

# Operations Research als hochdimensionales Komplexitätsmanagement



Modernes Operations Research zur Unterstützung von Planungsaufgaben und Prozessoptimierung innerhalb des Kompetenzzentrums COMTESSA

Stefan Pickl

**O**perations Research (OR) ist eine junge wissenschaftliche Disziplin, die darauf abzielt, Entscheidungsprobleme zu lösen. Grundlage sind dabei Situationen, in denen Entscheidungsträger eine Entscheidung unter Unsicherheit bzw. Risiko treffen sollen, wozu sie sich der verschiedenen Methoden des OR bedienen, um das Problem systematisch abzubilden und zu analysieren. Auf diesen analytischen Aspekt wird besonders in dieser Darstellung eingegangen.

Die Ausgangslage für das Operations Research (OR) sind dabei (zunächst) Entscheidungsprobleme - meist sogar - unter Unsicherheit oder Risiko. Der Entscheidungsträger hat dabei oft unvollständige Kenntnisse über die künftige Entwicklung und möchte in dieser Situation (trotzdem) optimale Lösungen finden. Dabei kann entweder eine optimale Lösung aufgezeigt - sofern eindeutige Ziele vorliegen und die Problematik quantitativ erfassbar ist - oder eine Menge alternativer Entscheidungen vorgelegt werden. Dazu werden (häufig mathematische) Modelle erstellt, mit denen eine quantitative Basis geschaffen werden soll.

Mit entsprechenden Daten wird so ein (in der Regel vereinfachtes) Abbild der Realität konstruiert, um damit das Problem zu bearbeiten bzw. zu lösen. Aber auch die Analyse verschiedener möglicher Szenarien zur Auswahl der optimalen Variante ist Aufgabengebiet des OR. Dabei muss im Verlauf selber auch keine Unsicherheit herrschen. Hierzu zählt auch die Auswahl kostenoptimaler Produktionsverfahren als exemplarisches Beispiel.

## Geprägt von Interdisziplinarität

*Dafür müssen Erkenntnisse aus allen(!) beteiligten wissenschaftlichen Disziplinen berücksichtigt werden, sofern sie zur Lösung des Problems dienlich sind.<sup>1)</sup> Betrachtet man beispielsweise ein Diffusionsproblem von mit erneuerbaren Energien betriebenen Hybrid-Fahrzeugen, so bedarf es für die Erstellung eines entsprechenden OR-Modells zumindest der Kenntnisse über technische, betriebswirtschaftliche, absatztechnische, psychologische und marktübliche Zusammenhänge und Strukturen. Daher gilt OR stets auch als interdisziplinär.*

## COMTESSA an der UniBw München

Die Geschichte des Operations Research (OR) ist eng mit der Entwicklungsgeschichte des Militärwesens verbunden. Die klassische Operationsforschung war zunächst militärisch motiviert, bevor sie Eingang fand in das oben beschriebene industrielle Prozessmanagement und weiterführend in ökonomische Untersuchungen und zivile Systemanalysen. Es soll bereits an dieser Stelle erwähnt werden, dass die Anwendung und Weiterentwicklung von OR immer auch von einer gewissen Ambivalenz geprägt ist, die sich u.a. auch in der nachträglichen Bewertung des Vietnamkrieges niederschlägt. Hierauf wird am Ende des Artikels noch einmal eingegangen. Neben der Geschichte des OR, die lediglich motivierenden Charakter in diesem Beitrag haben soll, stehen aktuelle zukunftsweisende Projekte exemplarisch im Vordergrund dieses Artikels. Die Projekte sind teilweise eng mit dem Autor verbunden, dem es immer schon ein Anliegen war und ist, diese Ambivalenz zu thematisieren.

Der Lehrstuhl von Prof. Dr. Stefan Pickl an der UniBw München und das von ihm initiierte Kompetenzzentrum COMTESSA hat den Forschungsschwerpunkt, das interdisziplinäre Zusammenwirken derartiger unterschiedlicher komplexer Systeme zu untersuchen, zu analysieren und hinsichtlich bestimmter Kriterien zu optimieren. Hierbei kommt der Ambivalenz von Forschung und Technik innerhalb der Geschichte des OR eine besondere Bedeutung zu.

## Geschichte des OR

Liest man in Wikipedia nach, so wird dort unter „Operations Research“ zunächst Folgendes vermerkt:

*„Der Begriff Operational Research stammt ursprünglich aus dem Militärwesen. Er wurde 1937 für eine Gruppe von Wissenschaftlern verwendet, die den optimalen Aufbau eines Radariüberwachungssystems für die britischen Streitkräfte erforschen sollte. 1940 verfügte das britische Luftfahrtministerium über eine eigene Gruppe für Operational Research. Die britische Armee und Royal Navy gründeten im gleichen Jahr entsprechende Gruppen. Weitere Fragestellungen der im Zweiten Weltkrieg in England, den USA, hier Operations Research genannt, und der Sowjetunion gegründeten Arbeitsgruppen waren unter anderem die*

optimale Menge von Schiffen und Begleitschutz für Schiffskonvois oder eine optimale Breite von Bombenteppichen in Bezug auf Genauigkeit und Streubreite. Nach dem Krieg wendeten sich die Mitarbeiter ökonomischen Bereichen zu, mit der Aufgabenstellung, ein gewünschtes Ergebnis mit geringsten Kosten zu erreichen, bzw. der dualen Aufgabenstellung, mit gegebenen Mitteln das bestmögliche Ergebnis zu erzielen (ökonomisches Prinzip).

Für Operations Research, in Großbritannien traditionell Operational Research genannt, konnte sich allgegenwärtig kein deutscher Begriff durchsetzen. Verwendet wurden und werden, neben Operations Research, die Begriffe Unternehmensforschung, Operationsforschung oder mathematische Planungsrechnung.

In den späten 1960ern und frühen 1970ern wurde erfolglos versucht, den Begriff Ablauf- und Planungsforschung in der deutschen Sprache zu etablieren, so erschien von 1959 bis 1971 die wissenschaftliche Zeitschrift *Ablauf- und Planungsforschung*.“

Grundzüge dieses Artikels, die auf dieser Definition aufbauen, wurden für einen Sonderband der Deutschen Gesellschaft für Wehrtechnik e.V.<sup>2)</sup> geschrieben, in dem verschiedene Bereiche der militärischen Entscheidungsunterstützung vorgestellt wurden. Dieser Artikel sollte damals einerseits das aktuelle Verständnis von Operations Research herausarbeiten, andererseits sollte auf das neue Planungsamt der Bundeswehr und seine inhaltliche Beziehung zu diesen zentralen funktionalen Bereichen eingegangen werden.

Häufig hält man in Ämtern an Begriffen fest: Operations Research hatte seine Blüte in den 1960er- und 1970er-Jahren. Dann stand plötzlich „Entscheidungsunterstützung“ im Raum, ihm folgte der Bereich „Modelling & Simulation“. Dies wird nun abgelöst durch „Strategic Planning“ im Planungsamt und den neu eingeführten CPM (Customer Product Management). Ziel dieses Beitrages ist es aufzuzeigen, dass Operations Research zwar als Begriff nicht diese Trends dominiert, aber als Klammer dafür gesehen werden soll und kann. Dies ist insofern zukunftsweisend, da Operations Research zunehmend quantitative und qualitative Ansätze miteinander verbindet. Dies war nicht immer so.

Für eine weiterführende dezidierte Darstellung sei auf Krarup<sup>3)</sup> verwiesen. Im Kontext der Geschichte des OR aus speziell österreichischer Perspektive ist besonders auch der Wissenschaftler Abraham Wald<sup>4)</sup> zu erwähnen, der sich mit der Analyse von Schäden an Bomberflugzeugen inhaltlich befasste. Wald gilt als einer der Gründerväter des OR, allerdings war sein Wirkungskreis eher in den USA als in Europa.

### „Hard und Soft OR“

Bis Mitte der 1970er-Jahre wurde unter Operations Research ausschließlich die Anwendung von quantitativen Methoden zur Modellierung von Entscheidungssituationen zur Erreichung von definierten Zielen innerhalb eines systematischen Rahmens verstanden. In den nachfolgenden Jahrzehnten hat sich dieses Bild jedoch geändert, da neue Methoden zum methodischen Denken entwickelt wurden, die ebenfalls zum Operations Research gezählt



CREATIVE COMMONS BY-NC

Der Mathematiker Abraham Wald (1902-1950) gilt als einer der Gründerväter des Operation Research (Bild).

werden: Seither unterscheidet man generell zwischen dem so genannten „Hard OR“ und dem „Soft OR“.<sup>5)</sup> Dabei kann „Hard OR“ durch folgende Punkte charakterisiert werden:<sup>6)</sup>

Das Problem ist meist technischer Natur, möglichst frei von menschlichen Aspekten, klar definiert, gut strukturiert und abgrenzbar zu seiner restlichen Umwelt. Die Ziele des Entscheidungsträgers sind bekannt und deren Erreichung ist überprüfbar.

- Zukünftige Möglichkeiten und Entscheidungen sowie deren Grenzen sind bekannt.
- Der Entscheidungsträger kann die Durchführung der Lösung durchsetzen.

Beim „Soft OR“ geht es im Gegensatz dazu um die Interpretation von Systemen, wobei die Problemstellung in der Regel eher unstrukturiert und komplex ist. Das Problem kann nicht von den diversen Akteuren und deren Aktivitäten gelöst und somit nicht über mathematische Modelle behandelt werden. Dementsprechend wird im „Soft OR“ vermehrt nach dem „Was?“ anstelle des „Wie?“ gefragt. Die grundlegenden Charakteristika von „Soft OR“ können dabei wie folgt zusammengefasst werden:

- Zugrunde liegt der Bedarf, ein Problem zu strukturieren, erst nachrangig arbeitet man an der speziellen Lösung.
- Es gilt, die Kommunikation zwischen den Akteuren zu verbessern, nachrangig kommt es zur Erstellung eines konkreten Entscheidungstools.

