

FORSCHUNGS FORUM PADERBORN



UNIVERSITÄT PADERBORN
Die Universität der Informationsgesellschaft

16-2013



WISSENSCHAFTSMAGAZIN

Zukunftsprojekt Erde

Energiewende mit Sonnenstrom

Kulturgeschichte des Basketballs

Mathematik und Meeresströmungen

Sport und psychische Gesundheit

Dicke Luft in Charlottenburg



UNIVERSITÄT PADERBORN
Die Universität der Informationsgesellschaft

**ERFOLGREICH MIT DEM SPITZENCLUSTER
INTELLIGENTE TECHNISCHE SYSTEME
DER FRAUNHOFER-PROJEKTGRUPPE
ENTWURFSTECHNIK MECHATRONIK
UND MEHREREN SONDERFORSCHUNGSBEREICHEN DER DFG**



KULTURWISSENSCHAFTEN | WIRTSCHAFTSWISSENSCHAFTEN



NATURWISSENSCHAFTEN | MASCHINENBAU



ELEKTROTECHNIK – INFORMATIK – MATHEMATIK



**DIE CAMPUS-UNI
MITTEN IN EUROPA**
WWW.UNI-PADERBORN.DE



Foto: Patrick Klebold

FÜNF FAKULTÄTEN



Ramona Wiesner
Leiterin des Referats Hochschul-
marketing und Universitätszeitschrift

EDITORIAL

Liebe Leserinnen und Leser,

wie muss eine Gesellschaft sein, die sozial, ökonomisch und ökologisch nachhaltig ist, um die Erde für kommende Generationen zu bewahren? Mit dieser topaktuellen Frage befasste sich das Wissenschaftsjahr unter dem Motto „ZUKUNFTS-PROJEKT ERDE“.

In unserem ForschungsForum setzt sich Prof. Stefan Krauter mit dem Thema Energiewende durch Sonnenstrom auseinander. Ambitioniertes Ziel seiner Forschungstätigkeit: Die Erträge bei Photovoltaik (PV) besser zu planen, zu erhöhen und damit Finanzierungsrisiken zu minimieren. Neben theoretischen Untersuchungen durch aufwändige Simulationen steht die praktische Überprüfung im Vordergrund. Dazu nutzt das Team ein Outdoor-PV-Labor auf dem Dach der Universität und konstruiert einen neuartigen LED-Sonnensimulator. Lesen Sie mehr zu diesem hochaktuellen Thema ab Seite 38.

Wie die Sonne und andere Himmelskörper im Inneren aufgebaut sind, ist immer noch eines der ungelösten Rätsel der Wissenschaft. Doch die Forschung von Prof. Andrea Walther könnte das Geheimnis lüften. Denn die Mathematikerin arbeitet daran, den inneren Aufbau von Gegenständen zerstörungsfrei zu rekonstruieren. Welche mathematischen Methoden und aufwändigen Computersimulationen dafür notwendig sind, erfahren Sie ab Seite 46.

Mathematische Verfahren können jedoch nicht nur Himmelskörper analysieren, sondern auch helfen, unsere Weltmeere zu erkunden. Meeres-

strömungen und Wasserwirbel stehen im Zentrum der Forschungen von Prof. Michael Dellnitz. Am Lehrstuhl für Angewandte Mathematik analysiert man am Beispiel der Agulhas-Ringe die Transportprozesse der Weltmeere mathematisch und simuliert am Computer die Bewegung der Wassermassen. Ab Seite 26 berichten wir, wie die Paderborner Forschergruppe gemeinsam mit Mathematikern und Ozeanographen der University of New South Wales in Sydney die Umwälzzirkulation im Ozean erkundet.

Nicht nur Mathematiker setzen sich mit der Erforschung der Umwelt auseinander, sondern auch Historiker. Prof. Peter E. Fäßler befasst sich mit dem relativ jungen Forschungsfeld „Umweltgeschichte“. In seinem Beitrag ab Seite 14 präsentiert er einen Umweltkonflikt um 1900 am Beispiel der Firma Gesco. Er untersucht, wie unterschiedlich erfolgreich sich die Bürger in Berlin Charlottenburg und Lichtenberg gegen den Ausstoß großer Mengen an Ruß, Schwefel und Stickoxiden gewehrt haben.

Die Umwelt heute und morgen zu schonen ist erklärtes Ziel der Forschung von Prof. Gregor Engels. Er nutzt die Informationstechnik, um modellbasierte Verfahren zu entwickeln, mit denen die Industrie wertvolle Ressourcen sparen kann. Am Beispiel von Elektromobilität und Cloud Computing erklärt er ab Seite 54 wie virtuelle Prototypen helfen, ressourcenschonend neue Produkte zu entwickeln.

Eine interessante Lektüre wünscht

Ihre Ramona Wiesner

Seite 6

Amerika auf dem Weg zum Korb
Die Kulturgeschichte des Basketballs
Prof. Dr. phil. Christoph Ribbat



Seite 14

Dicke Luft in Charlottenburg und Lichtenberg
Umweltgeschichte und historische
Umweltkonfliktforschung um 1900
Prof. Dr. rer. nat. et phil. habil. Peter E. Fäßler



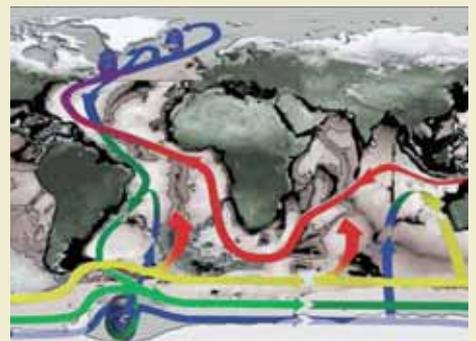
Seite 20

ContainerRailCab
Die Alternative zum LKW-Transport im Hamburger Hafen
Prof. Dr.-Ing. habil. Ansgar Trächtler,
Dr.-Ing. Franz-Barthold Gockel,
Dipl.-Math. Carsten Rustemeier



Seite 26

Mit Mathematik die Weltmeere erkunden
Von Gummi-Enten und Meeresströmungen
Prof. Dr. rer. nat. Michael Dellnitz,
Dipl.-Math. Christian Horenkamp



Seite 30

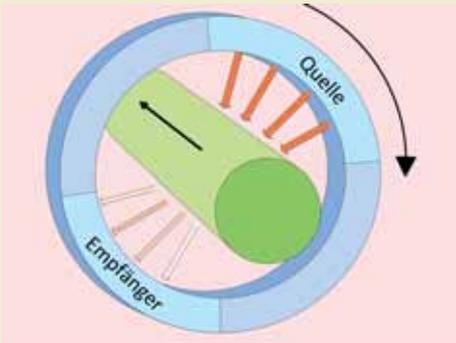
Sport und psychische Gesundheit
Sport- und Bewegungstherapie mit depressiven Patienten
Prof. Dr. Matthias Weigelt,
Dipl. Sportwiss. Andre Berwinkel





Energiewende mit Sonnenstrom
 Herausforderungen – Kosten, Ertrag, Netz- und
 Verbrauchsanpassung
Prof. Dr.-Ing. Stefan Krauter

Seite 38



Über die Lösung riesiger Streuprobleme
 Wie kann man zerstörungsfrei den inneren Aufbau eines
 Gegenstandes rekonstruieren?
Prof. Dr. rer. nat. Andrea Walther

Seite 46



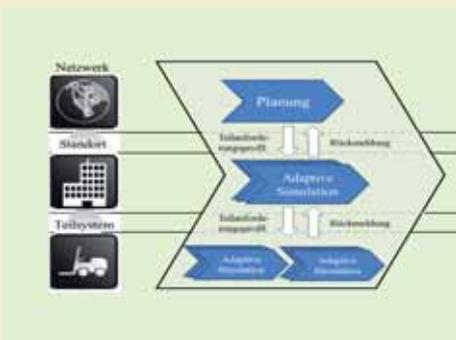
Informationstechnik spart Ressourcen
 Industriennahe Informatik-Labore setzen auf Modelle
Prof. Dr. rer. nat. Gregor Engels, Dr. Christian Gerth,
Dr. Bernd Kleinjohann, Dr. Lisa Kleinjohann,
Dr. Wolfgang Müller, Dr. Stefan Sauer

Seite 54



Widerstand gegen fremde Herrscher
 Fremdenhass und Gewalt im späteren Mittelalter
Prof. Dr. Hermann Kamp,
Dr. Katrin Beyer,
Dr. des. Lukas Wolfinger

Seite 62



Aus Simulationen lernen
 Wissensbasiert steuern
Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Dangelmaier,
M. Sc. Alexander Klaas,
Dr. Christoph Laroque

Seite 70

IMPRESSUM

Herausgeber
Prof. Dr. Nikolaus Risch
Präsident der Universität Paderborn

Konzeption und Redaktion
Ramona Wiesner
Leiterin des Referats Hochschulmarketing
und Universitätszeitschrift
Warburger Str. 100, 33098 Paderborn
05251 60-2553, -3880
wiesner@zv.uni-paderborn.de
www.uni-paderborn.de/hochschulmarketing

ForschungsForum Paderborn (ffp) im Internet
www.uni-paderborn.de/ffp

Wissenschaftlicher Beirat
Prof. Dr. techn. Gitta Domik
Prof. Dr. rer. nat. Sybille Hellebrand
Prof. Dr. Hermann Kamp
Prof. Dr. rer. nat. Wilhelm Schäfer
Prof. Dr. Nancy V. Wunderlich
Prof. Dr. rer. nat. Artur Zrenner

Grafik-Design
PADA-Werbeagentur
Heierswall 2
33098 Paderborn
05251 527577

Drucklegung
Februar 2013

Auflage
5 000

ISSN (Print) 1435-3709

TITEL

Ein Traum wird wahr: Photovoltaische Energieversorgung – nachhaltiger Strom durch die direkte Umwandlung von Sonnenlicht in Elektrizität – ist nicht mehr nur eine akademische Spielerei, sondern wird ein wichtiger Bestandteil der globalen Energiewende. Zwischenzeitlich befinden sich weltweit 100 GW photovoltaische Nennleistung am Netz, in den meisten Ländern kann Solarstrom preiswerter als der Haushaltsstromtarif erzeugt werden. Die Herausforderungen liegen nun darin, die Infrastruktur entsprechend darauf vorzubereiten, den Verbrauch an das aktuelle Vorhandensein regenerativer Leistung im Netzen interaktiv anpassbar zu gestalten sowie ein attraktives Markt-design zu schaffen, um dies effektiv und breit umzusetzen. Mehr über die Energiewende mit Sonnenstrom lesen Sie ab Seite 38.



Quelle: Wodicka



Prof. Dr. rer. nat. Wilhelm Schäfer

VORWORT

Liebe Leserinnen und Leser,

der Titel des Wissenschaftsjahres 2012 „Zukunftsprojekt Erde“ ist wohl das umfassendste Motto aller Wissenschaftsjahre. Alle bisherigen Themen können nur dann funktionieren, wenn die Erde uns auch in Zukunft in bewohnbarer Qualität erhalten bleibt. Dies ist die Aufgabe aller Menschen und Generationen. Die Bereiche, auf die im Wissenschaftsjahr 2012 besonderer Wert gelegt wird, sind: nachhaltiger Konsum, Finanzwirtschaft, Klima, Rohstoffe, Energie und Biodiversität. Für eine stabile Zukunft bedarf es Innovationen – ein Schlüsselbegriff innerhalb der Wissenschaft.

Die Themen aller vergangenen Wissenschaftsjahre befassen sich mit einem Teilbereich der Wissenschaft – jedes Thema bedeutet ein Puzzlestück in der Forschung, das zur globalen Zukunft der Erde beitragen kann. Das Jahr 2012 steht für die Bündelung aller Wissenschaftsbereiche, um die Nachhaltigkeit von Innovationen zu gewährleisten. Das „Zukunftsprojekt Erde“ zeigt die Wirksamkeit wissenschaftlicher Arbeit für die Nachhaltigkeit. Dabei ist die moderne Nachhaltigkeitsforschung insbesondere durch eine stärkere Verzahnung von verschiedensten Wissenschaftsdisziplinen gekennzeichnet. Eine solche Verzahnung ist auch im Leitbild der Universität Paderborn verankert. Viele der Beiträge des aktuellen ForschungsForums basieren auf interdisziplinären Forschungsergebnissen. So forschen im RailCab-Projekt Wissenschaftler und Studierende von insgesamt sieben Lehrstühlen, darunter Maschinenbauer und Elektrotechniker, Wirtschaftswissenschaftler und Informatiker, um ein innovatives hochgradig energieeffizientes Verkehrssystem für die „Mobilität der Zukunft“ zu entwickeln. Ein System, das bei anderen Herausforderungen z. B. im Einsatz von fahrerlosen Transportfahrzeugen in der Logistik denkbar ist.

Als Quintessenz geht es doch letztendlich um die Nutzung von Erkenntnissen der verschiedensten Wissenschaftsdisziplinen und ihre Umsetzung in der Gesellschaft, damit das Bewusstsein und so auch nachhaltig die Einstellungen im Umgang mit Energie, der Gesundheit, der Ressourcennutzung oder dem Klima positiv beeinflusst werden.

Dem Wissenschaftsjahr 2012 sind in diesem ForschungsForum viele interessante und innovative wissenschaftliche Beiträge gewidmet. Mit innovativer Forschung über Fachgrenzen und Disziplinen hinaus strebt das „Zukunftsprojekt Erde“ hoffentlich eine positive Zwischenbilanz an. Einen Projektabschluss wird es sicherlich nie geben – Die Zukunft der Erde ist ein Endlosprojekt über Generationen, das immer wieder neue Herausforderungen an die Forschung stellen wird.

In diesem Sinne wünsche ich allen Leserinnen und Lesern mit dem aktuellen ForschungsForum eine spannende Lektüre, die hoffentlich neugierig auf die wissenschaftlichen Themen unserer Zeit macht.

*Wilhelm Schäfer
Vizepräsident für Forschung und wissenschaftlichen Nachwuchs*

Amerika auf dem Weg zum Korb

Die Kulturgeschichte des Basketballs

Von Christoph Ribbat



Prof. Dr. phil. Christoph Ribbat ist seit 2007 Hochschullehrer für Amerikanistik an der Universität Paderborn. Zu seinen Forschungsschwerpunkten zählen die Kulturgeschichte, die Bildkultur und die Gegenwartsliteratur der Vereinigten Staaten. Im Herbst 2013 erscheint sein neues Buch, das die Kulturgeschichte des Basketballs erzählt.

Erst war der Basketball nur die Leibesübung einiger christlicher junger Männer in Massachusetts. Dann wurde er zu einem in der ganzen Welt verfolgten Spektakel – und dem deutschen Publikum ist er durch Dirk Nowitzkis NBA-Erfolge noch ein Stück näher gerückt. Den 122 Jahre alten Sport und die von ihm produzierten Geschichten, Bilder und Ereignisse untersucht ein Forschungsprojekt am Institut für Anglistik/Amerikanistik – und schließt aus ihnen auf die Entwicklung amerikanischer Kultur und Identität.



Foto: Köppelmann

Der extraterrestrische Korbjäger

Noch hing der Korb, wie es die Regeln vorschreiben: fest an einer Fiberglasscheibe installiert, genau drei Meter und fünf Zentimeter über dem Spielfeld der Kansas City Kings. Noch. Denn es drohte Ungemach. Heute, am 13. November 1979, fand ein nur scheinbar normales Basketballspiel der Profiliga NBA statt. Es gastierten die Philadelphia 76ers in der Stadt und mit ihnen Darryl Dawkins. Dieser zeichnete sich durch seine extraordinary Sprungkraft ebenso aus wie durch einige andere Details. Seinen bürgerlichen Namen lehnte er ab. Er nannte sich „Chocolate Thunder“. Im zivilen Leben trug er mit Vorliebe eidechsen grüne Anzüge und Schuhe in der gleichen Farbe. Und er verbreitete die biografische Information über sich, dass er vom Planeten „Lovetron“ stamme.

All das änderte noch nichts an der Korbaufhängung von Kansas City. Dann aber hob Dawkins ab. Sein Gegenspieler Bill Robinzine stand im Weg. Doch „Chocolate Thunder“ ließ sich nicht aufhalten und flog – zwar nicht gen Lovetron, sondern in Richtung Korb – und stopfte den Basketball mit einer solchen Gewalt durch den Ring, dass dessen Rückwand in Tausende von Splittern zerbarst. Das Spiel wurde unterbrochen. Bill Robinzine wurde auf mögliche Verletzungen untersucht. Einer von Dawkins' Mitspielern rannte eilig in die Umkleidekabine, um einen Fotoapparat zu organisieren. Er war, wie auch der Verursacher selbst, davon überzeugt, einen historischen Moment des Sports erlebt zu haben. Um dies zu unterstreichen,

Abb. 1: Auf dem Weg, das deutsche Publikum für eine amerikanische Sportart zu begeistern: Dirk Nowitzki, (links), Dallas Mavericks, hier bei einem Basketball-Länderspiel.



Foto: Corbis

Abb. 2: Kansas City, 1979: Die Folgen des „If You Ain't Groovin' Best Get Movin' – Chocolate Thunder Flyin' Robinzine Cryin' – Teeth Shakin' – Glass Breakin' – Rump Roastin' – Bun Toastin' – Glass Still Flyin' – Wham Bam I Am Jam“.



Foto: Corbis

Abb. 3: Der oberste Basketball-Enthusiast der Nation: Barack Obama als Zuschauer bei einem Spiel einer amerikanischen College-Liga.

ersann „Chocolate Thunder“ einen umfangreichen Namen, mit dem sein zerstörerischer Dunk in die Geschichte eingehen sollte. Er taufte ihn den „If You Ain't Groovin' Best Get Movin' – Chocolate Thunder Flyin' Robinzine Cryin' – Teeth Shakin' – Glass Breakin' – Rump Roastin' – Bun Toastin' – Glass Still Flyin' – Wham Bam I Am Jam“.

Dawkins' Dunk und Amerikas Geschichte

Dies war zweifellos ein recht gelungener Titel. Aber nüchtern betrachtet qualifiziert sich Dawkins' Dunk schwerlich als Ereignis von historischer Bedeutung. Es kollidierten an diesem Abend lediglich ein offensichtlich recht athletischer junger Mann und ein ebenso offensichtlich falsch konstruiertes Sportgerät. (Bald nach Dawkins' Meisterstück ließ die NBA Dunk-resistente Körbe in den Sporthallen installieren.) Wer sich für die amerikanische Geschichte jener Epoche interessiert, wird sich eher mit der tiefen innen- und außenpolitischen Krisenstimmung dieser Jahre befassen, mit dem bevorstehenden Ende der nicht sehr erfolgreichen Präsidentschaft Jimmy Carters und dem Beginn der Reagan-Ära, in der die Vereinigten Staaten deutlich nach rechts rückten. Für Sportwissenschaftler wären möglicherweise Dawkins' Sprungkraft und Dynamik relevant – weniger aber jene Glassplitter auf dem Sporthal-

lenboden und erst recht nicht die folgenden Prahlerien.

Die amerikanistische Kulturwissenschaft allerdings kann mit dem „Wham Bam I Am Jam“ durchaus etwas anfangen. Das Fach befasst sich seit den 1950er-Jahren mit den Beziehungen zwischen Literatur, Geschichte und populärer Kultur. Und Amerikanisten erkunden besonders gern Aspekte, die Europäer eher befremden: den scheinbar nicht zu brechenden amerikanischen Optimismus, den ausgeprägten Individualismus, die dynamische Popkultur, die Phänomene wie Darryl Dawkins' Dunk hervorbringt. Äußerst komplexe Fragen wirft zudem die Tatsache auf, dass eine faszinierende Demokratie wie die der Vereinigten Staaten 1776 in einer elegant formulierten Unabhängigkeitserklärung allen Menschen das „Streben nach Glück“ versprach, in den ersten 87 Jahren ihres Bestehens aber Millionen von Sklaven von diesem Streben ausschloss und Afroamerikaner noch Jahrzehnte nach der offiziellen Sklavenbefreiung mit einem ausgeklügelten System der Rassentrennung diskriminierte. Barack Obamas Präsidentschaft mag ein neues Kapitel in dieser Geschichte aufschlagen. Aber das Verhältnis von Schwarz und Weiß zu ergründen gehört nach wie vor zu jeder tieferen Analyse amerikanischer Kultur.

Darryl Dawkins' Selbsterfindung als extraterrestri-



Foto: Köppelmann

Allerdings war Darryl Dawkins nicht der erste NBA-Profi, der das Spielgerät per Dunk in die Reuse beförderte. Schon 1936 hatte ein Reporter der *New York Times* eine neue Spielergeneration beobachtet, die den Ball von oben in den Korb steckte, „like a cafeteria customer dunking a roll in coffee“. Auch war Dawkins nicht der erste Athlet, dessen Eloquenz seine Zeitgenossen beeindruckte. Immer wieder lassen sich auf und am Basketballfeld Phänomene und Konfrontationen beobachten, die direkt mit zentralen Fragen der amerikanischen Politik und Gesellschaft zu tun haben. So schwer es angesichts des charismatischen Manns aus Lovetron auch fällt: Es ergibt Sinn, sich nicht zu ausgiebig mit Darryl Dawkins bzw. „Chocolate Thunder“ zu befassen, sondern die Perspektive auf die breitere Kulturgeschichte des Basketballs zu öffnen.

Unter Körben wird das Verhältnis von Individuum und Gemeinschaft auf besonders prägnante Weise verhandelt. An diesen Diskussionen nehmen nicht nur Intellektuelle oder politische Entscheidungsträger teil, sondern Mitglieder aller sozialen und kulturellen Schichten. Die Geschichte des Basketballs ist also auch eine breite Geschichte amerikanischer Selbstdefinitionen, die das Spektrum historischer Quellen erweitert. Und sie führt zurück bis ins späte 19. Jahrhundert.

Der Sport der muskulösen Christen

Akademiker mag es erfreuen, dass der Basketball an einer Hochschule erfunden wurde. James Naismith war 1891 Mitglied des Lehrkörpers einer Bildungseinrichtung des Christlichen Vereins Junger Männer in Springfield, Massachusetts. Dort entwickelte er ein neues Hallen-Mannschaftsspiel, um die langen Winter des amerikanischen Nordostens aufregender zu gestalten. Explizit sollte das Spiel auch christliche Tugenden vermitteln. Das „muskuläre Christentum“ war eine weit verbreitete Idee in der angloamerikanischen Kultur des späten 19. Jahrhunderts. Christen sollten nicht verweichlicht sein, sondern athletisch, weil die moderne Welt sie vor besonders große Herausforderungen stellte. Dies zumindest verkündeten Theologen und Politiker. Der Vater des Basketballs gab den Spielenden diverse moralische Werte mit auf den Weg. Nach Naismith sollten in erster Linie Nächstenliebe und Selbstlosigkeit auf dem Feld praktiziert werden. Noch heute erinnern sich Basketballenthusiasten besonders gern an solche Athleten, die sich nicht selbst in den Vordergrund stellten, sondern stets den besser postierten Spieler sahen.

Doch es wäre zu einfach, den Sport als eine Leibesübung tugendhafter christlicher Studierender zu beschreiben, die später von Dunkern wie Darryl Dawkins gekapert und in spektakuläres

Abb. 4: Ingenieurskunst ermöglicht Dunks ohne Scherben. Nach der Ära von „Chocolate Thunder“ wurden Basketballanlagen deutlich widerstandsfähiger.

schon Basketballstar und seine Begeisterung von der eigenen sportlichen Leistung sind charakteristische Beispiele für den so optimistischen wie individualistischen amerikanischen Geist. Der Name des Dunks von Kansas City erinnert an die Rhythmen und das Vokabular des Hip Hop – 1979, zu Zeiten des „If You Ain't Groovin Best Get Movin'“, noch ein innovatives Genre, für das Darryl Dawkins offensichtlich nicht nur Interesse, sondern auch Talent hatte. Wer sich für die afroamerikanische Kultur der 1970er-Jahre interessiert, kommt an Figuren wie Darryl Dawkins kaum vorbei. Sie machen deutlich, dass die Bürgerrechtsbewegung nicht nur politische Visionen hervorbrachte, sondern auch eine extrem selbstbewusste schwarze Popkultur. „Wham Bam I Am Jam“: Das klingt eher nach Comic als nach großer Literatur, aber die Einforderung von Respekt („Wham Bam“) und die Betonung von Präsenz („I Am“) lesen sich vor dem Hintergrund afroamerikanischer Geschichte auch als bewusst angelegte rhetorische Provokationen.



Abb. 5: Ein Ensemble zwischen Sport und Zirkus, das die Vereinigten Staaten in Arenen weltweit repräsentierte: die Harlem Globetrotters.



Abb. 6: Die vertikale Sportart: James Naismith, Erfinder des Basketballs, beim Outdoor-Training mit Athletinnen.

Fotos: Corbis

Entertainment verwandelt wurde. Tatsächlich galt der Basketball schon in seiner unmittelbaren Frühzeit als Unterhaltungsmedium. Wenige Jahre nach der Entwicklung des Spiels tingelten Profimannschaften durch Großstadttheater und Kleinstadttheaterebenen, um ihre Künste vorzuführen. Besonders attraktiv waren die Teams, die ethnische Minderheiten repräsentierten. Auf den Basketballfeldern des frühen 20. Jahrhunderts waren „Olsons Terrible Swedes“ ebenso zu bewundern wie die „Buffalo Germans“, jüdische Spieler bei den „South Philadelphia Hebrew All Stars“, Afroamerikaner in der „New York Renaissance“, Polen bei den „Detroit Pulaskis“, chinesische Amerikaner bei den „Hong Wah Kues“ aus San Francisco. Auch Teams mit ausschließlich bärtigen und ausschließlich rothaarigen Mitgliedern waren aktiv. Das afroamerikanische Damenteam der „Philadelphia Tribunes“ versprach in den 1930er-Jahren „Girls! Beautiful Girls! And How They Can Play!“ Die „Tribunes“ trugen riskant geschnittene Trikots; nach ihren Partien spielte, wie nach so vielen Basketballspektakeln des frühen 20. Jahrhunderts, ein Orchester zum Tanz auf. Noch verkündete

ten Athleten nicht, von anderen Planeten zu stammen. Aber die „Harlem Globetrotters“, in den 1920er-Jahren gegründet, reisten mit einer ähnlich selbstfabrizierten Identität umher. Keines der ursprünglichen Teammitglieder stammte aus Harlem. Die Combo war in Chicago gegründet worden. Keiner von ihnen hatte je die Welt bereist. Tatsächlich führten ihre Wege zuerst nur in die Kleinstädte des Mittleren Westens. Der Basketball war stets ein Spiel des Showeffekts. Schließlich aber begannen die Globetrotters, tatsächlich zu „globetrotten“. 1951 etwa trat das komplett afroamerikanische Team vor 75 000 deutschen Zuschauern in Berlin auf. Zuvor hatte ein Reporter des vermeintlich liberalen *Spiegel* die Mannschaft mit rassistischen Beleidigungen überhäuft (dass er die Spieler als „gorillaarmig“ beschrieb, war einer der harmloseren Ausdrücke). Dennoch lässt sich dieses kulturelle Ereignis als Teil des deutschen Modernisierungsprozesses beschreiben. Die Globetrotters boten nicht nur Komödie und nicht nur Slapstick, sondern technisch ausgereiften, faszinierenden Basketball. Und diesen zelebrierten sie vor einem Publikum,



Foto: Köppelmann

Abb. 7: Jason Adams aus dem Bundesstaat Missouri, Profi der Paderborn Baskets. Die internationalen Karrieren von US-Talenten gehören zentral zur Geschichte des Sports.

das noch sechs Jahre zuvor Nazimythen von der arischen Herrenrasse konsumiert hatte. Mehr noch als in Europa ist die Geschichte des amerikanischen Basketballs eng mit entscheidenden politischen Fragen verknüpft. Diese betreffen besonders Bürgerrechte und soziale Gerechtigkeit. Bis in die 1960er-Jahre hinein hatten zahllose nicht-weiße Athleten Rassendiskriminierung konkret während ihrer Tournées erfahren müssen. In Hotels wurden die Teams oftmals abgewiesen, in Restaurants nicht bedient. Allerdings wirkten Sportler auch in der Protestbewegung mit, die genau diese Praktiken für immer beendete. Der Afroamerikaner Bill Russell, einer der besten Basketballer der frühen 1960er-Jahre, wies in Interviews und Autobiografien immer wieder auf

soziale und politische Missstände hin – und machte sich damit bei weißen Fans auf couragierte Weise unbeliebt. Der Collegespieler Lew Alcindor, später unter seinem islamischen Namen Kareem Abdul-Jabbar bekannt, boykottierte 1968 die Teilnahme an den Olympischen Spielen, um sich mit der schwarzen Bürgerrechtsbewegung zu solidarisieren. Statt sportlich aktiv zu sein, verbrachte er den Olympiasommer in armen Stadtteilen New York Citys und gab Basketballunterricht. Als der schwarze Jugendliche Trayvon Martin Ende Februar 2012 Opfer einer vermutlich rassistisch motivierten Gewalttat wurde, solidarisierten sich diverse NBA-Profis öffentlich mit dem Opfer und seiner Familie. Auch die oft als materialistische Egozentriker verschrienen Profis des 21. Jahrhunderts scheinen durchaus sensibel für die Notwendigkeit symbolischer Politik.

Wie Amerika vom Basketball erzählt

Spätestens seit der Ära Michael Jordans in den 1980er- und 1990er-Jahren gehört Basketball – mit dem Baseball und dem Football – zu den drei beliebtesten Sportarten in den Vereinigten Staaten. Das bedeutet, dass sich Gespräche auf der Straße und in Shopping Malls, in Kirchen und Bars, Moscheen und Synagogen, in sozialen Netzwerken und Frisörsalons, ständig um Spieler, Trainer und Ergebnisse drehen. In diesen Gesprächen handeln Amerikaner aus, was sportlicher Erfolg für sie bedeutet, welche Bilder von Männlichkeit und Weiblichkeit ihnen wichtig sind, mit welchen Teams und Gemeinschaften sie sich identifizieren. Sie sprechen über Basketball und damit über sich selbst. Diese kollektiv geführte Konversation bringt es allerdings auch mit sich, dass sich eine immer schneller drehende Medienmaschinerie mit dem Basketball befasst. Jedes Detail des Sports, so scheint es, wird in Konsumartikel oder konsumierbare Nachrichten verwandelt. Für Kritiker der Kulturindustrie hält der Basketballzirkus daher einiges an Munition bereit. Ihrer Ansicht nach hat die NBA im Verbund mit Sportartikel- und Medienkonzernen ein global wirksames Spektakel erschaffen, das Fans zu passiven Endverbrauchern degradiert.

Doch der Basketball hat nicht nur bewegte Bilder disneyfizzierter Superhelden hervorgebracht, sondern auch eine Reihe von kulturellen Texten, die sich auf sehr ernsthafte Art mit dem Spiel auseinandersetzen. *Life on the Run*, das autobiografische Buch des ehemaligen Profi-Basketballers und späteren Präsidentschaftskandidaten Bill Bradley, beschreibt das Leben eines NBA-Stars äußerst nuancenreich und mit einem sehr sensiblen Blick für das Verhältnis von Schwarz und Weiß. Die Macher von *Hoop Dreams*, einem der bedeutendsten amerikanischen Dokumentarfilme,

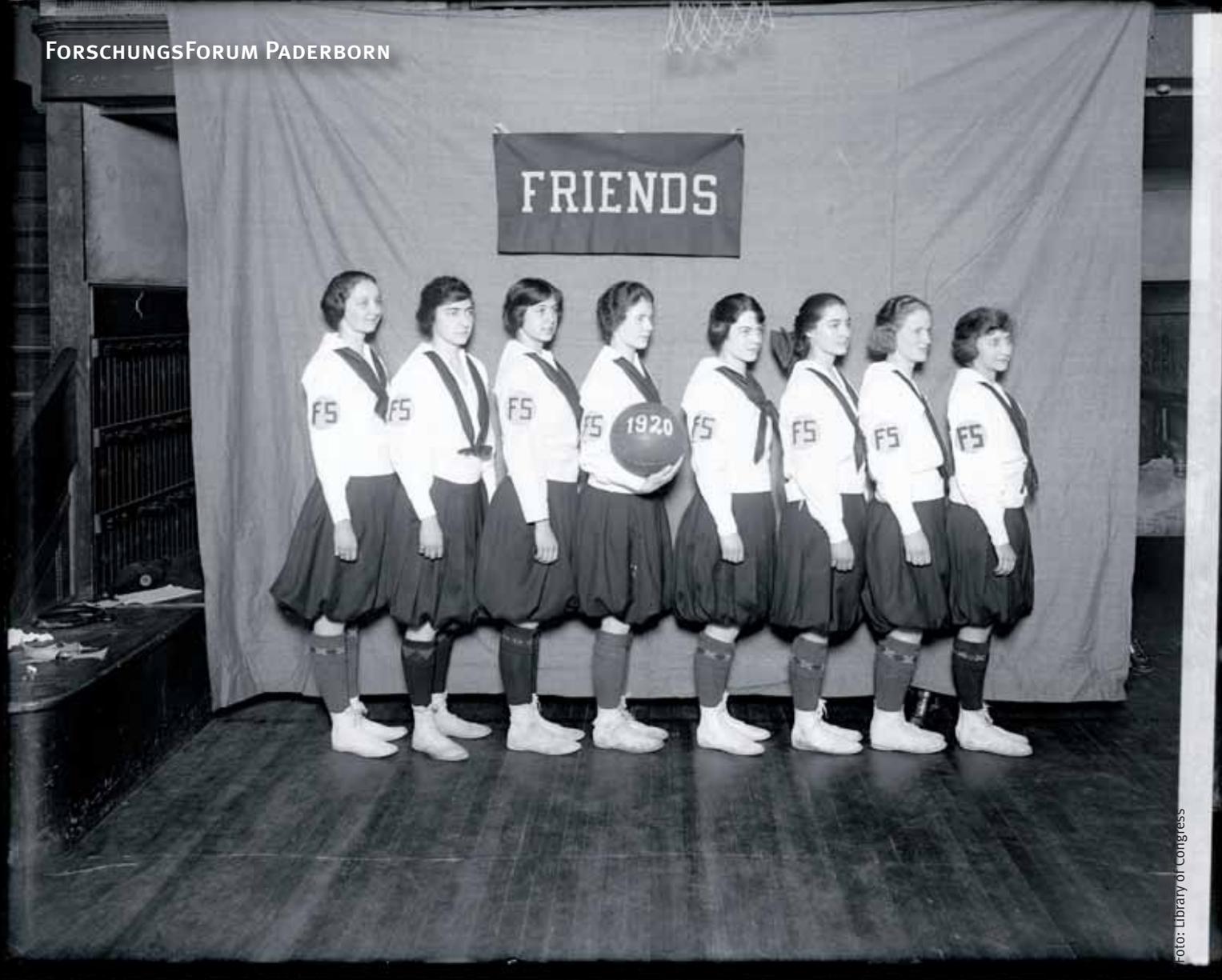


Foto: Library of Congress

Abb. 8: Die Wertschätzung des Teamgeists bestimmte den Basketball von Anfang an – wie bei dieser amerikanischen Damenmannschaft aus dem Jahre 1920. Bald aber sollte exaltierter Individualismus genauso bedeutend werden.

begleiteten zwei afroamerikanische Basketballtalente über Jahre hinweg und kamen am Ende zu dem Resümee, dass der Sport die Leben der beiden jungen Männer eher zerstörte als sie zu bereichern. Zahlreiche Journalisten haben sich in den letzten Jahrzehnten über den Basketball sozialen Krisengebieten der Vereinigten Staaten genähert. Sie berichten von Spielfeldern an den Straßenecken von Brooklyn und von Trainingseinheiten in den indianischen Reservaten des Westens. In diesen Reportagen entsteht ein Bild des Sports, der nichts mit monumentalen Superhelden zu tun hat. Sie zeigen ein Spiel, das es Amerikanern aller sozialen Schichten ermöglicht, mit- und nicht gegeneinander zu spielen, Gemeinschaften zu formen, den Geist der Fairness auch in harten Zeiten zu respektieren.

Es scheint sich hier um eine indirekte Form des Kultursponsorings zu handeln. Weil die Attraktivität des Sports Medien- und Leserinteresse garantiert, werden in seinem Dunstkreis komplexe, kritische Geschichten über soziale Realitäten erzählt, die ohne Basketball-Bezug vielleicht gar nicht entstehen bzw. veröffentlicht würden. Und auch

die Politik profitiert von der Macht der einstigen YMCA-Leibesübung. Barack Obama, ein begeisterter, wenn auch nicht enorm talentierter Basketballer, bezieht sich in öffentlichen Äußerungen gern auf das Spiel. Selbst wenn Obama das Zusammenwirken beschreibt, mit dem US-Elitesoldaten Osama bin Laden vom Leben in den Tod beförderten, scheint es, als würde er eine funktionierende Basketballmannschaft porträtieren. Auch innenpolitisch gilt das Mannschaftsspiel dem demokratischen Politiker als die richtige Metapher, um exzessiven Individualismus zu kritisieren und Amerikaner zu neuen Formen des kollektiven Zusammenspiels zu ermutigen. Der Wunsch der muskulösen Christen scheint in Erfüllung zu gehen: Das von ihnen ersonnene Spiel wird nach wie vor mit moralischen Werten assoziiert.

Die Neuerfindung des Sprungwunders

Vor dem Hintergrund dieser Diskussionen muss möglicherweise auch Darryl Dawkins' zerstörerischer Korberfolg von Kansas City neu bewertet werden. Denn natürlich handelt es sich bei diesem Dunk eher um ein egozentrisches Ritual der Domi-



Foto: Köppelmann

Abb. 9: Über die Spannung des Zweikampfs geht die Kulturgeschichte des Basketballs hinaus. Sie untersucht, wie die Ereignisse auf dem Spielfeld mit größeren sozialen und politischen Zusammenhängen verknüpft sind.

nanz als um einen Ausdruck von Fairness und Teamgeist. Im zuerst von Dawkins und dann von Michael Jordan geprägten späten 20. Jahrhundert machte das gewaltige Einstopfen des Balls das Basketball-Publikum noch sprachlos. Nun aber beklagen viele Experten, dass es zur Verrohung des Spiels beitrüge. Hatten Basketballteams früherer Epochen das Teamspiel perfektioniert – mit atemberaubend schnellen Pässen, mit sensationellen Schnellangriffen, mit kollektiven Automatismen – scheint das gesamte System Basketball heute darauf angelegt, Einzelstars hervorzuheben, die ihre eigenen Heldentaten planen. Damit stünde Dawkins am Anfang des langen ästhetischen Abstiegs der Sportart.

Auch eine menschliche Tragödie verbirgt sich hinter dem Spektakel von Kansas City. Drei Jahre nach dem die Glassplitter des „Wham Bam I Am Jam“ ihn getroffen hatten, verübte Bill Robinzine Selbstmord. Er war 29 Jahre alt. Unseriös wäre es, eine direkte Verbindung zwischen Dawkins' aggressivem Dunk und dieser Tragödie herzustellen. Doch die verknüpften Episoden tragen durchaus dazu bei, die zahllosen vom Basketball produzierten Erzählungen und Bilder nicht nur als triumphale Geschichten zu verstehen. Wer sich für die Kulturgeschichte der Sportart interessiert, muss sich auch mit den Tragödien befassen, die das Spiel hervorbringt. Bill Robinzine war zum Zeitpunkt seines Todes ohne Profivertrag. Nach einer

relativ kurzen Verletzungspause hatte er den Anschluss verloren. Sein Beispiel zeigt: Basketball und soziale Unsicherheit sind keine Gegensätze. Sie greifen ineinander.

Und Darryl Dawkins? Im Jahre 2010, gut drei Jahrzehnte nach jenem Novemberabend von Kansas City, fand ihn der amerikanische Sportjournalist Tom Friend am Lehigh Carbon Community College, in einem Vorort von Schnecksville, Pennsylvania. Dort war der ehemalige NBA-Profi als Trainer tätig. Zudem ging Dawkins, so zeigt es Friends Reportage, voll und ganz in der Kindererziehung auf. Besonders intensiv und liebevoll widmete er sich, der von seiner Partnerin mit in die Ehe gebrachten Tochter, der mit dem Down-Syndrom geborenen Tabitha.

Die Absichten des US-Journalisten sind offensichtlich: Er stellt den ehemals extravaganten Star als verantwortungsvollen Familienvater und Sportpädagogen dar, erwähnt zudem, dass der Freitod Bill Robinzines Schuldgefühle in Darryl Dawkins ausgelöst habe, und erreicht so, was amerikanische Leser (und nicht nur sie) von ihren Erzählungen erwarten: Sein Bericht vermittelt den Glauben daran, dass sich Menschen neu erfinden können. Darryl Dawkins schien dieses amerikanische Kunststück gelungen zu sein. Er war noch einmal zu einer ganz neuen Person geworden, so tugendhaft wie die einstigen Pioniere der christlichen Leibesübung. Dass das Spektakel aber auch mit

dieser Basketballgeschichte untrennbar verbunden ist, zeigte sich, als ein engagierter Freizeitkorbjäger aus der Hauptstadt Washington eine Dienstreise nach Pennsylvania unternahm. Präsident Obama besuchte eine Bürgerversammlung in Schnecksville. Als er Dawkins erblickte, konnte er sich auf die neueste Identität des einstigen NBA-Stars nicht einlassen, sondern hatte das sprunggewaltige, glaszerstörende „Wham Bam I Am“-Dunk-Wunder der Philadelphia 76ers vor Augen. „Chocolate Thunder!“ rief Barack Obama aus. Und Darryl Dawkins, einst vom Planeten Lovetron, antwortete, wie jeder andere es auch getan hätte: „Yes Sir, Mr. President.“

Literatur

FRIEND, TOM. „OLD COLLEGE TRY.“ THE BEST AMERICAN SPORTSWRITING 2011. ED. JANE LEAVY. BOSTON, 2011. 204-219.

McLAUGHLIN, THOMAS. GIVE AND GO. BASKETBALL AS A CULTURAL PRACTICE. ALBANY (NY), 2008.

MILLER, PATRICK AND DAVID K. WIGGINS, ED. SPORT AND THE COLOR LINE: BLACK ATHLETES AND RACE RELATIONS IN TWENTIETH-CENTURY AMERICA. NEW YORK, 2004.

THOMAS, DAMION. „AROUND THE WORLD: PROBLEMATIZING THE HARLEM GLOBETROTTERS AS COLD WAR WARRIORS.“ SPORT IN SOCIETY 14:6 (2011): 778-791.

