibt, nimmt die Befruchtungswahrscheinlichkeit rapide und nichtlinear ab.
3. Je geringer die Populationsdichte, desto mehr Männchen werden gebraucht, um hohe Befruchtungsraten zu gewährleisten (im Prinzip, da unter geringeren Dichten Männchen länger brauchen, um Weibchen zu finden).

Für das Populationsmanagement haben diese Schlüsse weitreichende Konsequenzen. Erstens können wir nun Befruchtungswahrscheinlichkeiten vorhersagen und somit Männchen in der Reproduktions- und Populationsdynamik berücksichtigen. Dies erlaubt eine geschlechterspezifische Optimierung der Jagdregulierungen. Zweitens, wir müssen jede Population einzeln managen, da Befruchtungswahrscheinlichkeiten auch von der jeweiligen Populationsdichte abhängen (dies wurde bisher als nicht notwendig erachtet). Und drittens, ein Allee-Effekt kann plötzlich auftreten, falls ein gewisser Grenzwert für m_0/f_0 unterschritten wird. Oberhalb eines solchen Grenzwertes macht es nur einen geringen Unterschied für die Geburtenraten, wie viele Männchen in einer Population leben (in Lancaster Sound z.B. werden Befruchtungswahrscheinlichkeiten von 100 % vorhergesagt für alle Verhältnisse m_0/f_0, die größer als ungefähr 1 sind). Unterhalb dieses Grenzwertes kann es allerdings sehr schnell zu einem sog. *reproductive collapse* kommen – durch die Nichtlinearität hätte dann der Verlust jedes einzelnen Männchens einen unverhältnismäßig hohen Effekt auf die Geburtenraten.

Vor allem Letzteres ist extrem wichtig, da gerne davon ausgegangen wird, dass ein Allee-Effekt in Eisbärenpopulationen unwahrscheinlich ist (aufgrund der Tatsache, dass Eisbären polygam sind, und weil bis heute – trotz einer signifikanten Reduzierung der Männchen in allen kanadischen Populationen – noch nie ein Allee-Effekt beobachtet wurde). Unsere Ergebnisse zeigen aber sehr deutlich, dass ein Allee-Effekt sehr plötzlich auftreten

kann, auch wenn noch nie einer beobachtet worden ist. Und wenn es dazu kommen sollte, ist die Eisbärenpopulation aufgrund der obigen nichtlinearen Beziehungen sehr schnell von einem vollständigen *reproductive collapse* bedroht.

Ja, und dann war da noch der Klimawandel. Allen Wissenschaftlern ist klar, dass der Klimawandel nichts Gutes für die Eisbären verheißt. Geringere Geburtenraten, höhere Sterberaten und Populationsabnahmen werden erwartet. Aber niemand kann zurzeit vorhersagen, wann und in welcher Weise diese Änderungen eintreten werden. Vielleicht können uns mathematische Modelle auch hier weiterhelfen. Wir arbeiten daran.

Literatur

Caswell, H. (2001). Matrix population models: construction, analysis, and interpretation (2nd edn). Sinauer Associates, Sunderland, MA, USA.
Crouse, D.T., Crowder, L.B. & Caswell, H. (1987). A stage-based population model for loggerhead sea turtles and implications for conservation. Ecology 68: 1412–1423.
Lewis, M.A., Renclawowicz, J., van den Driessche, P. & Wonham, M. (2006). A comparison of continuous and discrete-time West Nile virus models. Bulletin of Mathematical Biology 68: 491–509.
Molnár, P.K., Derocher, A.E., Lewis, M.A. & Taylor, M.K. (2008). Modelling the mating system of polar bears: a mechanistic approach to the Allee effect. Proceedings of the Royal Society of London Series B 275: 217–226.
Wonham, M.J., de-Camino-Beck, T. & Lewis, M.A. (2004). An epidemiological model for West Nile Virus: invasion, analysis and control applications. Proceedings of the Royal Society of London Series B 271: 501–507.
Wonham, M.J., Lewis, M.A., Renclawowicz, J. & van den Driessche, P. (2006). Transmission assumptions generate conflicting predictions in host-vector disease models: a case study in West Nile virus. Ecology Letters 9: 706–725.