Zentrale Fragen sind solche nach der Art des Themas, angemessenen Zielsetzungen, geeigneten Definitionen des Problems sowie nach wünschenswerten Veränderungen im System.<sup>7)</sup>

Diese Sicht weist auf einen besonderen prozessualen Zugang hin, wie er auch in dem Online-Wirtschaftslexikon von Gabler<sup>8)</sup> zugrunde gelegt wird.

### **Spezieller Prozessgedanke als Alleinstellungsmerkmal des OR**

In dem renommierten Wirtschaftslexikon von Gabler wird dabei der Prozessgedanke als zentral für eine OR-perspektivische Betrachtung angesehen. Der Prozess der Anwendung des OR zur Problemlösung kann dabei in folgende Phasen unterteilt werden:

- (1) Formulierung des Problems;
- (2) Analyse der relevanten Zusammenhänge des Problems;
- (3) Entwicklung eines dem Problem isomorphen mathematischen Modells;
- (4) Datenbeschaffung und -aufbereitung sowie Konzipierung einer Lösungsmethode;
- (5) Suche von Modelllösungen;
- (6) Kontrolle der Ergebnisse;
- (7) Übertragung der Lösung auf das Problem.

Dabei verweist auch Gabler auf die folgenden analytischen Verfahren:

Zur Unterstützung von speziellen Entscheidungsprozessen können zahlreiche verschiedene analytische Verfahren des OR wie z.B. Entscheidungsbaumverfahren, graphen-theoretische Verfahren, Verfahren der mathematischen Optimierung, Verfahren der Simulation, heuristische Verfahren, Modelle der Spieltheorie und Modelle der Warteschlangentheorie herangezogen werden.

Innerhalb dieser Verfahren können dabei die folgenden Problemtypen beispielhaft klassifiziert werden:

- (1) Wartezeitprobleme;
- (2) Zuteilungsprobleme: Reihenfolge (Wege);
- (3) Transport, Produktionsprogramm;
- (4) Lagerhaltungsprobleme;
- (5) Ersatzprobleme;
- (6) Konkurrenzprobleme.

Auch in den umfangreichen Beiträgen von Müller-Mehrbach<sup>9)</sup> und Domschke<sup>10)</sup> findet man hinsichtlich der Klassifizierung wesentliche Hinweise. Wie bereits oben erwähnt, sind die Anwendungsmöglichkeiten hierbei vielfältig.

Ergänzend hierzu weisen nach Gabler empirische Untersuchungen in Industrieunternehmen darauf hin, dass in Deutschland die Anwendungsschwerpunkte des OR in Unternehmen der Grundstoff-, Metall verarbeitenden und chemischen Industrie, der Elektrotechnik und in Energieversorgungsunternehmen lagen. Vielfältige Anwendungen sind außerdem von Fluggesellschaften, Handelsunternehmen und landwirtschaftlichen Betrieben bekannt. In Bezug auf die betrieblichen Funktionsbereiche betreffen die Anwendungen v.a. Produktion, Lagerhaltung und Absatz.

Heutzutage lassen sich auch vielfältige Anwendungen im Bereich der Banken und der Telekommunikation finden. In den letzten zehn Jahren haben sich die institutionellen

OR-Gruppen in Unternehmen im Wesentlichen aufgelöst und sind in die IT- und Fachabteilungen integriert worden. Die Implementierung von OR-Algorithmen in Standardsoftwarepaketen und Decision-Support-Systemen hat eine hohe Verbreitung innerhalb dieser Verfahren.<sup>11)</sup> Wie bereits erwähnt wurde, kommt Szenarien und Fallstudien immer mehr eine zentrale Bedeutung zu.

### **Bedeutung von Fallstudien - Einbettung in komplexe Planungsprozesse**

Eine Methode, die dem „Soft OR“ zuzurechnen ist und sich in den letzten Jahren und Jahrzehnten immer größerer Beliebtheit erfreut, ist jene der qualitativen Fallstudien und komplexen Planungsvorhaben, worauf im Folgenden eingegangen werden soll. Dabei werden kontextuelle Daten aus begrenzten Realphänomenen analysiert, um tieferes Verständnis für bestehende Realphänomene zu generieren. In einer Vielzahl an Studien wird die Methodik jedoch aufgrund von unzureichendem Forschungsdesign, fehlender Datenrecherche bzw. falscher Datenanalyse angewandt.

Es ist daher nicht nur sinnvoll, sondern auch nahe-liegend, innerhalb der oben erwähnten neuen Planungsprozesse (Integrierte Planungsprozesse IPP), gerade im Hinblick auf einen neuen CPM, moderne OR-Expertise in die zentralen Planungsprozesse und auch internationale Projektvorhaben zu integrieren. Der Beitrag soll daher als Weiterentwicklung von DWT-Info 2013<sup>12)</sup> dieses moderne Verständnis von Operations Research im Sinne eines hochdimensionalen Komplexitätsmanagements aufzeigen:

### **COMTESSA**

Das Kompetenzzentrum COMTESSA (Competence Center for Operations Research, Strategic Management, Safety & Security Alliance) ist über internationale Forschungsprojekte (u.a. mit der Partneruniversität NPS Monterey, dem Tomasek-Institut in Singapur sowie dem Center for Excellence der Deutschen Marine) und EU-Rahmenprogramme in derartige komplexe praxisnahe Planungsvorhaben eingebunden, die diese wissenschaftlichen Herausforderungen im Kontext von konkreten Anwendungsbeispielen aufgreifen. Im Folgenden sollen einzelne dieser Projekte und Forschungsvorhaben exemplarisch beschrieben werden. Ihnen ist Folgendes gemein:

#### **Moderne Szenarien z.B. im Kontext von CD&E werden mit OR-Expertise generiert und ausgewertet.**

Im Folgenden soll anhand der einzelnen Abschnitte diese Perspektive besonders beschrieben werden:

1. Konkretisierung der Szenarien im Bereich Zukunftsanalyse
2. Datenexploration und Big Data
3. Agentenbasierte Simulation und System Dynamics
4. Komplexe Netze
5. Moderne Entscheidungsunterstützungsbibliotheken
6. Reachback-Prozesse
7. Ausgewählte Beispiele und Integration
8. Verstetigung der Ansätze an innovativen Lehrgangsinhalten

## Motivation Foresight Analysis: Quantitative Methoden der Zukunftsanalyse

Im Rahmen des aktuellen Projektes „Weiterentwicklung der Methoden der Zukunftsanalyse“ wird beispielsweise ein Demonstrator entwickelt, der das Ziel hat, einen Beitrag zur zukunftsanalytischen Sicherheitsforschung der Bundeswehr zu leisten. Dabei stehen die Generierung von modernen Szenarien und die Entwicklung eines Krisenatlas im Vordergrund:

Die moderne Zukunftsanalyse gewinnt immer mehr an Bedeutung und erfordert eine Unterstützung durch komfortable Softwarelösungen. Viele Systeme fokussieren auf qualitative Methoden und vernachlässigen dabei wichtige quantitative Techniken. In einer aktuellen Studie analysiert ein interdisziplinäres Team der Universität der Bundeswehr München quantitative Methoden und arbeitet an der Entwicklung eines innovativen Softwareprototypen. Die Anfänge der modernen wissenschaftlichen Forschungen im Bereich der Zukunftsanalyse fallen ebenfalls in die Zeit des Zweiten Weltkrieges. Seit dieser Zeit wurden qualitative und quantitative Methoden entwickelt, um auf zukünftige Entwicklungen besser vorbereitet zu sein. Die frühzeitige Identifikation von Trends, insbesondere im sicherheitspolitischen Bereich, spielt eine immer größere Rolle in unserer globalisierten, vernetzten Welt. Die durch das Planungsamt der Bundeswehr geförderte Studie unterstützt die zukunftsanalytische Sicherheitsforschung der Bundeswehr.

Hierbei eröffnet die Kooperation zweier Professuren der Universität der Bundeswehr München - der Professur für Internationale Beziehungen (Professor Dr. Carlo Masala<sup>13)</sup>) und der Professur für Operations Research (Professor Dr. Stefan Pickl) - einen interdisziplinären Blick auf diesen zentralen und spannenden Wissenschaftszweig und vereint die langjährigen Erfahrungen in den Bereichen der strategischen Studien, der Zukunftsanalyse sowie der Simulation und Analyse komplexer Systeme.<sup>14)</sup>

### Exploration von Daten - Big Data

Anhand dieser Studie ist erkennbar, welches aktuelle Potenzial im Bereich des Operations Research heute(!) liegt:

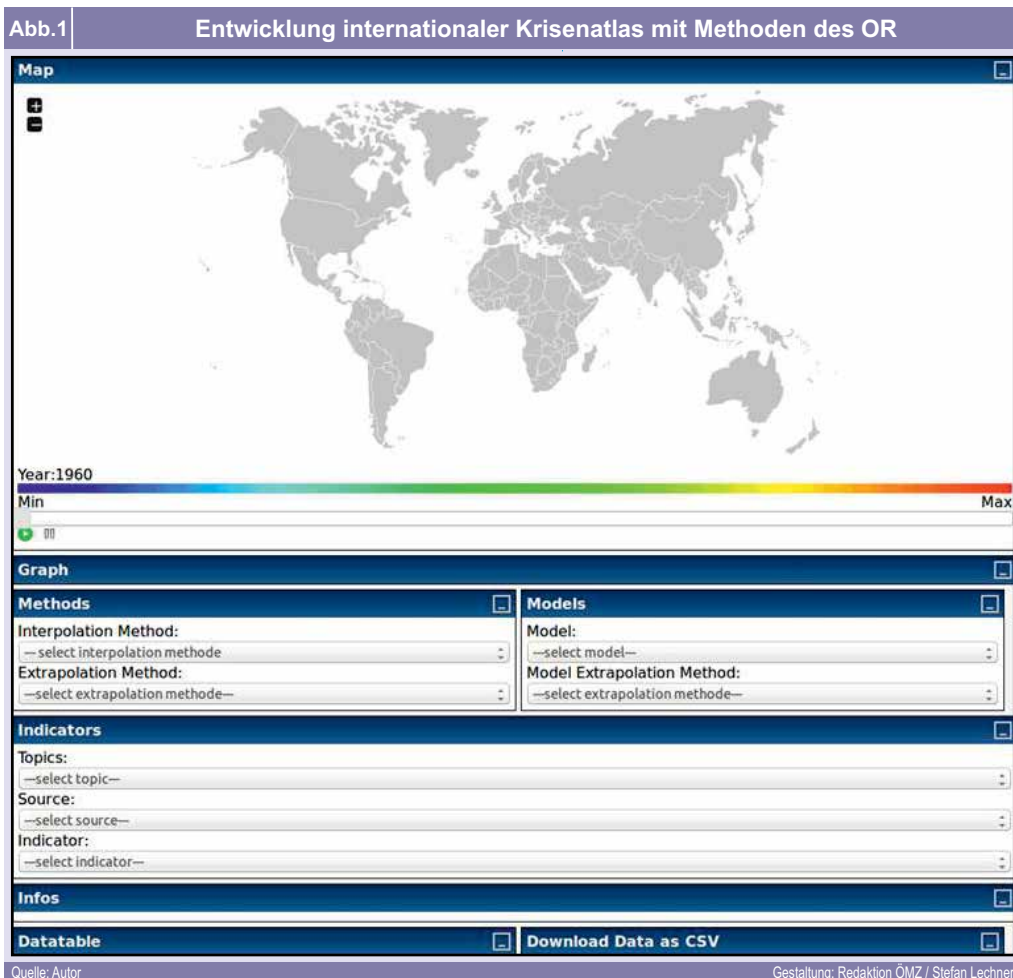
Der Schwerpunkt der Studie Weiterentwicklung der Methoden der Zukunftsanalyse liegt auf der Exploration und Entwicklung quantitativer Methoden der Zukunftsanalyse und der Erstellung eines Softwareprototypen zur Unterstützung des Risk Assessment and Horizon Scanning.

Viele bisherige Werkzeuge, die den Prozess der Foresight Analysis unterstützen, stellen hauptsächlich qualitative Methoden zur Verfügung und vernachlässigen dabei das große Potenzial der quantitativen Methoden.

Die im Rahmen der Studie durchgeführte Recherche zu quantitativen Methoden der Zukunftsanalyse zeigt die große Bandbreite der angewandten Techniken. Neben Methoden der klassischen Zeitreihenanalyse finden computerbasierte Simulationen mit Hilfe von System Dynamics und agentenbasierter Simulation Anwendung.

Die Ergebnisse der Recherche fanden sogar Eingang in die Sammlung Quantitative Future Methods Catalogue, in der Vorteile und Nachteile der Techniken dargestellt werden. Die Sammlung wird zur Nutzerunterstützung in den Softwareprototypen eines webbasierten Kooperationsystems für das Risk Assessment and Horizon Scanning integriert. Im Folgenden sollen in Anlehnung an den Jahresbericht „Wehrwissenschaftliche Forschung 2013“ des BMVg die entwickelten Softwareprototypen kurz vorgestellt werden:

Der Softwareprototyp vereint dabei zwei Komponenten: Indicator Based Prognosis (IBP) für Länderfrüherkennung und Topic Monitoring (TPM) für eine internetbasierte Schlagwortsuche und Trendanalyse. Die Früherkennung IBP wurde als Webservice implementiert und bietet aufgrund seines modularen Aufbaus große Flexibilität und einfache Erweiterungsmöglichkeiten. Sie dient der Visualisierung des zeitlichen Verlaufs und der Extrapolation länderbasierter, makrostruktureller



Indikatoren, um so kritische Entwicklungen frühzeitig erkennen zu können. Hierfür wurde eine Auswahl verschiedener Forecastingmethoden implementiert und eine entwickelte automatisierte Auswahl der besten Methodik zur Verfügung gestellt, um die Nutzerfreundlichkeit des Systems zu erhöhen. Das Monitoring TPM ermöglicht eine sprach- und länderspezifische Suche nach Schlagworten sowie eine Visualisierung und Analyse der zeitlichen Entwicklungen aktivitätsbezogener Parameter. Es besteht eine intensive und zukunftsweisende Kooperation der Professur für Internationale Beziehungen und der Professur für Operations Research mit führenden internationalen Instituten im Bereich der Zukunftsanalyse, wie dem besonderen RAHS Programme in Singapur, wodurch eine Einbindung des RAHS-Prototypen in die Community gewährleistet wird. Die Entwicklungen der letzten Jahrzehnte - mit so unterschiedlichen Ereignissen wie dem 11. September 2001, dem Arabischen Frühling, der internationalen Finanzkrise - haben die zunehmende Wichtigkeit der Zukunftsanalyse verdeutlicht. Hierbei können computerbasierte Unterstützungs- und Analysensysteme, die letztendlich qualitative und quantitative Methoden vereinen, einen wichtigen Beitrag leisten (siehe auch Jahresbericht „Wehrwissenschaftliche Forschung 2013“ des BMVg).

Dieses motivierende aktuelle erste Beispiel zu Beginn dieses Artikels soll aufzeigen, welches Potenzial und Möglichkeiten Operations Research in der heutigen Zeit bietet

und welche Möglichkeiten der Kooperationen entwickelt werden sollen.

Aus Platzgründen kann hier nicht speziell auf den mit Big Data eng verwandten Themenkomplex des „Machine Learning“ eingegangen werden. Hierbei geht es um die datengestützte Erarbeitung von Klassifikations- und Entscheidungsverfahren.

Dachte man bisher eher nur an Transport- und Logistikmanagement, so kann OR auch von der Kooperation mit dem Bereich „Strategic Planning“ und „Internationale Politik“ geprägt sein. Es wurde bereits erwähnt, dass im Rahmen dieses Projektes System Dynamics und Agent Based Modelling eine zentrale Rolle einnehmen. Dies soll im Folgenden vertieft werden.

### System Dynamics und Agent Based Modelling als Teil des Operations Research - IT-basierte und serviceorientierte Entscheidungsunterstützung bei kybernetischen Systemen

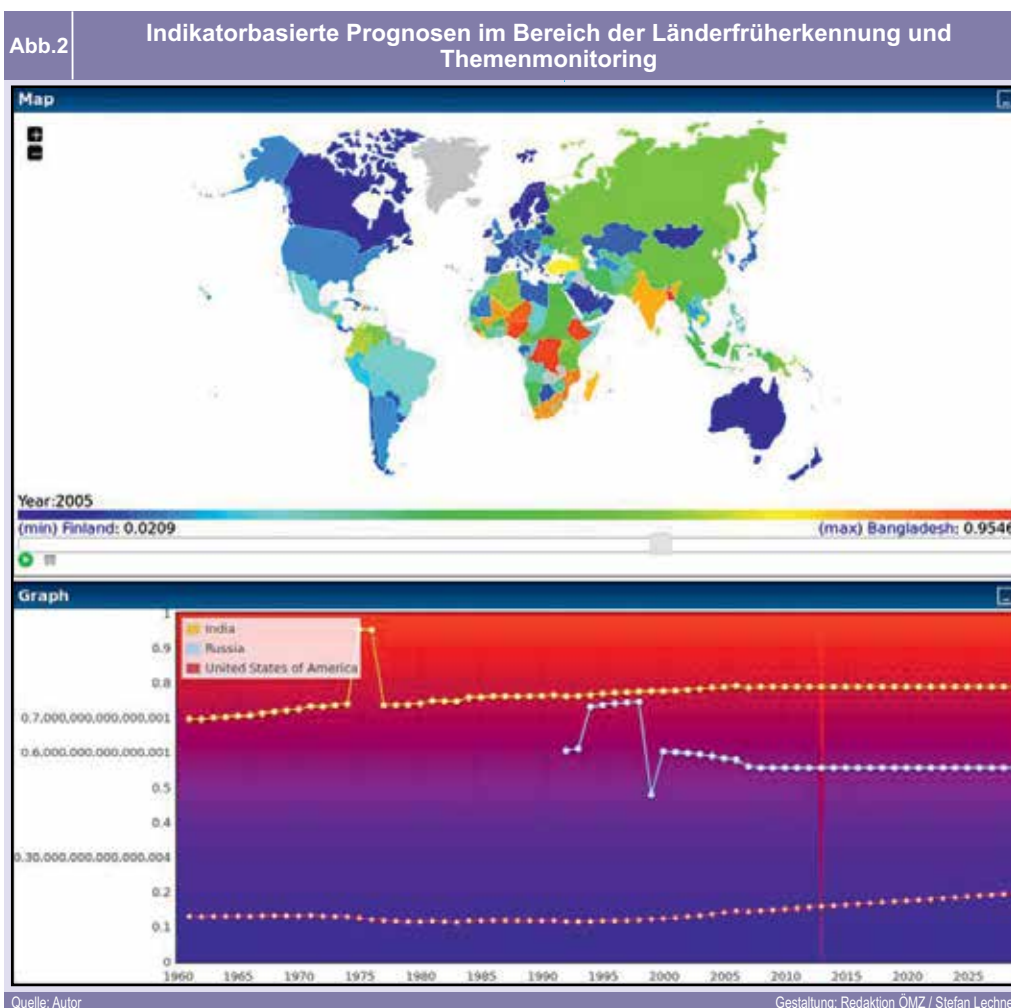
Nicht nur im Bereich der zukunftsanalytischen Sicherheitsforschung bestimmt ein hohes Maß an Komplexität und Unsicherheit den Analysegegenstand.