Kontakt:

Prof. Dr. phil. Christoph Ribbat

Fakultät für Kulturwissenschaften

Institut für Anglistik und Amerikanistik

05251 60-3047

ribbat@mail.upb.de

Dicke Luft in Charlottenburg und Lichtenberg

Umweltgeschichte und historische Umweltkonfliktforschung um 1900

Von Peter E. Fäßler



Prof. Dr. rer. nat. et phil. habil. Peter E. Fäßler ist seit 2010 Hochschullehrer für Neue Geschichte mit Schwerpunkt Zeitgeschichte an der Universität Paderborn. Zu seinen Forschungsschwerpunkten zählen die Geschichte der Globalisierung, die Geschichte beider deutscher Staaten nach 1945, Umweltgeschichte sowie Wissenschaftsgeschichte/Biologiegeschichte.

„Historia magistra vitae“ – Ciceros berühmtem Diktum zufolge sind aus der Vergangenheit Lehren für die Gegenwart und die Zukunft zu ziehen. Geschichte als Orientierungswissenschaft eben. Das ist sicherlich nicht falsch, wird aber dem komplexen Verhältnis, das zwischen dem Studium der Vergangenheit und der Gegenwartsanalyse besteht, keineswegs gerecht. Schließlich belegen zahlreiche Beispiele mit umgekehrter Rollenverteilung, wie sehr die historische Zunft ihrerseits der Orientierungshilfe durch aktuelle Einsichten bedarf. Zu ihnen zählt auch das hier vorzustellende, relativ junge Forschungsfeld „Umweltgeschichte“.

Bis in die 1970er Jahre erforschten Historikerinnen und Historiker die wirtschaftlich-technische Entwicklung der Menschheit vorrangig unter den Gesichtspunkten Produktions- bzw. Produktivitätssteigerung, Wohlstandswachstum und wissenschaftlicher Fortschritt – nach dieser Lesart eine nahezu ungetrübte Fortschrittsgeschichte. Erst störrische Bürgerinitiativen, spektakuläre Greenpeace-Aktionen, heftige Umweltproteste und eine langdauernde, transnationale Öko-Debatte beförderten die Erkenntnis, dass dieser Fortschritt mit beachtlichen ökologischen Begleiterscheinungen einherging, um es neutral zu formulieren. Seither gilt die Erforschung des Mensch-Umwelt-Verhältnisses auch der Geschichtswissenschaft als ein überaus lohnenswertes Untersuchungsfeld. Die Herausbildung der Umweltgeschichte als profiliertes Spezialgebiet innerhalb der Geschichtswissen-

schaft verkörpert geradezu idealtypisch den eingangs angedeuteten wechselseitigen Gedankenaustausch und die gegenseitige Anregung, welche das Verhältnis zwischen historischer Forschung, zeitgenössischer Analyse und Zukunftsplanung prägen.

Mittlerweile steht außer Frage, dass das Mensch-Umwelt-Verhältnis zu allen Zeiten und in allen Kulturen maßgeblich die Entwicklung von Wirtschaft, Gesellschaft, Kultur und Politik beeinflusst hat.² Insbesondere die im 18. Jahrhundert einsetzende Industrialisierung stellt dabei eine tiefgreifende Zäsur dar, weil sich mit ihr die Koordinaten des Mensch-Umwelt-Verhältnisses grundlegend verschoben. Anthropogene Eingriffe in den globalen Stoffkreislauf – immenser Ressourcenverbrauch, gewaltige Mengen an Zwischen- und Abfallprodukten, die Entwicklung neuartiger Materialien und Toxine – oder auch radikale Landschaftsveränderungen haben in den vergangenen zwei Jahrhunderten ein so gewaltiges Ausmaß erreicht, dass die langfristige Existenz moderner Gesellschaften gefährdet erscheint.

Unter den vielfältigen Problemen und Fragestellungen, die in der Auseinandersetzung mit Umweltgeschichte während der vergangenen drei Jahrzehnte erarbeitet worden sind, erfreuen sich der an Schärfe gewinnende Wettbewerb um die Nutzung knapper Güter und die mit ihm einhergehenden gesellschaftlichen Aushandlungsprozesse und Konflikte besonders großer Aufmerksamkeit. Derartige Konstellationen und Vorgänge lassen sich bereits in den Ballungsgebieten des 19. Jahr-

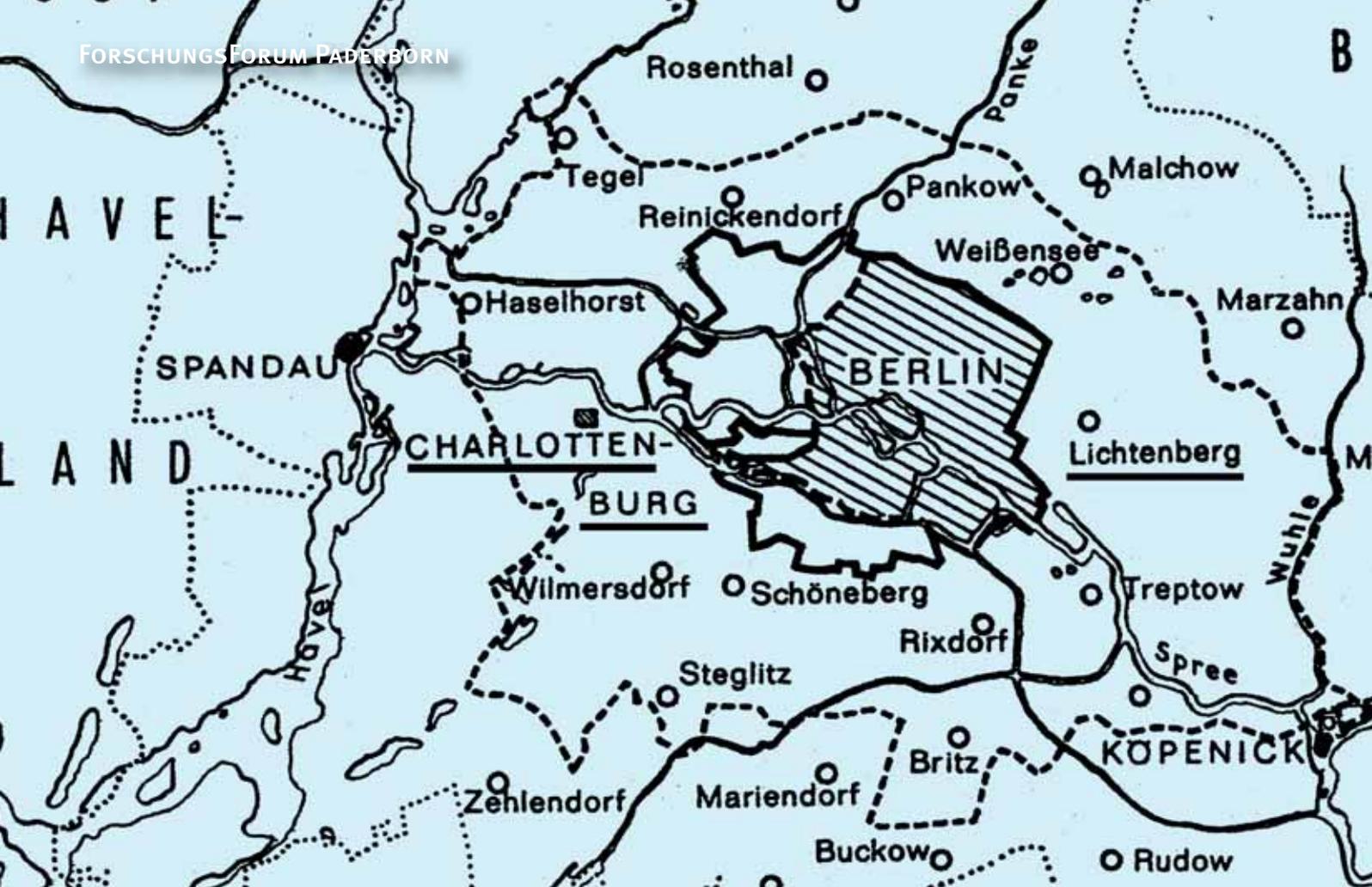


Abb. 1: Großraum Berlin um 1900. Aus: Hofmann, Wolfgang: Wachsen Berlins im Industriezeitalter. Siedlungsstruktur und Verwaltungsgrenzen, in: Jäger, Helmut (Hg.), Probleme des Städtewesens im industriellen Zeitalter, Köln/ Wien 1978, S. 159-177, hier S. 176.

hunderts nachweisen, als ökologische Fachkenntnisse, technische und städteplanerische Maßnahmen sowie das juristische Regelwerk noch in ihren Kinderschuhen steckten. Völlig zu Recht gilt daher die Zeit um 1900 als formative Phase moderner Umweltkonflikte in Deutschland.

Im folgenden Beitrag wird eine Fallstudie vorgestellt, ein Nachbarschaftsstreit zwischen einer emissionsträchtigen Fabrik und deren geschädigten Nachbarn. Auf den ersten Blick handelt es sich um einen typischen Umweltkonflikt, wie wir ihn aus unserer heutigen Zeit zur Genüge kennen und wie ihn die Umweltgeschichtsforschung in großer Zahl für das späte 19. Jahrhundert aus der Archivüberlieferung zu rekonstruieren vermochte.³ Allerdings ergänzt dieses Beispiel den gegenwärtigen Forschungsstand um zwei wesentliche Aspekte:

1. *Die Verursacherperspektive:* Während in den meisten Studien die industriewirtschaftlich hervorgerufenen Umweltkonflikte vornehmlich aus Sicht von Behörden und Geschädigten behandelt werden, liegt hier die Quellenüberlieferung des Hauses Siemens, d. h. des Schadensverursachers, zugrunde.⁴ Daher lassen sich strategische Zielsetzungen und taktische Vorgehensweise der Firmenleitung außergewöhnlich gut nachvollziehen.
2. *Übereinstimmende Konfliktstruktur in unterschiedlichen gesellschaftlich-politischen Um-*

welten: Der Sachverhalt, dass zwei nahezu identisch strukturierte Konflikte einen gänzlich voneinander abweichenden Verlauf und Ausgang nahmen, lässt erhellende Rückschlüsse auf den Einfluss des gesellschaftlichen und politischen Umfeldes zu. Es liegt gewissermaßen ein Sozialexperiment über die politische Durchsetzungsfähigkeit von Partialinteressen im Kaiserreich vor. Das bedeutet, dass hypothetische Rückschlüsse auf den Verlauf und Ausgang von Konflikten aufgrund des gesellschaftlichen Kontextes gezogen werden können, die ihrerseits weitere Forschungen anregen.

Ein Konflikt – zwei Lösungen: Der Streit um die Gesco-Fabrik in Charlottenburg und Lichtenberg (1896 bis 1912)

Von Charlottenburg nach Lichtenberg – ein urbaner Standortkonflikt

Im ausgehenden 19. Jahrhundert galt das westlich Berlins gelegene Charlottenburg als „Wohnzimmer“ der Reichshauptstadt (Abbildung 1). Ein hübsches Schloss, ausgedehnte Grünanlagen und vornehme Villenviertel prägten das Erscheinungsbild der seinerzeit wohlhabendsten Kommune im Königreich Preußen. Daher war die Empörung groß, als eine zentral gelegene Fabrik der Firma

Gebrüder Siemens & Co. (Gesco) im Jahre 1896 die Produktion künstlicher Graphitelektroden⁵ aufnahm (Abbildung 2). Denn der erforderliche Verkokungsprozess setzte große Mengen an Ruß, Schwefel- und Stickoxiden frei. Schon bald klagten mehrere Villenbesitzer in der Nachbarschaft über schwarz-gelbliche, stechend riechende Rauchschwaden, die sich bei feuchter Witterung über ihre Gärten legten und dort die teuren japanischen Ziergehölze schädigten.⁶ Gemeinsam mit der ebenfalls betroffenen Technischen Hochschule schalteten die Honoratioren die zuständige Königliche Polizeidirektion Charlottenburg ein, damit diese dem misslichen Zustand ein Ende bereiten würde. Zugleich machten sie gegenüber dem Unternehmen Schadensersatzforderungen in Höhe von mehreren hundert Mark geltend.

Die Fabrikleitung bestritt zuerst, dass überhaupt Vegetationsschäden aufgetreten wären. Aber auch nachdem deren Existenz von Amts wegen bestätigt worden war, wies sie sämtliche Verantwortung von sich. Die Fa. Gesco bezweifelte, dass die Vegetationsschäden auf den Ausstoß ihrer Anlagen zurückzuführen wären. Schließlich reinigten modernste Filteranlagen die Abgase, so dass sie toxische Substanzen nur in verschwindend geringen Mengen enthielten. Damit entsprächen sie den ortsüblichen Verhältnissen und wären von der Nachbarschaft zu ertragen. Als eigentliche Schadensverursacherin käme eher eine nahegelegene Zinkhütte in Frage. Auch könnten natürliche Ursachen wie Frostperioden im späten Frühling keineswegs ausgeschlossen werden.

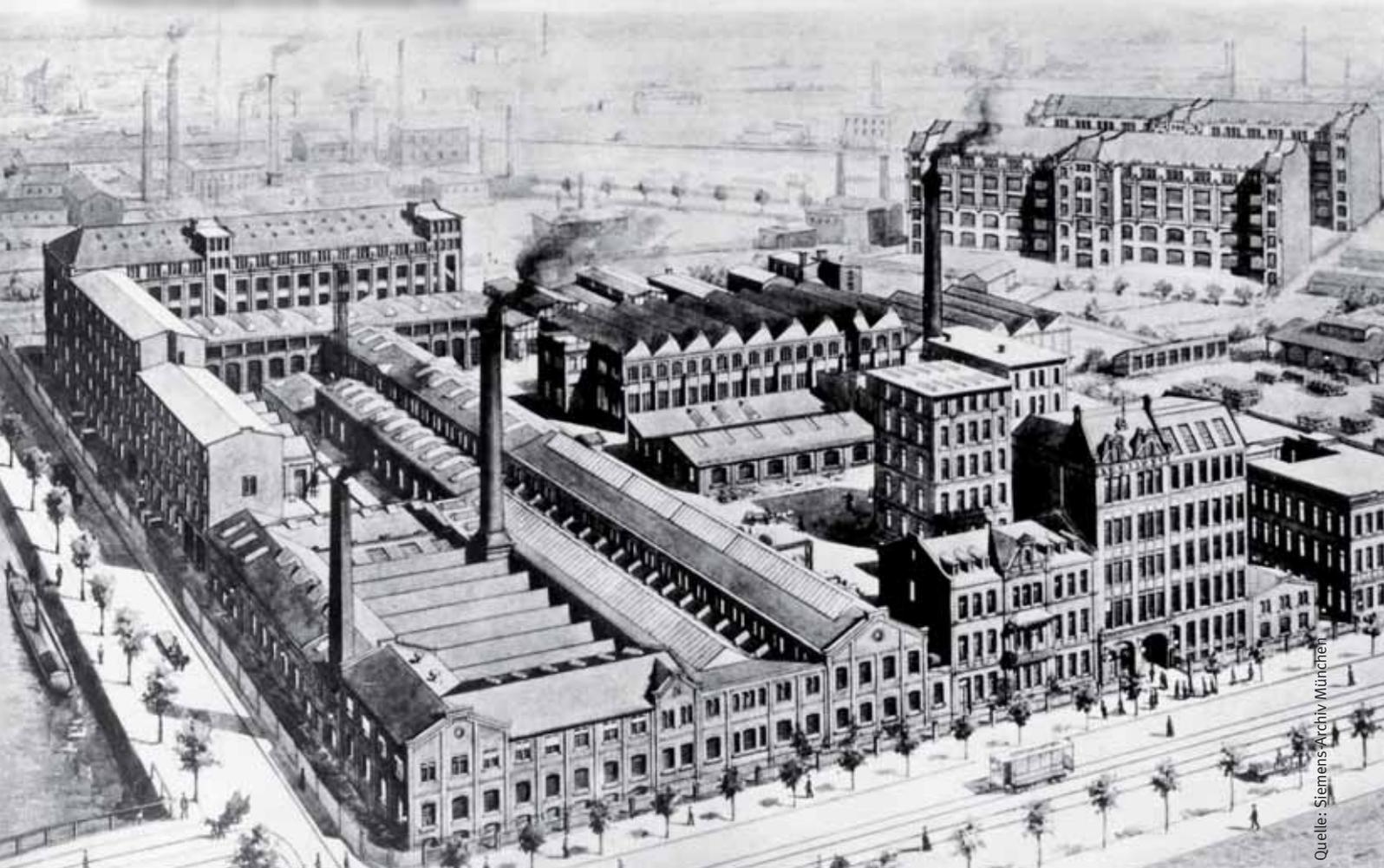
Angesichts der aus ihrer Sicht inakzeptablen Argumentation, reichten die Villenbesitzer und die Technische Hochschule im September 1897 beim Charlottenburger Amtsgericht Klage ein. Dort wurde der Streitfall ausführlich und mit großer Härte verhandelt. Beide Seiten zogen als Experten renommierte Botaniker hinzu, deren Gutachten, wie nicht anders zu erwarten, gegensätzlich ausfielen. Dabei fällt auf, dass der Unternehmensjurist mehrfach die wissenschaftliche und moralische Integrität sämtlicher Gegengutachter in Frage stellte. Sie hätten, so der Vorwurf, des Honorars wegen ein sachlich fehlerhaftes Gefälligkeitsgutachten formuliert.

Entsprach der Konflikt bis zu diesem Punkt dem üblichen Muster vergleichbarer Umweltkonflikte in jener Zeit, so weicht er hinsichtlich des Urteils deutlich von diesem ab. Üblicherweise pflegten solche Verfahren zugunsten des verursachenden Industriebetriebes auszugehen. Auch die Leitung der Fa. Gesco zeigte sich aufgrund des eigenen Status als Teil des Weltkonzerns Siemens, als wichtiger Steuerzahler für die Stadt Charlottenburg und als Hersteller eines Hochtechnologieproduktes zuversichtlich. Umso größer war die Über-

raschung, dass im April 1898 der Charlottenburger Amtsrichter das Unternehmen zur Schadenersatzzahlung in Höhe von mehreren hundert Mark verurteilte. Noch schwerer wog aus Sicht des Unternehmens der Passus im Urteil, welcher es verpflichtete, (a) den „gelbliche Rauch“ zu unterbinden und (b) für künftige Schäden aufzukommen. Da die erste Auflage technisch kaum zu erfüllen war und der zweite Punkt schwer kalkulierbare Kosten barg, war der Produktionsstandort Charlottenburg auf lange Sicht nicht mehr zu halten. Zwar hatte die Betriebsleitung kurz darüber nachgedacht, den „gelblichen Rauch“ schwarz zu färben. Schließlich bezog sich das Urteil ausdrücklich auf Abgase des erstgenannten Farbtönen. Vermutlich erkannte man die Fadenscheinigkeit einer solchen Argumentation und entschied sich dann im Jahre 1901 doch für eine Verlagerung der Graphitelektrodenproduktion nach Lichtenberg (Abbildung 1). In dieser ohnehin rauchgeplagten Industriestadt östlich Berlins, so die Hoffnung, würde eine zusätzliche luftverschmutzende Fabrik kaum Ärger hervorrufen. Die Hoffnung trog.

Auch am neuen Produktionsstandort Lichtenberg machte sich alsbald nachbarschaftlicher Unmut breit. Im neuerlichen Fall sahen sich zahlreiche umliegende Gärtnereien mit ausgedehnten Obst- und Gemüsekulturen sowie Ziergehölzen sogar in ihrer wirtschaftlichen Existenz bedroht. Allerdings erschien ihnen die Aussicht auf ein erfolgreiches Vorgehen gegen das Großunternehmen als nahezu aussichtslos. Daher dauerte es bis zum Mai 1909, ehe sich ein Gärtner namens Rudolph an die Fa. Gesco wandte, ohne aber eine Antwort zu erhalten. Erst seinem Sohn, einem promovierten Kammergerichtsreferendar, gelang es, das Unternehmen zu Verhandlungen zu bewegen. Die Quellen belegen, dass es der Respekt vor der juristischen Expertise, vor dem militärischen Rang (Leutnant d. R.) und vor der eigenen misslichen Erfahrung in Charlottenburg war, welcher bei der Unternehmensleitung die Dialogbereitschaft beförderte.

Dabei verfolgte die Betriebsleitung eine Konfliktstrategie, die bereits in Charlottenburg zu beobachten war: Zuerst versuchte sie, die Verhandlungen bis zum Ende der Vegetationsperiode hinauszuzögern, um den Schadensnachweis zu verhindern. Als klar war, dass der Kammergerichtsreferendar dieses nicht akzeptieren würde, zeigte sich das Gesco-Management gesprächsbereit. Dies fiel ihm vergleichsweise leicht, weil die Gegenseite frühzeitig signalisiert hatte, eine außergerichtliche Einigung sowie eine einmalige Schadenersatzleistung unter Verzicht künftiger Ansprüche zu akzeptieren. Aber selbst unter diesen günstigen Gesprächsbedingungen zeigte die Fa. Gesco



Quelle: Siemens-Archiv München

Abb. 2: Fabrik der Firma Gebrüder Siemens & Co. um 1895, Charlottenburg, Salzufer 5.

keinerlei Schuldbewusstsein, sondern stimmte einem außergerichtlichen Vergleich nur „um des lieben Friedens willen“ zu. Beide Seiten verständigten sich auf einen Gutachter aus dem Kreise der Lichtenberger Gärtner, die Fa. Gesco akzeptierte dessen Schadensbewertung und entrichtete 2 000 Mark an Gärtner Rudolph. Damit schien die Sache vom Tisch.

Aber das schien nur so, denn Gärtner Rudolphs Beispiel sollte Schule machen. Nach und nach wandten sich in den folgenden Jahren weitere Gärtnerbesitzer, juristisch beraten vom besagten Kammergerichtsreferendar Rudolph, mit Schadensersatzforderungen an die Fa. Gesco und wurden auf entsprechende Weise entschädigt. Im Unternehmen sah man diese Entwicklung mit Sorgen und fürchtete, bald „alle Gärtner Lichtenbergs am Halse zu haben“. Als schließlich mit dem Kunstgärtner Beutler ein Kläger auf den Plan trat, der rund 7 000 Mark forderte, war für die Fa. Gesco das Ende dieses Modells außergerichtlicher Konfliktbeilegung erreicht. Zwar gelang es, unter Bestechung des Gutachters die Forderungen auf erträgliche 3 000 Mark zu drücken. Trotzdem erforderte die Lage eine grundsätzliche Klärung. Daher wandte sich die Firmenleitung nun an den Lichtenberger Magistrat. Dieser beauftragte das Berliner Hygieneamt mit einer Prüfung, welche letztlich die Ortsüblichkeit der Emissionen bestä-

tigte. Damit war die Situation endgültig zugunsten der Fa. Gesco und ihrer Graphitelektrodenproduktion geklärt.

Der unterschiedliche Ausgang beider in ihrer Struktur ähnlich gelagerten Streitfälle offenbart eine Pfadabhängigkeit in der urbanen Entwicklung des 19. Jahrhunderts. Das ohnehin „grüne“ Charlottenburg vermochte seinen charmanten Charakter zu bewahren, indem der lästige Industriebetrieb in das „graue“ Lichtenberg verdrängt wurde. Allerdings stellt sich die Frage, weshalb sich die Charlottenburger Villenbesitzer mit ihren vergleichsweise geringen Vegetationsschäden gegen das Unternehmen durchzusetzen vermochte, wohingegen die Lichtenberger Gärtner unterlagen, obwohl ihre wirtschaftliche Existenz auf dem Spiel stand.

Warum hatten die Charlottenburger Villenbesitzer Erfolg und die Lichtenberger Gärtner nicht?

Die Gründe für den so unterschiedlichen Konfliktverlauf und -ausgang sind in folgenden Faktoren zu suchen:

1. *Das Sozialprofil der Kläger:* Zweifelsohne war die unterschiedliche gesellschaftliche Schichtzugehörigkeit der Geschädigten von entscheidender Bedeutung für den Verlauf und das Ergebnis der jeweiligen Auseinanderset-

zung. Verhandlungsposition, Konfliktstrategie und das Kräfteverhältnis zur Gegenpartei, der Fa. Gesco, hingen maßgeblich davon ab, ob die Kläger der bürgerlichen Oberschicht oder dem Kleinbürgertum angehörten. Konkret: Aufgrund ihrer üppigen Ausstattung mit sozialem, kulturellem, finanziellem und symbolischem Kapital verfochten die Charlottenburger Villenbesitzer gemeinsam mit der Technischen Hochschule zielstrebig, hartnäckig und selbstbewusst ihre Interessen. Gestützt auf exzellente wissenschaftliche und juristische Berater sowie auf ein einflussreiches kommunalpolitisches Netzwerk strebten sie die vollständige Beseitigung der Giftwolken an. Eine einmalige Entschädigung und damit eine dauerhafte Duldung der Geruchsbelästigung kamen für sie nicht in Frage. Das hohe Sozialprestige der Kläger trug ebenso wie ihre beträchtlichen Steuerzahlungen mit dazu bei, dass ihr Anliegen seitens des Magistrats, der gewerblichen Aufsichtsbehörden und der Gerichte wohlwollend geprüft wurde. Das zeigte sich in den strittigen Punkten, die im Ermessensspielraum der Behörden lagen. Sie entschieden bei der Frage der Ortsüblichkeit oder der außergewöhnlichen Belastung zugunsten der Kläger.

Die Situation in Lichtenberg stellt gewissermaßen den Gegenentwurf zum Charlottenburger Szenario dar. Die Gärtnereibesitzer verfügten aufgrund ihres bescheidenen Kapitalstocks im Bourdieuschen Sinne über eine nur schwache Verhandlungsposition und über geringe Handlungsspielräume. Der Gang vor das Gericht war kostspielig, zeitaufwändig und von ungewissem Ausgang. Daher bevorzugten sie eine außergerichtliche Einigung, gaben sich mit einer einmaligen Entschädigung zufrieden und verzichteten auf künftige Forderungen. Die kommunalpolitische Unterstützung beschränkte sich auf den Beistand von Vertretern der oppositionellen Sozialdemokratie. Hingegen setzte sich der Lichtenberger Magistrat wie auch das zu Rate gezogene Berliner Hygieneamt für die Interessen der Fa. Gesco ein, etwa bei der Frage nach der Ortsüblichkeit bzw. außergewöhnlichen Belastung durch die Rauchgase.

2. *Unterschiedliche Konfliktstrategie der Geschädigten:* Aufgrund der unterschiedlich starken Verhandlungspositionen wählten die Geschädigten in Charlottenburg und Lichtenberg abweichende Konfliktstrategien, die sich letztlich als für den jeweiligen Ausgang des Streitfalles entscheidend erweisen sollten. Die honorierten Villenbesitzer gingen vereint gegen Gesco vor und gewannen mit der Technischen Hochschule eine wissenschaftlich wie gesellschaftlich hoch angesehene Partnerin. Im Bewusst-

sein ihrer eigenen Verhandlungsmacht schlugen sie konsequent den Gerichtsweg ein und strebten eine dauerhafte Beseitigung der Schadensursache an. Unklar bleibt, weshalb die Lichtenberger Gärtner ihre Kräfte nicht ebenfalls bündelten. Sie zogen es vor, einzeln den außergerichtlichen Vergleich mit dem Unternehmen zu suchen und sich mit einer einmaligen Abfindung unter Verzicht auf künftige Schadenersatzforderungen zu begnügen. Einzig der Umstand, dass die Nachbarschaftskonflikte in Lichtenberg zu einer „never ending story“ zu werden drohten, zeigte einen zermürbenden Effekt auf die Fa. Gesco. Dieser Story aber vermochte man mithilfe des Lichtenberger Magistrats und des Berliner Hygieneamtes ein Ende zu bereiten.

Historische Kontinuitäten und Wandlungen bei Umweltkonflikten

Bislang liegen kaum Studien vor, die wie im vorliegenden Falle ein und dieselbe Umweltbelastung in unterschiedlichen gesellschaftlichen Umwelten behandeln. Daher muss die Frage nach der Repräsentanz dieser Mikrostudie, also die Frage, ob es sich gewissermaßen um ein vielfach anzutreffendes Konfliktmuster handelte, offen bleiben – einstweilen. Gleichwohl muten einige Aspekte der Streitigkeiten in Charlottenburg und Lichtenberg aus heutiger Sicht sehr vertraut an, andere erscheinen uns mittlerweile doch fremd. Beides, Kontinuität und Wandel der Konfliktmuster, regen zur umwelthistorischen Reflexion an und werfen weiterführende Fragen auf:

- *Die diskursanalytische Perspektive:* Der vorliegende Fall belegt den hohen Stellenwert der gesellschaftlichen Position aller Beteiligten – Verursacher, Geschädigte, wissenschaftliche Experten, juristische Vertreter, Behörden u. a. m. – sowie ihrer Argumente und Handlungsstrategien für den Verlauf und Ausgang des Konfliktes. Will man die gegenwärtigen umweltbezogenen Debatten und politischen Auseinandersetzungen verstehen, bedarf es neben der inhaltlichen Auseinandersetzung mit den unterschiedlichen Argumenten ebenfalls einer tiefgründigen Auseinandersetzung mit den Strukturen des öffentlichen Öko-Diskurses. Wie im vorgestellten Fall spielen neben wissenschaftlichen Sachverhalten und Partialinteressen auch normative Wertungen und gesellschaftliches Prestige eine gewichtige Rolle.
- *Konfliktmuster:* Viele Details des nachgezeichneten Konfliktmusters finden sich auch in Auseinandersetzungen jüngerer Datums: die dilatorische Handhabung seitens des Verursachers, eine als „Salamitaktik“ bekannte PR-Praxis, bei der problematische Sachverhalte nur scheid-

chenweise eingestanden werden, das Unterfüttern der eigenen Position durch fragwürdige, weil interessengeleitete wissenschaftliche Expertisen, die moralische Verunglimpfung der Gegner oder auch die gezielte Bestechung von Schlüsselpersonen.

- **Wertewandel:** Der öffentliche Diskurs über das Mensch-Umwelt-Verhältnis war einem steten Wertewandel unterworfen. Während des 19. und frühen 20. Jahrhunderts gründeten Klagen über industrielle Umweltbelastungen vor allem auf wirtschaftlichen Einbußen – so im vorgestellten Fall – und gesundheitliche Folgen. Weiterreichende ökologische Überlegungen oder ethische Argumente, die auf einen Eigenwert der belebten Natur abzielten, spielten so gut wie keine Rolle. Sie rückten erst seit der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts stärker ins Zentrum der Debatte. Dieser Wertewandel, der zudem kulturelle und nationale Prägungen aufweist, verdient ebenfalls eine eingehendere Analyse.
- **Wandlungen im Verhältnis von Ökologie und Ökonomie:** Das vielfach diskutierte Spannungsverhältnis zwischen ökonomischen und ökologischen Interessen war lange von einer Dominanz wirtschaftlicher Aspekte geprägt. Erst im Laufe des 20. Jahrhunderts ist die vorrangige Berücksichtigung ökonomischer gegenüber ökologischer Interessen bei Behörden und Unternehmen einem variantenreichen Verhältnis gewichen. Neben einer durchaus ernst zu nehmenden environmental responsibility, einer florierenden Öko-Industrie und Bio-Landwirtschaft finden sich aber auch fragwürdige Marketing-techniken wie das green washing. Allgemein scheint aber die Entwicklung in Richtung eines konstruktiven Interessenausgleiches zu weisen.
- **Institutionelle Herausbildung einer Umweltpolitik:** Lange Zeit blieb der Umgang mit Umweltveränderungen eine vornehmlich private bzw. privatrechtliche Angelegenheit, wobei die zivilgesellschaftlichen Akteure im vopolitischen Raum handelten und die juristischen bzw. administrativen Regelwerke langsam entwickelt wurden. Mit der Fundamentalliberalisierung der späten 1960er-Jahre erfuhr das Mensch-Umwelt-Verhältnis auf kommunaler, regionaler, nationaler und globaler Ebene eine erkennbare Politisierung.
- **Internationalisierung/Globalisierung:** Die Charlottenburger und Lichtenberger Episoden waren hinsichtlich ihrer räumlich-sozialen Dimension durchaus repräsentativ für die Umweltkonflikte des 19. Jahrhunderts. Es handelte sich meist um Vorgänge lokalen, vielleicht noch regionalen Ausmaßes. Spätestens mit der ersten UN-Umweltkonferenz in Stockholm 1972 aber ist der Aufbruch zur globalen Dimension erfolgt.

Umweltgeschichte erforscht in jüngerer Zeit verstärkt die Genese einer global ecological governance oder auch die Aktionsspielräume von Nichtregierungsorganisationen und transnationalen Unternehmen im Kontext umweltrelevanten Handelns.

Die aufgeführten Punkte deuten die ökologische, ökonomische, gesellschaftliche, politische, kulturelle Dimension umwelthistorischer Fragestellungen an. Es ist nach derzeitigem Kenntnisstand davon auszugehen, dass das Mensch-Umwelt-Verhältnis wohl auch in den kommenden Jahrzehnten ein prekäres bleiben wird. Damit steht die fachwissenschaftliche wie gesellschaftliche und politische Relevanz der Umweltgeschichte außer Frage. Im Gegensatz zu früheren Prognosen erscheint sie keineswegs einer kurzlebigen gesellschaftlichen Laune erwachsen.

Literatur

- 1 M. TULLIUS CICERO: DE ORATORE, II, 9. HRSGG. U. ÜBERS. VON HARALD MERKLIN, 2. DURCHG. U. ERG. AUFL., STUTTGART 1986.
- 2 VGL. DEN FORSCHUNGSBERICHT VON FREYTAG, NILS: DEUTSCHE UMWELTGESCHICHTE – UMWELTGESCHICHTE IN DEUTSCHLAND. ERTRÄGE UND PERSPEKTIVEN, IN: HISTORISCHE ZEITSCHRIFT 283 (2006), S. 383-406.
- 3 EINE DETAILLIERTE DARSTELLUNG UND ANALYSE DIESES VORGANGES IN FÄBLER, PETER E.: SIEMENS' UMZUG VOM „GRÜNEN“ CHARLOTTENBURG INS „GRAUE“ LICHTENBERG. EIN LEHRSTÜCK SOZIO-ÖKOLOGISCHER STADTENTWICKLUNG. IN: STRÖHMER, MICHAEL/MENNE, MAREIKE (HRSG.): TOTAL REGIONAL. STUDIEN ZUR FRÜHNEUZEITLICHEN SOZIAL- UND WIRTSCHAFTSGESCHICHTE. FESTSCHRIFT FÜR FRANK GÖTTMANN ZUM 65. GEBURTSTAG. REGENSBURG 2011, S. 223-239
- 4 EIN KOMPAKTER BESTAND LIEGT IM ARCHIV DER SIEMENS AG IN MÜNCHEN VOR: SIEMENS-ARCHIV MÜNCHEN (SAM), 6535-5. HINZU KOMMT DER BESTAND SIEMENS-PLANIAWERKE AG FÜR KOHLEFABRIKATE IM LANDESARCHIV BERLIN (LAB), A REP. 230-02.
- 5 HIERBEI HANDELT ES SICH UM ELEKTRODEN, DIE BEI DER ELEKTROLYTISCHEN STAHLPRODUKTION VERWENDUNG FINDEN.
- 6 DIE RAUCHSCHWADEN ENTHIELTEN NEBEN KOHLENSTOFFHALTIGEN RUSSPARTIKELN IN ERSTER LINIE SALPETRIGE UND SCHWEFLIGE SÄURE.

Kontakt:

Prof. Dr. rer. nat. et phil. habil. Peter E. Fäßler
Fakultät für Kulturwissenschaften
Neue Geschichte mit Schwerpunkt Zeitgeschichte
05251 60-2433
peter.faessler@upb.de

ContainerRailCab

Die Alternative zum LKW-Transport im Hamburger Hafen

Von Ansgar Trächtler,
Franz-Barthold Gockel und
Carsten Rustemeier



Prof. Dr.-Ing. habil. Ansgar Trächtler ist seit 2004 Leiter des Lehrstuhls Regelungstechnik und Mechatronik am Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn. Forschungsschwerpunkte sind Methoden und Anwendungen des modellbasierten Entwurfs mechatronischer Systeme, Regelungsentwurf für verteilte und hierarchische Systeme, Fahrwerksysteme und Fahrdynamikregelung, Hardware-in-the-Loop- und Echtzeitsimulation.

In Zusammenarbeit mit einem Industriepartner aus der Fördertechnik-Branche wurde eine Systemvariante des RailCabs speziell für den Containertransport konkretisiert. Der vorliegende Artikel beschreibt die besonderen Eigenschaften des ContainerRailCabs und stellt dessen Anwendung am Beispiel einer Containerdepot-Anbindung im EUROGATE Container Terminal Hamburg vor.

Der EUROGATE Container Terminal Hamburg (CTH) ist einer der vier großen Containerterminals im Hamburger Hafen. Er ist zentral im Waltershofer Hafen gelegen, und dort wurden im vergangenen Jahr 2,1 Millionen TEU umgeschlagen.¹ (TEU steht für Twenty-foot Equivalent Unit. 1 TEU entspricht einem 20-Fuß-, 2 TEU einem 40-Fuß-ISO-Container.) Zur Steigerung der Terminalkapazitäten wurde in unmittelbarer Nähe ein Leercontainerdepot errichtet. Dies ist allerdings durch eine Eisen-

bahntrasse und eine öffentliche Straße von der eigentlichen Terminalfläche getrennt.² Containerumfuhren zwischen den beiden circa 200 Meter Luftlinie voneinander entfernten Flächen erfolgen per LKW bzw. Multitrailer über die öffentlichen Straßen im Hafengebiet. Ein Multitrailer legt für diese Fahrt eine Wegstrecke von circa vier Kilometern zurück und kann dabei bis zu sechs TEU transportieren.³

Alternative Depot-Anbindung für CTH

Im Rahmen des ISETEC II-Projektes „Seilbahn“ untersuchte EUROGATE von Ende 2008 bis Mitte 2012 zusammen mit dem Bremer Institut für Produktion und Logistik (BIBA) alternative Transportlösungen für die Depot-Anbindung im CTH hinsichtlich ihrer technischen und wirtschaftlichen Realisierbarkeit. Dabei wurden Transportsysteme betrachtet, welche die Hindernisse in Form von Bahnstrecke und Straße im Luftraum überwinden können und einen direkten, vollautomatischen Transport von Standardseecontainern zwischen Terminal- und Depotfläche ermöglichen. Im Zentrum der Untersuchungen standen verschiedene Seilbahnlösungen in Form von Luft- und Standseilbahnen. Ab Mai 2010 wurde auch eine speziell für den Containertransport entwickelte RailCab-Variante in die Untersuchungen mit einbezogen.

Im Folgenden wird das so genannte *Container-RailCab*, das von der Universität Paderborn in Zusammenarbeit mit der Ulrich Rotte Anlagenbau und Fördertechnik GmbH aus Salzkotten konkre-



Abb. 1: ContainerRailCab mit 40 ft.-Container.



Quelle: Universität Paderborn – New Intelligence

Abb. 2: RailCab-Versuchsanlage an der Universität Paderborn.

siert wurde, vorgestellt und seine spezielle Eignung für diese und weitere Transportaufgaben im Hafenumfeld näher beleuchtet.

RailCab-Konzept

Das RailCab steht für eine grundlegend neue Konzeption im Schienenverkehr. Kernelement des vollautomatischen Bahnsystems sind autonom fahrende Einzelfahrzeuge – so genannte RailCabs –, die in der Lage sind, ihren individuellen Zielort ohne Zwischenstopp und ohne Rangiervorgänge direkt anzufahren. Einzelne Fahrzeuge können sich während der Fahrt vollautomatisch zu berührungslosen Konvois zusammenschließen und diese auch wieder verlassen.

Um dies zu erreichen, kombiniert RailCab innovative und bewährte Technologien. Ein Linearmotorantrieb sorgt für ein zuverlässiges, witterungsunabhängiges und verschleißfreies Antreiben und Bremsen und ermöglicht somit die Fahrzeugführung mit sehr geringen Abständen. Gleichzeitig gestattet dieses Antriebskonzept das Befahren deutlich höherer Steigungen als bei heutigen Bahnfahrzeugen üblich.

Eine aktive Lenkung an Bord der Fahrzeuge sorgt für eine verschleißarme Spurführung im Gleis. Sie ermöglicht das Befahren enger Kurvenradien und – in Kombination mit einer passiven Weiche – eine individuelle Richtungswahl der Fahrzeuge auch bei geringen Fahrabständen. Die vollautomatische Fahrzeugführung und Schienenfahrwerke mit geringer Rollreibung tragen zu einem geringen Energieverbrauch bei.

Das RailCab-System ist so konzipiert, dass die notwendige Technik in bestehende Schienenwege integriert werden kann. Auf einer 530 Meter langen Versuchsstrecke an der Universität Paderborn wurde die technische Machbarkeit des RailCab-Systems mit zwei Versuchsfahrzeugen im Maßstab 1:2,5 nachgewiesen.

Durch seinen modularen Aufbau ist das System skalierbar und kann somit für verschiedene Transportaufgaben optimal abgestimmt werden. Ursprünglich für den Personen- und leichten Güter- bzw. Stückguttransport entwickelt, wurde nun eine RailCab-Variante speziell für den Containertransport konkretisiert.

ContainerRailCab

Das ContainerRailCab ist eine Komposition aus erprobten Einzelkomponenten, die sich weltweit in den verschiedensten Anwendungen im Dauereinsatz bewährt haben. Es zeichnet sich u. a. durch eine kompakte Bauhöhe von circa einem Meter aus. Die Containersicherung erfolgt durch Rahmenecken und Dorne, so dass die Fahrzeuge schnell und unkompliziert mit den Standard-Beladungstechniken eines Containerterminals be- und entladen werden können. Gemäß den Anforderungen bei EUROGATE ist das ContainerRailCab in einer ersten Version für die Aufnahme von einem 40 ft.-Container oder von zwei 20 ft.-Containern mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 25 Tonnen konzipiert.

Jedes Fahrzeug ist mit zwei Linearinduktionsmotoren ausgerüstet, die ihre spezielle Eignung für den



Quelle Satellitenbild, Google Maps

Depot

Abb. 3: ContainerRailCab-Anlage für die Depot-Anbindung im EUROGATE CTH.

vollautomatischen Schienenverkehr seit über 20 Jahren in zahlreichen Anwendungen weltweit unter Beweis gestellt haben, wie z. B. in den Advanced Rapid Transit (ART)-Systemen von Bombardier.^{4,5} Dieses Antriebskonzept arbeitet berührunglos und verschleißfrei und ermöglicht einen zuverlässigen und witterungsunabhängigen Betrieb – auch bei Schnee und Eis. Darüber hinaus können die ContainerRailCabs mit diesem Antrieb Steigungen von bis zu zehn Prozent überwinden. Die Stromversorgung der Fahrzeuge erfolgt mit einer in vielen Bahnanwendungen bewährten Stromschiene, über die eine leistungsfähige Energieversorgung auch für voll beladene Fahrzeuge, hohe Steigungen sowie anspruchsvolle Fahrmanöver sichergestellt werden kann. Die Stromschiene ermöglicht zudem eine Energierückspeisung ins Stromnetz.