Besonderer Schwerpunkt kann dabei die Bewertung und Anwendbarkeitsprüfung von „System Dynamics“-Modellen und „Agent-Based Modelling“ für sicherheitspolitische Zukunftsanalysen sein. Diese Expertise hat sich der Lehrstuhl für Operations Research u.a. durch internationale Kooperationen erarbeitet und wendet sie auch in anderen Anwendungsfeldern erfolgreich an:

- Im Rahmen aktueller EU-Forschungsprogramme und der ICT2020 (Information and Communications Technologies) Initiative „Sustainability in a Connected World“ wird die IT-basierte und serviceorientierte Entscheidungsunterstützung innerhalb von allgemeinen kybernetischen Systemen zur Erforschung des rationalen Verhaltens entwickelt. Mithilfe von speziellen System-Dynamics-Modellen und algorithmischen Optimierungsverfahren werden dabei die Systeme hinsichtlich der Bereiche
- „Energieeffizienzsteigerung“,
- „Aspekte der Versorgungssicherheit“,
- „Terroranfälligkeit“ und
- „Resilienz von vernetzten Infrastrukturen“

topologisch untersucht. Die bisherigen Untersuchungen fanden in einem vom Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung auf EU-Ebene geförderten Projekt statt.

In diesen Netzwerken wird nach optimalen Verhaltensstrate-



gien (Einbeziehung von Human Factors-Aspekten) ebenso gesucht wie nach stabilen Regionen, die derartige kybernetische Systeme besonders auszeichnen. Diese Regionen können häufig nur mit sehr aufwendigen algorithmischen Verfahren bestimmt und charakterisiert werden. Innerhalb der Arbeitsgruppe beschäftigen sich daher mehrere Wissenschaftler mit den zukunftsweisenden Gebieten des „Swarming“ und „Computational Intelligence“ sowie mit hochdimensionalen Netzwerkuntersuchungen („Computational Networks“).

Stand in den 1960er- und 1970er-Jahren eher die so genannte „lokale“ Betrachtung im Vordergrund, d.h. man suchte einen optimalen Pfad, den stabilsten Knoten, den maximalen Fluss, so wendet man sich in den letzten 10-15 Jahren (was auch durch die begleitende Entwicklung des Internets stimuliert wurde) den speziellen Netzwerkstrukturen zu.

## Komplexe Netze und hochdimensionale Systeme werden durch OR-Methoden „beherrschbar“

### Moderne

#### Entscheidungsunterstützungsbibliothek - KISS

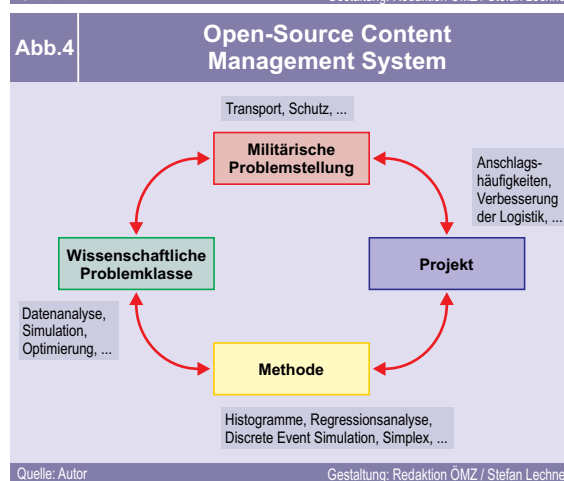
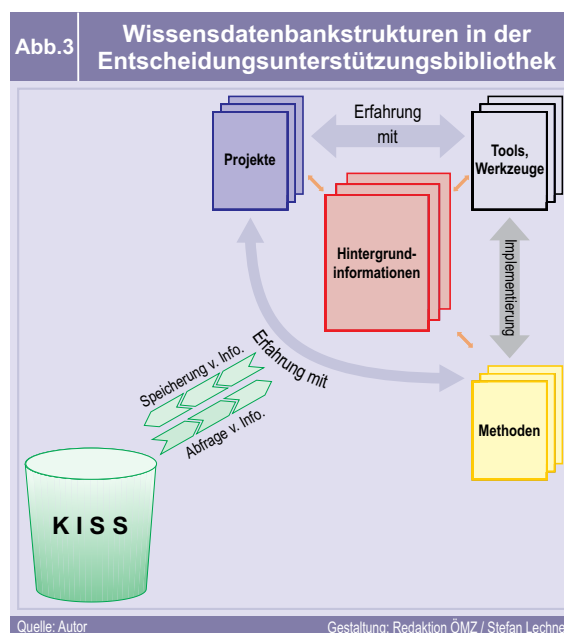
Nachdem bereits aufgezeigt wurde, inwiefern die qualitative und quantitative Analyse auf OR-Ansätzen basiert, stellt sich die Frage, inwiefern die Verfahren immer wieder neu entwickelt werden müssen, oder ob nicht die Möglichkeit besteht, auf bestimmten Erfahrungen aufzubauen und spezielle Entscheidungsbibliotheken zu entwickeln.

Wie lässt sich Wissen in einer großen Organisation verfügbar halten und vernetzen? Das im Jahresbericht „Wehrwissenschaftliche Forschung 2011“ des BMVg vorgestellte Knowledge and Information Sharing System (KISS) stellt eine innovative Möglichkeit bereit, die auf Wissensspeicherung und -vermittlung, Kommunikation und Kooperation im Kontext von OR-Projekten zugeschnitten ist und damit die einleitende Frage beantwortet. Dort wurde KISS u.a. prototypisch für den Bereich der militärischen Operational Analysis implementiert.

Information und Wissen als Grundlage für Lernprozesse gewinnen in unserer komplexen Welt stetig an Bedeutung. Eine Organisation muss Informationen verschiedenster Art sicher aufbewahren und autorisierten Mitarbeitern zur Verfügung stellen können.“ Besonders wichtig erscheint dies im Bereich kritischer Projekte wie z.B. des militärischen Operational Analysis, Disaster Relief oder der humanitären Logistik. Eine erfolgreiche Durchführung erfordert große Erfahrung der Verantwortlichen.

Aber wie kann man diesen Erfahrungsschatz anderen zugänglich machen? Diesen Vorgang unterstützt das bei dem Forschungsinstitut COMTESSA an der Universität der Bundeswehr München entwickelte Knowledge and Information Sharing System (KISS).

KISS baut dabei auf einem webbasierten Open-Source Content Management System auf und ermöglicht somit eine vollständige Kontrolle über die Funktionalität und eine Anpassbarkeit an spezifische Bedürfnisse ohne eine Abhängigkeit von einem bestimmten Unternehmen. Eine Anwendung von KISS ist die Operational Analysis



Toolbox (OAT), die für die Unterstützung von Operational Analysis-Projekten im militärischen Bereich entworfen und prototypisch implementiert wurde. Sie soll Informationen zu Projekten speichern, vernetzen und leicht zugänglich machen.

Das entwickelte Konzept ist nicht auf den oben erwähnten Bereich beschränkt, sondern breit anwendbar. Sie sieht für die Speicherung der Informationen heraus entstehen. Die Trennung der vorliegenden Informationen erfolgt, weil so Informationen z.B. zu Verfahren unabhängig von Projekten vorgehalten werden können. Da ein Verfahren bei mehreren Projekten eingesetzt werden kann, werden durch diesen Ansatz redundante Informationsvorhaltungen und unterschiedliche Darstellungen vermieden. Durch das Herauslösen dieser Informationen aus dem Projekt selbst muss die Verbindung bei der Eingabe der Informationen explizit wiederhergestellt werden.

Die Trennung von Informationen in Kategorien ermöglicht aber auch eine Vernetzung der Informationen über ein bestimmtes Projekt hinaus. Dies dient der Informationsgewinnung. Es können hierdurch z.B. Methoden über ihre gemeinsame Problemklasse miteinander verbunden werden, sodass ein Nutzer der OAT alternative

Methoden leicht auffinden kann. Da diese Methoden mit Projekten verbunden sind, in denen sie angewendet wurden, erhält der Nutzer auch sogleich die Information, ob und wie sie erfolgreich eingesetzt werden konnten.

Zugriff auf Informationen und das Einpflegen von Daten erfolgt in der OAT browserbasiert durch Ausfüllen angepasster Wissens-Schablonen für die einzelnen Kategorien. Das System ist daher leicht bedienbar. Eine Wissensbibliothek kann nur dann ihren vollständigen Nutzen entfalten, wenn Menschen dieses Wissen aktuell halten. Dieser Absatz basiert auf dem Jahresbericht „Wehrwissenschaftliche Forschung 2011“ des BMVg.

Eine weitere Implementierung wird beim Forschungsinstitut COMTESSA u.a. für die Forschungsprojekte im Bereich Strategic Planning, Data Mining, Humanitarian Logistics, Disaster Relief, Computational Red Teaming und Critical Infrastructures genutzt.

Eine Integration weiterer Social Media-Technologien ist beabsichtigt, um hierdurch sowohl Kommunikation als auch Kooperation unter den Nutzern zu fördern und hierdurch den Nutzen des Systems noch weiter zu steigern. In diesem Kontext bestehen bereits vielfältige internationale Kontakte.

*ZIEL: Einbinden von Entscheidungsunterstützungsbibliotheken in Reachback-Prozesse.*

### **Reachback-Strategien und die „OR-Zelle“**

Ziel ist es nun, diese Ergebnisse in die Entwicklung von geeigneten konkreten Lösungs- und Reachback-Strategien zum Schutz und effizienten Betrieb solcher Netzwerke einzubetten.

Gemeinsam mit dem Zentrum für Transformation der Bundeswehr/Planungsamt, mit dem Center for Excellence „Confined and Shallow Waters“ der Deutschen Marine sowie mit der von der Naval Postgraduate School Monterey koordinierten Navy's Task Force Energy Group „Energy“ wird dies an konkreten Beispielen („OR-Zelle“) erprobt. Die Forschungsgruppe ist ferner Mitglied der „smart planet“-Initiative eines global agierenden IT-Unternehmens, in der die Simulation und Optimierung komplexer Systeme im Zentrum stehen.

Es ist vorgesehen, 2015 an der NATO-Schule in Oberammergau erstmals einen Kurs zu „Energy Security“ durchzuführen, in dem die beschriebenen Aspekte inhaltlich behandelt werden.

Ziel ist dabei, die Grundlagen für eine IT-basierte Entscheidungsunterstützung herauszuarbeiten und damit im Bereich Energiesicherheit weiterzuentwickeln.

### **IT-gestützte Entscheidungsunterstützungssysteme im Bereich Krisen- und Katastrophenmanagement/ Generierung von optimalen Lagebildern**

Moderne OR-basierte Methoden und IT-gestützte Entscheidungsunterstützungssysteme leisten dabei einen wesentlichen Beitrag bei der präventiven Planung und der Bewältigung von allgemeinen Krisen- und Katastropheneignissen. Die Unvorhersagbarkeit dieser Ereignisse und die Dringlichkeit der Notfallmaßnahmen stellen Rettungs- und Hilfsdienste vor die schwierige Aufgabe, zeitkritische

Entscheidungen bei einem häufig unsicheren Lagebild zu treffen. Dieser Aspekt wurde bereits zu Beginn dieses Artikels besonders betont. Modell- und simulationsbasierte Analysen gestatten bereits in der Vordesasterphase eine weitsichtige und umfassende Notfallplanung und unterstützen zugleich die Rettungsdienste bei der Bewältigung einer akuten Notfall- und Krisensituation.

Dies wird ausführlich in dem Beitrag „Operations Research Modelle für eine effizientere humanitäre Logistik“ in Hinblick auf den Bereich „Humanitäre Logistik“<sup>(15)</sup> beschrieben.

### **Risikoanalysen - IT-basierte Frühwarnsysteme/Cyber-Bedrohungen/OSINT-Analysen**

Insbesondere kann mit Methoden der so genannten Computational Intelligence und der oben eingeführten agentenbasierten Simulation innerhalb des Operations Research eine detaillierte System- und Risikoanalyse erfolgen, welche bereits in der Planungsphase kritische Situationen aufzeigen und alternative Handlungsoptionen vorschlagen kann. In diesem Zusammenhang sind beispielsweise die Evakuierungsplanung (Crowd Dynamics) und die Brandsimulationen von Flughäfen, Bahnhöfen, Stadien und Bürogebäuden zu nennen, die einen wesentlichen Beitrag zur Sicherheit von öffentlichen Einrichtungen leisten können. Darüber hinaus gestatten diese Systeme die Beurteilung der Vulnerabilität von kritischen Infrastrukturen und Versorgungssystemen, etwa mit Blick auf den Ausfall von Energieversorgungssystemen und der Entwicklung von kaskadierenden Effekten in komplexen vernetzten Systemen. Ebenso können die Risiken und Kosten der terroristischen Bedrohungen von Infrastrukturen und des öffentlichen Personenverkehrs mittels „attacker defender“-Modellen und die Gefahren von Cyber-Bedrohungen durch netzbasierte OSINT-Analysen abgeschätzt werden.

Ein weiteres Anwendungsgebiet moderner Operations Research-Untersuchungen bildet die Entwicklung von IT-basierten Frühwarnsystemen.

### **Versorgungsketten und Complex Supply Chains - CIMIC-Logistikketten**

Mit Operations Research werden hocheffiziente Algorithmen bereitgestellt, die beispielsweise die Personaleinsatzplanung von Rettungsdiensten („staff scheduling“), die optimale Positionierung von Verteilungszentren und Notlagern („facility location problem“) und den Aufbau einer optimalen Versorgungskette („humanitarian supply chain“) bei beschränkten Ressourcen und Hilfsmitteln ermöglichen. Im Kontext der geschilderten Anwendungsszenarien ist der Zugriff auf Experten, die sich nicht immer in geographischer Nähe zum Ort des Geschehens befinden, von immenser Wichtigkeit. Hier kommen ebenfalls so genannte Reachback-Organisationen zum Einsatz, die die Analytiker vor Ort mit einem geographisch verteilten Netzwerk von Experten koppeln, die bei der Problembewältigung und Entscheidungsfindung unterstützen können.

Hierbei liegt ein Hauptaugenmerk auf dem sinnvollen Einsatz verschiedener Informationssysteme im Rahmen einer optimierten Reachback-Architektur. V.a. mit Blick auf die strategische Planung vor, während und nach Krisensituationen haben sich im Kontext des modernen Operations Research die so genannten „soft“ oder „judgement-based“ OR-Verfahren etabliert (dies wurde bereits zu Beginn dieses Artikels erwähnt).

In komplexen Entscheidungssituationen fällt eine Quantifizierung der relevanten Entscheidungsparameter oft schwer; die oben eingeführten „Soft OR“-Verfahren können dann helfen, menschliche, durch subjektive Wahrnehmung geprägte Entscheidungsfaktoren sinnvoll, strukturiert und nutzbringend in den Entscheidungsfindungsprozess zu integrieren.

*High-Performance Computing, Multiagentensysteme und Simulationsgestützte Versuchsplanung/Datafarming „Was-wäre-wenn?“-Fragestellungen.*

Mit Hilfe von begleitenden Simulationsmodellen können in diesem Kontext „Was-wäre-wenn?“-Fragestellungen genauer untersucht werden und damit neue Erkenntnisse über das reale System gewonnen werden. An dieser Stelle vertritt die Professur für Operations Research zwei miteinander verbundene Forschungsrichtungen: die Kopplung von Simulationsmodellen mit geeigneten Optimierungsverfahren zur Ermittlung optimaler oder robuster Eigenschaften des Systems. Hier kommen v.a. Verfahren des so genannten Natural Computing zum Einsatz, die auf dem Vorbild der Evolution bzw. des Schwarmverhaltens beruhen. Diese Verfahren stellen geringere Voraussetzungen als klassische Optimierungsverfahren und haben daher einen größeren Anwendungsbereich. Als Weiterführung der ursprünglichen, simulationsgestützten Analyse kann das so genannte Data Farming betrachtet werden.

Im Bereich des Data Farming werden Simulationssysteme genutzt, um eine Vielzahl neuer Daten zu erzeugen, die dann mit Hilfe statistischer Analysen untersucht werden können, um zum Beispiel kritische Punkte ermitteln zu können. Auch in diesem Zusammenhang können evolutionäre Algorithmen und schwarmbasierte Verfahren gewinnbringend an verschiedenen Punkten des Prozesses eingesetzt werden. Diese reichen von einem Einsatz für die Versuchsplanung über eine automatisierte Ermittlung kritischer oder optimaler Parameter bis hin zur Verhaltenszeugung für Agenten, um z.B. im Rahmen des Computational Red Teaming (hierunter versteht man die Optimierung eines Verhaltens unter Einnahme der gegnerischen Perspektive) eigene Strategien bzw. Algorithmen auf Schwachstellen zu untersuchen.

Abb.5 Entscheidungsunterstützungsbibliothek (EUB)

Suchen Startseite meine EUB Abmelden

**Militärische Problemstellungen**

- Alle militärischen Problemstellungen
- Mil. Problemstellungen

**Projekte**

- Alle Projekte
- Projekte

**Wissenschaftliche Problemstellungen**

- Alle wiss. Problemstellungen und Methoden
- Wissenschaftliche Problemstellung

**Methoden**

- Alle Methoden

**Aktuelle Inhalte**

Titel	Typ	Aktualisierungszeitpunkt
Test 1	Mil. Problemstellung	Dienstag, 8. Dezember 2009 - 19:56
Test 2	Projekt	Dienstag, 8. Dezember 2009 - 18:43
Test 3	Projekt	Dienstag, 8. Dezember 2009 - 18:13
Test 4	Projekt	Dienstag, 8. Dezember 2009 - 17:57
Test 5	Projekt	Dienstag, 8. Dezember 2009 - 17:54

Weiter

**Beliebte Inhalte**

Titel	Typ	Editor
-------	-----	--------

Quelle: Autor Gestaltung: Redaktion ÖMZ / Stefan Lechner

Damit können z.B. Konfliktszenarien zwischen Flugzeugen behandelt werden.<sup>16)</sup>

*Moderne Spieltheorie: „Red Teaming“.*

Lassen sich Konfliktszenarien zwischen Flugzeugen identifizieren, die dazu führen, dass Konfliktwarnverfahren vermehrt Fehlalarme auslösen oder den Konflikt nicht erkennen, bietet ein automatisiertes Vorgehen mehrere Vorteile:

Ein manuelles Erstellen verschiedener möglicher Szenarien wird durch menschliche Domänenexperten vorgenommen. Diese legen auch die Handlungsweisen des roten Teams fest. Um gute Strategien der roten Einheiten zu ermitteln, müssen zuvor Schwachpunkte des Systems durch die Experten identifiziert werden. Dies bedeutet einen hohen Aufwand und birgt die Gefahr, dass nicht alle Schwachstellen erkannt werden.