Eine Verzögerung der Fahrzeuge wird im Regelbetrieb über den Linearmotor realisiert. Redundante Bremssysteme in Form von Rad- und Schienenbremsen erhöhen zusätzlich die Sicherheit. Sie bringen die Fahrzeuge auch bei einem eventuellen Ausfall der Stromversorgung jederzeit sicher zum Stehen. Dies gilt auch an maximalen Steigungen. Jedes Fahrzeug besitzt zwei Drehgestelle mit jeweils zwei aktiv lenkbaren Achsen in Form von Losradsätzen. Das lenkbare Schienenfahrwerk ermöglicht das Befahren enger Kurvenradien und eine individuelle Richtungswahl an passiven Weichen auch bei geringen Fahrabständen.

Damit steht eine flexibel ausführbare und erweiterbare Lösung nicht nur für den Containertransport, sondern allgemein für Logistikaufgaben aus den verschiedensten Anwendungsbereichen zur Verfügung.

ContainerRailCab-Anlage für CTH

Für die vollautomatische Depot-Anbindung im CTH wurde die folgende ContainerRailCab-Anlage konzipiert:

Zur Überwindung der Bahnstrecke und der öffentlichen Straße ist eine Brückenkonstruktion für zwei parallele Schienenwege vorgesehen. Zur Erfüllung der geforderten Transportleistung von 30 Containern pro Stunde in eine Richtung bzw. 60 Containern pro Stunde bei bidirektionaler Förderung ist bei der RailCab-Lösung allerdings nur der Ausbau eines Schienenweges notwendig. Ein zweiter, paralleler Fahrweg kann jederzeit nachgerüstet und problemlos in die Anlage integriert werden, um somit beispielsweise einen redundanten Fahrweg zu schaffen und/oder die Transportkapazität des RailCab-Systems weiter zu steigern.

Die Streckenführung sieht zwei Brückenauffahrten mit einer maximalen Steigung von jeweils zehn Prozent vor. Gemäß Abbildung 3 verzweigt sich am Ende der Auffahrten der einspurige Fahrweg auf Terminal- und Depotseite an einer passiven Weiche jeweils in zwei Ladestationen. Im Depot – in Abbildung 3 vorn dargestellt – sind die Ladestationen so angeordnet, dass dort eine direkte und schnelle Beladung der ContainerRailCabs durch Reach Stacker erfolgen kann. Auf Terminalseite wurde eine platzsparende Anordnung der Ladestationen für die Beladung durch Straddle Carrier gewählt (siehe Abbildung 4 bzw. 5).

Der Fahrweg selbst besteht im Wesentlichen aus zwei Standard-Schienenprofilen (S49 oder vergleichbar), einer zwischen den Fahrschienen verlegten Reaktionsschiene als Sekundärteil des Linearantriebes sowie der bereits erwähnten



Quelle: Wikimedia, Liebherr_IRS_645_Reachstacker_Containerstapler

Abb. 4: Umschlaggeräte für ISO-Container: Straddle Carrier.

Stromschiene. Der gesamte Fahrweg hat eine Länge von circa 400 Metern, die kleinsten Kurvenradien betragen 20 Meter.

Betrieb der ContainerRailCab-Anlage

Die beschriebene Anlage kann je nach gewünschter Transportleistung und verfügbarem Budget mit bis zu drei ContainerRailCabs ausgerüstet werden. Beim Betrieb dreier Fahrzeuge können 45 Container pro Stunde in eine Richtung und 60 Container pro Stunde in beiden Richtungen transportiert werden. In diesem Fall sieht der Betrieb wie folgt aus:

RailCab 1 transportiert einen Container z. B. vom Terminal über die Brücke in das Depot. Die benötigte Fahrzeit beträgt circa eine Minute. In dieser Zeit können RailCab 2 im Depot beladen und RailCab 3 im Terminal entladen werden. Sobald RailCab 1 seine Ladestation im Depot erreicht hat, verlässt RailCab 2 seine Station und transportiert seinen Container vom Depot zum Terminal. Währenddessen erfolgen das Be- bzw. Entladen der beiden anderen Fahrzeuge usw.

Die Maximalgeschwindigkeit der Fahrzeuge in dieser Anwendung beträgt 10 m/s. Es lassen sich maximale Beschleunigungen bzw. Verzögerungen von 1 m/s² erreichen. Ein Drittel der benötigten elektrischen Energie kann pro Fahrt beim Bremsen zurückgespeist werden.

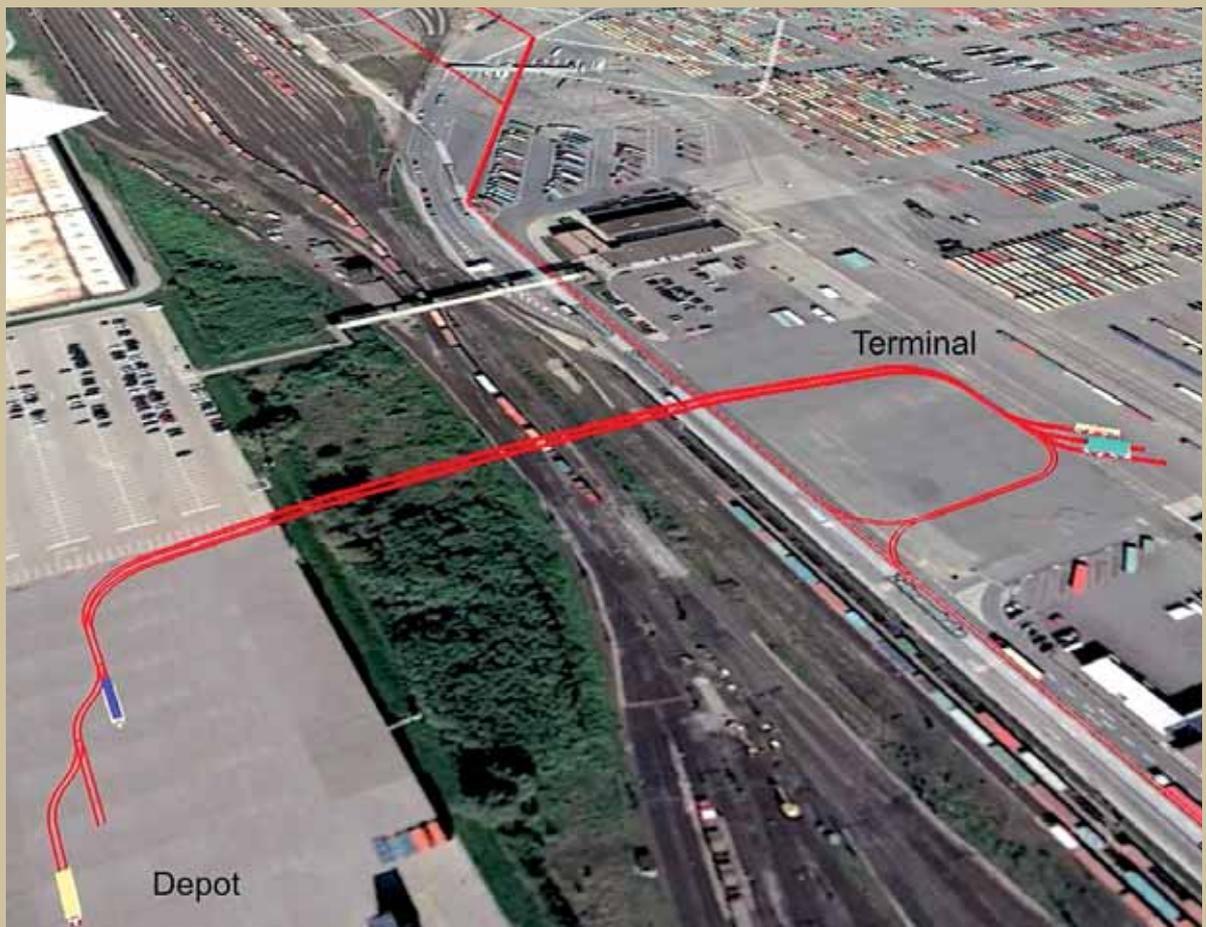
Die Fahraufträge werden von einem redundanten Leitreechner per Funk an die Bordrechner der Fahrzeuge übermittelt, die für eine vollautomatische Umsetzung der Fahraufträge sorgen. Dies ermöglicht einen sehr flexiblen und leistungsfähigen Betrieb der Gesamtanlage. Eine Einbindung in automatische oder manuelle Lagerlogistiksysteme ist ebenfalls möglich. Die Fahrzeugortung erfolgt

über streckenseitige Transponder, die von Empfängern auf den Fahrzeugen ausgelesen werden. Über die Funkkommunikation ist somit nicht nur eine Ferndiagnose für jedes einzelne Fahrzeug, sondern auch eine Überwachung sämtlicher Transportabläufe am Leitreechner möglich. Beide oben beschriebenen Systeme, sowohl die Funkkommunikation als auch das Transponder-system, werden bereits seit einigen Jahren beim



Quelle: Wikimedia, File: JWP Straddle Carrier

Abb. 5: Umschlaggeräte für ISO-Container: Reach-Stacker (Portalhubwagen).



Quelle Satellitenbild: Google Maps

Abb. 6: Mögliche Systemerweiterung der ContainerRailCab-Anlage im EUROGATE CTH.

vollautomatischen Betrieb fahrerloser LKWs oder auch Flurförderfahrzeuge sehr erfolgreich eingesetzt.

Flexible Systemerweiterung

Für das ContainerRailCab-System können die folgenden Planungskomponenten identifiziert werden:

- individuell gestaltbare Gleisstrecke mit hohen Steigungen bis zehn Prozent und kleinen Kurvenradien bis 20 Meter
- passive Weichen
- Ladestellen
- ContainerRailCabs zur bedarfsgerechten Kapazitätsbereitstellung.

Die nahezu freie Kombination dieser Planungskomponenten nach dem Baukastenprinzip ermöglicht eine individuelle Anpassung einer ContainerRailCab-Anlage an verschiedene Randbedingungen sowie die schrittweise und flexible Erweiterung einer bestehenden Anlage. Für die in Abbildung 3 dargestellte Depot-Anbindung im EUROGATE CTH wären die folgenden Ausbaustufen denkbar (Abbildung 6):

Die Transportkapazität der Anlage könnte je nach Bedarf schrittweise gesteigert werden durch den

Aufbau zusätzlicher Ladestellen, die Inbetriebnahme weiterer Fahrzeuge sowie die Realisierung eines zweiten Fahrweges über die Brücke. Die Integration dieses zusätzlichen Fahrweges sowie der neuen Ladestationen in die Gesamtanlage ist dabei jederzeit mittels passiver Weichen möglich. Der redundante Fahrweg sichert gleichzeitig eine hohe Verfügbarkeit der Anlage.

Darüber hinaus könnte durch eine Systemerweiterung ein vollautomatisches Transportsystem im Rückraum des Terminals entstehen, mit dem über den gesamten Terminalbereich inklusive des Depots Container transportiert und zwischen einzelnen Ladestellen ausgetauscht werden könnten. Ebenfalls wäre mit dieser Technologie eine vollautomatische Verbindung zu weiteren Containerterminals oder auch Hinterlandhubs möglich sowie eine vollautomatische Verbindung der Terminals untereinander. Entsprechende Planszenarien sind für den gesamten Hamburger Hafen bereits in Arbeit, wobei auch das ContainerRailCab Bestandteil dieser Evaluationen ist.

In jedem Fall ist aber das ContainerRailCab für EUROGATE im Sinne des ISETEC II-Projektes eine zuverlässige und in der Zukunft flexibel ausbaufähige Alternative zu festen und räumlich begrenzten Seilbahntrassen.

Fazit

Das ContainerRailCab bietet für individuelle Einzelanforderungen bis hin zu komplexen Logistikaufgaben die flexible und ausbaufähige Baukastenlösung. Durch die Nutzung einer Schieneninfrastruktur ist es auch für größere Transportentfernungen bestens geeignet, wobei das Prinzip der autonomen Fahrzeugführung auch auf der Schiene eine unmittelbare und individuelle Bedienung von Transportaufträgen unabhängig von anderen Fahrzeugen auf derselben Trasse ermöglicht.

Der Einsatz des ContainerRailCabs insbesondere als Zubringer und Verteiler für die konventionelle Bahn verspricht überall dort einen großen Nutzen, wo eine Lokomotive und Waggons nicht mehr wirtschaftlich eingesetzt werden können. Darüber hinaus trägt das rein elektrische System zu einer Reduzierung der Schadstoffemissionen bei und steht auch für „Zero-Emission“-Ansätze bereit.

Literatur

- ¹ WWW.EUROGATE.EU
- ² FACHZEITSCHRIFT „HEBEZEUGE FÖRDERMITTEL“, MAI 2010
- ³ TAGUNGSBAND ISETEC II-STATUSSEMINAR DEZ. 2010
- ⁴ SIEHE ART-TECHNOLOGIE AUF WWW.BOMBARDIER.COM
- ⁵ [HTTP://MAGLEV.COM.WWW65.YOUR-SERVER.DE/UPLOADS/2002/PP07202.PDF](http://maglev.com/www65.your-server.de/uploads/2002/pp07202.pdf)



Dipl.-Math. Carsten Rustermeier hat als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Heinz Nixdorf Institut das RailCab-Projekt koordiniert und das Konzept des ContainerRailCabs maßgeblich mitgestaltet. Seit 2012 ist er bei der dSPACE GmbH tätig.



Dr.-Ing. Franz-Barthold Gockel ist Geschäftsführer der Ulrich Rotte Anlagenbau und Förder-technik GmbH, Salzkotten, die unter anderem Lösungen für mobile Fördertechnik entwickelt.

Kontakt:

Prof. Dr.-Ing. habil. Ansgar Trächtler
 Heinz Nixdorf Institut
 Fakultät für Maschinenbau
 05251 60-6277
ansgar.traechtler@rtm.upb.de

Mit Mathematik die Weltmeere erkunden

Von Gummi-Enten und Meeresströmungen

Von Michael Dellnitz und Christian Horenkamp



Prof. Dr. rer. nat. Michael Dellnitz ist seit 1998 Inhaber des Lehrstuhls für Angewandte Mathematik an der Universität Paderborn. Seine Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich der Entwicklung effizienter Algorithmen zur numerischen Behandlung Dynamischer Systeme und globaler (Mehrziel-)Optimierungsprobleme.

Vor 20 Jahren stürzte auf dem Weg von Hong Kong in die USA ein Containerschiff beladen mit 28 000 Gummi-Enten von einem Frachtschiff. Seitdem werden die Gummi-Enten von den Strömungen in alle Weltmeere verstreut und legen dabei zum Teil weite Wege auf den Ozeanen zurück. So strandeten einige auf Hawaii, andere an der schottischen Küste. Die Meeresströmungen schaffen es somit offenbar, Gegenstände über die gesamte Wasseroberfläche unseres Planeten zu transportieren. Doch können diese Strömungen auch kohärente Wirbelstrukturen erzeugen, die die Wassermasse und darin befindliche Objekte einfangen und über einen langen Zeitraum kaum wieder freigeben. So kreisen aktuell in einem begrenzten Bereich im Nordpazifik circa 2 000 der einst über Bord gegangenen Gummi-Enten. Sie sind gefangen in einem großen Wasserwirbel, der nur sehr wenig Wassermasse mit seiner Umgebung austauscht. Tatsächlich ist hier ein Sammelbecken für Abfälle aller Art [1], und der Ort wird auch als „Great Pacific Ocean Garbage Patch“ bezeichnet. Moderne mathematische Verfahren ermöglichen es, derartige Strukturen gezielt zu identifizieren und sie auch quantitativ zu analysieren.

Meereswirbel und Wärmetransport

Der Wärmetransport in den Ozeanen wird maßgeblich durch die globale Umwälzzirkulation beschrieben. Sie ist ein komplexes Netzwerk aus Strömungen an und unterhalb der Meeresoberfläche. Schematisch ist dieser Prozess in Abbildung 2

dargestellt. Da der Wärmetransport zugleich ein entscheidender Einflussfaktor für unser Klima ist [2], ist eine Quantifizierung der tatsächlich transportierten Wassermasse von großer Bedeutung. Signifikant wird diese durch *kohärente Wirbelstrukturen* bestimmt, die über relativ kurze Zeiträume – d. h. einige Monate – durch die Ozeane driften können. Ein Beispiel hierfür sind die Agulhas-Ringe, die warmes und salzhaltiges Wasser aus dem Indischen Ozean in den Südatlantik transportieren. Die Agulhas-Ringe werden vom Agulhas-Strom erzeugt, der im Indischen Ozean entlang der Ostküste Afrikas nach Süden fließt. Sie bewegen sich von der Südspitze Afrikas, dem Kap Agulhas, nordwärts in den Südatlantik. Deren Analyse im Hinblick auf Anzahl und Größe ist daher für ein Verständnis von potenziellen Klimaänderungen bedeutend.

Aktuelle Verfahren, die von Ozeanographen ange-



Abb. 1: Mengen von Schwebeteilchen, die sich kohärent (a) und inkohärent (b) auf der Meeresoberfläche verhalten.

Quelle: Lehrstuhl für Angewandte Mathematik

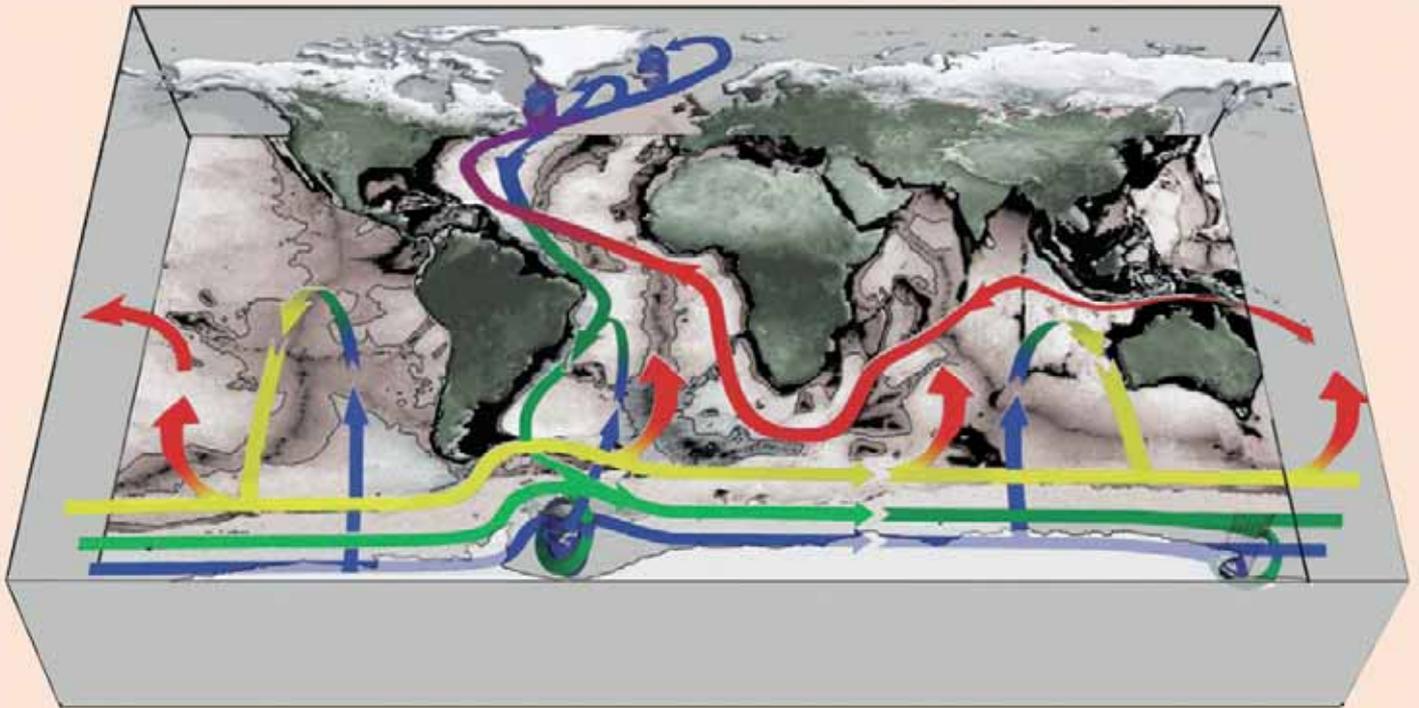
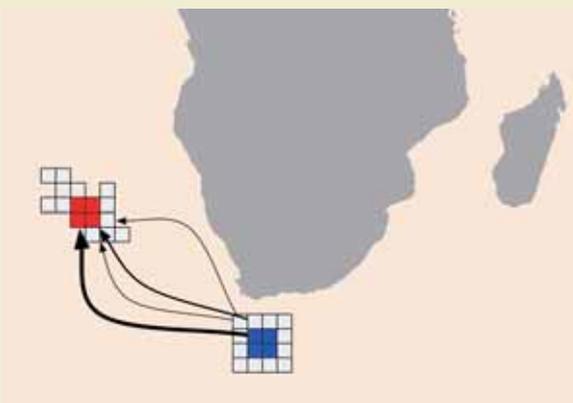


Abb. 2: Globale Umwälzzirkulation im Ozean. Reprinted by permission from Macmillan Publishers Ltd: Nature Geoscience, advance online publication, 26 February 2012 (doi: 10.1038/NNGEO1391).

wendet werden, können die Ausprägungen der Wirbel an der Meeresoberfläche ermitteln. Diese Methoden basieren in der Regel auf Satellitenmessungen, wie z. B. einer Höhenvermessung des Meeresspiegels. Hierbei werden die Lage und der Durchmesser der Ozeanwirbel über die Auswahl konzentrischer Höhenlinien auf der Meeresoberfläche bestimmt und deren zeitlicher Verlauf beobachtet. Doch der Transport von Wassermasse findet im Wesentlichen unterhalb der Meeresoberfläche statt. Daher sind dreidimensionale Analysen zur Bewegung der Agulhas-Ringe notwendig, um den Wärmetransport quantitativ zuverlässig zu erfassen.

Mathematische Analyse der Agulhas-Ringe

In einem gemeinsamen Forschungsprojekt von Mathematikern und Ozeanographen an der University of New South Wales in Sydney und dem Lehrstuhl für Angewandte Mathematik von Prof. Dr. Michael Dellnitz an der Universität Paderborn ([5]) werden mathematische Methoden entwickelt, die eine genaue Erfassung des Wärmetransportes im Agulhas-System ermöglichen. Die Entwicklung dieser Methoden ist u. a. auch Gegenstand des Promotionsprojektes von Christian Horenkamp. Das Vorhaben wurde vom Australian Research Council (ARC) und dem Deutschen Akademischen Austauschdienst (DAAD) im Rahmen eines projektbezogenen Personenaustausches gefördert. Auch das Climate Change Research Centre an der University of New South Wales ist in das Projekt mit eingebunden. Die Herangehensweise der Mathematiker funktioniert prinzipiell wie folgt: Es wird zunächst ein mathematisches Modell herangezogen, mit dem am Computer zuverlässig die Bewegung der Wassermasse in den Weltmeeren simuliert werden kann. In diesem Modell werden nun virtuell viele Millionen Schwebeteilchen im Ozean verteilt. Befinden sich diese in einem vom Ozean gut durchmischten Bereich, so werden sie sich sehr schnell in alle Richtungen verteilen. Sind die Partikel jedoch innerhalb einer kohärenten Wirbelstruktur, so werden sie dort für längere Zeit gefangen sein und sich kaum mit der Umgebung vermischen. Dieses unterschiedliche



Quelle: Lehrstuhl für Angewandte Mathematik

Abb. 3: Überdeckung zweier Bereiche im Ozean mit disjunkten Quadraten. Die Wahrscheinlichkeit, mit der Partikel von einer Menge in eine andere fließen, ist über die Linienstärke der Pfeile illustriert. Kohärente Wirbelstrukturen werden durch rote und blaue Bereiche dargestellt.

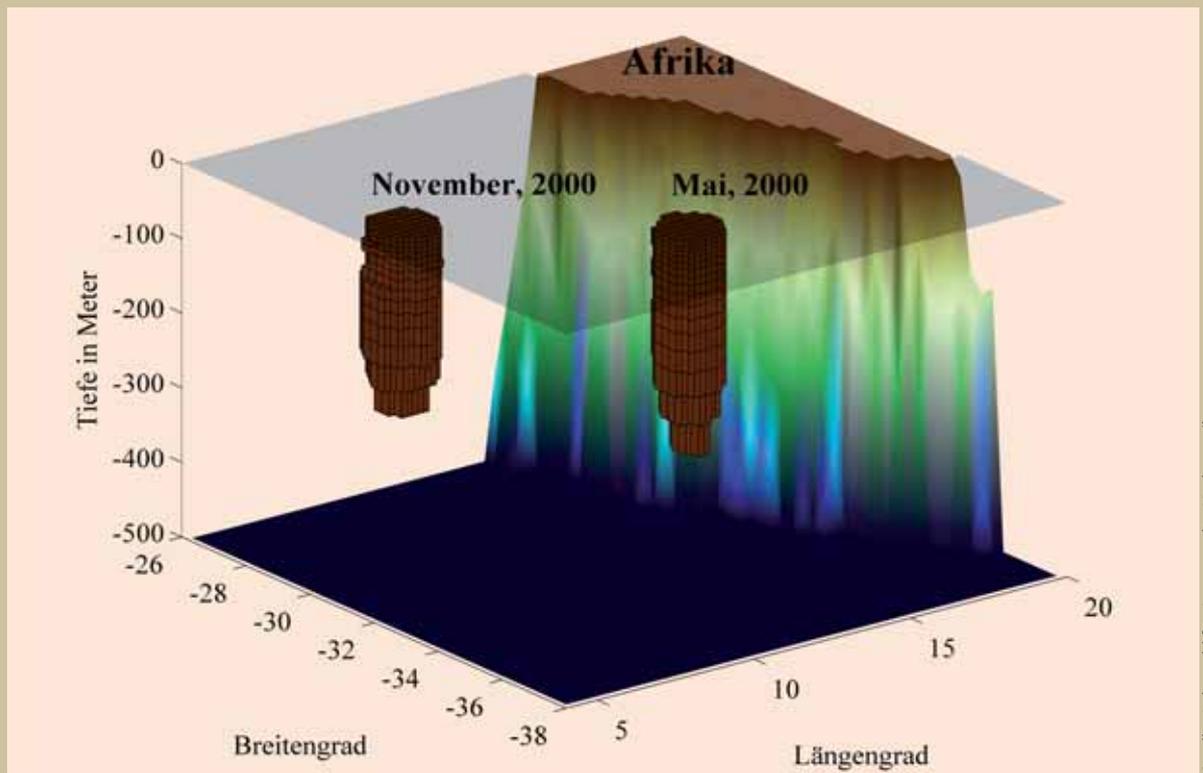


Abb. 4: Dreidimensionale Beschreibung eines Ozeanwirbels Anfang Mai 2000 und Anfang November 2000.

Quelle: Lehrstuhl für Angewandte Mathematik

Verhalten ist in Abbildung 1 dargestellt. Das zeitliche Verhalten der Partikel wird nun über einen gewissen Zeitraum verfolgt und anschließend mathematisch verarbeitet. Tatsächlich wird hierzu der zu untersuchende Bereich im Ozean – also etwa der Atlantische Ozean nördlich des Kap Agulhas – zunächst in würfelförmige Strukturen zerlegt. Anschließend können mithilfe der Analyse der Partikelbewegungen Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen den verschiedenen Würfeln über einen gewissen Zeitraum hinweg berechnet werden. Schematisch wird das Vorgehen vereinfacht an der Meeresoberfläche in Abbildung 3 dargestellt. Dort sind zwei Bereiche mit disjunkten Quadraten überdeckt und es sind die Wahrscheinlichkeiten illustriert, mit der Partikel von einer Menge in eine andere fließen. Diese Informationen werden schließlich in einer Matrix erfasst und mathematisch analysiert, wobei so genannte Eigen- und Singulärvektoren der Matrix mathematisch fundierte Rückschlüsse auf die Bewegung der kohärenten Wirbelstrukturen ermöglichen (rote und blaue Bereiche in Abbildung 3). Damit können diese Wirbelstrukturen – also insbesondere auch die Bewegung der Agulhas-Ringe – analysiert werden. Die Methode basiert auf der „Theorie der Transferoperatoren“, die bis vor wenigen Jahren ausschließlich innerhalb der Mathematik eine Rolle gespielt hat.

Analyse eines Agulhas-Ringes

Im Rahmen des gemeinsamen Forschungsprojektes mit der University of New South Wales wurde ein Agulhas-Ring über den Zeitraum von sechs

Monaten untersucht. Durch die Anwendung der oben beschriebenen Herangehensweise konnte eine dreidimensionale Beschreibung eines Agulhas-Ringes vorgenommen werden. Darüber hinaus wurde quantifiziert, wie viel Prozent der Wassermasse von Anfang Mai 2000 bis Ende Oktober 2000 innerhalb des kohärenten Wasserwirbels gebunden wurde. Mithilfe der Methode basierend auf der Theorie der Transferoperatoren gelang es nachzuweisen, dass über den erfassten Zeitraum hinweg 76 Prozent der Wassermasse innerhalb des Ringes verblieben. Die Ergebnisse sind in Abbildung 4 dargestellt. Einen detaillierten Einblick in die mathematische Vorgehensweise und eine Darstellung der Ergebnisse ist der Publikation [3] zu entnehmen. In Abbildung 5 ist schließlich die Bewegung eines weiteren Agulhas-Ringes zu sehen, der zurzeit im Rahmen des Projektes untersucht wird.

Asteroiden und Hurrikans

Die mathematische Analyse von Transportprozessen ist auch in anderen Bereichen relevant. So ist es der Paderborner Gruppe um Prof. Dr. Michael Dellnitz hiermit gelungen, die Anhäufung von Asteroiden im Asteroidengürtel zwischen Mars und Jupiter nachzuvollziehen. In den USA wurde die Identifikation kohärenter Strukturen zur Analyse von Hurrikans eingesetzt und an der University of New South Wales konnte die Gruppe um Prof. Dr. Gary Froyland mit diesen Methoden erfolgreich die zeitliche Veränderung des Ozonloches studieren [4].

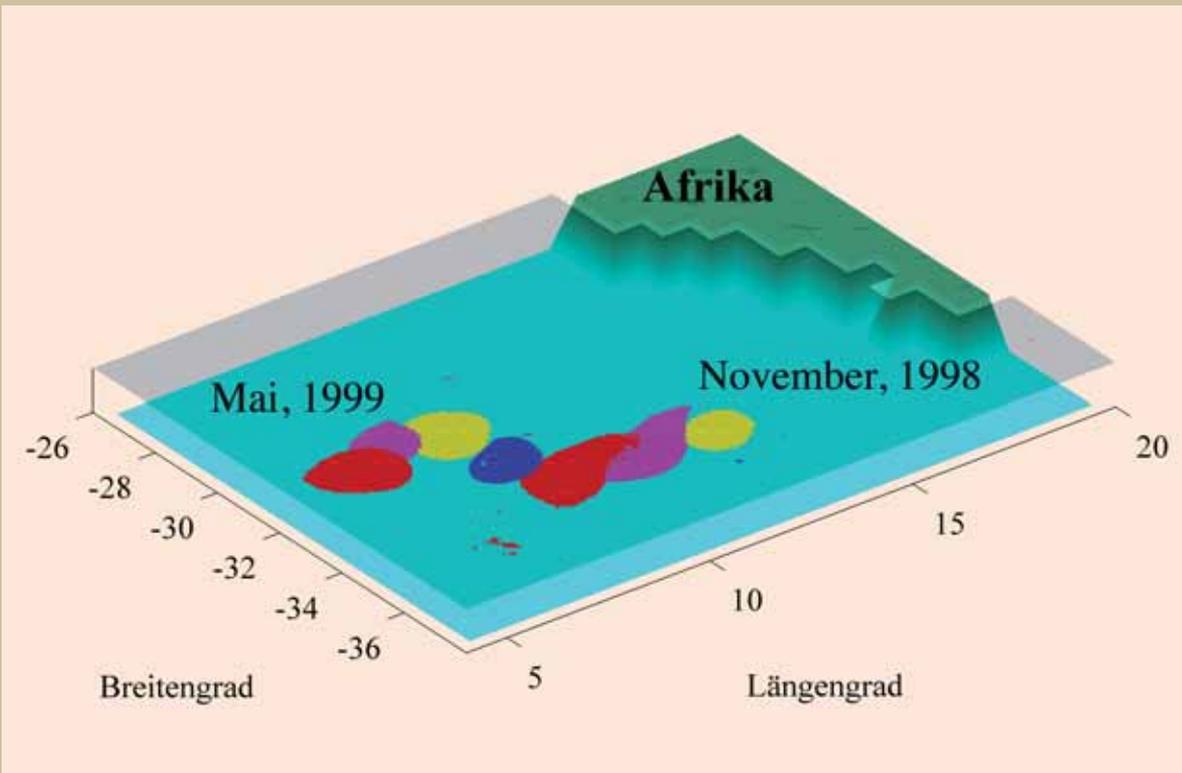


Abb. 5: Bewegung eines Agulhas-Ringes an der Meeresoberfläche von Anfang November 1998 bis Ende Mai 1999.

Literatur

- [1] [HTTP://WWW.MNN.COM/EARTH-MATTERS/WILDERNESS-RESOURCES/STORIES/WHAT-CAN-28-000-RUBBER-DUCKIES-LOST-AT-SEA-TEACH-US-ABOUT-](http://www.mnn.com/earth-matters/wilderness-resources/stories/what-can-28-000-rubber-duckies-lost-at-sea-teach-us-about-)
- [2] [HTTP://WWW.NATURE.COM/SCITABLE/KNOWLEDGE/LIBRARY/THE-GLOBAL-CLIMATE-SYSTEM-74649049](http://www.nature.com/scitable/knowledge/library/the-global-climate-system-74649049)
- [3] G. FROYLAND, CH. HORENKAMP ET AL.: THREE-DIMENSIONAL CHARACTERIZATION AND TRACKING OF AN AGULHAS RING. OCEAN MODELLING, 52-53:69-75, 2012.
- [4] [HTTP://WWW.SCIENCEDAILY.COM/RELEASES/2010/12/101207091811.HTM](http://www.sciencedaily.com/releases/2010/12/101207091811.htm)
- [5] [HTTP://MATH-WWW.UNI-PADERBORN.DE/~AGDELLNITZ/](http://math-www.uni-paderborn.de/~agdellnitz/)

Kontakt:

Prof. Dr. Michael Dellnitz
Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik
Institut für Mathematik
05251 60-2649
dellnitz@math.upb.de



Dipl.-Math. Christian Horenkamp ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Angewandte Mathematik. Schwerpunktmäßig befasst er sich mit der effizienten numerischen Approximation von kohärenten Strukturen in dynamischen Systemen und deren Anwendungen.

Sport und psychische Gesundheit

Sport- und Bewegungstherapie mit depressiven Patienten

Von Matthias Weigelt
und Andre Berwinkel



Prof. Dr. Matthias Weigelt ist seit 2011 Leiter des Arbeitsbereiches Sportpsychologie an der Universität Paderborn. Die Schwerpunkte seiner Arbeit liegen in der Erforschung psychologischer Determinanten menschlichen Verhaltens. Diese werden nicht nur im Kontext von Freizeit-, Leistungs- und Gesundheitssport untersucht, sondern auch für die Schule und die universitäre Arbeitswelt.

Der Arbeitsbereich Sportpsychologie des Department Sport & Gesundheit führt aktuell ein Forschungsprojekt zum Thema Sport und psychische Gesundheit unter der Leitung von Prof. Dr. Matthias Weigelt und Dipl. Sportwiss. Andre Berwinkel durch. Ziel des Projekts ist es zunächst, ein Sport- und Bewegungsprogramm zur therapeutischen Intervention bei depressiven Erkrankungen zu entwickeln. Danach erfolgt eine Evaluation in Zusammenarbeit mit regionalen

Therapieeinrichtungen, um das Programm als Begleittherapie in den klinischen Alltag zu integrieren. Im Anschluss an die Evaluationsphase in der Klinik soll aus den Ergebnissen ein präventives Sportprogramm zur Gesundheitsförderung der Studierenden und Mitarbeiter der Universität Paderborn abgeleitet und im Rahmen des Hochschulsports umgesetzt werden.

Ein Blick in die heutige Medienlandschaft zeigt, dass Depressionserkrankungen längst kein Einzelfall mehr sind und sich diese gerade in den letzten Jahren zu einer regelrechten „Volkskrankheit“ entwickelt haben. Nach Aussage des Robert-Koch-Instituts erkranken deutschlandweit etwa sechs Millionen Menschen jährlich an affektiven Störungen (vgl. Wittchen, Jacobi, Klose & Ryl, 2010). Und glaubt man einem aktuellen Report des Bundesverbandes für Berufskrankenkassen (BKK), dann wurden im Jahr 2010 im Durchschnitt 178 Fehltage pro 100 Versicherte wegen psychischer Erkrankungen in Anspruch genommen. Im Jahr 2005 waren es noch 107 Fehltage pro 100 Versicherte. Diese Zahlen spiegeln den Anstieg psychischer Belastung in der heutigen Arbeitswelt wider, auch wenn dieser (glücklicherweise) nicht in jedem Fall in einer manifesten Depressionserkrankung endet. Jedoch kann bereits eine erhöhte Stressbelastung zu einem andauernden Erschöpfungszustand mit einem einhergehenden Mangel an Leistungsmotivation und die Bournout-Problematik zu Schwierigkeiten im Arbeitsablauf größerer Organisationen, wie z. B. einer Universität, führen.



Foto: Sievers

Abb. 1: Depressive Erkrankungen sind, auch unter Sportlern, längst kein Einzelfall.



Foto: Berwinkel

Abb. 2: Gefühle von Hoffnungslosigkeit und Traurigkeit sind zentrale Symptome depressiver Erkrankungen. Nichtsdestotrotz bietet ein multiprofessionelles Behandlungskonzept gute Chancen auf eine Linderung der Symptome.

Depressive Erkrankungen als gesamtgesellschaftliche Herausforderung

Heute liegt die Wahrscheinlichkeit für jeden Bundesbürger, einmal im Leben an einer Depression zu erkranken, bei 19 Prozent (vgl. Wittchen, Jacobi, Klose & Ryl, 2010). Dabei sind nicht nur ältere Menschen von dieser Krankheit betroffen. Durch den Verlust an sozialer Sicherheit bei gleichzeitiger Individualisierung erkranken zunehmend auch junge Menschen, woraus sich ein gesamtgesellschaftliches Problem entwickelt hat (vgl. Davison, Neale & Hautzinger, 2007). Im Hinblick auf die Arbeitswelt lässt sich eine problematische Tendenz erkennen: Kommt es zu einer Dysbalance zwischen Arbeitsanforderung und persönlicher Leistung, dann kann dies zur Beeinträchtigung der psychischen Gesundheit führen. Mögliche Folgen sind neben der bekannten Burnout-Problematik auch manifeste depressive Erkrankungen. Diese können sich in einer gedrückten Stimmung, Freudlosigkeit und einem geminderten Selbstwertgefühl äußern. Aber auch psychomotorische Symptome, wie der Verlust von Antrieb und (Eigen-)Aktivität, motorische Verlangsamung und Störungen der Konzentrationsleistung sind typische Begleiterscheinungen depressiver Erkrankungen (vgl. Dilling, Mombour, Schmidt & Schulte-Markwort, 2006).

In der Therapie depressiver Erkrankungen stehen zunächst pharmakologische Behandlungen und

psychotherapeutische Angebote im Mittelpunkt. Zusätzlich zu diesen etablierten Therapieformen spielen die so genannten Begleittherapien (z. B. Ergotherapie, Kunsttherapie sowie Sport- und Bewegungstherapie) eine wesentliche Rolle im multiprofessionellen Behandlungskonzept depressiver Erkrankungen. Eine dieser Begleittherapien, namentlich die Sport- und Bewegungstherapie, steht im Zentrum des Interesses der aktuellen Studien der Sportpsychologen am Department für Sport & Gesundheit. Im Allgemeinen orientieren sich sport- und bewegungstherapeutische Maßnahmen am ganzheitlichen Ansatz der Salutogenese und zielen auf mehrdimensionale Wirkungen im psychomotorischen, kognitiven und emotionalen Bereich ab. Neben einer verbesserten körperlichen Leistungsfähigkeit stehen der Aufbau der Eigenmotivation, der Selbstverantwortung sowie die Förderung der Kommunikation und des Sozialverhaltens im Vordergrund (vgl. Hölter & Deimel, 2011). Trotz alledem existieren bis heute nur wenige, systematisch abgesicherte Forschungsergebnisse und Therapieangebote zur praktischen Anwendung.

Mit der Einrichtung des Arbeitskreises Gesunde Hochschule und dem Projekt „Uni-Bündnis gegen Depressionen“ hat die Universität Paderborn das Thema psychische Belastung am Arbeitsplatz bereits aufgegriffen und zahlreiche Maßnahmen eingeleitet, um zukünftig besser im Bereich der



Foto: Berwinkel

Abb. 3: Sporttherapeutische Interventionen zielen neben der individuellen Betreuung vor allem auch auf positive Erlebnisse innerhalb von Gruppen ab.

Gesundheitsvorsorge aufgestellt zu sein. Neben der Sensibilisierung für das Thema „Depression am Arbeitsplatz“, steht die Schulung von Personalverantwortlichen, das Beratungsangebot für Betroffene und die Organisation von Informationsveranstaltungen im Mittelpunkt des Uni-Bündnisses. Der Arbeitsbereich Sportpsychologie des Department Sport und Gesundheit strebt eine enge Kooperation mit dem Arbeitskreis Gesunde Hochschule an und wird in diesem Zusammenhang zum kommenden Wintersemester wieder ein Studienprojekt zum Thema „Sport und psychische Gesundheit“ anbieten. Darin sollen Studierende u. a. Konzepte für ein Sport- und Bewegungsprogramm für Menschen mit depressiven Erkrankungen entwerfen.

Sport- und Bewegungstherapie – Forschungsstand

Sport- und Bewegungsprogramme blicken auf eine lange Tradition des intuitiven Einsatzes bewegungsbezogener Maßnahmen zur Linderung psychischer Leiden zurück (vgl. Müller-Lütken, 1989). Dabei zielen diese Maßnahmen nicht nur auf die Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit ab, sondern auch auf die Stärkung von Eigeninitiative, Selbstverantwortung, Kommunikation und Sozialverhalten. Darüber hinaus wird postuliert, dass Sport- und Bewegungstherapien in der Lage sind, soziale Rückzugstendenzen

abzubauen und das subjektive Kompetenzerleben zu steigern (vgl. Längle, 2004).