Ein automatisches System ist hier weniger eingeschränkt. In der Regel kann nur eine sehr begrenzte Anzahl verschiedener Szenarien erstellt und untersucht werden - eine Begrenzung, der ein automatisiertes Vorgehen nicht in diesem Ausmaß unterliegt. Solche Verfahren können dazu beitragen, die Vulnerabilität komplexer Infrastrukturnetzwerke zu analysieren, zu charakterisieren und auch durch Berechnungen („Computational Networks“) zu „stabilisieren“.

Neben den Computational Networks, auf die im Folgenden näher eingegangen wird, beobachtet man derzeit auch intensive Bemühungen im Bereich der Weiterentwicklung der Theorie der zellulären Automaten in diesem thematischen Kontext.

*Vulnerabilität komplexer Infrastrukturnetzwerke - Computational Networks*

Stromausfälle wie nach dem Schneechaos im Münsterland 2005 sowie nach dem Ausfall im europäischen Verbundnetz im November 2006, von dem große Teile Europas mit Auswirkungen bis nach Marokko betroffen waren, zeigen die hochgradige Interdependenz und die



derartige damit verbundene Vulnerabilität komplexer Infrastrukturnetzwerke. Öffentliche Infrastrukturen wie länderübergreifende Energiesysteme, Einrichtungen der europaweiten Gasversorgung und der überregionalen Trinkwasserversorgung, aber auch global vernetzte IT-Strukturen sowie großräumige Verkehrssysteme sind von dieser Problematik in gleichem Maße betroffen.

Die herausragende Bedeutung dieser Systeme für die grundlegende Versorgung der Bevölkerung erfordert die Entwicklung neuer innovativer Methoden, die ein tiefgreifendes Verständnis dieser Systeme ermöglichen.

*Ziel ist es mehr und mehr, das Gesamtsystem in seiner Funktionsfähigkeit zu erfassen.*

### **Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems - Prozessoptimierung und Integratives Risikomanagement**

Insbesondere leisten moderne Methoden des Operations Research und der IT-basierten Entscheidungsunterstützung dabei einen wesentlichen Beitrag zu der Planung, dem Betrieb und der Erhaltung großräumiger Infrastrukturen, die häufig einem hohen Kapitalbedarf unterliegen. Gleichzeitig gewährleisten sie die Sicherheit dieser komplexen Netzwerke und tragen dazu bei, die Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems bei lokalen Stör- und Schadensereignissen aufrechtzuerhalten. Ein integratives Risikomanagement sowie spezielle algorithmische Analyseverfahren gestatten die frühzeitige Identifizierung möglicher Gefahren durch kaskadierende Effekte und ermöglichen einen effizienten Schutz kritischer Infrastrukturen. Die Entwicklung neuartiger mathematischer Methoden und innovativer IT-gestützter Ansätze sind somit von herausragender Bedeutung für die zukünftige Entwicklung großräumiger Infrastruktursysteme und können damit einen entscheidenden Beitrag für die nachhaltige und sichere Versorgung der Bevölkerung leisten.

An dieser Stelle ist nicht der Platz, um ausführlich auf konkrete OR-Projekte einzugehen. COMTESSA leitet derzeit das dreijährige zivile Verbundprojekt RiKoV. Dieses Verbundprojekt „Risiken und Kosten der terroristischen Bedrohungen des schienengebundenen ÖPV“ (RiKoV) stellt den Versuch dar, durch ein ganzheitliches Risikomanagement kritische Infrastrukturen des schienengebundenen öffentlichen Personenverkehrs besser vor terroristischen Anschlägen zu schützen. Hierzu werden die beteiligten Hochschulen (Universität der Bundeswehr München, FH Köln, Karlsruher Institut für Technologie) gemeinsam mit dem industriellen Partner Airbus Defence & Space in acht Arbeitspaketen sowohl qualitative als auch quantitative Methoden heranziehen, um Risiken zu identifizieren, einzuschätzen und deren Konsequenzen zu bestimmen.

Ziel des Vorhabens ist aber nicht nur die Risikoanalyse, sondern auch ein abschließender „Realisierungsplan der Gegenmaßnahmen“, welcher es ermöglicht, die wissenschaftlichen Erkenntnisse zu einem konkurrenzfähigen Produkt weiterzuentwickeln, sodass privatwirtschaftliche Unternehmen sowie staatliche Akteure gleichermaßen davon profitieren können. Es besteht somit auch ein inhaltlicher Bezug zum Red Teaming. Der eingebettete

ganzheitliche, systemische Ansatz von RiKoV ist bisher einzigartig. Und nur durch diese Herangehensweise kann gewährleistet werden, dass ein innovatives Sicherheitskonzept entsteht, das alle möglichen Szenarien umfasst und umfassend bewertet, um so einen wichtigen Beitrag zur Erhöhung der Sicherheitsqualität zu leisten.

### **Zurück zur Logistik: Warner Logistics Center als OR Success Story**

Ergänzend hierzu sei jedoch auf ein eindrucksvolles Beispiel des Warner Robins Air Logistics Center (USA) verwiesen. Dort wurden die Wartungsarbeiten an der C-5 Galaxy untersucht und in ein Critical Chain Project Management eingebettet. Der bisherige Reparaturaufwand bestand in 40.000-50.000 Mannstunden, was eine Wartezeit von 240 Tagen zur Folge hatte. Durch den Einsatz von modernen OR-Verfahren und ein umfassendes Prozessmanagement wurde diese Wartezeit um 33% auf 160 Tage reduziert. Dies war begleitet mit Einsparungen in Höhe von 75 Mio. USD.

Ähnliche Beispiele findet man auf der Webseite [http://www.orchampions.org/prove/success\\_stories/wralcrgtpt-wirt.html](http://www.orchampions.org/prove/success_stories/wralcrgtpt-wirt.html), die mit „OR Champions“ betitelt ist.

Es ist unbestritten, dass der allgemeine Ressourceneinsatz im Militär stetig verbessert werden kann. Umgekehrt wird kein seriöser OR-Experte behaupten, er könne alles optimieren. Dies ist auch nicht die Intention des vorliegenden Artikels. Vielmehr soll deutlich werden, dass OR aktueller denn je ist und man nicht schlecht beraten ist, von OR als „the science of making better...“ zu sprechen. Dies soll auch leitend für das folgende Resümee sein.

### **Resümee: „Effektiver Ressourceneinsatz - OR ... the science of making better“**

Seit Ende der 1930er-Jahre wurde „Operational Research“ (OR), wie es damals zuerst hieß, im militärischen Bereich in England eingesetzt. Zu den bedeutendsten Anwendungen von OR im Zweiten Weltkrieg gehört zweifelsohne der landgestützte Flugzeugeinsatz der Royal Air Force zum Aufspüren und Angreifen deutscher U-Boote. Das Ziel war (auch hier) der effektive Einsatz der Ressourcen Flugzeug, Besatzungen und Munition unter Nutzung von quantifizierenden Methoden. Erst nach dem Krieg entwickelten v.a. die USA und England die Methoden weiter, und Operations Research (OR) hielt vermehrt Einzug in den Unternehmens-, Verwaltungs- und wirtschaftlichen Bereich allgemein.

Trotz aller Modernisierungswellen, trotz allem Auf und Ab im Operations Research und trotz oder gerade weil die vorhandenen finanziellen Mittel immer weniger werden, kommt dem effektiven Einsatz von Ressourcen eine besondere Bedeutung zu. Prozessmanagement, Business Intelligence etc. sind alles wichtige Aspekte und Disziplinen, aber ... *ohne OR geht es nicht bzw. in vielen Bereichen steckt mehr OR drinnen, als man zunächst erwarten würde...*

Eine allgemeine Definition von OR bleibt (daher) bis heute schwierig, da es je nach Anwendungsbereich sowohl national als auch international unterschiedliche Auffassungen gibt, v.a. bezüglich der Abgrenzung zu anderen Wissenschaftsbereichen. International gesehen hat der

angelsächsische Bereich in der OR weiterhin eine führende Rolle. Großbritannien hat z.B. erst kürzlich ausgewählten Universitäten für die Forschung im OR-Bereich 24 Mio. USD für den Zeitraum von 2008 bis 2013 zugeteilt.

Spricht man dort auch in einem Atemzug von Operations Research/Management Science (was nicht Operations Research, Modelling & Simulation heißt), so spricht man neuerdings mehr und mehr auch schlicht von „Analytics“.

### **OR als zentrale Methode zur Analyse komplexer Vorgänge**

In der deutschen Bundeswehr wurde OR seit den 1960er-Jahren entwickelt und angewendet und hat inzwischen eine gute Tradition und wird derzeit auch im Einsatz in Afghanistan genutzt.

Operations Research wird in der Bundeswehr grundsätzlich als die Anwendung wissenschaftlicher Methoden zur Unterstützung von Entscheidungsträgern und ihren Stäben verstanden.

Zu den wichtigsten Methoden gehör(t)en neben den verschiedenen Optimierungsverfahren, der Warteschlangentheorie, der Entscheidungstheorie und statistischen Verfahren v.a. die Simulation, da mit ihr die hochkomplexen Zusammenhänge beim Einsatz moderner Streitkräfte sowohl detailliert bis zum Systemprozess als auch aggregiert im übergreifenden Zusammenhang analysiert werden können.