Sport- und Bewegungstherapie in der Wissenschaft: Derzeit umfasst der Begriff Sporttherapie meist sehr heterogene, bewegungsgebundene Interventionsverfahren, welche jedoch in ihren Inhalten stark variieren. Zudem werden die einzelnen Interventionsmaßnahmen in vielen Studien nur sehr unzureichend beschrieben und unterscheiden sich zum Teil erheblich in der Dauer ihrer Anwendung. Die jeweiligen Untersuchungsstichproben sind oftmals sehr gering, so dass von den Ergebnissen nicht auf größere Patientenpopulationen generalisiert werden kann. Ein objektiver Vergleich zwischen den unterschiedlichen Studien zum Lauf- oder Ausdauertraining bzw. zu kombinierten Trainingsmethoden ist damit nicht möglich. Deshalb lassen sich bisher auch keine zuverlässigen Aussagen darüber treffen, mit welcher sportlichen Betätigung über welchen Zeitraum hinweg welche Effekte erzielt werden können (vgl. Schwenkmetzger, 1998). Auch fehlen wissenschaftliche Studien, welche die jeweiligen Interventionsmaßnahmen im Sinne einer Dosis-Wirkungs-Beziehung untersuchen. Solche Studien sind jedoch zwingend notwendig, um sporttherapeutische Maßnahmen als eine Ergänzung der bestehenden Behandlungsmethoden zu etablieren (vgl. Heimbeck & Hölter, 2011). In diesem Zusammenhang sind auch die oft unterschiedli-

chen Erhebungsmethoden (z. B. Selbst- vs. Fremdbeurteilung) zur Veränderung der affektiven Symptomatik zu kritisieren, die einen direkten Vergleich der Wirksamkeit unterschiedlicher Trainingsprogramme erschweren. Auch das in den meisten Studien allein auf die Verbesserung der emotionalen Zustände fokussiert wird, ist kritisch zu betrachten. Zusätzlich sollte die Veränderung von psychomotorischen Defiziten, wie Antrieb, Verarbeitungsgeschwindigkeit und körperliche Aktivität, über den Verlauf der Interventionsmaßnahmen hinweg beachtet werden.

Sport- und Bewegungstherapie in der Praxis. Bisher gibt es keine klaren Richtlinien zur inhaltlichen Gestaltung von Sport- und Bewegungstherapieprogrammen bei depressiven Erkrankungen (vgl. Deutscher Verband für Gesundheitssport und Sporttherapie, 2012). Interventionsstudien untersuchten vor allem den Zusammenhang von körperlicher Leistungssteigerung und der Stimmung der Patienten. Dabei wurden primär Ausdauer- und Krafttrainings eingesetzt, da hier sowohl die Intensität der Belastung gut kontrolliert als auch die körperlichen Adaptionsprozesse gut quantifiziert werden konnten. Die Wirkung anderer Trainingsformen (z. B. Sportspiele, Psychomotorik-Übungen) wurde dagegen vernachlässigt. Darüber hinaus lag der Fokus sporttherapeutischer Bemühungen bei depressiven Patienten bisher fast ausschließlich auf den affektiven Symptomen, kognitive und psychomotorische Defizite wurden in der Praxis bisher nur unzureichend berücksichtigt (vgl. Weigelt, Steggemann, Machlitt & Engbert, 2012). Wir sind jedoch der Meinung, dass gerade eine differenzierte und vielschichtige Sport- und Bewegungstherapie geeignet ist, die Therapie depressiver Menschen zu unterstützen. Hierzu fehlt bisher eine klare theoretische Konzeption, aus der sich Empfehlungen für die Sport- und Bewegungstherapie sowie Evaluationsstudien ableiten lassen.

Diese Kritikpunkte bzgl. des Einsatzes von Sport- und Bewegungstherapie im Kontext depressiver Erkrankungen greifen Weigelt et al. (2012) auf und geben fünf Handlungsempfehlungen für die inhaltliche Ausgestaltung zukünftiger Therapieangebote, welche neben den unmittelbar symptombezogenen Aspekten einer Depression, auch psychosoziale, kognitive und psychomotorische Aspekte berücksichtigt. Statt der Frage, ob mit Sport- und Bewegungstherapie vergleichbare Effekte wie mit pharmakologischen oder psychotherapeutischen Interventionsformen erreicht werden können, ist es aus Sicht der Autoren zeitgemäßer zu fragen, in welchem Umfang welcher Sport vor allem in Abstimmung mit psychotherapeutischen Behandlungsformen eingesetzt werden kann. Diese Handlungsempfehlungen



Abb. 4: Übungsformen aus der angewandten Sportpsychologie könnten zukünftig in der Sport- und Bewegungstherapie berücksichtigt werden.

bilden die Grundlage für das aktuelle Projekt zum Thema Sport und psychische Gesundheit des Arbeitsbereichs und sollen im Folgenden kurz erläutert werden.

Handlungsempfehlungen für den Sport mit depressiven Patienten

(1) Spontanes Handeln und kognitive Flexibilität fördern. Um neben affektiven auch psychomotorische und kognitive Symptome der Depression mit einzubeziehen, sollten in der Sporttherapie vor allem solche Bewegungsformen gewählt werden, die ein spontanes Handeln fordern und fördern. Depressive Patienten haben dadurch die Möglichkeit, flexibel zu handeln und positive Erfahrungen in sonst vermiedenen Bereichen zu machen. Sporttherapeuten sollten deshalb darauf achten, Engagement und die Spontanität der Patienten und nicht die Vermeidung von Fehlern zu verstärken. Hierzu eignen sich – im Gegensatz zum Gerätetraining – insbesondere jene Spiel- und Bewegungsformen, in denen sich Patienten auf ständig

Tag	Inhalt	Ziel
Montag	Sportspiele, kleine Spiele, Übungsformen zur sozialen Interaktion	Förderung der kognitiven Flexibilität, spontanes Handeln initiieren
Mittwoch	Aerobes Ausdauertraining (Walking/Joggen)	Umgang mit Belastungen modifizieren, systematische Steigerung der körperlichen Intensität
Freitag	Übungen zur Körperwahrnehmung/angewandte Sportpsychologie	Körperwahrnehmung verbessern

Tabelle 1: Eine exemplarische Wocheneinheit.

wechselnde Bedingungen einstellen und auf diese reagieren müssen.

Bezüglich der Förderung kognitiver Flexibilität sollten zum einen solche Spielformen gewählt werden, in denen die Patienten zum richtigen Zeitpunkt reagieren und wichtige von unwichtigen Informationen trennen müssen. Zum anderen sollten depressive Patienten explizite Strategien zur effizienten Verarbeitung von Informationen erlernen. Dabei scheinen vor allem Strategien zur bewussten Aufmerksamkeitslenkung sinnvoll, bei der bestehende Defizite der Informationsverarbeitung integriert und auf strategischer Ebene kompensiert werden können. Hier bietet die angewandte Sportpsychologie vielfältige Übungsformen, welche für die Therapiearbeit adaptiert und erweitert werden sollten. Diese Übungsformen können z. B. den bewussten Wechsel von einem weiten zu einem engen Aufmerksamkeitsfokus oder die Steuerung der Aufmerksamkeit bei Ablenkungen, etwa durch körperliche Belastung, beinhalten.

(2) Fehler ermöglichen und Fehler entkatastrophieren. Aufgrund kognitiver Verzerrungen neigen depressive Patienten dazu, Fehler zu vermeiden und überzubewerten, was zu Inaktivität und zur Aufrechterhaltung der depressiven Symptomatik beiträgt. Sport- und Bewegungstherapien sollten daher ein Lernumfeld mit variablen und wechselnden Bewegungsaufgaben schaffen, in dem Fehler als normaler Bestandteil des Lernprozesses angesehen und entsprechend toleriert werden. Dafür eignen sich insbesondere die Sportspiele, wie „Völkerball“ oder „Ball über die Schnur“, in denen ein Handlungsfehler in der Regel keine größeren Konsequenzen hat und durch häufigen Ballwechsel oder einfache Zusatzregeln schnell wieder ausgeglichen werden kann. Es sollte darum

gehen, Fehler zu entkatastrophisieren, Spontaneität im Handeln zu fördern und Fehlern eine weniger zentrale Rolle im eigenen Handeln zuzuschreiben. Die Sport- und Bewegungstherapie bietet gerade hier in Verbindung mit psychotherapeutischer Arbeit ein geeignetes Umfeld, kognitiv erarbeitete Inhalte erlebbar zu machen und Verhaltensexperimente zum Test dysfunktionaler Gedanken und Annahmen durchzuführen.

(3) Körperwahrnehmung verbessern. Viele depressive Patienten zeigen eine gesenkte Körperhaltung, eingeschränkte Mobilität, Verlangsamungen oder Koordinationsstörungen (Lemke, 1999). In diesem Zusammenhang bieten sporttherapeutische Maßnahmen die Möglichkeit, die Körperwahrnehmung, die Körperhaltung und die Bewegungssteuerung aktiv zu beeinflussen. In neueren Arbeiten konnte beispielsweise der Zusammenhang von Körperhaltung und erlebter Stimmung gezeigt werden (z. B. Price & Harmon-Jones, 2010). Die Forschung zum Thema Embodied Kognition zeigt, dass die wechselseitige Beeinflussung von Affekt, Psychomotorik und Bewegung ein vielversprechender Ansatz ist, in dem sporttherapeutische und psychotherapeutische Interventionen sich, aufeinander abgestimmt, gegenseitig positiv beeinflussen können. In der Praxis werden hier z. B. sportpsychologische Übungen zur Körperwahrnehmung oder zur bewussten Steuerung des Körpers eingesetzt (z. B. Yoga oder therapeutisches Klettern), um Patienten positive Erfahrungen bzgl. der Funktionalität ihres Körpers zu vermitteln.

(4) Körperliche Intensität des Trainings systematisch steigern. Sporttherapeutische Maßnahmen bieten die Möglichkeit, mit depressiven Patienten positiv erlebte Aktivitäten aufzubauen, den Zusammenhang von Stimmung und Aktivität

erfahrbar zu machen und so das Selbstwirksamkeitserleben zu steigern. Hierbei ist aus Sicht der Autoren die psychotherapeutische Einbindung und nicht die bloße Durchführung oder die Intensität der sportlichen Tätigkeit entscheidend. Die körperliche Belastung sollte also konsequent an den Leistungsstand der Patienten angepasst werden, um vor allem eine anfängliche Überforderung zu vermeiden. Im Verlauf ist dann eine systematische Steigerung der Intensität möglich, die jedoch nicht primär auf eine körperliche Ertüchtigung, sondern eher auf die psychotherapeutische Nutzung der erlebten Veränderungen, z. B. im Sinne einer Arbeit an der erlebten Selbstwirksamkeit oder dysfunktionalen Kognitionen über die eigene Leistungsfähigkeit, abzielen sollte.

(5) Umgang mit Belastungen verbessern. Patienten mit depressiven Erkrankungen können aufgrund von dysfunktionalen Kognitionen über sich selbst, der Zukunft und der Umwelt mit den Anforderungen des Alltags oft nur unzureichend umgehen und empfinden selbst kleinere Aufgaben zunehmend als Belastung (Beck et al., 1986). Der daraus resultierende Rückzug und Inaktivität sind oft ein wesentlicher Faktor für die Aufrechterhaltung der depressiven Symptomatik. Die Sporttherapie bietet hier in einem geschützten Umfeld die Möglichkeit, Anforderungen zu schaffen und unter Anleitung deren aktive Bewältigung zu fördern. Durch das Vermitteln und Erleben von Entspannungstechniken, Wahrnehmungsübungen und Stressbewältigungstechniken aus der praktischen Sportpsychologie können Patienten neue Copingstrategien erlernen und in ihren Alltag übertragen. Die in sportlichen Übungen erlebte Bewältigung von Belastungssituationen kann dann dazu beitragen, positive Stressbewältigungserfahrungen zu machen und helfen, Erfolgserwartungen und eine aktivere Haltung gegenüber den alltäglichen Anforderungen aufzubauen.

Das Projekt „Sport und psychische Gesundheit“

Ziel des Projekts: Das Projekt zielt zunächst darauf ab, ein Sport- und Bewegungsprogramm zur therapeutischen Intervention bei depressiven Erkrankungen zu entwickeln. Danach erfolgt eine Evaluation in Zusammenarbeit mit regionalen Therapieeinrichtungen, um das Programm als Begleittherapie in den klinischen Alltag zu integrieren. Im Anschluss an die Evaluationsphase in der Klinik soll aus den Ergebnissen ein präventives Sportprogramm zur Gesundheitsförderung der Studierenden und Mitarbeiter der Universität Paderborn abgeleitet und im Rahmen des Hochschulsports umgesetzt werden. Dabei sind zwei Fragestellungen von zentralem Interesse: (1) Wie lassen sich die fünf Handlungsempfehlungen



Foto: Berwinkel

Abb. 5: Depressionen legen sich wie eine Maske über die Seele und verschleiern positive Persönlichkeitseigenschaften, die sonst zu einem stabilen Selbstwertgefühl beitragen.

innerhalb eines Sport- und Bewegungsprogramms in der Therapie depressiver Erkrankungen umsetzen? (2) Welche Wirkungen können mit der Durchführung eines solchen Programms bzgl. der symptombezogenen, kognitiven und physiologischen Aspekte depressiver Erkrankung erzielt werden?

Methodischer Ansatz und Intervention: Die Studie setzt sich insgesamt aus einer Pilotstudie (vier Wochen, drei Termine pro Woche, jeweils eine Stunde) und einer Hauptuntersuchung (mindestens zwölf Wochen, drei Termine pro Woche, jeweils eine Stunde) zusammen. In der Pilotstudie soll eine kleinere Stichprobe depressiver Patienten innerhalb einer Kurzintervention getestet werden, um die bewegungsbezogenen Inhalte für

die Hauptuntersuchung zu überprüfen. Im Rahmen der Hauptuntersuchung wird das Therapieprogramm mit den vorab erarbeiteten bewegungsbezogenen Inhalten an einer größeren Patientenstichprobe über einen längeren Zeitraum hinweg durchgeführt. Dieses Angebot wird spezifisch mit den anderen Maßnahmen zur Weiterbetreuung der Patienten in der Tagesklinik abgestimmt.

Inhaltlich sollen vor dem Hintergrund der Handlungsempfehlungen verschiedene Schwerpunkte (z. B. Sportspiele/Spiele zur sozialen Interaktion, aerobes Ausdauertraining, Übungen zur Körperwahrnehmung/angewandte Sportpsychologie) gesetzt werden (Tabelle 1). Neben der Erfassung symptombezogener Parameter mittels üblicher Verfahren der Psychodiagnostik, sollen auch kognitive und psychosoziale Merkmale per Fragebogen erhoben werden. Weiterhin stehen mobile Stress- und Aktivitätssensoren der Firma movisens GmbH zur Verfügung, welche neben allgemeinen physiologischen Parametern und der Erfassung spezifischer Aktivitätsmuster, auch Rückschlüsse auf das Stresserleben der Probanden zulassen.

Kooperationspartner: Das Projekt wird über eine enge Zusammenarbeit mit regionalen Therapieeinrichtungen realisiert. Zum einen bestehen Kooperationsvereinbarungen mit den LWL-Kliniken in Paderborn und Münster sowie mit dem Evangelischen Krankenhaus Bielefeld (Bethel). Das jeweilige Sport- und Bewegungsprogramm wird direkt in den entsprechenden Therapieeinrichtungen der Kliniken durchgeführt, damit die Interventionsmaßnahmen möglichst effizient aufeinander abgestimmt werden können und das Projekt sinnvoll in den Therapiealltag der Patienten integriert werden kann. Zum anderen konnte die Firma movisens, eine Ausgründung des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), für das Projekt gewonnen werden. Mithilfe neuer Messtechnik, die von Seiten der Firma movisens für das Projekt bereitgestellt wird, können andernfalls nur schwer erfassbare Parameter (wie etwa das Stresserleben und spezifische Aktivitätsmuster der Patienten) erfasst werden.

Antizipierte Ergebnisse des Projekts und Synergieeffekte: Im Mittelpunkt des Forschungsinteresses steht die Entwicklung eines systematischen Sport- und Bewegungsprogramms zur therapeutischen Intervention bei depressiven Erkrankungen. Die wissenschaftliche Evaluierung der Handlungsempfehlungen von Weigelt et al. (2012) gibt dem neu eingerichteten Arbeitsbereich für Sportpsychologie die Möglichkeit, ein sehr aktuelles Forschungsfeld zu bearbeiten und sich im Bereich der Depressionsforschung deutschlandweit zu positionieren. Weiterhin werden der regionale

Forschungsstand im Landschaftsverband Westfalen-Lippe (LWL-Klinik) und im Großraum Paderborn zur Depressionstherapie weiter ausgebaut und die entsprechenden Therapieeinrichtungen in Bezug auf die Sport- und Bewegungstherapie besser vernetzt.

Zusätzliche Synergieeffekte entstehen in Bezug auf das Projekt „Uni-Bündnis gegen Depressionen“ insofern, als sich aus der Evaluation direkte Rückschlüsse zur Art und Dauer eines Sportprogramms als präventive Maßnahme gegen Depressionen ziehen lassen. In Kooperation mit dem Arbeitskreis Gesunde Hochschule und dem Hochschulsport kann anschließend ein systematisches Sport- und Bewegungsprogramm gegen die bereits am Anfang des Artikels angesprochene Dysbalance aus beruflicher Anforderung und persönlicher Leistung entwickelt werden, um zukünftig zur Gesundheitsförderung der Mitarbeiter und Studenten der Universität Paderborn beizutragen.

Literatur

BECK, A.T., RUSH, A. J., SHAW, B. F. & EMERY, G., (1986) *KOGNITIVE THERAPY DER DEPRESSION*. MÜNCHEN: PSYCHOLOGIE VERLAGS UNION.

DAVISON, G. C., NEALE, J. M. & HAUZINGER, M. (2007). *KLINISCHE PSYCHOLOGIE* (7. ÜBERARB. UND ERW. AUSG.). WEINHEIM: BELTZ VERLAG.

DEUTSCHER VERBAND FÜR GESUNDHEITSSPORT UND SPORTTHERAPIE E.V. (2012). *SPORT UND BEWEGUNGSTHERAPIE*. ZUGRIFF AM 25.10.2012 UNTER: [HTTP://WWW.DVGS.DE/INDEX.PHP?ARTICLE_ID=38 &CLANG=0](http://www.dvgs.de/index.php?article_id=38&clang=0)

DILLING, H., MOMBOUR, W., SCHMIDT, M. H. & SCHULTE-MARKWORT, E. (2006). INTERNATIONALE KLASSEFUNKTION PSYCHISCHER STÖRUNGEN. ICD-10 KAPITEL V (F). *DIAGNOSTISCHE KRITERIEN FÜR FORSCHUNG UND PRAXIS* (4. ÜBERARB. AUFL.). BERN: HANS HUBER VERLAG.

HEIMBECK, A. & HÖLTER, G. (2011). BEWEGUNGSTHERAPIE UND DEPRESSION – EVALUATIONSSTUDIE ZU EINER UNSPEZIFISCHEN UND EINER STÖRUNG-ORIENTIERTEN BEWEGUNGSTHERAPEUTISCHEN FÖRDERUNG IM KLINISCHEN KONTEXT. *PSYCHOTHERAPIE, PSYCHOSOMATIK, MEDIZINISCHE PSYCHOLOGIE*, 61(5), 200-207.

HÖLTER, G. & DEIMEL, H. (2011). AFFEKTIVE STÖRUNGEN. IN G. HÖLTER (HRSG.), *BEWEGUNGSTHERAPIE BEI PSYCHISCHEN ERKRANKUNGEN. GRUNDLAGEN UND ANWENDUNG* (S. 156-210). KÖLN: DEUTSCHER ÄRZTE-VERLAG.

LÄNGLE, G. (2004). SPORT. IN W. RÖSSLER (HRSG.), *PSYCHIATRISCHE REHABILITATION* (S. 791-797). HEIDELBERG: SPRINGER-VERLAG.

LEMKE, M. R. (1999). MOTORISCHE PHÄNOMENE DER DEPRESSION. *DER NERVENARZT*, 7, 600-612.

MÜLLER-LÜTKEN, V. (1989). DERZEITIGER IST-ZUSTAND DER SPORT- UND BEWEGUNGSTHERAPIE IN PSYCHIATRISCHEN KLINIKEN DER BUNDESREPUBLIK. *SPORTTHERAPIE IN THEORIE UND PRAXIS*, 5, 8-9.

PRICE, T. F. & HARMON-JONES, E. (2010). THE EFFECT OF EMOTIVE STATES ON COGNITIVE CATEGORIZATION. *EMOTION*, 10(6), 934-938.

SCHWENKMETZGER, P. (1998). WIRKUNG VON SPORT ALS PSYCHOTHERAPIE. WUNSCH ODER WIRKLICHKEIT. *DEUTSCHE ZEITSCHRIFT FÜR SPORTMEDIZIN*, SONDERHEFT 1, 300-305.

WEIGELT, M., STEGGEMANN, Y., MACHLITT, D. & ENGBERT, K. (2012). SPORT- UND BEWEGUNGSTHERAPIE BEI PSYCHISCHEN ERKRANKUNGEN – EINE KRITISCHE REFLEXION UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DEN SPORT MIT DEPRESSIVEN PATIENTEN. *Psychotherapie im Dialog*, 13(4), 91-93.

WITTCHEN, H. U., JACOBI, F., KLOSE, M. & RYL, L. (2010). DEPRESSIVE ERKRANKUNGEN. IN ROBERT KOCH-INSTITUT (HRSG.), *GESUNDHEITSBERICHTER-STATTUNG DES BUNDES*, 51 (THEMENHEFT).



Dipl. Sportwiss. Andre Berwinkel ist Stipendiat und Mitarbeiter im Projekt „Sport und psychische Gesundheit“ des Arbeitsbereichs Sportpsychologie. Innerhalb seiner Doktorarbeit entwickelt und evaluiert Andre Berwinkel das Programm zur Sport- und Bewegungstherapie bei depressiven Patienten.

Kontakt

Prof. Dr. Matthias Weigelt

Fakultät für Naturwissenschaften

Arbeitsbereich Sportpsychologie am

Department Sport & Gesundheit

05251 60-3200

matthias.weigelt@upb.de

Energiewende mit Sonnenstrom

Herausforderungen – Kosten, Ertrag, Netz- und Verbrauchsanpassung

Von Stefan Krauter



Prof. Dr.-Ing. Stefan Krauter ist seit 2010 Inhaber des Lehrstuhls für Elektrische Energietechnik an der Universität Paderborn. Forschungsschwerpunkte sind nachhaltige Erzeugung und Gebrauch von Energie (Photovoltaik und Windenergie) sowie die Themen Virtuelle Speicher, Verbrauchsanpassung und Energieeinsparung.

Die Photovoltaik wird oft als „Königin der Erneuerbaren“ bezeichnet: Weltweit verfügbar, vergleichsweise geringe Potenzialunterschiede, keine Abnutzung, lange Lebensdauer (mehr als 25 Jahre), keine Rohstoffproblematik (Silizium ist eines der häufigsten Elemente der Erdkruste), sehr gut ins urbane Umfeld integrierbar, emissions- und geräuschlos, modular und fast beliebig skalierbar (Nennleistungsbereich von mW bis GW: von der Armbanduhr bis zum Großkraftwerk).

Nachdem die Photovoltaik (PV) in ihrer ersten Phase über Jahrzehnte ein Nischendasein fristete und hauptsächlich zur Versorgung von Weltraumtechnik, Berghütten und Forschungsstationen im Amazonas oder in der Sahara diente (Abbildung 1), erwachte sie aus dem Dornröschenschlaf mit

der Einführung des deutschen Einspeisegesetzes im Jahr 2004 (bzw. in seiner Ursprungsform im Jahr 2000). In diesem Gesetz wird neben einer Abnahmegarantie auch ein über 20 Jahre fester Energiepreis festgelegt. Dieses Gesetz gab Investoren Planungssicherheit für den Aufbau von Solarkraftwerken (Abbildung 2) und ermöglichte auch den Betrieb großer und effizienter Produktionsanlagen. Um möglichst frühzeitig Investitionen auf diesem Gebiet anzuregen, wurde für die Anfangsphase ein hoher Einspeisetarif vereinbart, der dann im Jahresrhythmus abgesenkt werden sollte. Die tragbare Absenkung wird von einer Expertenkommission begleitet und den zunehmenden Fortschritten in der Produktionstechnik angepasst: Anfangs (2004 bis 2005) betrug die jährliche Absenkung noch 5 Prozent, mittlerweile (2011 bis Mitte 2012) ist sie bei 34 Prozent ange-



Foto: S. Krauter

Abb. 1: Ländliche Minimalelektrifizierung – Hauptmarkt der Photovoltaik in den Jahren 1980 bis 2000.



Foto: EU

Abb. 2: Photovoltaik heute: Solarkraftwerke mit einer Nennleistung von bis zu 100 MW – Auf dem Bild ist ein 11 MW Solarkraftwerk in Cerpa, Portugal.

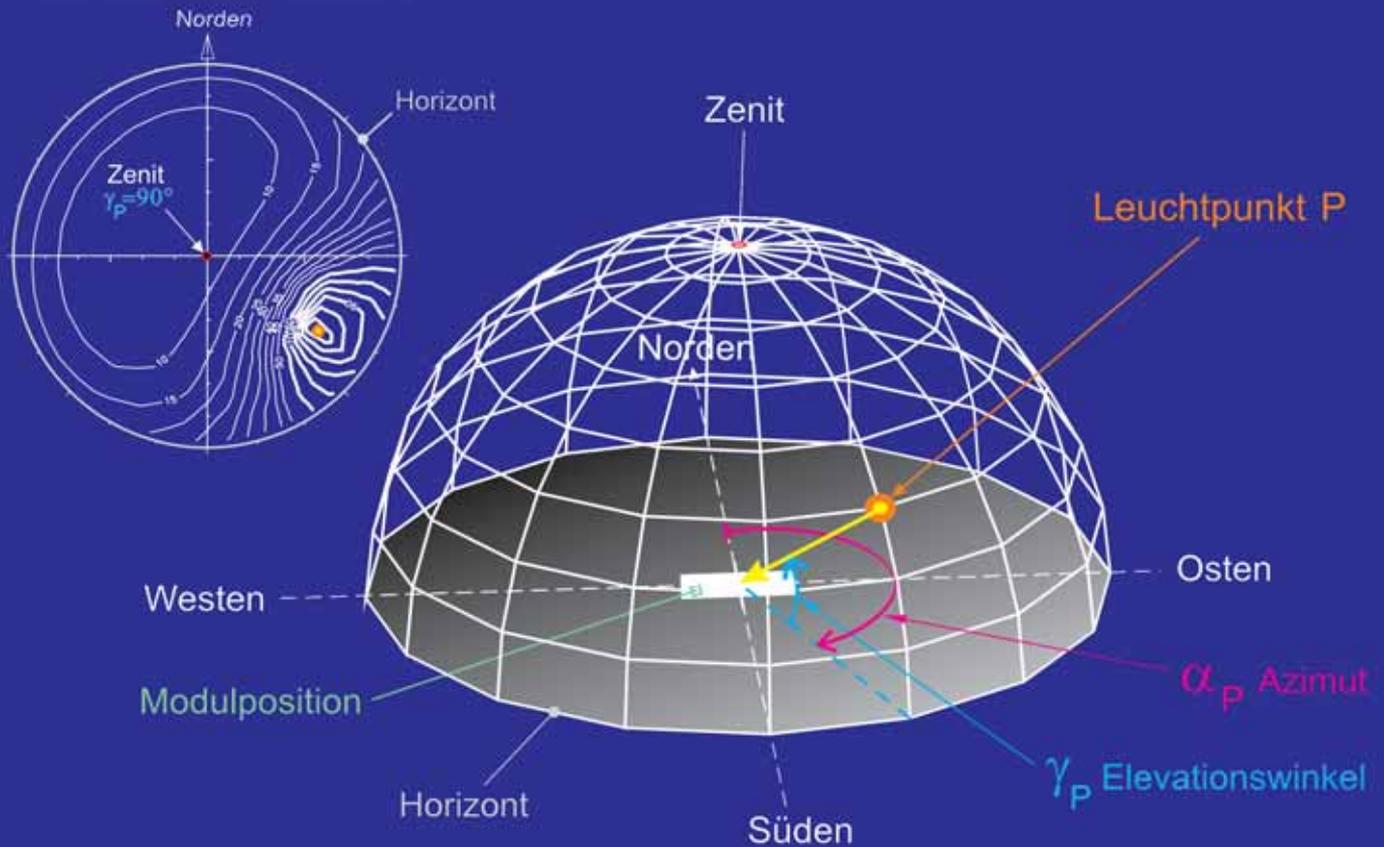


Abb. 3: Bestrahlungssituation auf ein Solarmodul mit leuchtender Himmelssphäre (für diffuse und direkte Einstrahlung) und eines exemplarischen Leuchtpunktes P von dem ein Strahl auf das Solarmodul verfolgt wird. Oben links die Bestrahlungsstärkeverteilung der Himmelshalbsphäre bei einem Sonnen-Elevationswinkel von $\gamma_S = 30^\circ$.

langt (was als übertrieben angesehen werden wird, da sich mit diesen Einspeisetarifen ab 2012 offenbar kein Gewinn mehr erwirtschaften ließ und zahlreiche Firmen Konkurs anmelden mussten).

Der Erfolg der eher nicht-technischen Regelung des Einspeisegesetzes überraschte selbst Experten: Von 2004 bis Anfang 2013 gelang es, die Solarstromerzeugungskosten bei Großanlagen von 0,46 €/kWh auf 0,11 €/kWh zu senken (bzw. von 0,57 €/kWh auf 0,16 €/kWh bei Kleinanlagen). In Regionen mit hoher Einstrahlung reduzieren sich diese Kosten nochmals um bis zu 50 Prozent (z. B. Nordafrika, Südamerika, Südostasien). Keine andere Energietechnologie kann derartige Erfolge aufweisen. Für Kleinanlagenbetreiber ist der Strom aus PV inzwischen günstiger als Strom aus der Steckdose. 2012 ist in Deutschland eine Nennleistung von 32,4 GW Photovoltaik installiert, Sonnenstrom lieferte 2012 im Mittel bereits 5 Prozent des deutschen Stroms. Das deutsche Einspeisegesetz wurde von vielen Ländern übernommen – u. a.: Spanien, Italien, Portugal, Frankreich, Griechenland, Großbritannien, Tschechien, Bulgarien, Israel, Japan, Kanada, Ecuador, China, Indien, Iran, Brasilien (dort mit einem „Net-metering“-Tarif, d. h. Einspeisung und Entnahme aus dem Netz werden stets identisch vergütet).

Forschung

Die solar-elektrische Energiewandlung funktioniert im Prinzip einfach: Ein elektrisches Feld trennt ein Elektron, das durch die Absorption eines Photons angeregt wurde, vom Atomrumpf und ermöglicht einen elektrischen Strom. Für die genaue Beschreibung dieses Prinzips hatte Albert Einstein den Nobelpreis gewonnen. Für die energietechnische Nutzung der Photovoltaik wird heutzutage das dafür erforderliche elektrische Feld in Halbleitern erzeugt, dabei stellt die Solarzelle eine großflächige Diode dar. Als Material am häufigsten eingesetzt wird zurzeit multi-kristallines Silizium, gefolgt von einkristallinem Silizium. Aus energietechnischer Sicht ist vor allem der elektrische Energieertrag von entscheidender Bedeutung, dessen Bestimmung sich durch die Vielzahl optischer, thermischer und elektrischer Parameter im Detail als sehr aufwändig gestaltet [1]. In der Praxis wird die Ertrags- und Leistungsbestimmung eher geschätzt als genau berechnet – trotz des milliardenschweren Marktes: Die Ertragsbestimmung erfolgt gewöhnlich aus akkumulierten Einstrahlungsdaten, die mit dem Labor-Nennwirkungsgrad von Solarmodulen multipliziert werden und mittels eines hauptsächlich aus Erfahrungswerten gewonnenen Faktors (des so genannten „Performance Ratio“) korrigiert werden.

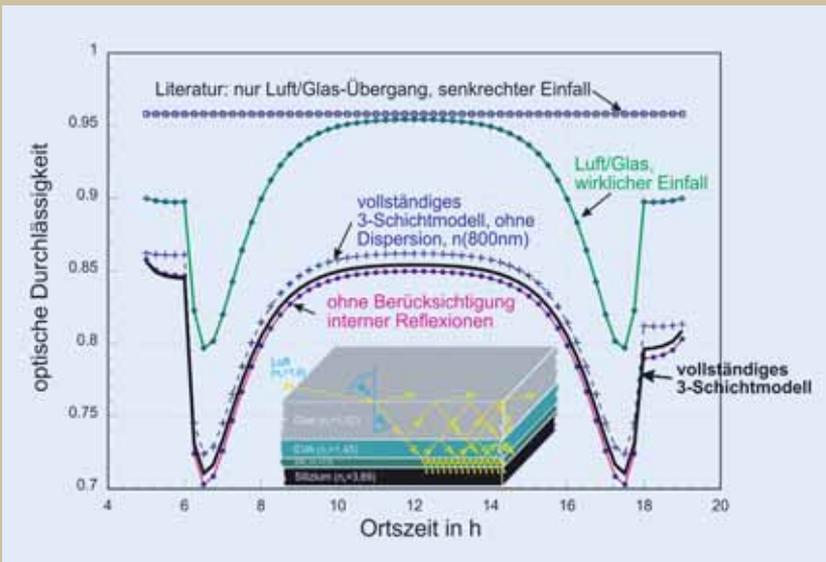


Abb. 4: Optischer Wirkungsgrad im Tagesverlauf: einerseits nach Literaturangaben – ohne Einfallswinkelberücksichtigung und mit einem optischen Übergang sowie dem tatsächlichen Verlauf (mit und ohne Modellvereinfachungen).

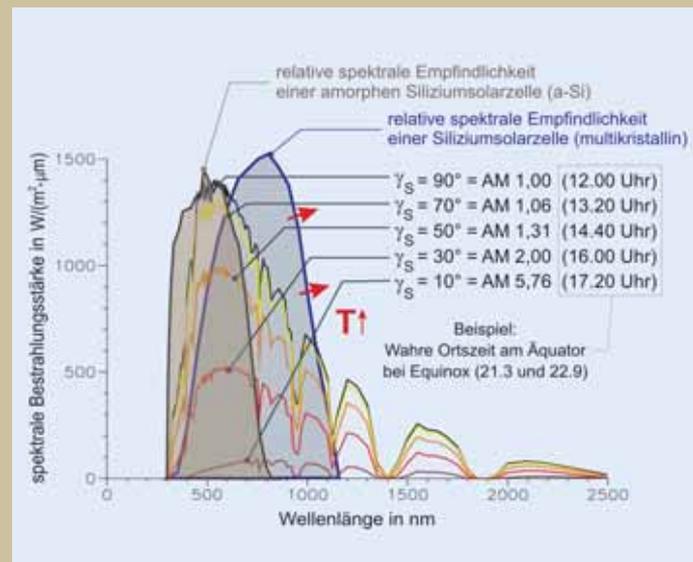


Abb. 5: Sonnenspektren im Tagesverlauf bei verschiedenen Sonnen-Elevationswinkeln (γ_s) in Kombination mit den spektralen Empfindlichkeiten von Siliziumsolarzellen: Ausweitung der spektralen Empfindlichkeit hin zu längeren Wellenlängen durch Temperaturerhöhung ($T\uparrow$).

In diesem Korrekturfaktor wird Einflüssen von Temperatur (das elektrische Feld und damit die Solarzellenspannung wird durch Temperaturerhöhung reduziert), von spektralen Effekten (die Solarzelle kann nicht jeden Teil des Sonnenlichtes gleichmäßig gut umwandeln) sowie von „Schräglicht“ (nicht-senkrechte Einstrahlung) und „Schwachlicht“ (Bestrahlungsstärke unterhalb der Nennbestrahlungsstärke von 1 000 W/m²) in abgeschätzter Form Rechnung getragen. Eine wissenschaftlich präzise Behandlung der genannten Parameter und ihres Zusammenwirkens kann die photo-elektrische Umwandlungseffizienz und damit die Vorhersagemöglichkeiten für die Verfügbarkeit von Sonnenstrom erhöhen, zudem bietet dieses Vorgehen Potenzial für die Optimierung der solarelektrischen Wandler.

Ziel der Forschungsaktivitäten des Fachgebiets EET-NEK auf dem Gebiet der PV ist daher sowohl die verbesserte Leistungs- und Ertragsbestim-

mung als auch die Ertragserhöhung. Bei der Ertragsbestimmung werden sämtliche Parameter, welche einen Einfluss auf die photovoltaische Umwandlungseffizienz haben, erfasst und in einem Simulationsmodell verwendet. Beginnend bei den optischen Parametern wird untersucht, welcher Einstrahlungsanteil bei der Solarzelle ankommt bzw. von dieser umgewandelt wird. Dazu wird zunächst die Strahlungsquelle genauer betrachtet. Da mindestens 30 Prozent der Einstrahlung nicht als direkte Einstrahlung von der Sonne kommt, sondern als diffuse Himmelsstrahlung vorliegt, wird als Strahlungsquelle die Himmels-Halbkugel über dem Modul betrachtet (Abbildung 3).

Die Bestrahlungsstärkeverteilung auf dieser Halbkugel ist inhomogen (siehe Abbildung 3 oben links), zudem ergeben sich spektrale Unterschiede. Da der photovoltaische Wandler winkel- und spektral-selektiv arbeitet, wird eine Anzahl von exemplarischen Strahlen von dieser Halbkugel auf die Moduloberfläche geführt. Dort wird an den einzelnen optischen Übergängen mittels der Fresnel-Gleichungen der jeweils transmittierte Anteil berechnet – bis schließlich die Solarzelle erreicht wird [2]. Dies ist in der kleinen Darstellung innerhalb von Abbildung 4 verdeutlicht. Eine optische Simulation durch das Solarmodul wurde für alle Leuchtpunkte P, alle Wellenlängen (unter Berücksichtigung der realen Dispersion) und für einen kompletten Tagesverlauf durchgeführt, von einer Stunde vor Sonnenauf- bis eine Stunde nach Sonnenuntergang. Die Resultate der optischen Transmission aller Strahlungskomponenten durch das Dreischichtmodell werden in Abbildung 4 dargestellt. Zum Vergleich wurden die vereinfachten Modelle, wie sie oft in der Literatur zu finden

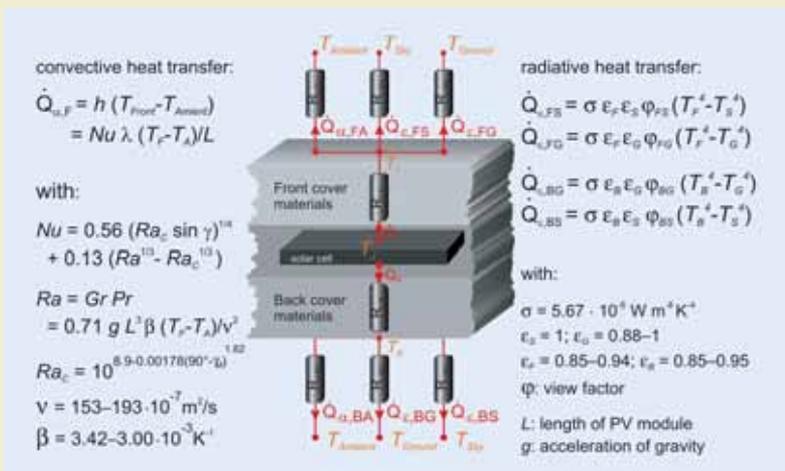


Abb. 6: Thermisches Modell eines Solarmoduls im Betrieb, einschließlich der Konvektions- und Strahlungsübergänge zur Umwelt (Luft, Himmel (S), Boden (G)).

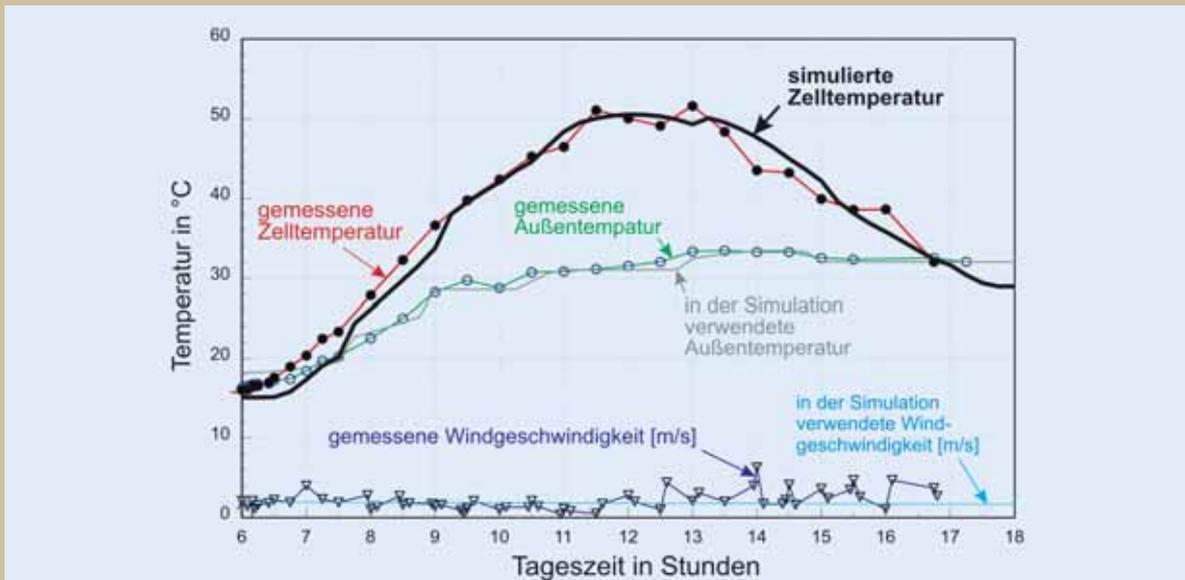


Abb. 7: Überprüfung der Temperatursimulation: Gemessener und simulierter Tagesverlauf mit Windgeschwindigkeit und Außentemperatur (Foulders Gap, Australien).

sind, mit dargestellt: Die Modelle führen zu einer Fehleinschätzung der die Zelle erreichenden Strahlung (siehe auch [1, 2]). Der die Zelle erreichende Strahlungsanteil kann nicht vollständig in elektrische Leistung umgewandelt werden: In Abbildung 5 werden die spektralen Umwandlungswirkungsgrade von zwei Photovoltaik-Technologien zusammen mit den Sonnenspektren zu verschiedenen Tageszeiten dargestellt. Zu berücksichtigen ist zudem, dass sich die spektrale Umwandlungseffizienz mit der Betriebstemperatur der Zelle ändert: Bei Temperaturerhöhung wird die spektrale Effizienz zu längeren Wellenlängen hin ausgeweitet, der Strom erhöht sich dadurch geringfügig, gleichzeitig redu-

ziert sich aber die Spannung, und die Leistung sinkt insgesamt (bei kristallinen Silizium-Solarzellen beträgt der Leistungsverlust ca. 0,4-0,5 Prozent/K). Dieser Effekt macht daher ein thermisches Modell notwendig, um die aktuelle Betriebstemperatur und Effizienzeinbuße und damit den elektrischen Energieertrag exakt berechnen zu können. Das thermische Modell betrachtet die absorbierte, aber nicht photovoltaisch umgewandelte Einstrahlung als „Wärmequelle“. Der entstehende Wärmestrom wird durch das Solarmodul an die Oberfläche abgegeben, von wo er durch Konvektion und Wärmestrahlung an die Umwelt abgegeben wird. Dies wird in Abbildung 6 dargestellt [1]. Dabei sind

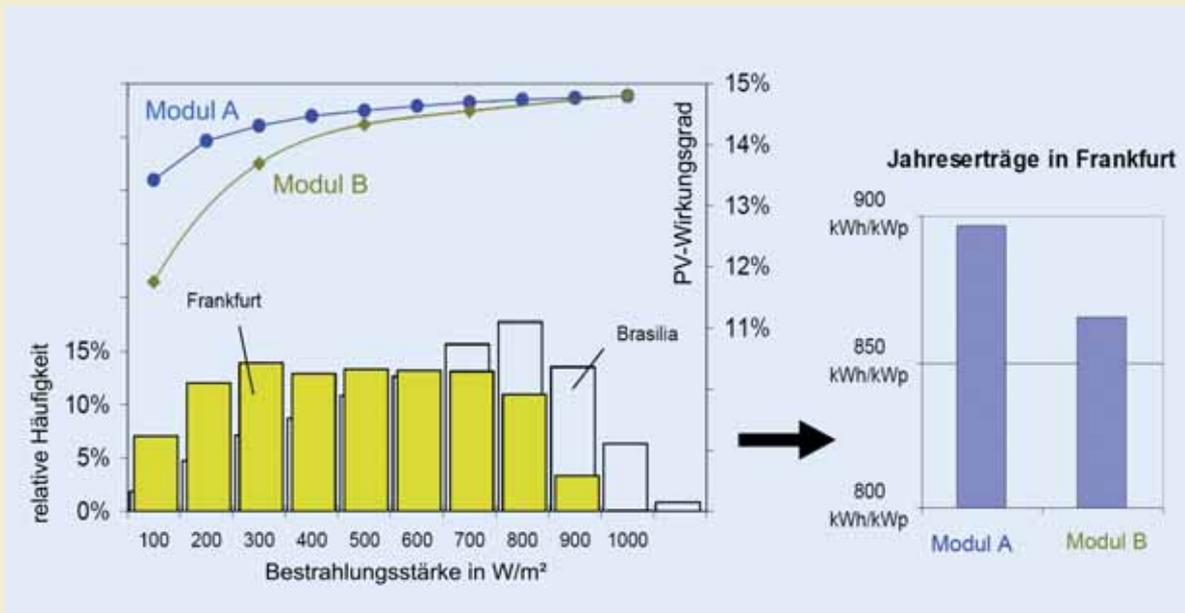


Abb. 8: Veränderung des Wirkungsgrades von zwei verschiedenen Solarmodulen und Standorten bei Bestrahlungsstärkevariation sowie die Auswirkungen auf den spezifischen Jahresenergieertrag für den Standort Frankfurt (photovoltaisch erzeugte kWh je kW installierte Nennleistung).

Quelle: P. Grünow

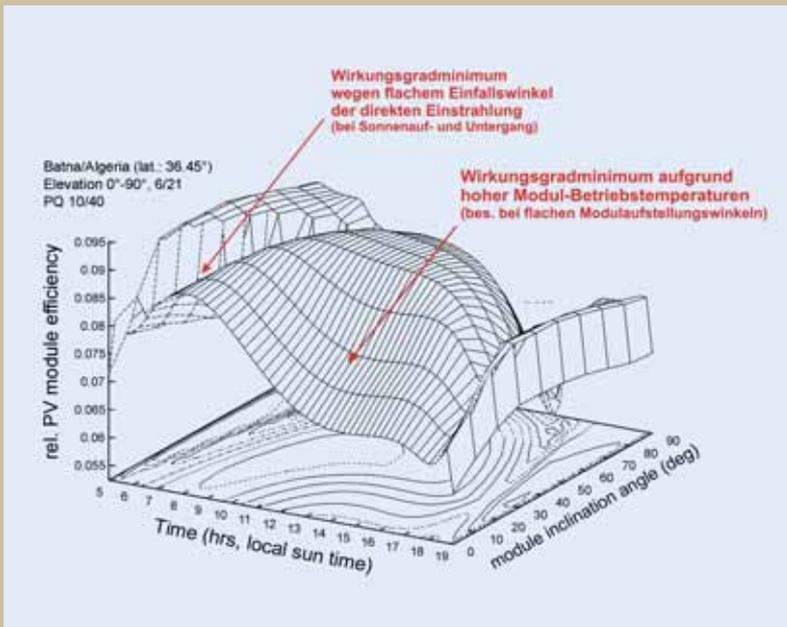


Abb. 9: Tagesverlauf des photovoltaischen Wirkungsgrades, mit Variation des Modulaufstellungswinkels. Alle optischen, thermischen und elektrischen Effekte wurden in der Simulation berücksichtigt.

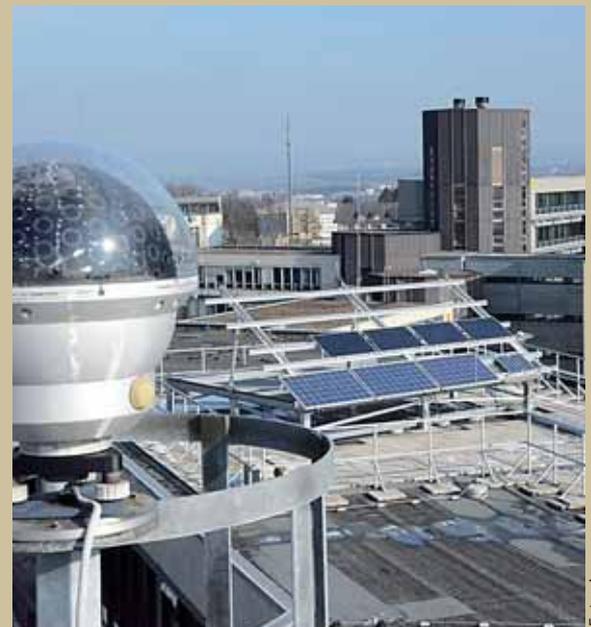


Abb. 10: Neues Freifeldlabor zur Leistungs- und Ertragsmessung von Solarmodulen; in der Glaskuppel links befindet sich ein winkelabhängig (spatial) messender Strahlungssensor (IGEL).

Vorderseite (F) und Rückseite (B) des PV-Moduls wie auch der Strahlungsaustausch zwischen Modul und Himmel (S) sowie zwischen Modul und Boden (G) getrennt zu betrachten.

Dieses selbst entwickelte Modell wurde durch Messungen verifiziert: Ein Vergleich von Simulation zu tatsächlich gemessenen Temperaturen findet sich in Abbildung 7: Die tatsächlichen Temperaturen weichen nur geringfügig von der Simulation ab, außer bei stark schwankenden Windgeschwindigkeiten (in der Simulation wurden durchweg 2 m/s verwendet). Damit ist es nun möglich, Leistungseinbußen durch Temperatureinfluss auf 0,5 Prozent genau zu quantifizieren (bei kristallinen Siliziumsolarzellen).

Einfluss der Bestrahlungsstärke

Neben der oben genannten Qualität (Spektrum, Winkel) der Einstrahlung hat zudem die Quantität der Einstrahlung einen Einfluss auf den Wirkungs-

grad: Bei geringer Bestrahlungsstärke treten parasitäre Effekte (durch Parallelwiderstände, so genannte „Shunts“) stärker in den Vordergrund, sodass die Leistung einer Solarzelle oft stärker absinkt als es die Reduktion der Bestrahlungsstärke erwarten ließe. In der Photovoltaikindustrie hat sich dafür der Begriff „Schwachlichtverhalten“ durchgesetzt – obgleich „Licht“ nur einen begrenzten Anteil (400-800 nm) des relevanten Spektrums (300-1200 nm) ausmacht. Ein Beispiel findet sich dafür in Abbildung 8. Der Einfluss auf den Energieertrag hängt von der Einstrahlungst Statistik des Installationsstandortes ab: An Orten mit einem hohen Anteil an geringer Bestrahlungsstärke tritt der Effekt stärker zutage (z. B. Frankfurt), an Orten mit vorwiegend hohen Einstrahlungswerten (z. B. Brasilia) ist der Effekt nahezu vernachlässigbar.

Die Resultate für das Zusammenwirken aller optischen, thermischen und elektrischen Effekte zusammengefasst zeigt Abbildung 9. Es wird der photovoltaische Wirkungsgrad eines Solarmoduls im Tagesverlauf dargestellt. Während in der Literatur meist von einem konstanten optischen und elektrischen Wirkungsgrad ausgegangen wurde, zeigen sich als Ergebnis der Simulation doch erhebliche Schwankungen. Auffällig ist die starke Absenkung morgens und abends: Vor Sonnenauf- und nach Sonnenuntergang herrscht diffuse Strahlung vor, die im Mittel wenig reflektiert wird. Bei Sonnenauf- und Sonnenuntergang erfolgt die direkte Einstrahlung unter einem sehr flachen Einfallswinkel, wobei hohe Reflexionsverluste auftreten (Wirkungsgradminimum). Die Absenkung mittags ist durch die hohe Betriebstemperatur zu erklären. Wird das Solarmodul etwas von

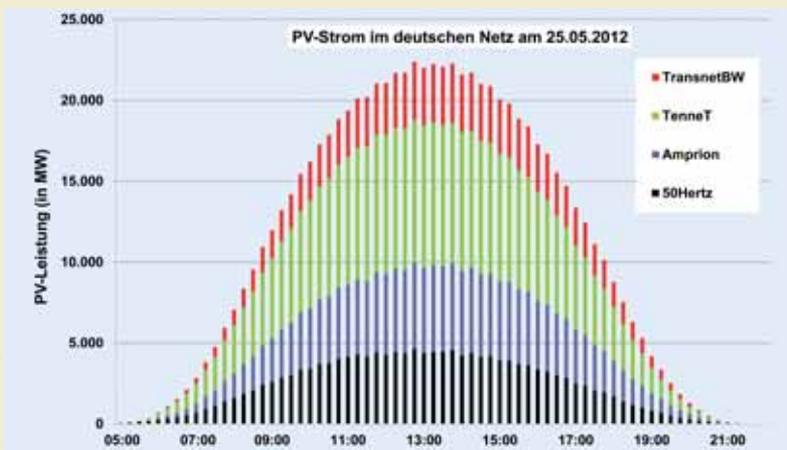


Abb. 11: PV-Strom im deutschen Netz am 25. Mai 2012: Über 22 GW PV-Leistung im Netz (bei 60 GW Gesamtleistung).

Quelle: Europäische Strombörse

Foto: Japs

der Horizontalen (0°) angestellt, z. B. bei einem Elevationswinkel von 30°, so erfolgt die Wärmeabgabe durch Konvektion wesentlich besser und die Betriebstemperatur wird geringer. Dadurch finden weniger Verluste in der Raumladungszone der Solarzelle statt, die elektrische Spannung und der Wirkungsgrad steigen.

Photovoltaik-Freifeldmessungen

Neben diesen theoretischen Untersuchungen spielt auch die praktische Überprüfung der Ergebnisse eine wichtige Rolle: Dies wird einerseits durch einen in Konstruktion befindlichen neuartigen LED-Sonnensimulator realisiert, andererseits durch ein Outdoor-PV-Labor auf dem Dach des Gebäudes der Universität Paderborn (Abbildung 10).

Die Solarmodule werden jeweils einzeln an einer veränderbaren elektronischen Last betrieben, die minütlich die gesamte Strom-Spannungskennlinie durchfährt, um den aktuellen Punkt der maximalen Leistungsabgabe zu finden. Die entsprechende Leistung wird zusammen mit den Betriebsparametern Einstrahlung und Modultemperatur sowie den zusätzlichen Parametern Windgeschwindigkeit und Außentemperatur in einer Datenbank aufgenommen [4] und mit den Simulationswerten verglichen [3]. Um die Strahlungsverteilung der Himmelskugel sowohl spatial (winkelabhängig) als auch spektral zu messen und mit dem Himmelsmodell der Simulation zu vergleichen, soll ein winkelabhängig arbeitendes Spektrometer (Vorläufer IGEL, Abbildung 10 unten links) eingesetzt werden [7].

Mit den oben gezeigten Maßnahmen wird die Ertragsplanbarkeit und die Investitionssicherheit für PV erhöht, wodurch das Finanzierungsrisiko und damit die Finanzierungskosten minimiert werden können. Von geringeren Toleranzen bei der Leistungsbestimmung können auch die Netzbetreiber profitieren: Es muss weniger Reserveleistung bereitgestellt werden, wodurch der Netzbetrieb günstiger wird.

Von wissenschaftlicher Seite können am Modul Verbesserungsmaßnahmen zur Erhöhung des Wirkungsgrades sowie des Ertrages (z. B. verbesserte Antireflexionsschichten, effektive Modulkühlung) genauer untersucht werden. Dies geschieht im Augenblick im Rahmen einer Dissertation am Lehrstuhl EET-NEK.

Beitrag der Photovoltaik zur Stromversorgung

Inzwischen hat die installierte Leistung von Solar-kraftwerken eine Größenordnung erreicht, in der sie netzrelevant wird. Beispielsweise betrug am 25. Mai 2012 die eingespeiste Leistung zeitweise über 22 GW (Abbildung 11) und stellte am darauffolgenden Tag zeitweise 40 Prozent der Gesamtleistung des Netzes (20,5 GW PV bei 51 GW

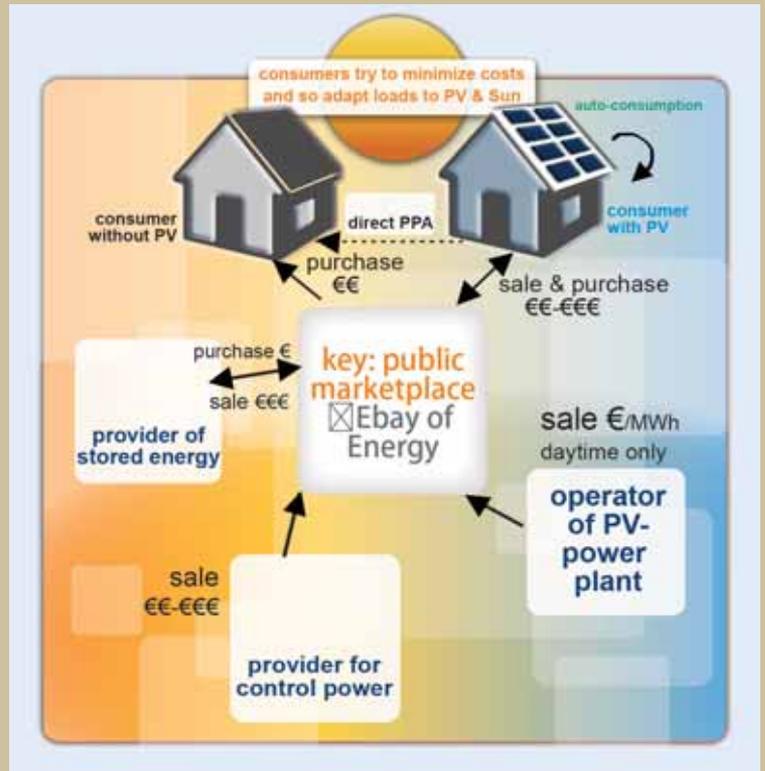


Abb. 12: Ein neues „Marktdesign“ für die Energiewirtschaft – mit frei zugänglicher Handelsplattform, Speicher- und Regelenenergieanbietern, Selbstnutzung von Sonnenergie und Direktverkauf.

Gesamtleistung). Um langfristig sicherzustellen, dass diese umweltfreundlich bereitgestellte PV-Energie auch vollständig verwendet wird, sind Überlegungen (ein neues „Marktdesign“ – siehe unten) im systemischen Bereich des Gesamtnetzes notwendig. Neben der Erzeugung sind daher auch Überlegungen auf der Verbrauchs- und Übertragungsseite relevant.

Neues „Marktdesign“ für Photovoltaik

Mit zunehmendem Ausbau der Photovoltaik kann

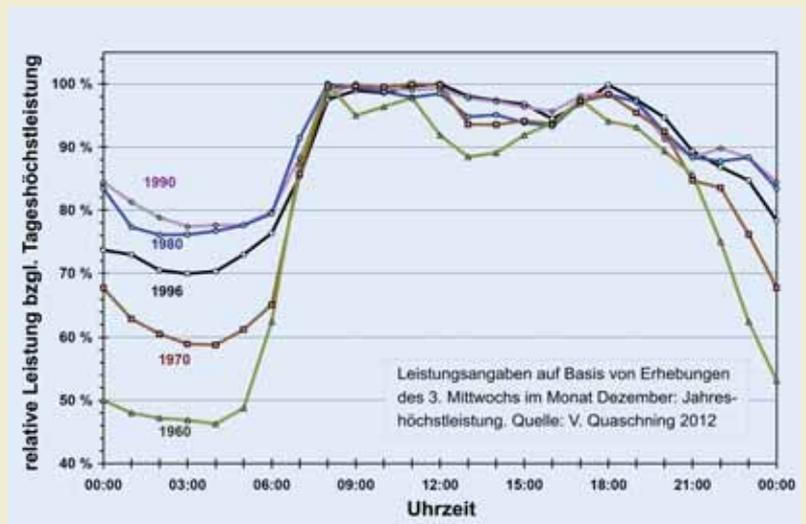


Abb. 13: Veränderung der Lastkurven im deutschen Stromnetz von 1960 bis 1996, mit dem Ziel die Grundlastwerke gleichmäßiger auszulasten, d. h. der Verbrauch wurde nachts durch Nachtspeichereifen und Wärmepumpen gesteigert.

es zu Überproduktionssituationen kommen. Dabei tritt meist um die Mittagszeit überschüssige Energie auf. Diese muss gespeichert werden, was aber meist sehr teuer ist oder es wird für den Verbraucher attraktiv, seinen anpassbaren Energieverbrauch auf diesen Zeitraum zu verlegen. Dabei darf es keine Rolle spielen, ob dies bei einer eigenen Solaranlage durch Steigerung des Eigenverbrauchs erfolgt oder verstärkt dem Netz entnommen wird. Anpassungsmöglichkeiten ergeben sich durch eine gezielte Ost- oder Westausrichtung von Anlagen, wodurch morgens oder abends mehr PV-Strom zur Verfügung steht.

Damit stets die maximale Nutzung der Sonnenenergie attraktiv wird und insgesamt minimale Kosten entstehen (auch unter Berücksichtigung des Leitungsaufwandes und der Speicherung), wird ein Marktmodell mittels einer frei zugänglichen Handelsplattform (ähnlich der Internetplattform „Ebay“) vorgeschlagen [8]. Im Gegensatz zur bereits vorhandenen Strombörse wird auch der Zugang für Kleinstanbieter ermöglicht. Damit ist für den Verbraucher eine schnelle Rückkopplung gewährleistet, die es ihm (oder von ihm benutzten Dienstprogrammen) ermöglicht, entsprechende Anpassungen anzunehmen. Nicht nur Verbraucher, sondern auch kleinere Erzeuger- und Speicheranbieter sollen in dieses Modell integriert werden. Die Zuverlässigkeit der Marktteilnehmer soll mittels eines Bewertungssystems ähnlich dem von Ebay festgestellt werden. Dieses „Marktdesign“ wird zurzeit am Lehrstuhl EET-NEK entwickelt – eine Visualisierung des gegenwärtigen Stands findet sich in Abbildung 12. Zur weiteren Umsetzung und für Stabilitätstests bietet sich eine Zusammenarbeit mit der Fakultät Informatik an.

Anpassungsmöglichkeiten von Verbrauch und Erzeugung

Während oft über die Art der Stromerzeugung diskutiert wird (mit den sich daraus ergebenden Möglichkeiten, Problemen und Kosten) wird die zugrundeliegende Verbrauchscharakteristik im Tagesverlauf als fest angenommen. Dabei ergeben sich gerade durch die wirksame Anpassung des Verbrauchs an die Erzeugung viele Gestaltungsoptionen, die eine wesentlich größere Bandbreite in der Zusammensetzung des Kraftwerkparcs ermöglichen.

Es sei hier darauf hingewiesen, dass dies nicht die erste Anpassung der Verbrauchscharakteristik an eine bestimmte Art der Stromerzeugung ist: Im letzten Jahrhundert wurde durch geförderte Wärmepumpen, Nachtspeicheröfen und sehr günstige Spezialtarife darauf hingewirkt, dass der ursprünglich sehr geringe Nachtverbrauch künstlich stark erhöht wurde, um die Grundlastkraftwerke gleichmäßig über Tag und Nacht auszulasten

(Abbildung 13). Heutzutage müssen wir den umgekehrten Weg gehen und den Verbrauch auf die Tagesmitte verschieben, um die Solarkraftwerke besser auszulasten.

Beispiel zur Verbrauchsanpassung und Regelleistungsbereitstellung: Gesamtheit von Kühleinheiten als „Virtueller Großverbraucher“

Möglichkeiten zur gewünschten Verbrauchsanpassung gibt es zahlreiche: Tagestartife, Regelung einiger Verbraucher über den Netzauslastungsgrad, Nutzung von Speichern beim Endverbraucher (z. B. Kälte- und Wärmespeicher, Druckspeicher, elektrische Speicher bei Elektrofahrzeugen). Ein Beispiel für Forschung auf diesem Gebiet an der Universität Paderborn ist die Nutzung von Latentkältespeichern an Kühlschränken. In diesem Forschungsprojekt des neu gegründeten Kompetenzzentrums für Nachhaltige Energietechnik (KET), das von der Bundesstiftung Umwelt gefördert und in Zusammenarbeit mit der Firma Miele durchgeführt wird, geht es darum, Regelenergie für das Netz (z. B. bei Überlast) kurzfristig durch Abschaltung von vielen Kühleinheiten bereitzustellen. Dabei wird jeder neue Kühlschrank mit einer Empfangseinheit ausgerüstet, die es ermöglicht den Kühlschrank ferngesteuert abzuschalten. Dazu wird eine Broadcast-Nachricht im GSM-Netz verschickt, wobei zwischen Minimum-, Standard-, und Maximallastmodus unterschieden wird. Je nach Betriebszustand des Kühlschranks, kann dieser dem Befehl zum Abschalten widersprechen, um z. B. das Kühlgut nicht zu gefährden. Durch den Latentkältespeicher ergeben sich aber große zeitliche Toleranzgrenzen zum Abschalten, sodass sich ein Großteil der Kühlschränke problemlos steuern lässt.

Bei einer durchschnittlichen Jahreslast von rund 57 000 MW sind im Durchschnitt über 3 600 MW Kühl- und Gefriergeräte am Netz. Geht man in Zukunft davon aus, dass eine große Anzahl von Kühlschränken mit diesem System ausgestattet ist, und dass sich durch den Latentkältespeicher eine sehr hohe Verfügbarkeit ergibt, so können durch diesen steuerbaren „virtuellen Großverbraucher“ mehrere aufwändige Regelleistungskraftwerke obsolet gemacht werden. Ein Problem stellt die Finanzierung der Zusatzausstattung der Kühlschränke dar: Bisher kann dieser „virtuelle Großverbraucher“ noch nicht am lukrativen Regelenergiemarkt mit Kurzfristverfügbarkeit teilnehmen, da zur Teilnahme an diesem Markt („Präqualifizierung“) das sogenannte „Pooling“ (dem Zusammenfassen vieler kleiner Einheiten) ausgeschlossen ist. Das Projekt wird durch den Lehrstuhl für Thermodynamik und Energietechnik der Fakultät für Maschinenbau und dem Fachgebiet

Elektrische Energietechnik – Nachhaltige Energiekonzepte der Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik durchgeführt und zeigt, wie durch disziplinübergreifendes Handeln mit relativ geringem Aufwand ein Beitrag zur Energiewende geleistet werden kann.

Bei der Implementierung in die elektrische Energieversorgungsstruktur bietet sich eine interdisziplinäre Zusammenarbeit mit dem Fachgebiet Informatik an.

Die Energiewende: Eine globale Herausforderung

Die Aktivitäten Deutschlands im Bereich der Energiewende werden aufmerksam im Ausland beobachtet. Eine erfolgreiche Umsetzung der Energiewende wird dazu führen, dass viele Länder dem deutschen Beispiel folgen werden. Dass dann deutsche Systemtechnik bevorzugt eingesetzt wird, dürfte evident sein – schließlich ist man in diesem Fall (wie in der Automobilindustrie) der erfolgreiche Pionier auf diesem Gebiet und hat einen attraktiven Know-how-Vorsprung.

In Ländern, die sich zurzeit stark entwickeln und gerade eine moderne Energie-Infrastruktur aufbauen, können von Beginn an innovative Energiekonzepte basierend auf Erneuerbaren Energien besonders effizient umgesetzt werden. Beispielsweise wird am Fachgebiet für Elektrische Energietechnik – Nachhaltige Energiekonzepte der Universität Paderborn die Möglichkeit einer Gleichstromversorgung von abgelegenen Dörfern untersucht. Gleichstrom bietet zahlreiche Vorteile gegenüber Wechselstrom: Nahezu alle energiesparenden Verbraucher wie LED-Beleuchtungseinrichtungen, Unterhaltungselektronik oder Antriebe arbeiten entweder direkt mit Gleichstrom oder nutzen regelbare und energieeffiziente Umrichtertechnik, die mit Gleichstromzwischenkreis funktioniert. Auch die Speicherung in chemischen Speichern funktioniert mit Gleichstrom. Bei der Übertragung – insbesondere über lange Strecken – erlaubt Gleichstrom höhere Leistungen bei gleicher Leiterstärke zu übertragen und benötigt keine teuren Blindleistungskompensationsanlagen. Und die PV selbst ist eine Gleichstromquelle.

Literatur

- [1] KRAUTER, S.: *SOLAR ELECTRIC POWER GENERATION*. 1. AUFLAGE. SPRINGER: BERLIN, HEIDELBERG, NEW YORK, 2006. (NEUAUFLAGE 2013/14).
- [2] KRAUTER, S. UND P. GRUNOW: *OPTICAL MODELING AND SIMULATION OF PV MODULE ENCAPSULATION TO IMPROVE STRUCTURE AND MATERIAL PROPERTIES FOR MAXIMUM ENERGY YIELD*. PROCEEDINGS OF THE 4TH WORLD CONFERENCE

ON PHOTOVOLTAIC ENERGY CONVERSION (JOINT CONGRESS OF IEEE/PVSEC/EUPVC), WAIKOLOA, HAWAII (USA), 8.-12. MAI 2006, S. 2133-2137.

- [3] KRAUTER, S.; GRUNOW, P.; PREISS, A.; RINDERT, S. UND N. FERRETTI: *INACCURACIES OF INPUT DATA RELEVANT FOR PV YIELD PREDICTION*. PROCEEDINGS OF THE 33RD IEEE PHOTOVOLTAIC SPECIALISTS CONFERENCE, SAN DIEGO (USA), 11.-16. MAI 2008, S. 2105-2109.
- [4] KRAUTER, S. UND A. PREISS: *COMPARISON OF MODULE TEMPERATURE MEASUREMENT METHODS*. PROCEEDINGS OF THE 34TH IEEE PHOTOVOLTAIC SPECIALISTS CONFERENCE, PHILADELPHIA (USA), 7.-12. JUNI 2009, S. 2348-2353.
- [5] PREISS, A. UND S. KRAUTER: *YIELD PREDICTION AND COMPARISON OF A-SI MODULES*. PROCEEDINGS OF THE 24TH EUROPEAN PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE AND EXHIBITION, HAMBURG (DEUTSCHLAND), 21.-25. SEPTEMBER 2009, S. 2846-2849.
- [6] GRUNOW, P., PREISS, A., SCHOPPA, M., UND S. KRAUTER: *ACTUAL ISSUES ON POWER MEASUREMENT OF PHOTOVOLTAIC MODULES PV MODULE CHARACTERIZATION*, IN: *PHOTOVOLTAICS INTERNATIONAL*, VOL. 8, ISSUE 1, 2010.
- [7] KRAUTER, S.; PREISS, A. UND M. LEERS, M.: *MEASUREMENT OF SPECTRAL-SPATIAL DISTRIBUTION OF GLOBAL IRRADIANCE*. PROCEEDINGS OF THE 26TH EUROPEAN PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE AND EXHIBITION, HAMBURG (DEUTSCHLAND), 5.-9. SEPTEMBER 2011.
- [8] KRAUTER, S.: *PV 3.0*. PROCEEDINGS OF THE 27TH EUROPEAN PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE AND EXHIBITION, FRANKFURT A.M. (DEUTSCHLAND), 24.-28. SEPTEMBER 2012.

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. habil. Stefan Krauter

Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik

Fachgebiet für Elektrische Energietechnik –
Nachhaltige Energiekonzepte

05251 60-2301

krauter@nek.upb.de

Über die Lösung riesiger Streuprobleme

Wie kann man zerstörungsfrei den inneren Aufbau eines Gegenstandes rekonstruieren?

Von Andrea Walther



Prof. Dr. rer. nat. Andrea Walther ist seit 2009 Leiterin der Arbeitsgruppe Mathematik und ihre Anwendungen an der Universität Paderborn. Ihre Forschungsgebiete umfassen das algorithmische Differenzieren, d. h. die Ableitungsberechnung für Simulationen auf dem Computer, und die nichtlineare Optimierung.

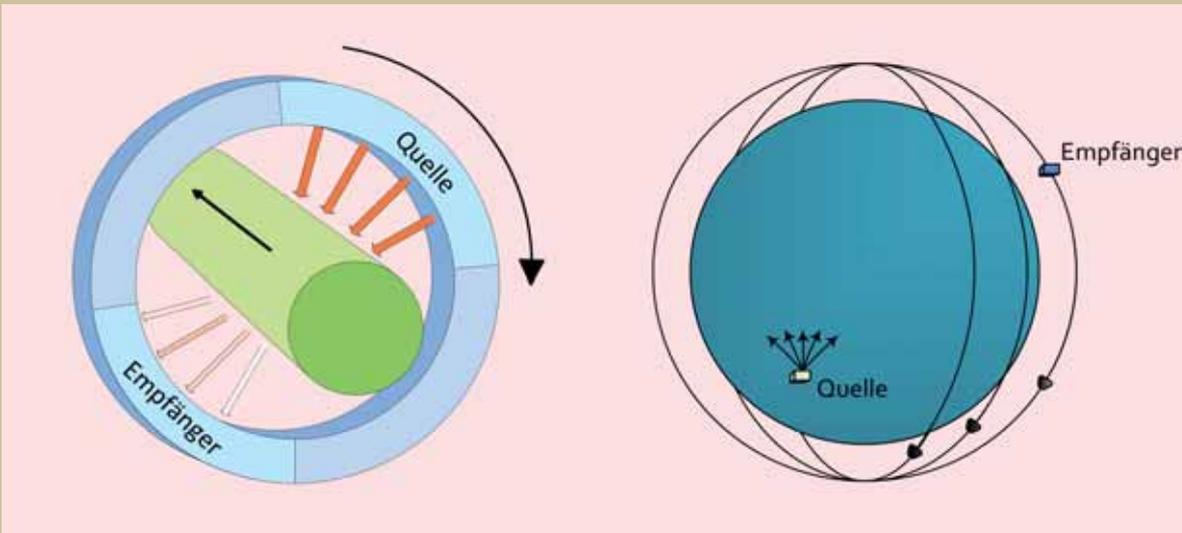
Die Entstehungsgeschichte der Welt bildet immer noch eines der großen ungeklärten Rätsel der Wissenschaft. Um dieses Geheimnis zu lüften, versucht man u. a. auch den Aufbau von Himmelskörpern zu erkunden, um daraus Informationen über die Entwicklung der Welt zu gewinnen. Ähnliche Fragestellungen tauchen z. B. auch bei der Qualitätskontrolle in Produktionsprozessen auf. Hier können durch die Rekonstruktion von unterschiedlichen Materialparametern Inhomogenitäten erkannt werden, die u. U. zu stärkerem Verschleiß führen. Für die Mathematiker verbindet diese beiden auf den ersten Blick sehr unterschiedlichen Anwendungen die Fragestellung: **Wie kann man anhand von gewonnenen Messdaten den inneren Aufbau eines Gegenstandes rekonstruieren? D. h., wie sieht es im Inneren eines Körpers aus? Die Beantwortung dieser Frage erfordert in einigen Fällen die Lösung eines sehr großen Optimierungsproblems, welches sowohl bezüglich der erforderlichen mathematischen Methoden als auch hinsichtlich der notwendigen Rechenleistungen noch heute eine Herausforderung darstellt.**

Der Hintergrund

Eine ähnliche Problematik wie die oben geschilderte ist ebenfalls aus der Medizin bekannt: Man möchte das Innere eines Körpers analysieren, ohne dafür z. B. eine Operation vornehmen zu müssen. Für diese Art von Untersuchungen wurden seit Mitte des letzten Jahrhunderts

verschiedene so genannte Tomographiemethoden entwickelt. Dabei werden durch den zu untersuchenden Körper Strahlen geschickt und deren unterschiedliche Abschwächung auf der gegenüberliegenden Seite gemessen. Durch die Rotation von Quelle und Empfänger der Strahlen sowie durch das Verschieben des zu untersuchenden Körpers erhält man sehr viele Messdaten in Form von Projektionen und damit umfangreiche Informationen. Basierend auf ausgeklügelten mathematischen Methoden ist damit eine sehr genaue Rekonstruktion des Körperinneren möglich. Ähnlichen Aufgabenstellungen begegnet man u. a. auch in der industriellen Fertigung. Als ein Beispiel kann hier die Qualitätskontrolle von Turbinenschaufeln genannt werden, bei der Einschlüsse von Fremdmaterialien durch sehr ähnliche Methoden entdeckt werden. Diese Anwendungen haben gemeinsam, dass der zu untersuchende Körper bzw. Gegenstand unversehrt bleiben soll. Aus diesem Grund spricht man auch von zerstörungsfreien Rekonstruktionsmethoden, um Kenntnisse über den Aufbau und damit das Innere eines Gegenstandes zu gewinnen. Die Strahlen werden von dem zu untersuchenden Gegenstand bzw. Körper abgeschwächt und gegebenenfalls gestreut, weswegen diese Aufgabenstellung unter dem Begriff Streuprobleme zusammengefasst wird.

Eine wichtige Rolle spielen Materialeigenschaften, welche für die Wahl geeigneter Strahlen berücksichtigt werden müssen, also z. B. Röntgenstrahlen für menschliches Gewebe. Ist der zu untersu-



Quelle: Walthier

Abb. 1: Links: Die klassische Tomographiesituation, d. h. viele Positionen der Quelle und des Empfängers. Rechts: Die betrachtete Situation, d. h. eine Position der Quelle und vergleichsweise wenige Empfangspositionen.

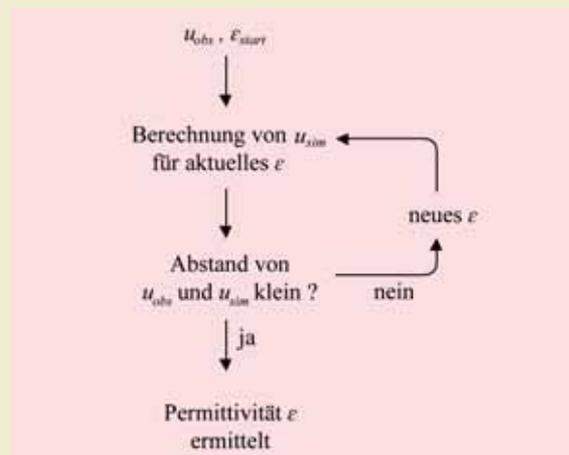
chende Gegenstand dielektrisch, wie es beispielsweise für viele Kometen der Fall ist, können Radarwellen eingesetzt werden, vgl. z. B. [3]. In Abhängigkeit davon muss auch das mathematische Modell zur Beschreibung der Strahlen und deren Ausbreitung angepasst werden.

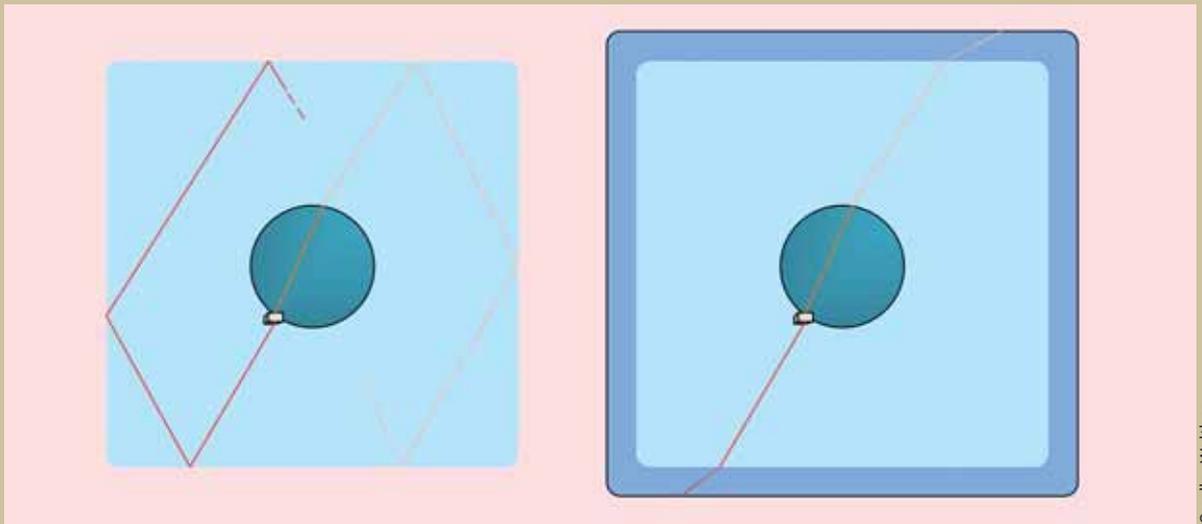
Bei einigen Anwendungen ist allerdings aufgrund der Geometrie des zu untersuchenden Objektes eine solch umfangreiche Informationsgewinnung wie bei den üblichen Tomographiemethoden nicht möglich. Dies kann z. B. der Fall sein, wenn sich die Quelle nicht oder nur sehr eingeschränkt bewegen lässt. Des Weiteren kann auch die Bewegung des Empfängers beispielsweise auf wenige Umrundungen des zu untersuchenden Objektes beschränkt sein. In diesen Fällen kommt für den Mathematiker eine weitere Schwierigkeit hinzu: Es stehen in einem dramatischen Umfang weniger Messdaten für eine Rekonstruktion zur Verfügung, als dies bei „klassischen“ Tomographiemethoden der Fall ist. Das führt zu völlig neuen Fragestellungen und Herausforderungen an die einzusetzenden mathematischen Methoden. Wie gut ist überhaupt noch eine Rekonstruktion mit eingeschränkten Daten möglich? Wie sollte der Sender platziert werden, bzw. wie sollte der Empfänger bewegt werden, um eine möglichst gute Rekonstruktion des Inneren des zu untersuchenden Gegenstandes zu erzielen? In diesem Artikel wird gezeigt, wie auch mit vergleichsweise geringer Informationsdichte noch erstaunlich gute Rekonstruktionen möglich sind.

Die mathematischen Fragestellungen

Ziel des hier beschriebenen Projektes war es, Vorarbeiten für die Analyse der dielektrischen Leitfähigkeit, d. h. die Durchlässigkeit für elektrische

Felder (Permittivität) im Inneren eines Gegenstandes, z. B. eines dielektrischen Himmelskörpers, zu liefern. Zu diesem Zweck werden elektromagnetische Wellen von einer Quelle ausgesandt und durchdringen den Gegenstand, wobei sie abgeschwächt und/oder umgelenkt werden. Die wieder austretenden elektromagnetischen Wellen können dann von einem Empfänger detektiert werden. Damit liegen Messdaten u_{obs} der observierten Felder vor. Um daraus die Permittivität im Inneren des zu analysierenden Gegenstandes zu rekonstruieren, bietet sich folgender Lösungsansatz an: Mit einer bestimmten Wahl der Permittivität ϵ im Inneren des Gegenstandes und einem geeigneten mathematischen Modell ist die Simulation der Felder auf dem Computer möglich. Darauf aufbauend kann man die gewählten Materialdaten so lange anpassen, bis die Felder u_{sim} aus der Computersimulation mit den gemessenen Feldern u_{obs} gut übereinstimmen. Diese Aufgabenstellung wird auch als inverses Problem bezeichnet. Das entsprechende Vorgehen ist in der folgenden Grafik dargestellt:





Quelle: Walther

Abb. 2: Links: Reflektionen der Wellen ins Gebiet. Rechts: Dämpfung der Wellen durch pml.

Damit ergeben sich folgende Fragen: Wie kann man u_{sim} berechnen? Wie misst man den Abstand des observierten Feldes u_{obs} und des simulierten Feldes u_{sim} ? Und schließlich: Wie bestimmt man eine neue Permittivität ϵ ?

Zur Berechnung des simulierten Feldes u_{sim} muss man die Ausbreitung elektromagnetischer Felder beschreiben. Ein passendes Modell wurde von James Clerk Maxwell, einem bekannten schottischen Physiker, als ein System partieller Differentialgleichungen von 1861 bis 1864 erarbeitet. Für diese Gleichungen kann im Allgemeinen keine Lösung in Gestalt einer Formel angegeben werden, weswegen man mithilfe des Computers Näherungslösungen berechnet. Dazu wird der zu untersuchende Gegenstand z. B. zunächst durch eine Kugel approximiert und in einen Quader eingebettet. Anschließend erfolgt eine Aufteilung des Quaders in sehr viele kleinere Quader, wobei jedem Quader eine bestimmte Permittivität zugeordnet wird. Dabei verwendet man z. B. die Permittivität von Vakuum für diejenigen kleinen Quader, welche die Kugel nicht schneiden. Alle anderen Quader approximieren die Permittivität eines kleinen Teils der Kugel. Basierend auf dieser Diskretisierung, d. h. der Zerlegung des betrachteten Gebietes, kann dann die Propagation von elektromagnetischen Wellen durch den Quader unter Verwendung der Permittivität innerhalb der kleinen Quader annähernd berechnet werden. Dazu bietet sich z. B. die Finite-difference-time-domain-Methode (FDTD) an. Dieses Verfahren wurde erstmals 1966 von Kane S. Yee vorgeschlagen.