Militärische OR steht dabei auch in enger Beziehung zur Simulationsunterstützung für Ausbildung und Übungen, für Forschung im Bereich Concept Development and Experimentation (CD&E) sowie für Technologie- und Rüstungsentwicklung.

### **Die Logistik und Planungsprozesse der Bundeswehr sind durch hohe Komplexität gekennzeichnet**

Gründe hierfür sind u.a. die hohe Komplexität weltweiter militärischer Einsätze an sich, die Vielgestaltigkeit logistischer Leistungen bei gleichzeitig vielschichtiger Verteilung der Verantwortung und der Zuständigkeiten. Die Bedingungen für Materialwirtschaft im Einsatz sind häufig sehr schwierig, nicht zuletzt wegen der Risiken durch Gegner und Terror. Diese Zusammenhänge wurden im Rahmen des vorliegenden Artikels eingehend beschrieben. In diesem Sinne kann man nun zusammenfassend formulieren. Dies wurde bereits in DWT-Info 2013 in verkürzter Form dargestellt:

1. OR-Methoden werden (in der Bundeswehr) in absehbarer Zukunft auch die Führungsleistung der militärischen Führer und ihrer Stäbe in Lagezentren und auf Gefechtsständen sowie in Führungsfahrzeugen verbessern.

2. OR-Unterstützung im Einsatz wird die Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung von Einsätzen unterstützen und hierfür entweder eigenständige entscheidungsunterstützende Systeme (EUS) oder OR-Modelle bzw. OR-Funktionalitäten in den Führungsinformationssystemen bereitstellen.

3. Wissenschaftliche Planungsunterstützung muss gewollt und angenommen werden.

Sie benötigt Zeit, Kräfte und Mittel. OR muss aber auch von Menschen betrieben werden, die im Sinne *eines modernen Consultings ein verantwortungsvolles Verständnis* für die Probleme der zu unterstützenden Entscheidungsträger haben und in kurzer Zeit mit begrenztem Aufwand glaubhafte Empfehlungen erarbeiten.

### **Quo vadis? Visualisierung von Entscheidungsoptionen -**

#### **Management Cockpits and „Illuminating Path“**

Der vorliegende Artikel hatte das Ziel, die Aktualität von Operations Research zu betonen und herauszuarbeiten. Hierfür wurden Klassifizierungen, Erfolgsbeispiele und innovative Architekturösungen genannt. Aber auch OR wird sich dabei stets weiterentwickeln. Der Autor sieht einen wesentlichen Entwicklungszweig in der Integration von modernen Management Cockpits zur Entscheidungsunterstützung, die das Ziel haben, komplexe Vorgänge (z.B. im Kontext von Big Data) zu visualisieren. Innerhalb der Wissenschaft spricht man dabei von Visual Analytics. Visual Analytics ist ein interdisziplinärer Ansatz, der die Vorteile aus unterschiedlichen Forschungsgebieten verbindet. Das Ziel der Visual Analytics-Methode ist insbesondere, Erkenntnisse aus extrem großen und komplexen Datensätzen zu gewinnen.

Dieser spezielle Ansatz kombiniert die Stärken der automatischen Datenanalyse mit den Fähigkeiten des Menschen, nämlich schnell Muster oder Trends visuell zu erfassen. Durch geeignete Interaktionsmechanismen können Daten visuell exploriert und Erkenntnisse gewonnen werden.

Er wurde 2004 eingeführt und ein Jahr später in dem Buch „Illuminating the Path“ beschrieben.<sup>17)</sup> Auf den Wikipedia-Seiten zu Visual Analytics werden insbesondere der Katastrophenschutz, die Bioinformatik sowie das Business Intelligence als zukünftige Anwendungsdomänen gesehen. Aber auch der Transformationsprozess der Streitkräfte hin zum „Soldaten der Zukunft“ ist vom Umgang mit großen Datenmengen geprägt. Der Integration von Visual Analytics in OR-Verfahren kommt daher eine zentrale Bedeutung zu.

### **Verstetigung durch innovatives Lehrgangcurriculum**

Es wurde deutlich, dass sich Operations Research durch seine breite Anwendbarkeit sowie seine Interdisziplinarität auszeichnet. Daher haben diverse Fachrichtungen wie zum Beispiel die Mathematik, Volkswirtschaft, Management, Betriebswirtschaft, Elektrotechnik, Bauwesen, technische Chemie oder andere Operations Research fest in ihren Curricula verankert.<sup>18)</sup>

In diesen Lehrveranstaltungen werden für gewöhnlich die Grundlagen des OR behandelt, bestehend aus der Problemdefinition, mathematischer Modellierung, Datensammlung, theoretischen Methoden zur Problemlösung, Validierung und Simulation.<sup>19)</sup> Die Vermittlung dieser Kenntnisse scheint durch traditionelle Lehrmethoden wie etwa Frontalvorträge keine idealen Ergebnisse zu liefern.

Ineffiziente Lehrmethoden können Studierende sogar verunsichern und somit von späteren Anwendungen des

OR abbringen. Daher empfiehlt Moazeni,<sup>20)</sup> basierend auf einer Literaturanalyse, den Einsatz von fünf Methoden, um Nicht-Mathematiker in Operations Research zu unterrichten:

Diese Methoden sind aktives Lernen (Einsatz von Gruppendiskussionen, eigenen Ausarbeitungen, kurzen Übungen etc.), die Bearbeitung von Realbeispielen (interessante Fragestellungen aus der Praxis oder fiktive Beispiele aus dem Sport, welche besonders gute Lernergebnisse vorweisen,<sup>21)</sup> der Einsatz von Technologie und Multimedia (Videos zur Erläuterung, Screenshots, um Software zu erläutern, Animationen, um komplexe Abläufe zu zeigen, etc.), der Einsatz von Rätseln und Spielen<sup>22)</sup> sowie der Einsatz von Gastrednern, die von eigenen Erfahrungen mit OR aus der Praxis berichten.<sup>23)</sup> Die genannten Methoden sollten in einer geeigneten Weise für den vorliegenden Lehrinhalt kombiniert werden, sodass ein idealer Lernerfolg bei den Studierenden erzielt werden kann.

Diese Ideen waren leitend, um in den vergangenen Jahren ein neues innovatives Lehrgangskonzept zu entwickeln, das gemeinsam mit den Kollegen um Prof. Dr. Axel Lehmann und Prof. Dr. Markus Siegle in München etabliert wurde und sich in den ITIS-Kursen „Kombilehrgang Operations Research/Modellbildung und Simulation der Bundeswehr“ sowie in den begleitenden Konzepten „OR/OA Orientation Course Curriculum for NATO Nations“ und „Motivate Senior Leader for Operations Research“ niederschlägt.

#### **Ludwig Bölkow Campus**

Ebenfalls ist beabsichtigt, aus den beiden Projekten RiKoV und NITIM heraus am neuen Ludwig Bölkow Campus einen zukunftsweisenden zivilen Kurs „Komplexitätsmanagement und IT-basierte Entscheidungsunterstützung“ im Rahmen eines innovativen „Research Decision Labs für Entscheidungsträger (Senior Leaders)“ zu etablieren.

Nicht nur seitdem die NATO auf dem Lissabonner Gipfeltreffen im November 2010 das Konzept des Comprehensive Approach angenommen hat, sind NATO-Einsätze aufgrund der sicherheitspolitischen Anforderungen und der Rahmenbedingungen im Einsatz viel komplexer geworden und erfordern eine bessere Entscheidungsunterstützung im Einsatz. Dies wird in der NATO und auch in zahlreichen NATO/PfP-Nationen sowie „Partners across the globe“ (z.B. Australien) durch die Anwendung von OR/OA erreicht. Hierzu gibt es bereits eine Reihe von Success Stories, wie z.B. im Abschlussbericht der SAS-089 Studie „OA to Support NATO Operations“ gezeigt wird.

#### **Transformationsprozess der internationalen Streitkräfte - besondere Rolle des Operations Research**

Dieser stetige Transformationsprozess der internationalen Streitkräfte mit paralleler Nutzung alter und neuer Prozesse/Verfahren/Material sowie die gleichzeitige Einführung neuer IT-Unterstützung (SAP etc.) erleichtert die Prozesse noch nicht entscheidend. Akute Krisen- und

Katastrophensituationen erfordern eine rasche und organisationübergreifende Koordination von Notfalls- und Rettungsmaßnahmen. Das moderne Operations Research, wie es in diesem Beitrag aufgezeigt wurde, fördert diese Maßnahmen in vielfältiger Weise.

In der deutschen Bundeswehr nimmt derzeit die Diskussion um den CPM und die IPT (Integrierte Projektteams) eine besondere Rolle ein. Auch dieses CPM verlangt nach einem effizienten Umgang mit Ressourcen. Wie bereits in DWT-Info 2013 erstmals erwähnt, sollten hierbei Methoden des Operations Research noch deutlicher entwickelt und genutzt werden. Auch ist im Rahmen des neuen CPW innerhalb der neuen IPTs *OR-Analyse* und *Prozessoptimierung* realisierbar.

In den Streitkräften herrscht oft eine distanzierende Haltung gegenüber „Operations Research“. Wie sagte ein General, der mit Logistikaufgaben betraut ist, dem Autor bei der Begrüßung: „Für OR habe ich keine Zeit.“ Old-fashioned- oder „nur wissenschaftlich (research)“-Konnotationen führen oft zu einer Ablehnung, bevor man eigentlich das Potenzial und die Aktualität von Operations Research wahrnimmt. Der vorliegende Artikel, der keinesfalls den Anspruch auf Vollständigkeit erhebt, soll dieses Bewusstsein (etwas) öffnen:

Das abschließende Zitat „*Research is to see what everybody else has seen, and to think what nobody else has thought.*“ von Albert Szent-Gyorgyi soll dabei zu diesem motivierenden Bewusstsein beitragen.

Auf den aktuellen Webseiten der INFORMS <https://www.informs.org/> („The Institute for Operations Research and the Management Sciences“) findet sich das weitere Zitat: „*Operations research is the application of advanced (!) analytical methods to help (!) make better (!) decisions.*“

#### **Schlusswort**

Bei OR geht es nicht (ausschließlich) um Optimierung. Optimierung ist neben Modellbildung, Simulation und Analyse ein Teilgebiet des Operations Research; es geht um Entscheidungsunterstützung im Sinne eines modernen Komplexitätsmanagements.

Es ist an dieser Stelle nicht der Platz, um die ethische Dimension der Anwendung des Operations Research im militärischen Kontext zu erfassen. Auch dieses Themenfeld wird an Bedeutung zunehmen, was nicht erst durch die neue Diskussion um den Drohneneinsatz auftritt. Die Drohnen machen ohne moderne Algorithmen und Analysen keinen Sinn. Und so nehmen wieder OR-Verfahren in einer aktuellen sozio-technischen Fragestellung eine besondere Rolle ein. OR in der Industrie hat seinen festen Platz; aber wie sagte einmal ein renommierter OR-Lehrstuhlinhaber: „*Wir werden deswegen so gefördert, weil wir Ressourcen und Arbeitsplätze sparen.*“ Dies ist die andere Seite des OR mit einer starken sozio-technischen Dimension.

Im Militärischen sollte es das höchste Ziel sein, Sicherheit zu garantieren, nicht blind seinen Standpunkt zu maximieren und die Gegenseite zu minimieren.

Diese Ambivalenz drückt sich nicht nur in der Dualitätstheorie aus. ■

## Danksagung

Der Autor möchte sich besonders bei seinen Mitarbeitern Frau Dr. Meyer-Nieberg, Goran Mihelcic und Dr. Martin Zsifkovits für die einzelnen Beiträge und wertvollen Diskussionen bedanken. Ebenso möchte ich mich bei meinem Kollegen, Herrn Prof. Dr. Carlo Masala, und seinem Institut für Internationale Politik für die gute Zusammenarbeit im Bereich der Studie „Qualitative Methoden der Zukunftsanalyse“ bedanken. Besonderer Dank gilt auch für die sorgsame Durchsicht und die wertvollen Hinweise den drei beteiligten Gutachtern, die wesentlich zum Gelingen dieses Beitrages beigetragen haben.

## ANMERKUNGEN:

- 1) B. Runzheimer, T. Cleff, W. Schäfer: Operations Research I. Gabler Verlag: Wiesbaden 2005.
- 2) DWT-Info 2013, Deutsche Gesellschaft für Wehrtechnik.
- 3) J. Krarup: On the Origins of OR and its Institutions. In: U. Leopold, F. Dargam, S. Pickl, D. DeTombe, L. Plá, S. Liu, J. Hernández, B. Delibasic, R. Ribeiro, P. Zarate (editors), Proceedings of the EURO Mini-Conference Graz 2013 on Collaborative Decision Systems in Economics, Complex Societal & Environmental Applications, Graz, Austria, October 17-19, 2013, The full paper is available as: S. Fores, J. Krarup, „On the origins of OR and its institutions“, Invited Review, CEJOR 21 (2013) 265-275.
- 4) D. Zschocke: Das Entscheidungsproblem bei Abraham Wald und Richard Bellmann, Stat. Hefte, Volume 3, Issue 1; 1962.
- 5) H.G. Daellenbach: Hard or, Soft or, Problem Structuring Methods, Critical Systems Thinking: A Primer. ORSNZ Conference Twenty Naught- One, Christchurch, New Zealand 2001, INFORMS.
- 6) M. Zsifkovits: Geschichte und Bedeutung des Operations Research, COMTESSA Arbeitsbericht 2014-1.
- 7) H.G. Daellenbach: Hard or, Soft or, Problem Structuring Methods, Critical Systems Thinking: A Primer. ORSNZ Conference Twenty Naught- One, Christchurch, New Zealand 2001, INFORMS.
- 8) Gabler: Wirtschaftslexikon, Springer Fachmedien Wiesbaden 2013, Eggert Winter (Hrsg.). <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/55030/operations-research-or-v10.html>
- 9) H. Müller-Mehrbach: Operations Research, Methoden und Modelle der Optimalplanung. München 1973.
- 10) W. Domschke, A. Scholl: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre - Eine Einführung aus entscheidungsorientierter Sicht, Springer Verlag 2008.
- 11) M. Zsifkovits: Geschichte und Bedeutung des Operations Research, COMTESSA Arbeitsbericht 2014-1.
- 12) S. Pickl: Modernes Operations Research zur Unterstützung von Planungsaufgaben und Prozessoptimierung. In: DWT-Info 2013, 77-80.
- 13) C. Masala, S. Pickl: Foresight Analysis: Qualitative Methoden der Zukunftsanalyse. In: Jahresbericht der Wehrwissenschaftlichen Forschung 2013, 58-59.
- 14) Wehrwissenschaftliche Forschung, Jahresberichte 2011-2013 Wehrwissenschaftliche Forschung für deutsche Streitkräfte; Bundesministerium der Verteidigung (hier: Jahresbericht „Wehrwissenschaftliche Forschung 2013“ des BMVg).
- 15) S. Pickl: Operations Research Modelle für eine effizientere humanitäre Logistik. In: H. Baumgarten, J. Schwarz, M. Keßler (Hrsg.) Humanitäre Logistik, Schriftenreihe Wirtschaft & Logistik 2011, 172-191.
- 16) E. Kropat, S. Meyer-Nieberg, G. Mihelcic, S. Pickl: Managing Humanitarian Supply Chains, Strategies, Practices and Research. In: B. Hellingrath, D. Link, A. Widera (Hrsg.): Operations Research for Crisis and Disaster Relief Operations - A Testbed for Teaching and Research; Schriftenreihe Wirtschaft und Logistik, DVV Media Group GmbH, Hamburg 2013, 281-297.
- 17) J.J. Thomas and K.A. Cook (Hrsg.): Illuminating the path: The research and development agenda for visual analytics. IEEE Computer Society; 2005
- 18) J.A. Ramirez, F.G. Guimaraes, F. Campelo, E.C. Pereira, P.H.L. Barros, R.H.C. Takahashi: Optimise: A Computational Environment for Teaching Optimization in Electrical Engineering. IEEE Transactions on Magnetics 40 (2), 695-698; 2004.
- 19) D.E. Blumenfeld, D.A. Elkins, J.M. Slden: Mathematics and Operations Research in Industry. FOCUS 24 (2), 10-12; 2004.

- 20) S. Moazeni: Effective Strategies to Teach Operations Research to Non-Mathematics Majors. Optimization Online; 2012.
- 21) J.J. Cochran: You Can't Spell Sports without or, But ... You Can Teach or with Sports! OR/MS today 31 (4); 2004.
- 22) M. Sniedovich: Or/Ms Games: 1. A Neglected Educational Resource. INFORMS Transaction on Education 2 (3); (2002a).
- M. Sniedovich: Or/Ms Games: 2. Towers of Hanoi. INFORMS Transaction on Education 3 (1); (2002b).
- M. Sniedovich: Or/Ms Games: 3. Counterfeit Coin Problem. INFORMS Transaction on Education 3 (2); (2002c).
- 23) S. Moazeni: Effective Strategies to Teach Operations Research to Non-Mathematics Majors. Optimization Online; 2012.



**Prof. Dr.  
Stefan Wolfgang Pickl**

Geb. 1967; Studium der Mathematik, der theoretische Elektrotechnik und Philosophie an der TU Darmstadt (Diplom 1993, ERASMUS-Stipendiat an der EPFL Lausanne); 1998 Promotion (TU Darmstadt) und 2005 Habilitation (Universität zu Köln); 2000 Verleihung des Dissertationspreises der Gesellschaft für Operations Research sowie in den Jahren 2003, 2005 und 2007 internationale „best-paper awards“; seit 2003 Leiter der Arbeitsgruppe „Simulation und Optimierung komplexer Systeme“ in der Gesellschaft für Operations Research und Vize-Koordinator der europäischen Arbeitsgruppe für „Experimental Economics“, die einen inhaltlichen Bezug zu CD&E Vorhaben besitzt. Berater des „Center for the Advanced Studies of Algorithms (CASA)“ an der University of Nevada Las Vegas; 2004-2014 Einladungen für Visiting-Professuren in den USA. (u.a. NPS Monterey) und an die Karl-Franzens-Universität Graz; seit Juli 2005 Wahrnehmung der Professur für Operations Research an der Universität der Bundeswehr München; 2006 Etablierung eines Hochbegabtenprogramms ebendort; die Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich der Analyse, Kontrolle und Optimierung komplexer Systeme und diskreter Strukturen. Interesse im Bereich einer IT-gestützten Prozessoptimierung sowie Fragen der Entscheidungs- und Spieltheorie, insbesondere auf dem Hintergrund des internationalen strategischen Managements; als Gastwissenschaftler „visiting scientist“ in den Los Alamos National Labs, im SANDIA Laboratory, am MIT sowie am Santa Fe Institute für komplexe Systeme tätig; einer der ersten Mathematiker, die ein Modell zur Simulation des internationalen CO<sub>2</sub>-Konfliktes entwickelten; mehr als 120 Publikationen und Beteiligung als Herausgeber an der Erstellung mehrerer internationaler Tagungsbände.