In der Realität breiten sich Wellen, wenn sie nicht durch ein Hindernis abgelenkt oder absorbiert werden, ungehindert aus. Allerdings kann man auf einem Computer eine Wellenausbreitung nur auf einem endlichen Gebiet annähern. Was passiert

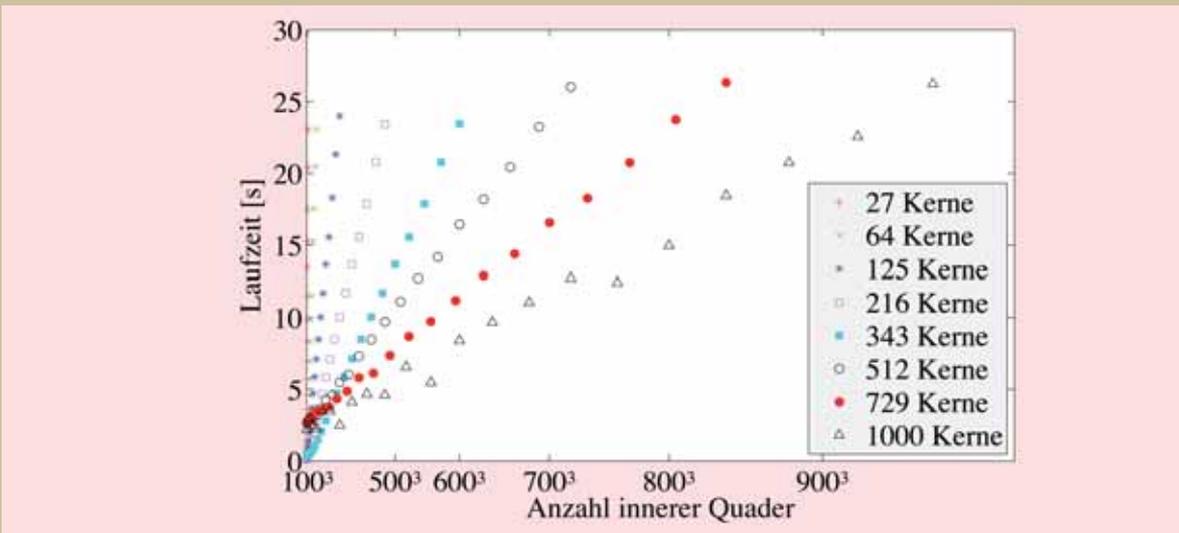
dann an den Rändern des betrachteten Gebietes, also beispielsweise an den Seiten des hier betrachteten Quaders? Bei einer falschen Randbehandlung kann es passieren, dass die Wellen ungewollter Weise wieder in das Rechengebiet zurückreflektiert werden, wie es auf der linken Seite der Abbildung 2 zu sehen ist. Deshalb müssen die Ränder des Rechengebietes mit so genannten „perfectly matched layer“ umgeben werden, die für eine Absorption der auftreffenden Wellen sorgen. Dies ist in Abbildung 2 schematisch dargestellt. In Verbindung mit der Maxwell-Gleichung wurde diese Methode 1994 das erste Mal eingesetzt, d. h. hier finden relativ neue mathematische Techniken ihren Einsatz.

Im Vergleich zu der Berechnung des simulierten Feldes ist die Berechnung der Diskrepanz zwischen u_{obs} und u_{sim} relativ einfach. Dazu werden Messpunkte des Empfängers, z. B. auf einer der oben skizzierten Umlaufbahnen betrachtet. An diesen Stellen berechnet man die Absolutbeträge der Differenz zwischen dem gemessenen Wert und dem simulierten Wert und summiert sie auf, d. h. man berechnet den Wert der Formel:

$$\sum_{\text{Messpunkt } i} (u_{obs,i} - u_{sim,i})^2 \quad (1)$$

Schwieriger ist wieder die Bestimmung eines neuen ϵ . Für eine realistische Rekonstruktion der Leitfähigkeit muss der betrachtete Gegenstand in eine Vielzahl kleiner Quader zerlegt werden. Theoretisch kann in jeder dieser kleinen Zellen eine andere Permittivität und damit ein anderer Wert von ϵ vorliegen.

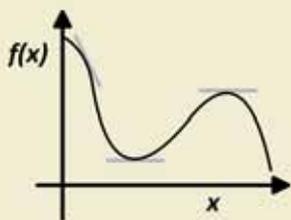
Aufgrund der enormen Anzahl von Zellen scheiden Techniken aus dem Bereich der so genannten genetischen Algorithmen aus. Hierbei werden,



Quelle: [2]

Abb. 3: Skalierungsverhalten der Funktionsauswertung.

basierend auf dem Evolutionsgedanken, die Werte in den Zellen auf verschiedene Arten variiert, dann prüft man, welche Varianten die Diskrepanz zwischen u_{obs} und u_{sim} verringert haben. Anschließend werden darauf aufbauend neue Variationen der Werte getestet. Diese Schritte werden wiederholt, bis die Diskrepanz auf das erforderliche Maß reduziert wurde. Man kann beweisen, dass diese Verfahren konvergieren, d. h. zum gewünschten Ziel führen. Allerdings führt die damit verbundene Anzahl von auszuwertenden Simulationen für die in diesem Projekt notwendige Anzahl von kleinen Quadern zu einem völlig unakzeptablen Aufwand. Deswegen wurde auf ableitungsbasierte Optimierungsmethoden ausgewichen, um den Wert der in Formel (1) angegebenen Zielfunktion zu minimieren. Die zugrundeliegende Idee kann für eine anzupassende Variable sehr gut illustriert werden (siehe Skizze links).



Die erste Ableitung der Funktion am Optimalpunkt ist Null. Dies entspricht der Tatsache, dass die Tangente der Funktion an dieser Stelle die Steigung Null besitzt.

Für eine Vielzahl von zu variierenden Variablen, wie es hier mit der Permittivität in den einzelnen Zellen der Fall ist, kann diese Idee übertragen werden. Dementsprechend sucht man also Permittivitäten in den einzelnen Quadern, so dass die ersten Ableitungen für diese vielen Variablen Null bzw. möglichst klein sind. Zu diesem Zweck wurde in den letzten Jahren eine Vielzahl von Algorithmen entwickelt, die auf die jeweilige Situation angepasst sind. Ohne weiter ins Detail zu gehen, wird an dieser

Stelle nur darauf verwiesen, dass hier ein Quasi-Newton-Ansatz verwendet wurde. Diese Methode benötigt „nur“ Ableitungen der Zielfunktion (1) bzgl. der zu variierenden Variablen, also der Permittivitäten in den einzelnen Quadern.

Die Realisierung der Rekonstruktion

Um eine brauchbare Rekonstruktion der Permittivität zu erreichen, werden bis zu 1 000 Unterteilungen des großen umgebenden Quaders in jeder Raumrichtung benötigt. Damit die zur Simulation benötigte Rechenzeit sich in akzeptablen Grenzen hält, ist deshalb eine Parallelisierung der Berechnung unerlässlich. Es werden also zahlreiche Prozessoren bzw. Kerne für die Berechnung von u_{sim} genutzt. Dazu verwendet man das Prinzip der Gebietszerlegung. Man unterteilt also wiederum den ursprünglichen großen Quader in kleinere Quader, welche dann einem Prozessor bzw. Kern zugeordnet werden. Während der Simulation ist dann der Austausch von berechneten Daten über die Seiten der Quader der Gebietszerlegung erforderlich. Bei der Organisation dieser Kommunikation ist besondere Sorgfalt erforderlich, damit die eigentlich gewünschte Reduktion der Rechenzeit durch die Verwendung von vielen Prozessoren bzw. Kernen nicht durch die Kommunikation und die dafür benötigte Zeit zunichte gemacht wird. Deswegen werden bei solchen Simulationen immer auch Skalierungstests durchgeführt, um die Effizienz der Parallelisierung sicherzustellen. Das Ergebnis einer solchen Testrechnung ist in der aus [2] entnommenen Abbildung 3 zu sehen. Die Rechnungen wurden auf dem Parallelrechner Altix des Zentrums für Informationsdienste und Hochleistungsrechnen (ZIH) der Technischen Universität Dresden vorgenommen, wobei sowohl die Anzahl der Quader, in denen die Permittivität

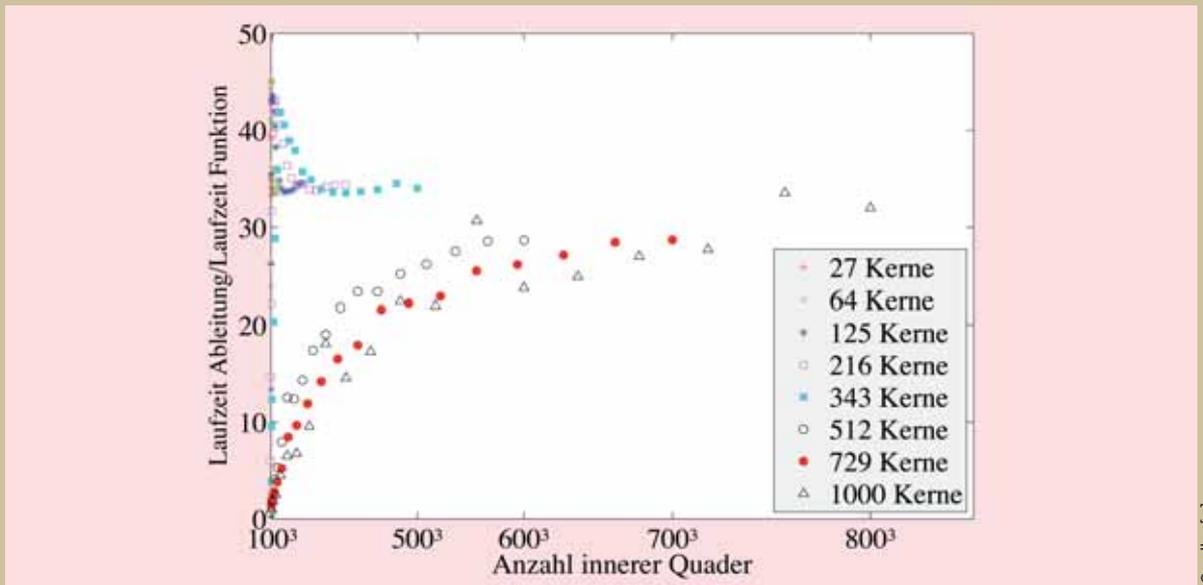


Abb. 4: Verhältnis der Laufzeit zur Ableitungsberechnung zur Laufzeit der Funktionsauswertung.

anzupassen ist, als auch die Anzahl der verwendeten Kerne variiert wurden. Dieser Grafik ist zu entnehmen, dass die benötigte Rechenzeit gut skaliert, d. h. die Parallelisierung führte zu der erwarteten Laufzeitreduktion. Damit ist die Berechnung des Zielfunktionswertes in (1) für eine ausreichend feine Diskretisierung möglich. Für ableitungsbasierte Optimierungsmethoden besteht bei komplexen Anwendungen häufig eine Schwierigkeit darin, gerade die Ableitungsinformationen genau und effizient genug zur Verfügung zu stellen. Eine weitverbreitete Technik zur Approximation der Ableitungen stellt die Methode der Finiten Differenzen dar. Hierbei wird die eigentlich gewünschte Tangente durch eine Sekante ersetzt, wobei deren Steigung aus zwei berechneten Funktionswerten bestimmt werden kann. Häufig liefert diese Methode recht zufriedenstellende Ergebnisse. Allerdings wächst die Anzahl der erforderlichen Funktionsauswertungen linear mit der Anzahl der Variablen. Dies würde in dem hier betrachteten Fall wiederum zu einer nicht akzeptablen Laufzeit für die Bereitstellung der Ableitungen führen. Als effiziente Alternative

zur Berechnung von exakten Ableitungsinformationen bietet sich das algorithmische (oder auch automatische) Differenzieren (AD) an, siehe [1]. Diese Technik geht davon aus, dass die Funktion mithilfe eines Computerprogramms berechnet wird. Das Computerprogramm besteht wiederum aus vielen einzelnen Operationen wie Additionen, Multiplikationen, Auswertungen der sinus-Funktion usw., wobei für jede dieser Operationen mit zum Teil aus der Schule bekannten Regeln exakte Ableitungen sehr einfach berechnet werden können. Die Ableitungsberechnung für die gesamte Funktion ist darauf aufbauend mit der Kettenregel möglich, siehe [1]. Wie immer liegt jedoch auch hier der Teufel im Detail. So gibt es weltweit etwa acht Gruppen, die auf diesem Gebiet intensiv forschen, um das algorithmische Differenzieren bzgl. theoretischer Aspekte weiterzuentwickeln und um Software für die Anwendung von AD bereitzustellen. Am Lehrstuhl „Mathematik und ihre Anwendungen“ wird dafür das AD-Paket ADOL-C [4] weiterentwickelt, welches als Open-Source-Software im Rahmen der COIN-OR Initiative verfügbar ist. Die Technik des algorithmischen Differenzierens ist aus Anwendersicht besonders hinsichtlich des erforderlichen Aufwands zur Ableitungsberechnung spannend: Es konnte gezeigt werden, dass die Laufzeit zur Berechnung von Ableitungen, wie Gradienten oder Richtungsableitungen, immer durch ein sehr kleines Vielfaches der Laufzeit der Funktionsauswertung begrenzt werden kann [1]. Für eine Vielzahl von Beispielen kann diese theoretische Aufwandsabschätzung auch in der Praxis verifiziert werden. Bei der hier beschriebenen Anwendung kommen allerdings noch einige weitere Herausforderungen hinzu. Die Wellenausbreitung wird durch einen instationären, d. h. zeitabhängigen Prozess beschrieben. Leider geht die sehr günstige Auf-

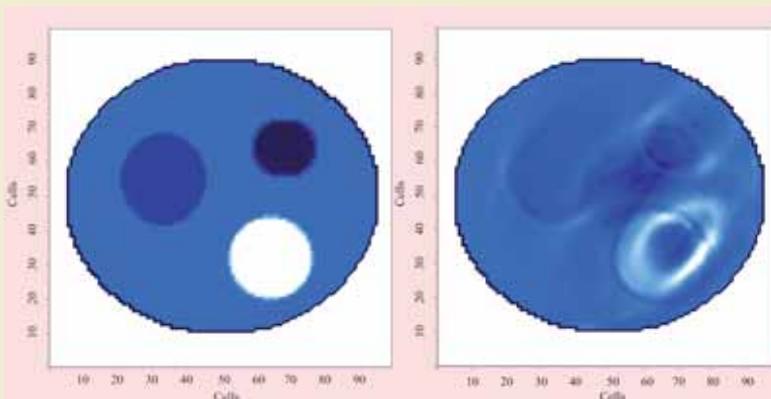


Abb. 5: Links: Die zu rekonstruierende Permittivität. Rechts: Die rekonstruierte Permittivität.

Quelle: [2]



Foto: Arbeitsgruppe

Abb. 6: Das Team des BMBF-Projektes HPC-FLIS.

wandsabschätzung bzgl. der Laufzeit für die Gradientenberechnung mit einem Speicherplatzaufwand einher, der linear mit der Anzahl der während der Funktionsauswertung auszuführenden Operationen wächst. Bei der Ableitungsrechnung für die angestrebte Diskretisierungsfeinheit würde man damit sehr schnell selbst die heutigen Speichermöglichkeiten überschreiten, bzw. durch sehr lange Zugriffszeiten die Rechenzeit dramatisch verlangsamen. Diese Speicherzugriffseffekte werden in den theoretischen Analysen, vgl. [1], explizit nicht berücksichtigt. Um den Speicheraufwand auf ein akzeptables Maß zu reduzieren, wurden „Checkpointing“-Ansätze entwickelt, welche einen Kompromiss aus Speicherung und Wiederberechnung darstellen. Die gemessene Laufzeit für die Gradientenberechnung, d. h. zur Bereitstellung der Ableitungsinformationen mit bis zu 750 000 Einträgen, berücksichtigt auch Effekte, welche durch die Kommunikation der Kerne verursacht wurden. Im Vergleich mit der Laufzeit für eine Funktionsauswertung ergab sich, dass die für eine Gradientenberechnung benötigte Laufzeit dreißig Funktionsauswertungen entspricht. Dies ist in der aus [2] entnommenen Abbildung 5 zu sehen. Die Laufzeiten wurden ebenfalls wieder auf dem Altix des ZIH der Technischen Universität Dresden gemessen. Als Optimierungssoftware wurde der L-BFGS-b Code verwendet [5], um eine ableitungsbasierte Variation der Permittivitäten in den Quadern zu berechnen. Damit sind alle Bausteine vorhanden, um das oben skizzierte Iterationsverfahren durchzuführen.

Die ersten Ergebnisse

Zu Verifikationszwecken wurden zunächst vergleichsweise kleine akademische Testprobleme gelöst. Bei einer Variante waren in einer Kugel drei

weitere Kugeln mit abweichender Permittivität unsymmetrisch eingebettet. Zur Rekonstruktion dieser Verteilung mit den beschriebenen Methoden diente eine in der gesamten äußeren Kugel konstante Permittivität ϵ_{start} als Startwert. Die Quelle befand sich, wie in der aus [2] entnommenen Abbildung 5 eingezeichnet, links unten auf der Kugeloberfläche. Der Empfänger kreiste einmal um die Kugel, sodass nur sehr eingeschränkte Messinformationen vorlagen, wie es bei späteren Anwendungen zu erwarten ist. Trotz dieser im Vergleich zu den Tomographiemethoden in der Medizin sehr geringen Informationsdichte konnte der prinzipielle Aufbau der Kugel rekonstruiert werden, siehe Abbildung 5. Es gab 729 000 kleine Quader, d. h. es war der Wert von knapp einer dreiviertel Million Variablen zu bestimmen. Dies konnte durch die Kombination des algorithmischen Differenzierens mit ableitungsbasierten Optimierungsmethoden innerhalb von nur 100 Iterationen im Rahmen der gewünschten Genauigkeit erzielt werden.

Der Einfluss der eingeschränkten Senderposition ist durch die Verwischung der Grenzen entlang der Diagonalen von links unten nach rechts oben deutlich zu sehen. Dennoch konnte gezeigt werden, dass mit den hier beschriebenen Methoden die angestrebte Rekonstruktion der Permittivität im Inneren der Kugel möglich ist. Damit war die Zielstellung des hier beschriebenen Projektes erreicht.

Die nächsten Schritte

Die hier vorgestellte Methodik muss noch erweitert werden, um weitere wichtige Effekte in die Rekonstruktion zu integrieren. Zu nennen sind dabei insbesondere in der Praxis unvermeidbare Messungenauigkeiten, welche dazu führen, dass der Optimierungsansatz noch um so genannte

Regularisierungsmethoden zu erweitern ist. Des Weiteren hat die Wahl der Empfängerbahn u. U. erheblichen Einfluss auf die Rekonstruktionsmöglichkeiten. Deswegen könnte getestet werden, ob durch geeignete vorbereitende Messungen eine Positionierung der Quelle sowie die Bewegung des Empfängers so gewählt werden kann, dass insgesamt mit besseren Rekonstruktionsergebnissen zu rechnen ist. Dies ist aber wiederum ein eigenes Forschungsprojekt.

Die hier dargestellten Ergebnisse wurden in einer interdisziplinären Kooperation von Elektrotechnikern (dem Lehrstuhl „Hochfrequenztechnik“ an der Technischen Universität Dresden), Informatikern (dem Zentrum für Informationsdienste und Hochleistungsrechnen der Technischen Universität Dresden) und Mathematikern (dem Lehrstuhl „Mathematik und ihre Anwendungen“ an der Universität Paderborn) erzielt. Aktuell wird diese Kooperation im Rahmen des BMBF-Projektes „HPC-Framework zur Lösung inverser Streuprobleme auf strukturierten Gittern mittels Manycore-Systemen und Anwendungen für 3D-bildgebende Verfahren“ fortgesetzt. An der Universität Paderborn beschäftigt sich dabei Dipl.-Math. Maria Schütte im Rahmen ihrer Promotion mit den mathematischen Fragestellungen dieses Projektes. Ziel ist in Zusammenarbeit mit der Siemens AG, München, die jetzt verfügbaren Methoden zur Analyse von Turbinenschaufeln zu erweitern. Das gesamte Team, welches an dieser Fortsetzung des hier beschriebenen Projektes arbeitet, traf sich im Juli letzten Jahres zu einem Kick-off-Meeting an der Technischen Universität Dresden (Abbildung 6).

Literatur

- [1] A. GRIEWANK UND A. WALTHER. EVALUATING DERIVATIVES: PRINCIPLES AND TECHNIQUES OF ALGORITHMIC, DIFFERENTIATION (SECOND EDITION). SIAM (2008).
- [2] F. HOFFEINS, U. MARKWARDT, W.E. NAGEL, M. BRUNE, A. WALTHER, C. STATZ, S. HEGLER UND D. PLETTEMEIER: ON THE SOLUTION OF LARGE SCALE INVERSE ELECTROMAGNETIC SCATTERING PROBLEMS. EINGEREICHT BEI: JOURNAL OF COMPUTATIONAL AND APPLIED MATHEMATICS.
- [3] D. LANDMANN, D. PLETTEMEIER, C. STATZ, F. HOFFEINS, U. MARKWARDT, W. NAGEL, A. WALTHER, A. HERIQUE, W. KOFMAN: THREE DIMENSIONAL RECONSTRUCTION OF COMET NUCLEUS BY OPTIMAL CONTROL OF MAXWELL'S EQUATIONS: A CONTRIBUTION TO THE EXPERIMENT CONSERT ONBOARD SPACE MISSION ROSETTA. PROCEEDINGS IEEE INTERNATIONAL RADAR CONFERENCE 2010, PAGES 1392-1396 (2010). [WWW.COIN-OR.ORG/PROJECTS/ADOL-C.XML](http://www.coin-or.org/projects/ADOL-C.XML)
- [4] C. ZHU, R. BYRD, P. LU, PEIHUANG, J. NOCEDAL: ALGORITHM 778: L-BFGS-B, FORTRAN ROUTINES FOR LARGE SCALE BOUND CONSTRAINED OPTIMIZATION". ACM TRANSACTIONS ON MATHEMATICAL SOFTWARE 23 (4): 550-560 (1997).

Kontakt

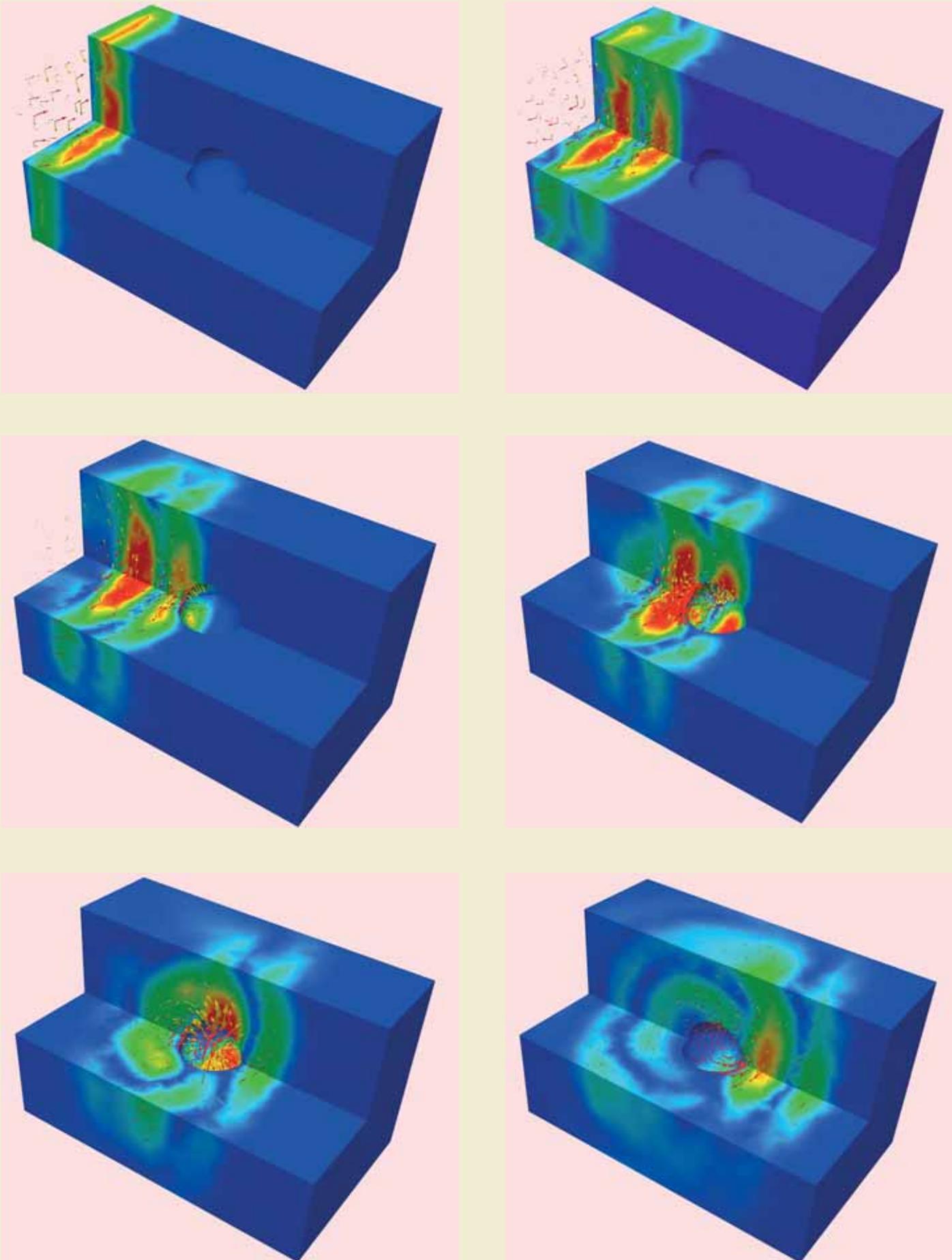
Prof. Dr. rer. nat. Andrea Walther

Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik

Institut für Mathematik

05251 60-2721

andrea.walther@upb.de



Quelle: Eigene Simulation – erstellt mit dem Programmpaket FEniCS.

Zu sehen ist die Entwicklung der elektromagnetischen Welle, die an der eingeschlossenen Kugel reflektiert wird. Diese Simulation wurde in Kooperation mit Stephan Schmidt, Imperial College London, erstellt.

Informationstechnik spart Ressourcen

Industriennahe Informatik-Labore setzen auf Modelle

Von Gregor Engels,
Christian Gerth,
Bernd Kleinjohann,
Lisa Kleinjohann,
Wolfgang Müller und
Stefan Sauer



Prof. Dr. rer. nat. Gregor Engels ist seit 1997 Leiter der Forschungsgruppe Datenbank- und Informationssysteme im Institut für Informatik. Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich der modellbasierten Softwareentwicklung, der UML und domänenspezifischen Sprachen, der Qualitätssicherung sowie dem Management von Software-Architekturen.

Die Diskussion um die Verwendung von begrenzten Ressourcen ist in der Gesellschaft allgegenwärtig. Nachhaltiges Umgehen mit natürlichen Rohstoffen und Energie hat oberste Priorität, um den gegenwärtigen Lebensstandard halten zu können.

Um den Verbrauch von Ressourcen bei technischen Produkten zu senken, bestehen unterschiedliche Einsparmöglichkeiten. Zum einen schon die Verlängerung der Lebenszeit von Produkten den Verbrauch von Ressourcen. Wird z. B. ein Kraftfahrzeug oder ein Haushaltsgerät wie eine Waschmaschine erst später durch ein neues Gerät ersetzt, so werden natürlich weniger Ressourcen zur Produktion von Neugeräten benötigt. Zum anderen können aber auch neue Produkte mit weniger Ressourcen entwickelt werden oder diese Produkte benötigen weniger Ressourcen im Betrieb.

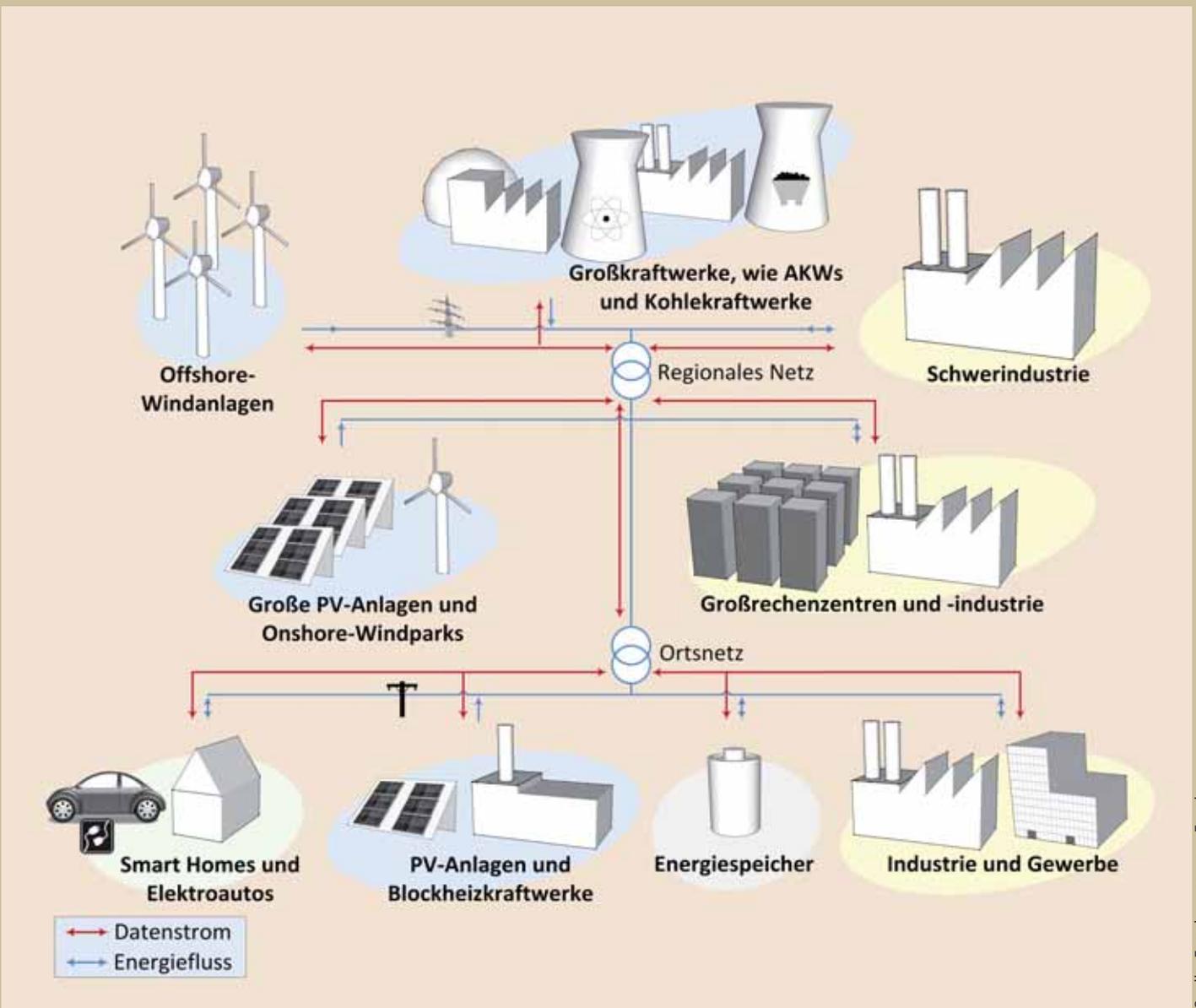
Bei all diesen Einsparmöglichkeiten kann die Informationstechnik einen wesentlichen Anteil beitragen. So können etwa durch eine Aktualisierung der Software die Funktionen eines technischen Produkts erweitert werden, so dass es länger die Anforderungen der Nutzer erfüllt. Durch diese Nachrüstbarkeit bleibt die Attraktivität auch von „Altgeräten“ in der Anwender- bzw. Verbrauchersicht erhalten.

Auch in der Produktentwicklung kann der Einsatz der Informationstechnik zu einem geringeren Ressourcenverbrauch beitragen. So kann etwa auf die mehrfache Durchführung von Pilotversuchen oder das Realisieren von echten, physikalischen Prototypen verzichtet werden, wenn Produkte zunächst modelliert werden und die dabei entstehenden, nur als Modell existierenden virtuellen Prototypen analysiert oder simuliert werden.

Aber nicht nur bei einzelnen Produkten, sondern insbesondere auch im Zusammenspiel von technischen Produkten kann die Informationstechnik helfen, Ressourcen zu sparen. So können etwa durch eine geeignete Steuerungssoftware Synergieeffekte beim Betrieb von vernetzten technischen Produkten ausgenutzt werden. Ein Beispiel im Kleinen ist die Heizungsanlage eines Einfamilienhauses, die ihre Leistung reduziert, sobald der Backofen in der Küche benutzt wird. Ein Beispiel im Großen ist das intelligente Stromnetz, das aktuell unter dem Stichwort Smart Grid diskutiert wird (Abbildung 1). Durch eine übergeordnete Steuerung des Energieverbrauchs und eine Abstimmung des Verbrauchs mit der Erzeugung



Quelle: E.ON Netz GmbH



Quelle: Forschungsgruppe Engels

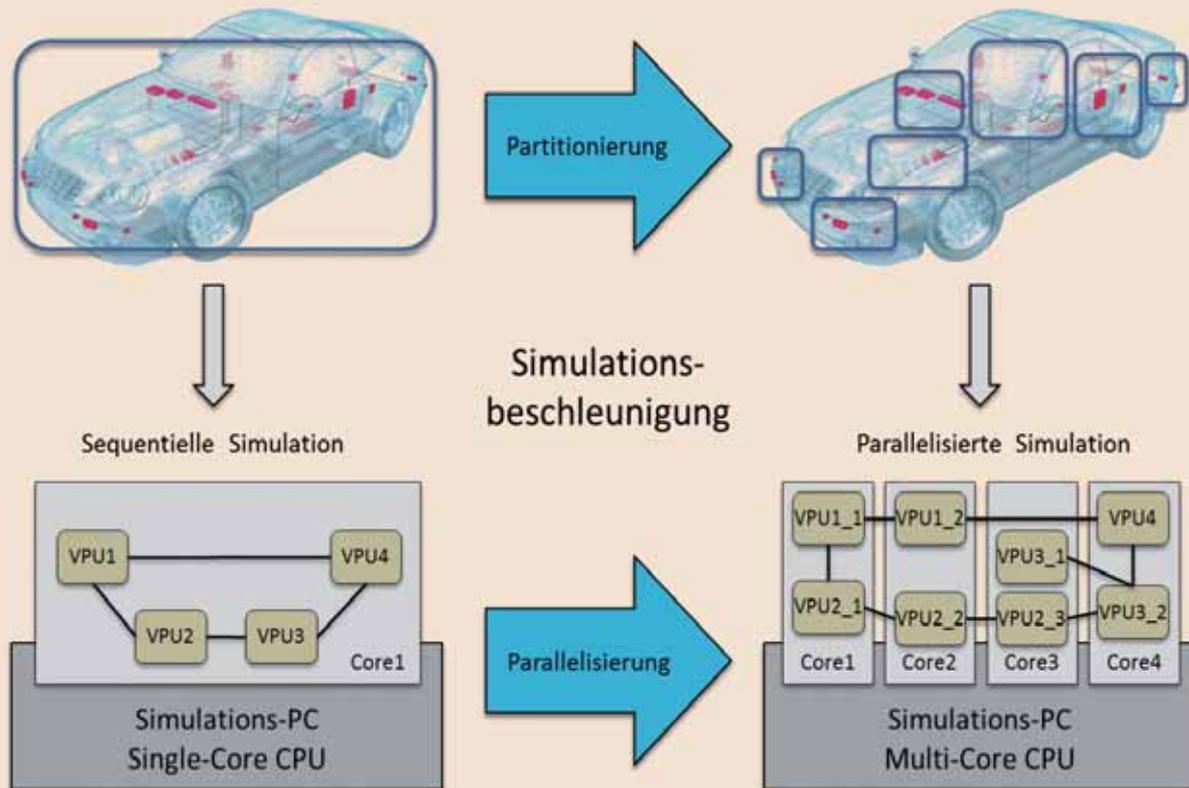
Abb. 1: Smart Grid: Ressourcenschonendes Zusammenspiel unterschiedlicher Energiequellen und -träger.

können z. B. Energieträger besser ausgenutzt werden. Eine Koordinierung unterschiedlicher Systeme und ihrer Vernetzungsinfrastrukturen kann auch im Bereich Elektromobilität zu einer effizienteren Energienutzung und -einsparung führen. Hierbei spielen neben energiesparenden Elektrofahrzeugen insbesondere auch Faktoren wie die Verteilung von Ladestationen oder der Ausbaugrad von Energie- und Verkehrsnetzen sowie ein übergreifendes Mobilitätskonzept und Energiemanagement eine wesentliche Rolle.

Modellierung hilft beim Sparen von Ressourcen

Um den nachhaltigen Umgang mit Ressourcen sowohl bei der Neu- als auch Weiterentwicklung eines Produkts zu unterstützen, müssen komplexe Zusammenhänge zunächst erfasst und ausgewertet werden. Erst danach sollte mit der eigentlichen Entwicklung oder der Weiterentwicklung eines Produkts begonnen werden.

Es ist in allen Ingenieursdisziplinen üblich, komplexe Zusammenhänge zunächst in vereinfachter Form mittels Modellen zu beschreiben. Modelle erlauben dabei, von unwichtigen Details zu abstrahieren und auf einzelne Aspekte zu fokussieren. In der Entwicklung von Produkten ist daher der konsequente Einsatz von Modellen das Mittel der Wahl. Im Rahmen eines modellbasierten Entwurfs werden zunächst Anforderungen an das zu entstehende Produkt modelliert und dann schrittweise zu einer Produktspezifikation verfeinert. Modellbasierte Spezifikationen haben den weiteren Vorteil, dass sie eindeutiger und präziser als Spezifikationen in natürlicher Sprache sind. Daneben verknüpfen sie komplexe Zusammenhänge aus verschiedenen Problembereichen und erlauben deren Darstellung auf unterschiedlichen Abstraktionsniveaus. Letzteres ermöglicht es, sich schrittweise einer Problemlösung zu nähern. Fast alle Modellierungstechniken basieren auf



Quelle: Forschungsgruppe Engels

Abb. 2: Leistungsfähige Simulation von Elektrofahrzeugen.

mathematischen Grundlagen. Für ein intuitiveres Verständnis wurden unterschiedliche Modellierungstechniken für verschiedene Anwendungsgebiete oder Domänen entwickelt, wie beispielsweise im Automobilbau oder in der Haustechnik. Ein Schwerpunkt unserer Arbeit in den Projekten der beiden industrienahen Informatik-Technologieinstitute C-LAB und s-lab – Software Quality Lab der Universität Paderborn besteht darin, Modellierungstechniken und Simulations-/Analyseverfahren aus unterschiedlichen Anwendungsbereichen zu integrieren und weiterzuentwickeln. Die Entwicklung von Informationstechnik oder des informationstechnischen Anteils eines Produktes steht hierbei im Mittelpunkt.

Im Folgenden erläutern wir anhand der Themenbereiche Elektromobilität und Cloud Computing am Beispiel von Elektrofahrzeugen und Server-Farmen in großen Rechenzentren, wie die Informationstechnik bei diesen komplexen, technischen Systemen hilft, Ressourcen zu sparen. Anschließend wird die Vernetzung solcher technischen Systeme betrachtet. Am Beispiel der Entwicklung und Nutzung von Infrastrukturen für Elektromobilität erläutern wir, wie hier Ressourcen gespart werden können. Der abschließende Abschnitt widmet sich dem Entwurf und der Realisierung nachhaltiger informationstechnischer Systeme selbst, ohne die weder komplexe technische Systeme noch intelligente Infrastrukturen zu deren Vernetzung denkbar sind.

Entwurf und Betrieb komplexer, technischer Systeme am Beispiel Elektrofahrzeug

Der Entwurf komplexer technischer Systeme erfordert die Berücksichtigung von Problemstellungen ganz unterschiedlicher Domänen. So stellt die Elektromobilität neue Anforderungen an den Entwurfsprozess im Automobilbereich. Er muss für Elektrofahrzeuge angepasst und die unterstützenden Werkzeuge müssen erweitert werden, um die entstehenden Herausforderungen zu meistern. So steigt etwa die Komplexität der im Automobil verwendeten Steuergeräte und Regelalgorithmen für Elektrofahrzeuge deutlich an. Weiterhin muss die Energieeffizienz optimiert werden. Durch die Schnittstelle zum Stromnetz kommen weitere Einflussgrößen wie Ladezeiten, Infrastrukturfragen oder die Verwendung der Fahrzeug-Batterie als dezentraler Energiespeicher im Stromnetz hinzu. All diese Abhängigkeiten müssen im Entwicklungsprozess modelliert und analysiert werden. Im klassischen Automobilentwicklungsprozess werden die verschiedenen Regelkomponenten und Steuergeräte zunächst nahezu unabhängig voneinander entwickelt. Eine Prüfung der Steuergeräte erfolgt erst zu einem sehr späten Zeitpunkt im Entwicklungsprozess anhand aufwändiger Hardware-in-the-Loop (HiL) Prüfstände und Flottenversuche. Der Aufbau geeigneter Prüfstände und Prototypen ist kostenintensiv und zeitaufwändig, insbesondere unter Berücksichtigung der für die Elektromobilität typischen Viel-



Quelle: Fujitsu Technology Solutions

Abb. 3: Große Server-Farmen in Rechenzentren bieten Potenzial für eine Energieeinsparung.

zahl an Abhängigkeiten und Schnittstellen mit der Umgebung.

Mithilfe einer Entwurfs- und Testumgebung für den frühzeitigen simulationsgestützten Test virtueller Steuergeräte kann der Entwicklungsprozess für Elektrofahrzeuge zum einen verkürzt und zum anderen durch umfangreiche Simulationen zu einem frühen Zeitpunkt optimiert werden. So können einerseits beim Entwurf selbst durch die Vermeidung unnötiger Prototypen und Flottenversuche weniger Ressourcen verbraucht werden. Andererseits kann beispielsweise durch die Berücksichtigung des Energieverbrauchs bei der Modellierung, Simulation und Analyse eine Lösung ermittelt werden, die einen energiesparenden Betrieb des Elektrofahrzeuges ermöglicht.

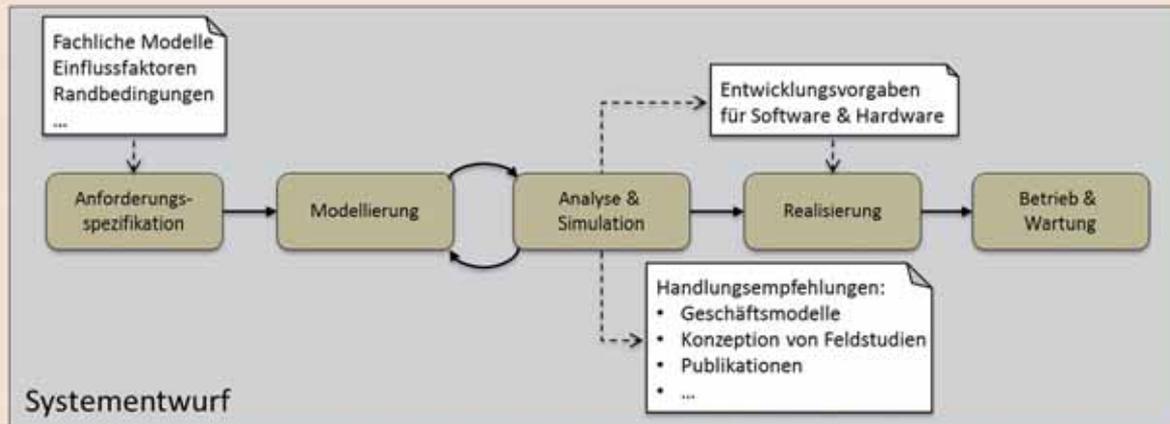
Die notwendigen Entwurfswerkzeuge müssen jedoch die gemeinsame Modellierung von elektrischen Antrieben, der Leistungselektronik und der Umwelt zusätzlich ermöglichen. Um solche domänenübergreifenden Modelle zu simulieren, müssen etablierte Werkzeugketten aus der industriellen Praxis so erweitert werden, dass auch Verfahren zur Simulation von elektrischen Leistungskomponenten und deren Verlustleistungen möglich sind. Technisch gesehen muss bei der Modellierung darauf geachtet werden, dass das Gesamtmodell modular aufgebaut ist. Die Simulatoren müssen so erweitert werden, dass jedes Teilmodell nur mit dem wirklich notwendigen Rechenaufwand simuliert wird. Anders kann das Zusammenspiel in komplexen Systemen nicht realistisch simuliert werden. Elektrische Simulationen erfordern allerdings eine wesentlich

genauere und damit häufigere Berechnung der Zusammenhänge, so dass eine Beschleunigung herkömmlicher Simulationsverfahren notwendig ist. Hierzu wird im Projekt E-Mobil, das von der



Quelle: E.ON Westfalen Weser AG

Abb. 4: Ressourcenschonende Fortbewegung in der Zukunft: ein Elektrofahrzeug an der Ladestation.



Quelle: Forschungsgruppe Engels

Abb. 5: Lebenszyklus informationstechnischer Systeme.

Universität Paderborn zusammen mit den Partnern dSPACE GmbH und DMecS GmbH & Co. KG durchgeführt wird, u. a. ein Verfahren zur Simulationsbeschleunigung durch parallele Simulation unterschiedlicher Modellteile, so genannter VPUs (Virtual Processing Units), auf mehreren Rechenkernen (Multi-Core CPU) entwickelt (Abbildung 2). Entsprechend müssen auch die Modelle weiter aufgeteilt werden. An den Schnittstellen zwischen mechanischen und elektrischen Komponenten müssen somit Verfahren zum Zusammenfassen von physikalischen Werten oder zum Interpolieren von Werten entwickelt werden, um Teilmodelle unterschiedlicher Domänen zu koppeln. Die Berücksichtigung und Ausnutzung von unterschiedlichen Zeitskalen ist ein typisches Problem, das bei der Integration von Modellen unterschiedlicher Domänen auftritt.

Energiesparen im Rechenzentrum

Auch im Bereich von Server-Farmen (Abbildung 3), wie sie beispielsweise im Cloud Computing eingesetzt werden, existiert erhebliches Potenzial zum Energiesparen. Isoliert optimierte Einzelsysteme und ungenutzte aktive Kapazitäten sind Ursachen für einen hohen Energieverbrauch in der Informationstechnologie. In diesem Umfeld arbeitet die Universität Paderborn zusammen mit der Fujitsu Technology Solutions GmbH an weiterführenden Lösungen. Hier wird anhand realistischer Fallstudien untersucht, inwieweit die Server-Firmware – die Software zur Steuerung der Server-Hardware – hinsichtlich des Energieverbrauchs des Gesamtsystems noch weiter angepasst und optimiert werden kann. Für verschiedene Auslastungsszenarien im Rechenzentrum muss z. B. modelliert und analysiert werden, inwieweit eine Optimierung der Energieverbrauchsoptimierung durch geeignetes Management von virtuellen Server-Plattformen

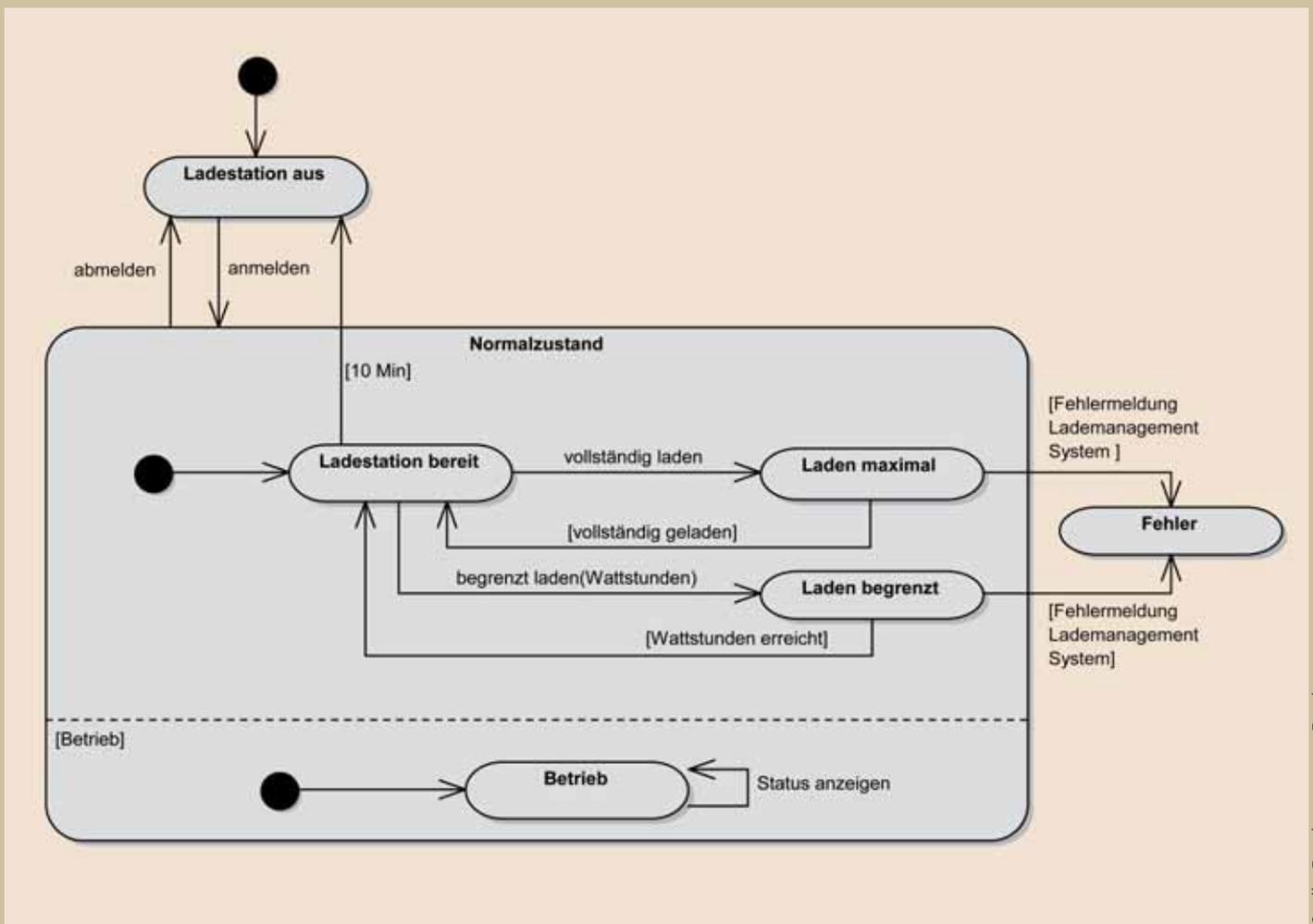
möglich ist und wie durch Hardwareausstattung und Betriebsarteneinstellungen das Verhältnis von Performanz und Leistungsaufnahme noch weiter optimiert werden kann.

Entwicklung und Anpassung ressourcenschonender Infrastrukturen für Elektromobilität

Eine erfolgreiche Einführung und Verbreitung der Elektromobilität erfordert nicht nur technische Lösungen für Teilaspekte der Elektromobilität. Erst durch intelligente Infrastrukturlösungen sowie tragfähige Geschäfts- und Marktmodelle, die die Interessen der unterschiedlichen Beteiligten (u. a. Nutzer, Unternehmen, Staat) berücksichtigen, wird sich Elektromobilität als erfolgreiches Mobilitätskonzept nachhaltig durchsetzen.

Voraussetzung hierfür ist die Abbildung relevanter Aspekte der am Wertschöpfungsnetzwerk Elektromobilität beteiligten Branchen sowie ausgearbeiteter Entwicklungsszenarien in ein domänenübergreifendes Modell, welches dann die Grundlage für Analyse, Simulation und mathematische Optimierung sein kann. Basierend hierauf können die Auswirkungen technologischer Entwicklungen und dynamischer Tarifsyste auf das Nutzer- und Systemverhalten untersucht werden, so dass bei der anschließenden Umsetzung Ressourcen schonende Lösungen gewählt werden können, die beispielsweise Verkehrsnetze, Stromnetze oder Ladestationen möglichst gut ausnutzen und zu energiesparenden Mobilitätskonzepten führen (Abbildung 4).

Im Rahmen des Projektes SMART EM, das an der Universität Paderborn zusammen mit den Projektpartnern E.ON Westfalen Weser AG, Orga Systems GmbH, Morpho Cards GmbH und UNITY AG durchgeführt wird, entsteht solch ein integriertes Simulationsmodell für den Individualverkehr. Auf Grundlage des Simulationsmodells werden



Quelle: Forschungsgruppe Engels

Abb. 6: Struktur- und Zustandsmodell für eine Ladestation.

aussichtsreiche Markt- und Geschäftsmodelle ermittelt. Außerdem erfolgt auf dieser Grundlage die Konzeption und prototypische Implementierung der Software-Komponenten einer intelligenten Lade-, Netz- und IKT-Infrastruktur. Aufgrund der heterogenen und schwieriger zu erfüllenden Nutzungsprofile im Vergleich zu kommerziellen Flotten oder dem ÖPNV wird die Marktdurchdringung im Individualverkehr noch einige Zeit brauchen, so dass der simulationsbasierte Ansatz besonders geeignet ist. So können zunächst verschiedene Nutzungsszenarien unter Berücksichtigung wesentlicher Einflussgrößen simuliert werden. Erste Ergebnisse aus existierenden Feldversuchen können aufgegriffen und in die Simulation einbezogen werden. Alternative Lösungskonzepte und Merkmale können mittels Simulation einfach und schnell analysiert werden, so dass weiterführende Feldstudien sich auf wenige vielversprechende Szenarien beschränken können. Eine Herausforderung ist hier, die genannten Aspekte im Zusammenhang zu betrachten, um technische Lösungen und Geschäftsmodelle zu entwickeln, die tragfähig und nachhaltig sind.

Informationstechnik als Schlüsseltechnologie

In den letzten beiden Abschnitten wurde anhand von Beispielen aus den Themenbereichen Elektromobilität und Cloud Computing gezeigt, wo die Informationstechnik und insbesondere modellbasierte Ansätze helfen, um bei komplexen, technischen Systemen und deren intelligenter Vernetzung Ressourcen einzusparen. Derartige Systeme bestehen im Kern immer aus einem Softwaresystem. Im Folgenden betrachten wir deshalb den modellbasierten Entwurf nachhaltiger informationstechnischer Systeme selbst, mit einem Fokus auf deren softwaretechnischer Realisierung. Abbildung 5 gibt einen Überblick über die unterschiedlichen Phasen im Lebenszyklus eines informationstechnischen Systems. Im gesamten Lebenszyklus werden Modelle vielfältig eingesetzt. Von der Anforderungsspezifikation eines Systems über dessen Modellierung, aber auch für die Realisierung in Form von Hard- und Software oder als Ausgangspunkt für spätere Veränderungen und Erweiterungen bilden Modelle die Grundvoraussetzung für langlebige und damit ressourcensparende Informationssysteme. Aus Sicht der Langlebigkeit ist das übergeordnete Ziel dabei,

dass die Spezifikation eines Systems auf der einen Seite und die softwaretechnische Realisierung eines Systems auf der anderen Seite nicht auseinander divergieren. Nur dadurch kann sichergestellt werden, dass spätere (unvorhergesehene) Änderungen und Erweiterungen effizient durchgeführt werden können.

Folgt man den unterschiedlichen Phasen im Lebenszyklus, werden in der Anforderungsspezifikation zunächst die Anforderungen an ein zu entwickelndes System erhoben und definiert. Die Gesamtheit der Anforderungen wird dann in Form einer Systemspezifikation festgehalten, die bei der Auftragsentwicklung ein wichtiger Vertragsbestandteil zwischen Kunde und IT-Dienstleister ist und zwingend frei von Missverständnissen sein muss, um Projektverzögerungen oder Misserfolge zu vermeiden. Konkrete Negativbeispiele existieren zur Genüge, wie die aktuelle Lieferproblematik der dritten Generation der ICE Züge aufgrund einer nicht anforderungskonformen Steuerungssoftware verdeutlicht.

Der Spezifikation der Anforderungen kommt hierbei eine besondere Verantwortung zu, da sie die Grundlage für die spätere Modellierung und Realisierung darstellt und deshalb direkte Auswirkung auf das geplante System hat. Für die Spezifikation sind Modelle aus unterschiedlichen Gründen sehr geeignet: Zunächst weisen modellbasierte Spezifikationen eine höhere Präzision auf als Spezifikationen in natürlicher Sprache. Daneben ermöglichen Modelle die zielgerichtete Spezifikation von komplexen Sachverhalten auf unterschiedlichen Abstraktionsniveaus und vereinfachen dadurch deren Verständnis. Letzteres ist gerade bei der Entwicklung von komplexen Systemen und Infrastrukturen mit üblicherweise einer Vielzahl an heterogenen Projektbeteiligten von besonderer Bedeutung. Abbildung 6 zeigt hierzu ein Beispiel für die Struktur- und Zustandsmodellierung einer Ladestation in der Standard-Modellierungssprache UML. Neben diesen funktionalen Aspekten eines Systems können hier auch so genannte nicht-funktionale Aspekte wie z. B. der Energieverbrauch modelliert werden.

In den anschließenden Phasen der Modellierung sowie Analyse & Simulation wird die modellbasierte Anforderungsspezifikation zunächst weiter verfeinert und anschließend mittels verschiedener Techniken analysiert oder simuliert. Die Ergebnisse der Simulation und Analyse führen zu konkreten Handlungsempfehlungen (beispielsweise für Geschäftsmodelle) und dienen zum anderen als Grundlage für die Realisierung des informationstechnischen Systems.

In der Realisierung wird das informationstechnische System dann in Form von Hard- und Software umgesetzt. Je nach Detaillierungsgrad der verfei-

nerten Anforderungsspezifikation kann die softwaretechnische Umsetzung auch teilweise automatisiert durch Codegenerierung erfolgen.

Auch im Test wird die modellbasierte Anforderungsspezifikation wiederum gewinnbringend eingesetzt. Zum einen wird das implementierte Informationssystem gegen die Anforderungen getestet, um zu überprüfen, ob sie erfüllt werden. Zum anderen können Testfälle teilweise automatisch aus modellbasierten Anforderungen abgeleitet werden, was den Testaufwand erheblich reduzieren kann.

Im Anschluss an die Realisierung folgt die häufig sehr lange Betriebsphase eines Systems. In dieser Phase des Lebenszyklus kommt es typischerweise zur notwendigen Wartung des Systems, sowohl in Form von Änderungen zur Behebung von Fehlern als auch zur Anpassung an geänderte Anforderungen oder Rahmenbedingungen. Aber auch die Erweiterung um neue Funktionen gehört zur Wartung eines Systems. Damit diese Änderungen und Erweiterungen effektiv durchgeführt werden können, sind eine modellbasierte Anforderungsspezifikation des Systems sowie eine Nachverfolgbarkeit notwendig, wie die Anforderungen in der Systemrealisierung umgesetzt wurden. Die Durchführung der Änderungen oder Erweiterungen eines bestehenden Systems allein auf Basis des Quellcodes ist nicht praktikabel und führt dazu, dass Systeme nicht weiter gepflegt werden und letztendlich frühzeitig durch neue Systeme ersetzt werden müssen.

Der Einsatz von Modellen im Lebenszyklus von Informationssystemen sichert hier den Wissenstransfer zwischen den ursprünglichen und zukünftigen Entwicklern und ist eine Grundvoraussetzung für die langfristige und damit ressourcensparende Nutzbarkeit von Informationssystemen.

Zusammenfassung und Ausblick

Wir haben in diesem Beitrag erläutert, wie die Informationstechnik und insbesondere modellbasierte Verfahren der Informatik helfen, um sowohl bei der Entwicklung als auch im Betrieb von vernetzten technischen Systemen Ressourcen zu sparen. Modelle werden hierbei dazu eingesetzt, um vor einer tatsächlichen Entwicklung Eigenschaften virtueller Prototypen selbst sowie ihren Einsatz in entsprechenden Netzwerk-Infrastrukturen zu simulieren und zu analysieren. Dadurch wird vermieden, dass unnötig Ressourcen bei der Entwicklung von realen Prototypen oder technischen Systemen eingesetzt werden. Durch den Einsatz von umfassenden Modellen wird darüber hinaus auch bereits bei der Entwicklung von Systemen der zu erwartende Verbrauch von Ressourcen im Betrieb analysiert, wodurch Optimierungspotenziale bezüglich des Ressourcenver-

bedürfnis erkannt und ausgenutzt werden können. Schließlich werden modellbasierte Verfahren auch bei der Entwicklung von Softwareanteilen informationstechnischer Systeme eingesetzt, wodurch insbesondere ihre Langlebigkeit und damit die leichte Anpassung an geänderte Anforderungen unterstützt werden. Auch hierdurch können Ressourcen gespart werden, weil technische Systeme länger den Anforderungen von Verbrauchern genügen und nicht durch neue Systeme ersetzt werden müssen.

Diese Fragestellungen zum Einsatz der Informationstechnik, um ressourcenschonende Systeme zu entwickeln, werden in zahlreichen Forschungsprojekten in den beiden Informatik-Technologietransferinstituten C-LAB und s-lab – Software Quality Lab in enger Kooperation mit der Industrie bearbeitet. Hierbei werden insbesondere auch Ergebnisse der Grundlagenforschung der Forschungsgruppen des Instituts für Informatik und thematisch nahestehenden Instituten aufbereitet, um sie für die industrielle Nutzung zugänglich zu machen.

Kontakt

Prof. Dr. rer. nat. Gregor Engels

Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik

Institut für Informatik

05251 60-3337

engels@upb.de



Dr. Christian Gerth ist seit 2012 Senior Researcher im s-lab – Software Quality Lab der Universität Paderborn. Zu seinen Forschungsinteressen zählen das Management von Geschäftsprozessen und die verteilte Entwicklung von anpassbaren, serviceorientierten Softwaresystemen.



Dr. Bernd Kleinjohann arbeitet seit 1985 im C-LAB. Zurzeit hat er die Position des stellvertretenden Vorstandes des C-LABs und die Leitung der Gruppe Cooperative Systems inne, die auf den Gebieten der intelligenten mobilen Systeme, eingebetteter Realzeitsysteme und entsprechender Entwurfsmethoden arbeitet.



Dr. Lisa Kleinjohann ist seit 1985 Wissenschaftliche Mitarbeiterin im C-LAB. Zurzeit leitet sie die Gruppe Intelligent Mobile Systems im C-LAB, die schwerpunktmäßig auf dem Gebiet intelligenter, vernetzter eingebetteter Systeme arbeitet.



Dr. Wolfgang Müller ist seit 1989 Wissenschaftlicher Mitarbeiter im C-LAB. Zurzeit leitet er die Gruppe Advanced Design Technologies im C-LAB, die schwerpunktmäßig auf dem Gebiet des Entwurfs, der Modellierung und der Analyse eingebetteter elektronisch-basierter Systeme arbeitet.



Dr. Stefan Sauer ist seit 2005 Geschäftsführer und Senior Researcher des s-lab – Software Quality Lab der Universität Paderborn. Sein Forschungsschwerpunkt liegt im Entwurf und der Einführung situationsgerechter, modellbasierter Software-Entwicklungsmethoden.

Widerstand gegen fremde Herrscher

Fremdenhass und Gewalt im späteren Mittelalter

Von Hermann Kamp,
Katrin Beyer und
Lukas Wolfinger



Prof. Dr. Hermann Kamp ist seit 2008 Inhaber des Lehrstuhls für Mittelalterliche Geschichte. Zu seinen Forschungsschwerpunkten gehören die Konfliktführung und -beilegung im Mittelalter, das spätmittelalterliche Burgund und die politische Kultur des Mittelalters.

Den nunmehr anlaufenden Abzug der amerikanischen und ihrer alliierten Truppen aus Afghanistan muss man nicht unbedingt als Niederlage deuten. Doch gut zehn Jahre nach der erfolgreichen Invasion verlassen die NATO-Streitkräfte das Land am Hindukusch keinesfalls als Sieger. Die Taliban, im Jahre 2001 in relativ kurzer Zeit aus Kabul vertrieben, haben inzwischen wieder zu einer militärischen Stärke zurückgefunden, die daran zweifeln lässt, ob sich die von den US-Amerikanern gestützte Regierung halten können. In jedem Fall wird man die Taliban wieder mit einbeziehen müssen, wenn über die Zukunft des Landes nach dem Abzug verhandelt wird.

Ihr Wiederaufstieg hat viele Ursachen, aber die verbreitete Ablehnung, auf die die Anwesenheit fremder Truppen im Land stieß, wird man zu den wichtigsten zählen. Sie zeichnete bereits für den Erfolg der islamistischen Widerstandsgruppen gegen die sowjetischen Besatzungstruppen in den 1980er-Jahren verantwortlich und war schon im 19. Jahrhundert ein wichtiger politischer Faktor, was die Briten bei ihren Versuchen, in Afghanistan Einfluss zu nehmen, mehr als einmal bitter erfahren. Sich in diese lange Tradition stellend, deklarierten die Taliban in den letzten Jahren ihren Aufstand vor allem als Widerstand gegen die fremden Mächte im eigenen Land und deren Büttel in Kabul. Damit vermochten sie ihrem Kampf neue Legitimität und Schlagkraft zu verleihen. Aber Afghanistan ist nur ein aktuelles Beispiel für

die Kraft, die Widerstandsbewegungen gewinnen können, wenn sie ihre Aktivitäten zum Kampf gegen fremde Eindringlinge erklären. Auch im Irak konnte man nach dem Sturz Saddam Husseins Ähnliches beobachten und all die Befreiungskriege, die nach 1945, ob nun in Vietnam, Algerien oder Jugoslawien, geführt wurden, waren wohl auch deshalb so erfolgreich, weil sie sich gegen fremde Mächte im eigenen Land richteten. Solche Aufstände lebten aber nicht nur vom Zusammengehörigkeitsgefühl, das sich durch die Anwesenheit von fremden Besatzern, Beratern oder Kolonialbeamten nährte, sie schufen es zum Teil überhaupt erst und trugen zu einer Stärkung der nationalen Identität bei. Auch das kann man von Jugoslawien bis Afghanistan immer wieder beobachten. Die nationale Ausrichtung, die dem Widerstand gegen fremde Herren im 19. und 20. Jahrhundert innewohnte, hat allerdings dazu geführt, solche Konflikte vor allem in der Moderne zu suchen. Und doch sollte man nicht glauben, die Konfrontation mit den Fremden oder eben dem fremden Herrscher sei in vormodernen Zeiten bedeutungslos, nur weil ‚fremde‘ Herren in den früheren Epochen dank der Verbreitung von Eroberungs- und Heiratspolitik als Selbstverständlichkeit galten. Organisierten Widerstand gegen Eroberer hat es seit dem frühen Mittelalter immer wieder gegeben, die Ablehnung von Fremden kennt man nicht minder aus diesen Zeiten. Insofern lohnt es sich, den Blick weiter zurück zu lenken und nach den zeitbedingten Faktoren bei der Formierung eines solchen Widerstandes und nach seinem



Quelle: Kunst und Ausstellungshalle Bundesrepublik Deutschland/Bonn

Abb. 1: Michele Rapisardi (1822-1886), Die Sizilianische Vesper (Museo Civico di Castello Ursino, Catania).

Einfluss für die Identitätsbildung vor der Moderne zu fragen. Gerade für die seit langem kontrovers diskutierte Frage nach der Bedeutung ethnischer Bindungen und den Anfängen nationaler Bestrebungen im Mittelalter scheint die Beschäftigung mit dem Widerstand gegen fremde Herren vielversprechend. Und so fördert auch die DFG derzeit ein Projekt, das seit 2011 am Institut für die Erforschung des Mittelalters und seines Nachwirkens (IEMAN) in Paderborn verfolgt wird und darauf abzielt, den Zusammenhang von Expansionspolitik, Widerstand, ethnischer Selbstvergewisserung, dynastischer Loyalität und frühem Nationalgefühl vor allem in der Zeit um 1300 zu erfassen und die Frage zu verfolgen, in welchem Maße solche Konflikte einer exzessiven Gewaltanwendung Vorschub leisteten. Grundlage der Untersuchung ist der Vergleich von vier Konflikten, die aus der Ablehnung eines fremden Herrschers erwachsen sind. In den Blick genommen wurde die Sizilianische Vesper von 1282, der Aufstand der Sizilianer gegen die Herrschaft Karls von Anjou, an dessen Ende die Insel sich unter die Herrschaft des aragonesischen König begab. Hinzu trat der schottische Unabhängigkeitskrieg von 1296 bis 1327, der durch die Versuche des englischen Königs ausgelöst wurde, das benachbarte Königreich unter seine Oberlehnsherrschaft und dann unter seine direkte Herrschaft zu zwingen. Den dritten untersuchten Konflikt bildete die Auseinandersetzung

zwischen Philipp dem Schönen und den Städten Flanderns. Obwohl der französische König von Rechts wegen der Lehnsherr Flanderns war, wurde er 1301 in den Augen vieler Flamen zum fremden Herrn, nachdem er den Grafen wegen dessen Bündnisses mit dem englischen König gefangen gesetzt, das Land der königlichen Verwaltung unterworfen und sich durch eine ungeschickte Steuerpolitik unbeliebt gemacht hatte. Gewaltsamer Widerstand war die Folge. Und schließlich wurden auch die Auseinandersetzungen, die die Expansionspolitik des dänischen Königs Erichs Menved in Mecklenburg und den Städten Lübeck, Rostock und Stralsund ausgelöst hatte, in den Vergleich mit einbezogen.

In all diesen Fällen ging und geht es darum, den Konfliktverlauf samt seiner Vorgeschichte genau zu rekonstruieren und vor allem den Blick auf die Verhaltensweisen zu werfen, die etwas über das Bild, das die Akteure von sich und ihren Gegnern besitzen, verraten. Zugleich wurden dann Äußerungen der Beteiligten über ihr Selbstverständnis und ihre Ziele hinzugezogen. Da sie jedoch nur vereinzelt überliefert sind, gewann die Darstellung der verschiedenen Geschichtsschreiber an Bedeutung, die danach befragt wurde, mit welchen Kategorien und Deutungsschemata die Autoren die Ereignisse einordnen und erklären. Auf diese Weise ließ sich dann im Einzelfall genauer erkennen, inwieweit der jeweilige fremde Herrscher als



Quelle: Verlag Mercatorfonds (Antwerpen)

Abb. 2: Darstellung der Sporenschlacht bei Kortrijk im Jahre 1302 (Simon Marmion zugeschrieben) in einer Handschrift der Grandes Chroniques de France von circa 1450-1460 (St. Petersburg, Russische Nationalbibliothek, Ms. Eremitage 88, fol. 373).

fremd und warum er als fremd galt, in welchem Maße ethnische Unterschiede den Widerstand verstärkten oder ihm sogar, mit politischen Forderungen verknüpft, einen nationalen Anstrich gaben. Vor allem die Gegenüberstellung der Fallbeispiele ließ dann Aspekte hervortreten, die bei den bisherigen Analysen der Konflikte eher unterbelichtet blieben. Drei von ihnen seien nun im Folgenden etwas genauer betrachtet.

Die dynastischen Bindungen

Da die erwähnten Konflikte in Italien, Schottland und Flandern seit dem 19. Jahrhundert für die jeweiligen Nationalbewegungen stets Bezugspunkte ersten Ranges darstellten, hat man sie bis heute immer wieder national gedeutet. Auch wenn Historiker zuletzt vorsichtiger mit solchen Bewertungen geworden sind, ist in den genannten Fällen immer noch häufig von frühnationalen Forderungen, dem Aufflammen eines ersten Nationalgefühls und Ähnlichem die Rede. Das ist für bestimmte Phasen bei der einen oder anderen Auseinandersetzung auch nicht ganz falsch. Aber in vergleichender Perspektive erscheinen diese Konflikte dann doch viel stärker von dynastischen

Bindungen bestimmt. Das zeigte sich dann selbst für die Sizilianische Vesper, in deren Verlauf mehr als 2 000 Franzosen einer regelrechten Hetzjagd zum Opfer fielen, sich die aufständischen Sizilianer von der Herrschaft Karls von Anjou lossagten und nach kommunaler Eigenständigkeit unter päpstlicher Oberherrschaft strebten. Denn das in diesen Ereignissen zum Ausdruck kommende Unabhängigkeitsstreben währte nur kurz, brachte keine Forderung nach einem unabhängigen Sizilien oder geeinten Italien hervor und wurde gleichsam von den Bindungen an das seit 1268 ausgestorbene Geschlecht der Stauer und seine Nachkommen eingeschnürt.

Zu deren Interessensverwalter war König Peter von Aragon aufgestiegen, der mit einer Enkelin Friedrichs II. verheiratet war und einige von Karl aus Sizilien vertriebene Staueranhänger an seinem Hof aufgenommen hatte. Und einer von ihnen, Johann von Procida, soll vor dem Ausbruch des Aufstandes heimlich auf Sizilien Leute gegen Karl aufgestachelt haben. Dabei hat er sich offensichtlich seiner alten Verbindungen bedient und sich an die verbliebenen Stauerfreunde gewandt. Auch wenn der spätere päpstliche Aufruf zur

Unterstützung Karls ein gutes Stück Propaganda darstellt, sofern er den Aufstand auf das bössartige Wirken der Erben der Staufer zurückführt, so ist er doch ein Dokument für den Einfluss dynastisch motivierter Verbindungen.

Deren Bedeutung kann man aber vor allem an der verhältnismäßig reibungslos verlaufenen Übertragung Siziliens an Peter von Aragon im August 1282 ablesen. Nachdem nämlich das Ansinnen der rebellierenden Sizilianer, sich direkt dem Papst zu unterstellen, von diesem abgelehnt worden war und Karl Sizilien zurückzuerobern suchte, trug eine Mehrheit der Aufständischen Peter die Krone an, der daraufhin nach Sizilien segelte und sich in Palermo zum König ausrufen ließ. Damit folgte er nicht nur den Wünschen der Stauferfreunde. Vielmehr hat ihn vor allem seine expansive Mittelmeerpolitik zu diesem Schritt animiert. Aber dass er in Sizilien mit offenen Armen empfangen und nicht als Fremdherrscher wahrgenommen wurde, lag doch auch an seiner Stellung als Ehemann Konstanzes, der Enkelin Friedrichs II. Welches Gewicht diese Verbindung für die positive Wahrnehmung des Aragonesen besaß, kam deutlich zum Ausdruck, als seine Frau Konstanze 1283 in Palermo feierlich empfangen wurde und man ihren jüngeren Sohn Jakob zum Erben einsetzte, der als Urenkel Friedrichs II. wie ein ‚natürlicher‘ Herrscher Siziliens angesehen werden konnte. Auch wenn der dynastische Faktor nur einer von mehreren war, so spielte er doch auf der Ebene der Mobilisierung eine wichtige Rolle, weil er für die Frage, ob der Herrscher als fremd angesehen wurde, entscheidender war als die bloße ethnische Herkunft.

Dieser Befund wurde durch die Analyse des flämischen Aufstandes gegen Philipp den Schönen bestätigt. Hier verlor der Widerstand seinen lokalen, auf Brügge begrenzten Charakter, nachdem sich Mitglieder der Familie des gefangenen Grafen an die Spitze der Rebellion gestellt hatten und für die Wiedereinsetzung des alten Grafen und seiner Dynastie kämpften. Damit aber wurde Philipp der Schöne zum fremden Herrscher, weil er die Stellung der im Übrigen auch aus Frankreich stammenden Grafen usurpiert und damit angestammte Rechte missachtet hatte, aber nicht weil er Franzose war. Dass die Zeitgenossen den Konflikt unter dynastischen Vorzeichen wahrnahmen, offenbart auch die Bezeichnung für die Parteien, die sich in Flandern einander gegenüberstanden. Denn die Unterstützer des Grafen nannten sich Clauwerts unter Anspielung auf die Löwentatzen im gräflichen Wappen, während die Anhänger des französischen König als Leliards bezeichnet und so mit den Lilien im Wappen des Königs identifiziert wurden. Allerdings besaß die Parteienbildung in Flandern auch eine soziale Komponente, da die

Clauwerts vorwiegend aus vermögenden Handwerkerfamilien stammten, während die Leliards fast durchgehend der flämischen Adelschicht angehörten.

In welchem Maße aus der Perspektive der Städter das Eintreten für die eine oder andere Dynastie von den politischen Interessen bestimmt wurde, zeigt der Widerstand gegen die dänische Expansion nach Mecklenburg. Hier hatten sich zunächst die Fürsten von Mecklenburg gegen den dänischen König gestellt, weil es diesem gelungen war, sich mit dem Land und der Stadt Rostock das Erbe eines mecklenburgischen Seitenverwandten zu sichern, nach dem sie ihre Hände ausgestreckt hatten. Dann jedoch verbündeten sie sich mit dem Dänenkönig gegen die aufstrebenden Seestädte wie Wismar, Rostock und Stralsund, die sich der landesherrlichen Kontrolle zu entziehen suchten. In dieser Situation wandte sich ein Gutteil der Rostocker an ihren alten Landesherrn, der inzwischen vom dänischen König entmachtet worden war, und setzten ihn wieder feierlich in seine Rechte ein. Der Rückgriff auf die angestammte Dynastie entsprang hier deutlich dem Wunsch der Bürger, ihre bisherigen Freiheiten und Positionen zu sichern. Die Zuneigung zu ihrem Fürsten war eine politische Entscheidung, die aus dem Glauben resultierte, so am besten die eigenen Rechte zu sichern, und ähnlich haben letztlich auch die Bürger in den flandrischen Städten gedacht, die sich auf die Seite des Grafen gegen den französischen König gestellt hatten.

Nationale Belange und ethnische Grenzen

Während dynastische Bindungen im schottischen Unabhängigkeitskrieg von 1296 bis 1306 keine Rolle spielten, wurden hier im Verlauf des Konfliktes Forderungen aufgestellt, die an nationales Gedankengut erinnern, weil sie aus den vermeintlich historisch erwiesenen Vorzügen und Eigenheiten des schottischen Volkes den Anspruch auf die politische Unabhängigkeit ableiteten. Seinen beredten Ausdruck fand dieses Bewusstsein in der Erklärung von Arbroath von 1320, die von vielen schottischen weltlichen wie kirchlichen Großen unterzeichnet wurde, um dem neuen König Robert Bruce die Anerkennung des Papstes zu verschaffen. In der Erklärung singen die Unterzeichner nicht nur ein Loblied auf die Heldentaten des schottischen Volkes, das als auserwähltes Volk Gottes hingestellt wird, sondern sie akzentuieren auch seinen zeitlosen Freiheitsdrang. Als Garanten der schottischen Freiheit stütze man, so heißt es dort, Robert, doch sollte er Schottland der englischen Herrschaft ausliefern, würde man ihn absetzen. Deutlicher als in jedem anderen der untersuchten Konflikte wird hier die dynastische Bindung zugunsten einer politisch bestimmten

nationalen Verpflichtung relativiert und der Widerstand als nationale Angelegenheit deklariert. Zugleich tritt der politische Charakter dieses frühen Nationalbewusstseins umso deutlicher hervor, als die schottische Nation historisch verankert wird und ethnische Unterschiede so gut wie gar nicht herangezogen werden. Dies verwundert nicht, da die schottische Oberschicht wie in England zu einem Gutteil aus franco-normannischen Familien stammte und Französisch sprach, während sich der größere Bevölkerungsteil vor allem im Süden Englisch verständigte und nur ein Drittel im Norden Gälisch redete.

Aber auch das hat die genaue Untersuchung des Konfliktverlaufs deutlich gemacht: Die national angehauchten Forderungen von Arbroath stehen am Ende des schottischen Unabhängigkeitskrieges, sie dürfen keinesfalls als grundlegende Motive missverstanden werden und verdanken sich dem besonderen Legitimationsbedürfnis Robert Bruces, der damals im Kampf gegen den englischen König die wichtige Unterstützung des Papstes, aber auch einiger schottischer Großer zu verlieren drohte. Denn bis in jene Zeit hinein spielten derartige Überlegungen keine Rolle. In der ersten Phase des Unabhängigkeitskrieges, der 1296 mit der Absetzung des schottischen Königs Johann Balliol durch Eduard I. (1272-1307) begann, handelten die Rebellen weithin im Namen des abgesetzten Königs und erklärten dessen Wiedereinsetzung zu ihren Ziel. Selbst als Eduard I. 1304 Schottland annektierte und die meisten Schotten zur Huldigung zwang – und er nun wirklich als Fremdherrscher erscheinen konnte –, spielten nationale Stimmen keine Rolle. Und als dann 1306 Robert Bruce (1306-1329) den fast schon zum Erliegen gekommenen Widerstand erneut entfachte, tat er dies, indem er sich am traditionellen Krönungsort, wenn gleich nicht auf dem von Eduard I. nach Westminster entführten Krönungsstein, in Scone zum König erheben ließ (siehe Abbildung S. 69), womit die Wiederbelebung des unabhängigen Königtums und damit das alte Recht ins Zentrum der Legitimation gerückt wurde. Erst 1320, als Robert Bruce, der 1314 mit seinem Sieg über die Engländer bei Bannockburn sein Königtum etabliert hatte, mehrere Rückschläge hinnehmen musste, kam es einmalig dazu, dass man den Unabhängigkeitsgedanken vom Königtum löste und mit den besonderen Qualitäten des schottischen Volkes verknüpfte.

Die Sonderstellung der Erklärung von Arbroath wurde dann auch durch den Vergleich nochmals unterstrichen. Denn ähnliche Forderungen finden sich in den anderen Auseinandersetzungen nicht. Zwar hat sich auch in Sizilien während des Aufstandes eine Form von Zusammengehörigkeitsgefühl gebildet, aber es lebte von der Ableh-

nung des verhassten fremden Herrschers und mündete in die Anerkennung eines neuen fremden Königs. Zugleich aber besaß die ethnische Herkunft auf Sizilien gerade zu Beginn des Konfliktes eine große Bedeutung. Die heftige Ablehnung der angevinischen Herrschaft wurde in den Jahren vor dem blutigen Aufstand immer wieder – wie man der Untersuchung der Geschichtsschreibung entnehmen konnte, mit dem ‚Nationalstolz‘ der Franzosen (honor Gallicorum) begründet, der als unerträglicher Gestus der Unterdrückung empfunden wurde. Besonders Karl von Anjou selbst wurden Hochmut und Arroganz zugeschrieben, ganze Sündenregister finden sich in der Chronistik jener Zeit, die eigentlich immer die negativen Charaktereigenschaften aus der Tatsache herleitet, dass Karl stolz auf seine französische Herkunft war. Dies habe ihn blind gemacht für die Belange der Einheimischen und dazu geführt, dass er die wichtigsten Ämter nur mit Franzosen besetzt habe.

Vor diesem Hintergrund kam man auch zu einem anderen Verständnis des bei der Vesper angestimmten Schlachtrufs ‚Tod den Franzosen‘ gelangen. Er erweist sich als Zeichen langer und verbreiteter Frustration und als Mittel der ersten Mobilisierung. Und doch scheint er kein Beleg für die Konfrontation zweier in sich homogener Konfliktparteien – einerseits der Franzosen, andererseits der Sizilianern – zu sein. Wenn man sich die Teilnehmer der Vesper genauer anschaut, so erkennt man Gruppen und Personen unterschiedlicher Herkunft aktiv werden, die sich alle nur in dem Wunsch einig waren, die Herrschaft Karls von Anjou abzuschütteln.

Die Rolle der Sprache

Was den Widerstand in Sizilien mit dem in Flandern verbindet, ist das Aufeinandertreffen verschiedener Sprachgemeinschaften. Der Unterschied gegenüber dem französischen König und seinen Amtsträgern fiel aber in Flandern schon deshalb nicht so sehr ins Gewicht, weil die Oberschicht dort gemeinhin Französisch sprach. Auf der anderen Seite war, was die Bevölkerungsmehrheit anbelangte, Flandern geteilt. Es gab im Süden ein französischsprachiges Gebiet und weiter nördlich den bevölkerungsreichen flämischen Teil. Und dort wurde der Sprachunterschied im Verlauf des Konfliktes auch als Faktor wahrgenommen. So warf ein Autor dem französischen König vor, sein Heer habe beim Betreten des flämischen Teil Flanderns Greuelthaten begangen. Ob das nun wahr ist oder nicht, in jedem Fall wurde der Widerstand vornehmlich von den flämischen Handwerkern getragen, so dass auch der unerwartete Sieg der flämischen Milizen 1302 bei Kortrijk über das Heer des französischen Königs von

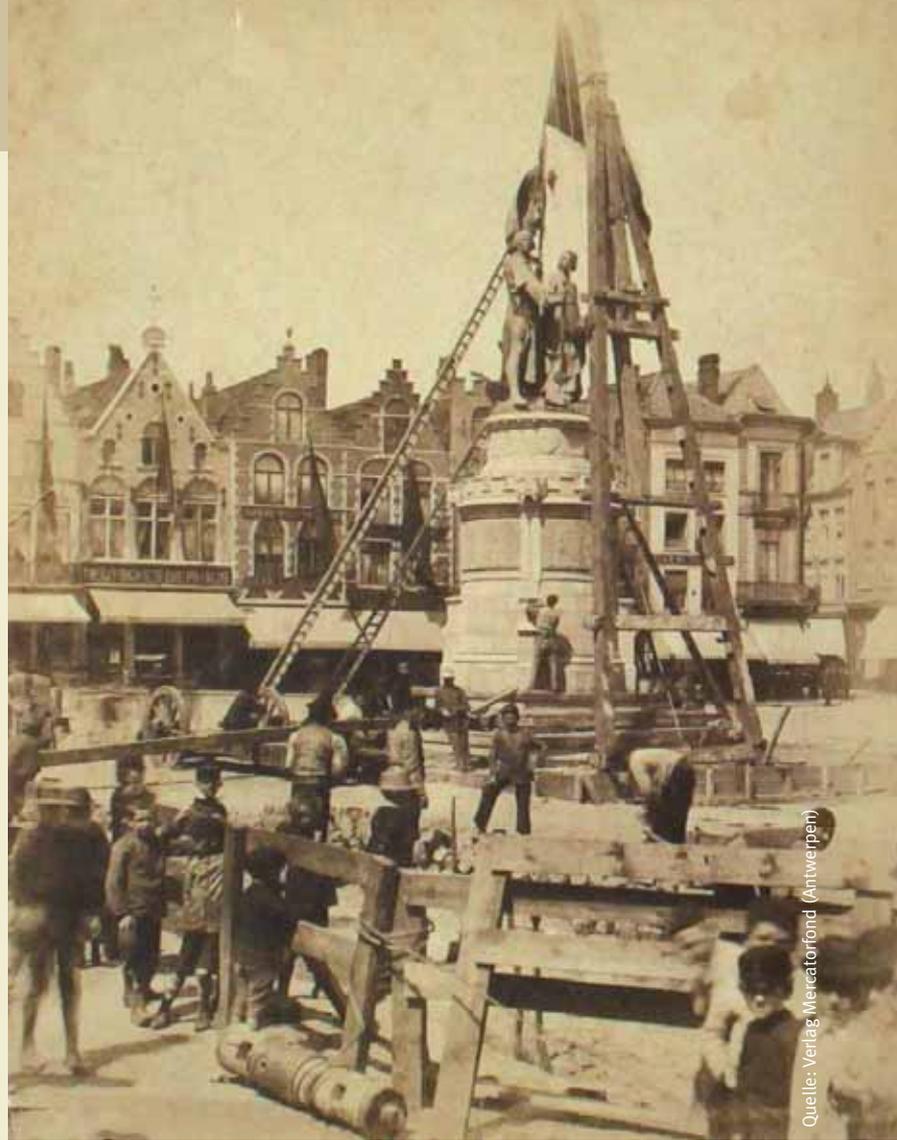
Flamen errungen wurde (siehe Abbildung 2). Und doch kann man kaum von einer nationalen Erhebung sprechen, da schon in Kortrijk, vor allem jedoch in den Jahren danach die Konkurrenz zwischen den einzelnen flandrischen Städten das bestimmende politische Element war und das einzig verbindende die Dynastie blieb.

In Mecklenburg hingegen spielten ethnische Motive für den Widerstand keine Rolle. Das lag auch schon daran, dass der dänische König weithin als Oberlehnsherr agierte, kaum dänische Amtsträger oder Krieger vor Ort installierte, sondern seine Herrschaft über die mecklenburgischen Fürsten ausübte und damit auch die Kriege von ihnen führen ließ. Von daher hat sich – wie man am Verhalten der Beteiligten erkennen kann – der Widerstand gegen Erich Menved auch weniger gegen seine ‚Fremdherrschaft‘ gerichtet als gegen seine jeweiligen Verbündeten, anfänglich die Städte, dann die Fürsten. Offenkundig konnte man um 1300 gut mit einem ‚schwachen‘ fremden Herrscher leben. Wo aber der fremde Herrscher massiv eingriff, da eskalierte der Konflikt nicht nur schnell, er öffnete auch der Gewalt alle Schleusen. Damit ist wohl das Problem angesprochen, das bisher im Rahmen des Projektes noch am wenigsten untersucht wurde, weshalb den folgenden Bemerkungen auch etwas Vorläufiges anhaftet.

Fremdenfeindlichkeit und Gewalt

Was man aber schon jetzt erkennen kann, ist der Umstand, dass zumindest in Sizilien und Flandern die Gewalt bewusst gegen die Fremden, die mit dem neuen Herrscher ins Land gekommen waren, gerichtet wurde. In Palermo zog man nicht nur mit dem Schlachtruf ‚Tod den Franzosen‘ durch die Straßen und fiel in die Häuser der Franzosen ein, um sie mit ihren Familien zu erschlagen. Auch sollen die Aufständischen in der Art eines alttestamentarischen Schibboleths Franzosen gezwungen haben, das für diese unartikulierbare sizilianische Wort *ciciri* auszusprechen, um sie zu identifizieren und dann zu erschlagen. Offensichtlich erscheint damit die ethnische Ausrichtung des Gewaltausbruches. Und in Brügge wurde ein Massaker an den Franzosen verübt, die im Zuge einer ausgehandelten Unterwerfung in die Stadt gekommen waren, und zwar gleich am nächsten Morgen. Auch hier sollen sich die Flamen, die eigens die Stadt vor dem Einzug verlassen hatten, um frühmorgens wiederzukommen und gegen die Franzosen vorzugehen, eines Schibboleths bedient haben, um die Franzosen ausfindig zu machen. Diese offensichtlichen Parallelen haben denn auch dazu geführt, dass man die Vorgänge in Brügge seit dem 19. Jahrhundert als Brügger Mette bezeichnet hat.

Allerdings sind die Unterschiede ebenfalls nicht zu



Quelle: Verlag Mercatorfond (Antwerpen)

Abb. 3: Errichtung des Standbildes von Jan Breydel und Pieter de Coninck auf dem Markt zu Brügge, 30 Juni 1887 (das Monument stammt von Paul de Vigne und dem Architekten Louis Delacenserie) (Photo von Godefrod Grossé; Brügge, Stadtarchiv, Sammlung Jaak A. Rau).

übersehen, sobald man nur etwas genauer hinschaut. So richtete sich in Brügge offenkundig die Gewalt gegen die französischen Krieger, aber nicht gegen die Franzosen schlechthin. Und auch der Einsatz des sprachlichen Identifizierungsmals, die für Franzosen nicht aussprechbaren Worte ‚Schild en frient‘ (Schild und Freund), dienten wohl nur als Erkennungszeichen gegenüber den Bewohnern der Stadt und wurden als eine Art Schlachtruf benutzt, aber nicht, um die Fremden von den Einheimischen zu trennen. Damit aber scheint die so genannte Brügger Mette weniger einen ethnisch motivierten Gewaltausbruch darzustellen, als dies bei der Sizilianischen Vesper der Fall ist, und erst recht keine nationale Erhebung, wie es das Denkmal für die Anführer der Revolte von 1887 auf dem Markt von Brügge vermitteln möchte (siehe Abbildung 3). Generell ist aber zu bedenken, dass schon die Zeitgenossen den Konflikt anders deuteten oder wahrnahmen. Für den französischen König und die aus französischer Sicht schreibenden Quellen stellte die ‚Brügger Mette‘ zwar ein großes Verbrechen dar, aber nicht weil wahllos zahlreiche Franzosen erschlagen wurden, sondern weil die Brügger sich

nicht an die Abmachungen, die für die Unterwerfung ausgehandelt worden waren, gehalten hatten. Auf der anderen Seite war es für flämische Autoren dann aber doch der Hass auf die Franzosen, der den Gewaltausbruch auslöste. Und wie schon erwähnt, wirft ja der Autor der Genter Annalen den Franzosen ein ähnliches Verbrechen vor, bezichtigt er doch das französische Heer, als es 1302 vom französischsprachigen Teil Flanderns in den flämischen zog, sich grausam an der Bevölkerung vergangen zu haben. Anders gesagt, wo Hass und Vergeltung sich gegen Fremde richten konnten, war auch für die Zeitgenossen der Weg zum Gewaltexzess schnell beschritten.

Auch wenn man angesichts der überschaubaren Beispiele vorsichtig sein sollte, das Gewaltpotenzial von Konflikten, die entlang ethnischer Trennlinien verlaufen, für die Zeit um 1300 besonders hoch anzusetzen, so wird man in dieser Annahme durch den Verlauf der Auseinandersetzungen auch in Schottland und Mecklenburg bestätigt. Denn in beiden Fällen ist es, wenn die Durchsicht der Quellen nicht trügt, so gut wie gar nicht zu Gewaltexzessen gekommen. Hier blieben die Gewaltakte im Rahmen dessen, was kriegsüblich war. Das gilt für die Beutezüge der wendischen Seestädte gegen Erich und die norddeutschen Fürsten ebenso wie für die blutigen Schlachten, die im Krieg zwischen den Schotten und Engländern geschlagen wurden.

Alles in allem haben die vergleichenden Untersuchungen bis dato gezeigt, wie eine expansionistische Politik an verschiedenen Orten im Europa des beginnenden 14. Jahrhunderts Widerstand gegen die fremden Herren heraufbeschwor, wenn sie mit der Präsenz fremder Truppen oder gar Amtsträger einherging. Dass sowohl in Sizilien als auch in Flandern und in Schottland die fremden Herren vertrieben werden konnten, verweist auf das hohe Mobilisierungs- und Gewaltpotenzial, das derartigen Konflikten auch in eher traditionellen Gesellschaften innewohnte, in denen nationale Vorstellungen noch so gut wie gar keine Rolle spielten. Zugleich aber kann man zumindest in Schottland erkennen, wie solche Auseinandersetzungen den Durchbruch nationaler Bestrebungen beförderten, wenn dynastische Bindungen schwach blieben.

Literatur

STEVEN RUNCIMAN, DIE SIZILIANISCHE VESPER. DER VOLKSAUFSTAND VON 1282 UND DIE EUROPÄISCHE GESCHICHTE IM 13. JAHRHUNDERT, ²1976.

DAVIES, R.R., DOMINATION AND CONQUEST. THE EXPERIENCE OF IRELAND, SCOTLAND AND WALES 1100-1300, CAMBRIDGE 1990.

MICHAEL BROWN, THE WARS OF SCOTLAND. 1214-1371, EDINBURGH 2004.

JAN F. VERBRUGGEN, THE BATTLE OF THE GOLDEN SPURS (COURTRAI, 11 JULY 1302). A CONTRIBUTION TO THE HISTORY OF FLANDERS' WAR OF LIBERATION, 1297-1305, WOODBRIDGE/SUFFOLK 2002.

ERICH HOFFMANN, KÖNIG ERIK MENVED UND MECKLENBURG, IN: TILLMANN SCHMIDT, UND HELGE WIEDEN (HGG.), MECKLENBURG UND SEINE NACHBARN, ROSTOCK 1997, S. 43-68.



Dr. Katrin Beyer hat 2010/2011 über „Witz und Ironie in der politischen Kultur Englands im Hochmittelalter. Interaktionen und Imaginationen“, promoviert und war von Mai 2011 bis April 2012 in dem DFG-Projekt beschäftigt, wo sie sich besonders mit der Sizilianischen Vesper befasst hat.



Dr. des. Lukas Wolfinger wurde 2012 mit einer Arbeit über „Iuvenis senex und alter pharao. Herrschaftsinzenierung und ihre Wahrnehmungen unter Herzog Rudolf IV. von Österreich (1358-1365)“ promoviert und ist seit Mai 2012 Mitarbeiter des Projektes.

Kontakt

Prof. Dr. Hermann Kamp

Fakultät für Kulturwissenschaften

Historisches Institut

05251 60-2443

Hermann.Kamp@upb.de



Der Stone of Scone im englischen Thron in Westminster Abbey. Eduard I. ließ den Stein, auf dem traditionell die schottischen Könige erhoben wurden, nach seinem erfolgreichen Kriegszug gegen Johann Balliol 1296 nach Westminster bringen, wo er in den Krönungssessel eingefügt wurde. Damit wurde symbolisch die Übernahme der Herrschaft des englischen Königs über Schottland in Szene gesetzt. 1996 wurde der Krönungsstein an die Schotten zurückgegeben. Heute befindet er sich im Schloss von Edinburgh.

Quelle: Paul Binski, Westminster Abbey and the Plantagenets. Kinship and the Representation of Power 1200-1400, New Haven – London 1995, S. 135, Abb. 183.

Aus Simulationen lernen

Wissensbasiert Steuern

Von Wilhelm Dangelmaier,
Alexander Klaas und
Christoph Laroque



Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Dangelmaier ist seit 1991 Leiter der Arbeitsgruppe Wirtschaftsinformatik, insbesondere Computer Integrated Manufacturing (CIM). Forschungsschwerpunkte liegen in der Entwicklung von Werkzeugen zur Effizienzsteigerung im Kunden- und Lieferantenverhältnis, den inner- und überbetrieblichen Produktions- und Informations-Netzwerken sowie den Bereichen E-Commerce und E-Markt.

Um auf Schwankungen und Unsicherheit in der Distributionslogistik echtzeitnah reagieren zu können, wurde ein innovatives Steuerungsverfahren für Lagerprozesse entwickelt. Es trifft mittels Methoden der Künstlichen Intelligenz schnelle Entscheidungen, die durch ein vorgelagertes Lernverfahren in einer Simulation des Systems fundiert werden.

Die voranschreitende Dynamisierung der Märkte bedeutet für die Distributionslogistik, und damit für die Leistung jeder Wertschöpfungskette, dass

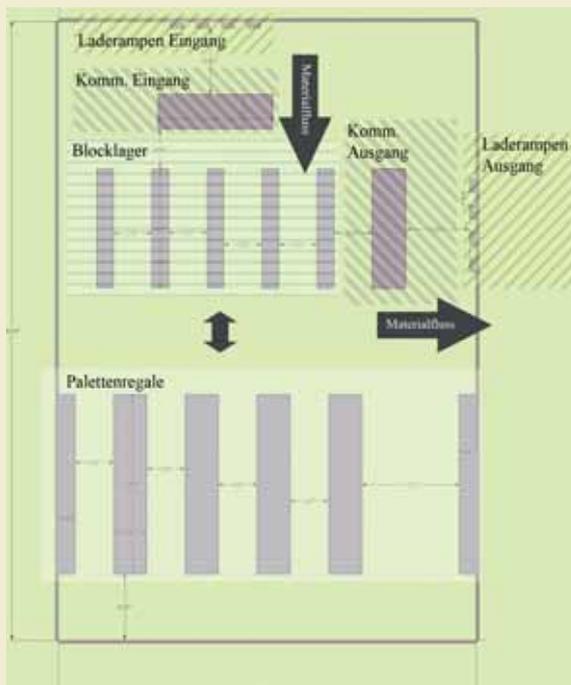


Abb. 1: Modell eines Distributionslagers.

neue Anforderungen bezüglich Wandlungsfähigkeit und Flexibilität entstehen. Vorhandene Planungs- und Steuerungsverfahren, die unter der Annahme von statischen Gegebenheiten operieren und beispielsweise lediglich eine Änderung der Kapazitätsvorhaltung als Adaptionenmaßnahme vorsehen, können diese Anforderungen nicht erfüllen.

Im Rahmen des DFG-Projekts „Modellbasierte Methoden zur echtzeitnahen Adaption und Steuerung von Distributionssystemen“ sind Methoden zur belastungsorientierten Adaption von Distributionssystemen entwickelt worden, die insbesondere Ergebnisse lokaler Planungen an einzelnen Netzwerkknoten mit den Prozessen auf Netzwerkebene verknüpfen.

An den Distributionslagern stellen die Reaktionsfähigkeit auf Bedarfsschwankungen (im Kontext der Anforderung an das gesamte Netzwerk) sowie Unsicherheiten in der Planausführung wesentliche Herausforderungen dar. Diese werden in diesem Beitrag in Form einer situationsabhängigen, wissensbasierten Steuerung adressiert, die für fahrerlose Transportsysteme in einem Distributionslager anhand einer intelligenten, dynamischen Wegfindung weiter ausgeführt wird. Dessen Ziel ist es, Fahrzeuge effizient in einem 2D-Raum zu führen, um Ein- und Auslagervorgänge zu optimieren.

Als Testfall für das Verfahren wurde ein Simulationsmodell für ein beispielhaftes Distributionslager erstellt (Abbildung 1). Das Lager besteht aus hierarchischen Zonen: Der Materialfluss verläuft

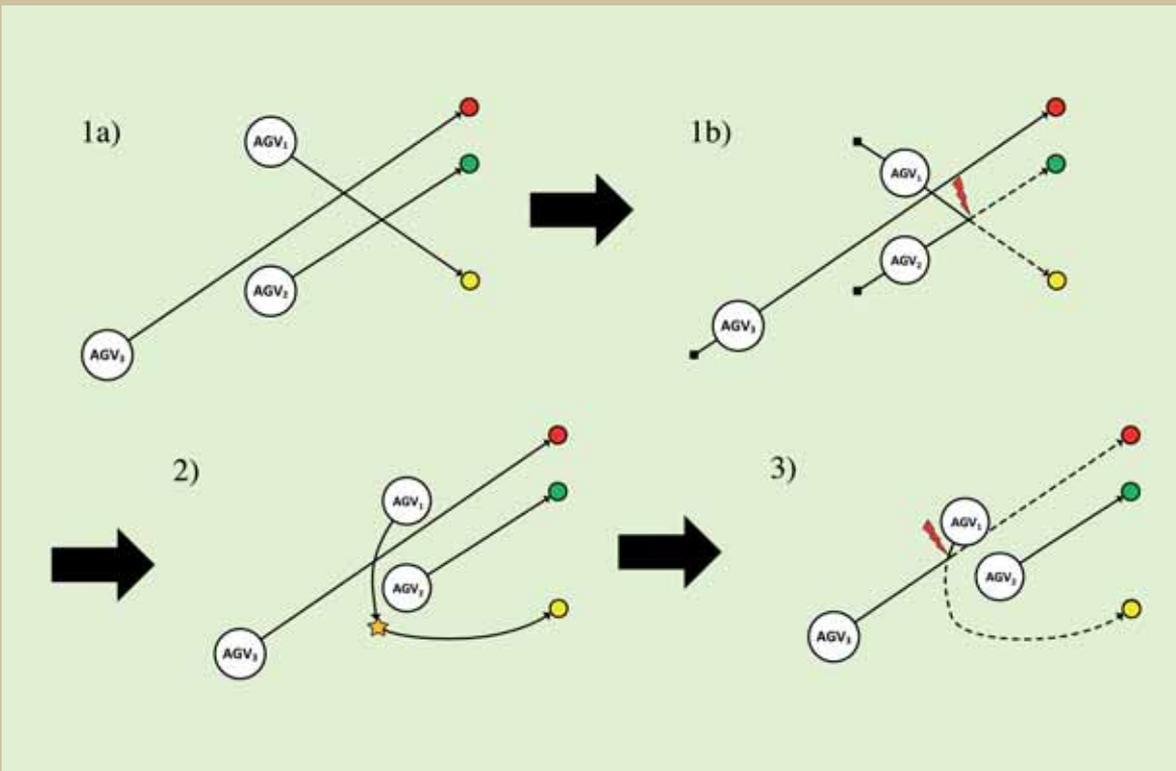


Abb. 2: Grundlegende Schritte des Wegfindungsverfahrens.

vom Wareneingang zu einer Kommissionierzone, dann zu einem Blocklager mit geringer Kapazität und schlussendlich mehreren Palettenregalen. Für den Wareneingang verläuft der Fluss in umgekehrter Richtung.

Wegfindungsalgorithmen für fahrerlose Transportsysteme in einer dynamischen Umgebung müssen zahlreiche Anforderungen erfüllen. Insbesondere muss die echtzeitfähige Reaktionsfähigkeit gegenüber Störungen (wie Ausfällen oder Verzögerungen) oder veränderten Auftragsparametern gegeben sein. Zudem gibt es in einem realen Betriebsablauf keine feste Menge an Aufträgen, die einmal abgearbeitet werden muss, es muss vielmehr davon ausgegangen werden, dass laufend Aufträge, in Form von Lieferungen bzw. Anfragen aus dem Netzwerk, hinzukommen.

Existierende Wegfindungsverfahren werden diesen Anforderungen nicht gerecht, da sie herkömmlicherweise für jedes Fahrzeug einen Pfad zum jeweiligen Ziel im Voraus berechnen und dieser kaum im Betrieb verändert werden kann. Der Beitrag des Projektes liegt in der Entwicklung eines Steuerungsverfahrens, das inkrementell Teilpläne erstellt, um stets situationsabhängig reagieren zu können.

Inkrementelles Planen bedeutet, über einen begrenzten, lokalen (im Gegensatz zu einem globalen) Horizont Entscheidungen zu treffen. Dies ermöglicht eine hohe Reaktionsfähigkeit, führt aber dazu, dass solche Verfahren im Allgemeinen keine globale Optimalität erreichen können. Um lokale Optimierungsminima zu über-

winden, können so genannte Heuristiken, also schnelle Abschätzungen, eingesetzt werden.

Das vorgestellte Verfahren kombiniert Ablaufsimulation mit maschinellem Lernen, um die Vorteile von inkrementeller und vorberechneter Pfadberechnung zu kombinieren. Es ist in Abbildung 2 konzeptionell dargestellt:

- 1a) Für alle Fahrzeuge wird der kürzeste Pfad von der aktuellen Position zum Zielpunkt mittels einer herkömmlichen Pfadsuche berechnet.
- 1b) An der naheliegenden Position, an der ein Konflikt mit einem anderen Fahrzeug auftreten wird, werden die Pfade „abgeschnitten“ (durch einen roten Blitz dargestellt). Die Fahrzeuge fahren ungehindert bis kurz vor diesen Punkt.
- 2) Der Konflikt wird vermieden, indem die Fahrzeuge nach einer Regel umgeleitet werden. In der Abbildung sucht das Fahrzeug AGV₁ einen Ausweichpunkt, sodass AGV₂ ungehindert weiter auf dem kürzesten Pfad fahren kann. Die Auswahl der Regel basiert auf dem aktuellen Systemzustand und geschieht durch Zurückgreifen auf die Wissensbasis.
- 3) Nach erfolgter Umleitung wird Schritt 1 wiederholt. In der Abbildung tritt der nächste Konflikt zwischen AGV₁ und AGV₂ auf, und das Verfahren wiederholt sich.

Dazu werden offline mittels der Ablaufsimulation große Mengen an empirischen Daten generiert und mittels Methoden des maschinellen Lernens ausgewertet. In das generierte Wissen fließen Informationen über die mittelfristigen Konsequen-

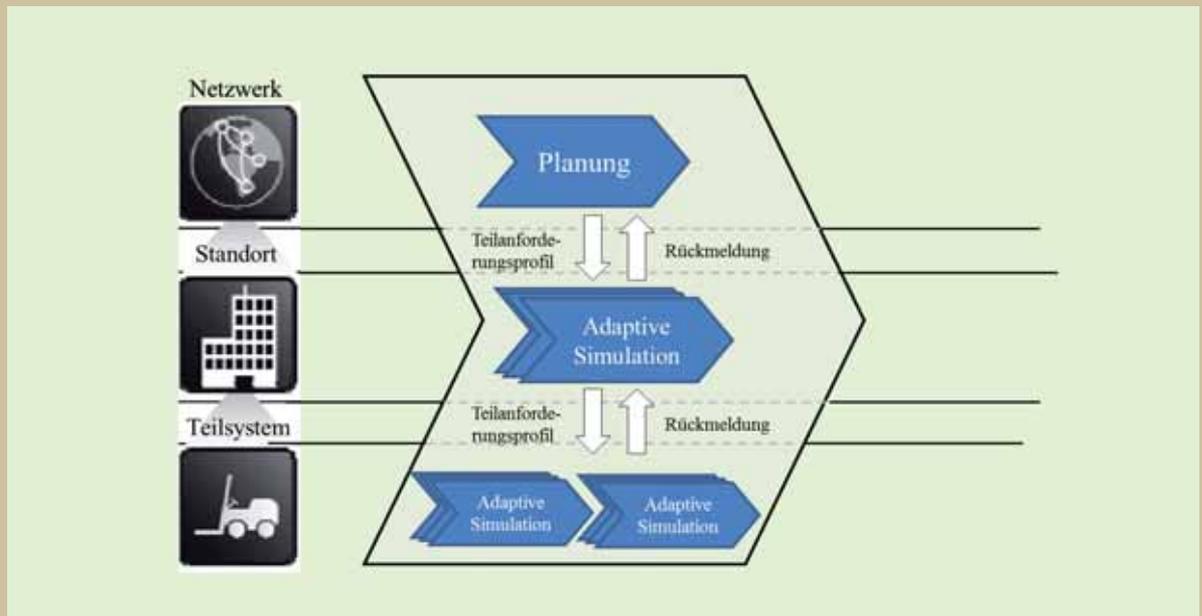


Abb. 3: Ebenenübergreifende, gekoppelte Planung im Distributionsnetzwerk.

zen eines Planungsschrittes ein. Im Betrieb kann aufgrund der Verlagerung der aufwendigen Vorwärtssimulation in das vorherige Lernen in Echtzeit ein weiterer Planungsschritt berechnet werden. Dazu wird die aktuelle Situation aufgeschlüsselt und adaptiv durch Klassifikation basierend auf dem gesammelten Wissen eine Steuerungsregel ausgewählt, die wiederum die weitere Pfadberechnung vorgibt.

Das Verfahren ermöglicht ebenfalls eine ebenenübergreifende Umsetzung von Adaptionsmaßnahmen sowie dynamische, kurzfristige Änderungen in Anfragen an den Distributionsknoten. Mittels der Ablaufsimulation lassen sich konfigurierbare Szenarien in Hinblick auf verschiedene Systemlasten evaluieren, um die Netzwerkebenenplanung zu unterstützen.

In jedem Planungsschritt berechnen die Fahrzeuge autonom Teilpfade frei im 2D-Raum. Das Verfahren ist nicht auf feste Wegsysteme beschränkt und benötigt auch keine manuelle Definition von Pfaden oder Zonen.

Situationsabhängige, Wissensbasierte Steuerung

Zunächst soll eine Einordnung des Steuerungsverfahrens in den Kontext der ebenenübergreifenden, kollaborativen Netzwerkplanung geliefert werden. Es werden anschließend die Grundlagen des entwickelten Verfahrens sowie weitere Details beschrieben.

Einordnung des Verfahrens in die Netzwerkplanung

Die belastungsorientierte stetige Anpassung von Distributionsnetzwerken ist ein wesentliches Ziel des DFG-Projekts „Modellbasierte Methoden zur

echtzeitnahen Adaption und Steuerung von Distributionsystemen“, in dessen Rahmen die in diesem Beitrag dargestellte Steuerung entwickelt wurde. Dazu müssen Adaptionsmaßnahmen zur Steigerung der Robustheit gegenüber Lastveränderungen auf Netzwerkebene bewertbar sein. Die Bewertung einer Adaptionsmaßnahme geschieht auf Basis einer Modellierung des Netzwerkes. Mittels Simulation soll die Leistungsfähigkeit eines Standortes in einem jeden Szenario, unter verschiedenen denkbaren Adaptionsmaßnahmen, ermittelbar werden.

In Abbildung 3 sind die Zusammenhänge illustriert. Im Planungsprozess auf der Netzwerkebene werden jeweilige Teilanforderungsprofile für die Standorte ermittelt und diesen übergeben. Ein Teilanforderungsprofil besteht aus einer konkreten Systemlast, welche aus einer Menge von Aufträgen besteht. Ein Auftrag wiederum ist durch eine bestimmte Artikelbezeichnung und einen Zeitpunkt gekennzeichnet sowie einem Sender und Empfänger.

Aus den Anforderungen für den Standort ergeben sich Anforderungen an die jeweiligen Teilsysteme (darunter die Transportsysteme an dem Standort). Mittels Ablaufsimulation lassen sich Leistungsdaten ermitteln, wie Liefertermintreue, sowie Kostenkennzahlen.

Grundlegender Ablauf

Die Anpassungsfähigkeit des Verfahrens ist für die oben genannten Aufgaben essenziell. Sie erlaubt es, die aktuellen Systemparameter zu berücksichtigen, im Gegensatz zu einer fest definierten Vorgehensweise, die beispielsweise für eine geringe Anzahl an Fahrzeugen optimiert wurde und bei

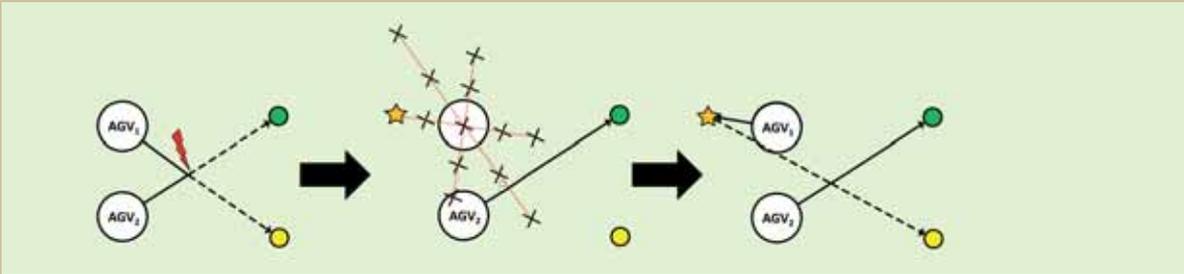


Abb. 4: Regel 2 – AGV1 weicht aus.

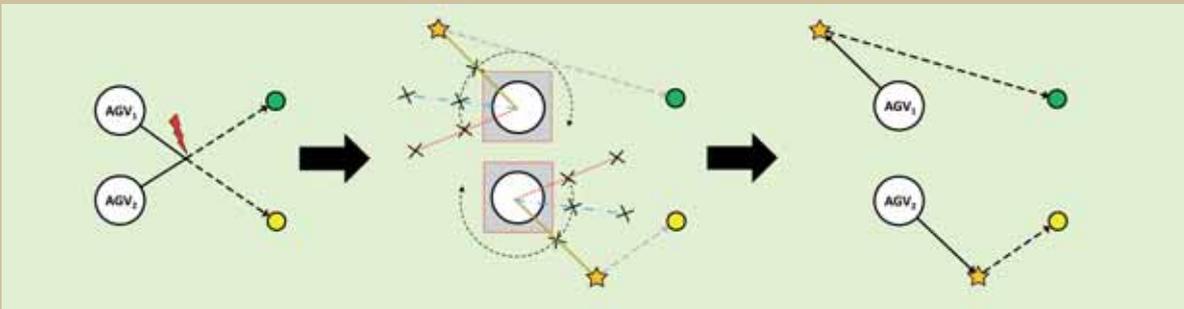


Abb. 5: Regel 3 – beide Fahrzeuge weichen einander aus.

hohem Verkehrsaufkommen keine guten Ergebnisse liefert. Das Verfahren kann sich an solche veränderten Rahmenparameter anpassen. Unabhängig von dem Kontext der Steuerung hat das inkrementelle Verfahren hinsichtlich einem realen Einsatz zahlreiche Vorteile: Es lässt sich auf Ereignisse wie Störungen oder fehlerbehaftete Planausführung, die in der Praxis unvermeidbar sind, angemessen reagieren.

Das System wird unter den erwarteten Parametern und Lasten simuliert und in der Simulation aufgetretene Konfliktsituationen aufgelöst. Dazu werden alle Umleitregeln (zwei der Umleitregeln sind in den Abbildungen 4 und 5 abgebildet) angewandt und das System unter jeder Alternative vorwärts, bis zu einem gewissen Punkt, simuliert. Die Regel, die sich mittelfristig als die beste erwies, wird zum Aufbau der Wissensbasis in einem so genannten Trainingsbeispiel abgespeichert. Aus diesen Daten kann mittels eines Lernalgorithmus Wissen extrahiert werden.

Im laufenden Betrieb wird auf diese Information zurückgegriffen, indem die aktuell vorliegende Situation klassifiziert wird, unter der Annahme,

dass „ähnliche“ Situationen dieselbe Aktion implizieren. Diese Vorgehensweise ermöglicht es, die mittelfristigen Konsequenzen einer Regelauswahl schnell verfügbar zu haben und nicht nur lokal zu optimieren. Die Wissensbasis stellt also eine komplexe Heuristik dar, mittels der die typischen Probleme eines inkrementellen Verfahrens kompensiert werden können.

Wissensbasis und Simulation

Anhand der aktuellen Situation soll mittels der Wissensbasis eine Regel ausgewählt werden. Dazu muss eine Situation maschinell definiert sein. Für die Entscheidungsfindung, welches der beiden Fahrzeuge in einem Konflikt wie zu priorisieren ist, erscheinen folgende Attribute relevant: Positionen, Zielpositionen, Deadlines der beiden in den Konflikt involvierten Fahrzeuge sowie die Positionen aller anderen Fahrzeuge, die potenziell bei einem Umleitmanöver ebenfalls in den Konflikt geraten könnten.

Zum Aufbau der Wissensbasis ist eine große Menge an Trainingsbeispielen notwendig. Ein Trainingsbeispiel besteht also aus einer Situation und

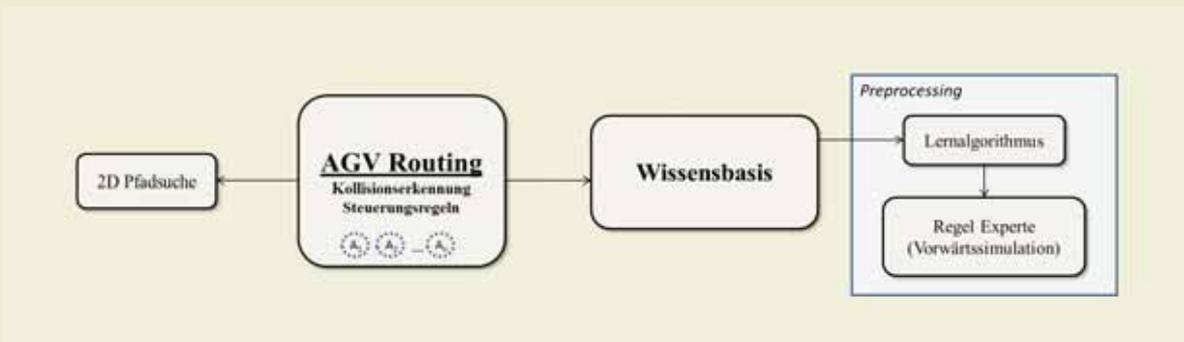


Abb 6: Komponenten des Verfahrens im Zusammenhang.

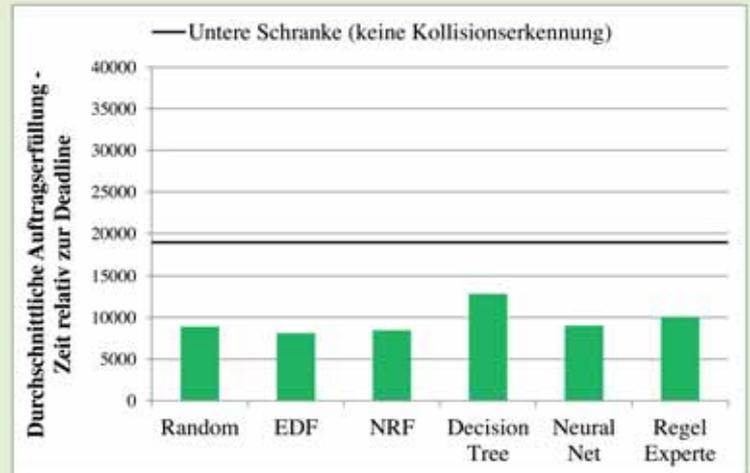
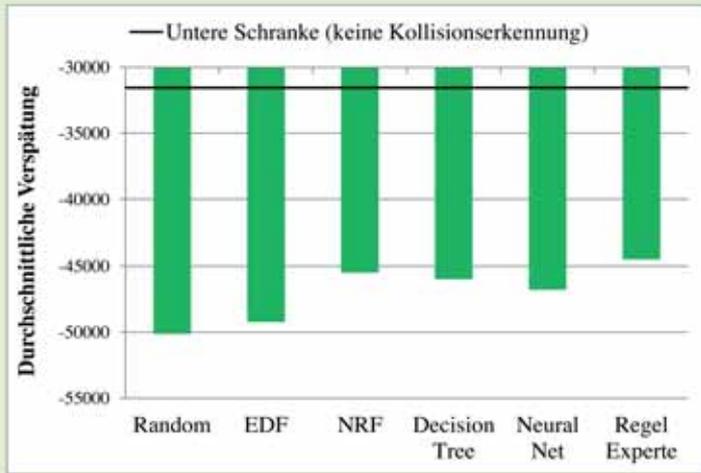


Abb. 7: Messergebnisse bezüglich zwei Metriken. Höhere Werte sind besser.

der in dieser Situation optimal bewerteten Steuerungsregel.

Ziel des „Regel-Experten“ ist es, im vorgelagerten Lernverfahren zu einer Situation eine Bewertung der fünf Steuerungsregeln durchzuführen. Diese Bewertung erfolgt mittels Auswertung aller fünf alternativen Szenarien nach Anwendung einer Regel. Dazu wird das System weiter in die Zukunft simuliert und als Ziel ein Zustand definiert, an dem alle Fahrzeuge ihre Zielposition erreicht haben. Die Regel, deren Anwendung zu einem möglichst frühen Zeitpunkt zu einem Zielzustand führt mit einer minimalen Anzahl an Fahrzeugen mit verpasster Deadline, wird als die optimale gespeichert.

Die so generierten Trainingsbeispiele (in Abbildung 8 dargestellt) werden mit Methoden des maschinellen Lernens ausgewertet und das gesammelte Wissen abgespeichert.

Experimentelle Evaluierung

Das Steuerungsverfahren wurde im Materialflusssimulator d³fact, eine Entwicklung der Fachgruppe Wirtschaftsinformatik, insbesondere CIM an der Universität Paderborn implementiert.

Von einer zufällig verteilten Initialbefüllung ausgehend werden ankommende Lieferungen bzw. Bedarfe an den Laderampen durch eine Menge von einzelnen Transportaufträgen aus neun Artikelkategorien dargestellt.

Zur Leistungsbewertung wurden folgende Kriterien herangezogen:

- Durchschnittlicher Zeitpunkt der Auftragsbefreiung für solche Aufträge, die an einer Laderampe und damit kritisch für die Abfertigung von Lieferungen sind.

- Durchschnittliche Verspätung pro Lieferung, also der Zeitpunkt, an dem der letzte zugehörige Auftrag erfüllt wurde.

In Abbildung 7 sind die gemessenen Werte abgebildet. Die Wissensbasis in Form des Entscheidungsbaumes erzielt gute Werte bezüglich des durchschnittlichen Erfüllungszeitpunktes, allerdings bewährt sich der „Regel-Experte“ nicht, da die berechneten „optimalen“ Regelauswahlen in der Praxis nicht besonders gut funktionieren. Dies lässt sich ebenfalls an der Metrik der durch-

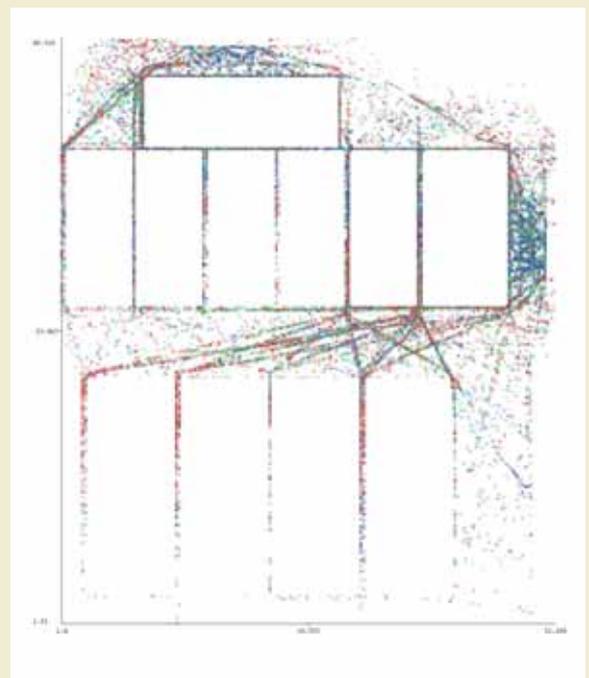


Abb. 8: Ca. 45 000 in der Simulation generierte Trainingsbeispiele, jeweils durch ein Kreuz dargestellt. Die Farbe gibt an, welche Umleiterregel ausgewählt wurde.

schnittlichen Verspätung sehen. Hier liegt das Ergebnis des „Regel-Experten“ nah an der simplen Metrik NRF (Nearest Robot First).

Es lässt sich feststellen, dass die maschinellen Lernverfahren sich den Daten aus den Trainingsbeispielen gut angepasst haben. Es liegt die Vermutung nahe, dass mit besseren Ausgangsdaten ebenfalls eine höhere Leistung erzielt werden könnte.

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde ein in vielerlei Hinsicht neuartiges Steuerungsverfahren für intralogistische Vorgänge am Beispiel des Teilsystemen Wegfindung von fahrerlosen Transportsystemen vorgestellt. Die besonderen Anforderungen der Anwendung, nämlich Reaktionsfähigkeit unter realistischen Bedingungen sowie Anpassungsfähigkeit im Kontext einer adaptiven Netzwerkplanung, wurden mittels Methoden der Künstlichen Intelligenz zum größten Teil erfüllt.

Weitere Forschungsvorhaben in diesem Bereich liegen in der ganzheitlichen Anwendung des Verfahrens auf weitere Teilsysteme und ähnliche Problemstellungen, wie beispielsweise die Zuweisung von Fahrzeugen zu Aufträgen. Um die Leistung des Systems weiter zu erhöhen, sind weitere Ansätze und Analyseverfahren zur initialen Datengenerierung zu untersuchen.

Literatur

CHEN, D., R. SZCZERBA, AND J. UHRAN, J.J.. 1997, OCTOBER. "A FRAMED-QUADTREE APPROACH FOR DETERMINING EUCLIDEAN SHORTEST PATHS IN A 2-D ENVIRONMENT". ROBOTICS AND AUTOMATION, IEEE TRANSACTIONS ON 13 (5): 668-681.

DANGELMAIER, W., AND C. LAROQUE. 2007, JANUARY. "D3FACT INSIGHT – IMMERSIVE ABLAUFsimulation VON RICHTUNGSOFFENEN UND WAHLWEISE ZEITORIENTIERTEN MATERIALFLUSSMODELLEN". INDUSTRIE MANAGEMENT 2: 73-76.

WINKLER, M.; KLINGEBIEL, K.; KLAAS, A.; LAROQUE, C. (2011): „EIN KONZEPT ZUR PLANUNGSEBENEN-ÜBERGREIFENDEN BEWERTUNG DER ADAPTIONSFÄHIGKEIT LOGISTISCHER NETZWERKE“. TAGUNGSBAND ZUR 16. MAGDEBURGER LOGISTIKTAGUNG.



M. Sc. Alexander Klaas ist seit 2010 Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Fachgruppe Wirtschaftsinformatik, insbesondere CIM am Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn. Seine Forschungsinteressen sind Wissensbasierte Methoden, Maschinelles Lernen, Diskrete Ereignis-Simulation und neuartige Steuerungsmethoden für Logistiksysteme.



Dr. Christoph Laroque leitet das Team Simulation & Digitale Fabrik in der Fachgruppe Wirtschaftsinformatik, insbesondere CIM am Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn. Sein Forschungsschwerpunkt ist die Materialflusssimulation. Er ist Gründer und Geschäftsführer der reQUIRE consultants GmbH.

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Dangelmaier
Fakultät für Wirtschaftswissenschaften
Heinz Nixdorf Institut
05251 60-6485
Wilhelm.Dangelmaier@hni.upb.de



