

Mathematical Management

Eine Wissenschaftsgeschichte von Operations Research in den USA, Europa und Deutschland



Warteschlangen (hier vor der Mautstation in Chicago 2008) – ein beliebtes Thema für Publikationen von Operations Research. Foto-Aufnahme von Warren Black, 2008, auf Flickr.com. Lizenz nach Creative Commons.

Working Paper on the History of Computing No. 4/2019

Richard Vahrenkamp
Logistik Consulting Berlin
Email: vahrenkamp2016@gmx.de
Web: www.vahrenkamp.org

Der Abschnitt 11 wurde bereits in Richard Vahrenkamp, Nominal Science without Data: The Cold War Content of Game Theory and Operations Research, in: Real World Economics Review, vol. 88, 2019, S. 19–50 veröffentlicht. Der Abschnitt 12 wurde bereits in Richard Vahrenkamp, Mathematik trifft auf Machtkalkül. Kybernetik und Operationsforschung in der Reformära der DDR 1962–1970, in: Zeitschrift des Forschungsverbundes SED–Staat, Heft 44/2019, S. 152–167, veröffentlicht. Eine gekürzte Fassung dieses Papiers ist auf Englisch in der Zeitschrift „Management Revue – Socio Economic Studies“ unter dem Titel „Mathematical Management – Operations Research in the United States and Western Europe, 1945 – 1990“ 2023 in Heft 1, Band 34, S. 69–91, erschienen.

Status: 14. Juli 2023

Zusammenfassung

Der Aufstieg des Fachgebietes Operations Research, das mathematische Modelle zur Steuerung von Wirtschaftsunternehmen bereitstellt, in der politischen Wissenskultur von Cold War Science der USA wird aufgezeigt und dann übergeleitet zur Institutionalisierung von Operations Research in den Universitäten von Europa und der Bundesrepublik Deutschland. Die Vorläuferorganisationen zur Deutschen Gesellschaft für Operations Research werden dargestellt und das Zusammenspiel der Jahrestagung dieser Gesellschaft mit den Tagungen auf europäischer und weltweiter Ebene. Erzählt wird, wie im Zeitraum 1960 bis 1980 zahlreiche Lehrstühle für Unternehmensforschung und Operations Research an den Universitäten gegründet wurden. Die Verbindung von Operations Research mit dem makroökonomischen Fachgebiet der Ökonometrie in Lehrstühlen, Tagungen und Publikationen wird erläutert und problematisiert. Hingewiesen wird auf die großartige Publikationsflut zum Thema Operations Research im Zeitraum 1960 bis 1980. Der Aufstieg des konkurrierenden Fachgebietes Wirtschaftsinformatik in den 1980er Jahre stoppte allerdings den Erfolgskurs von Operations Research. Aufbauend auf der wissenschaftshistorischen Studie von Alexander Nützenadel wird der Unterschied zwischen dem auf empirischen Daten beruhenden Fachgebiet der Ökonometrie und dem Fachgebiet Operations Research herausgearbeitet, das nicht empirisch sondern eher „akademisch“ orientiert ist. Das methodische Vorgehen von Operations Research wird als Abstraktifizierung bezeichnet. Ein Beispiel für die Abstraktifizierung ist das Transportmodell der Linearen Optimierung, das die ökonomische Realität soweit vereinfacht (abstraktifiziert), um sie in überschaubare Formeln bringen zu können. Wegen der starken Vereinfachung ist das Transportmodell jedoch für Anwendungen in der realen Wirtschaft ungeeignet und dient damit bloß als ein selbstreferentielles Projekt dem akademischen Betrieb. Der Beitrag zeigt auf, dass dem Operations Research eine Ebene der empirischen Umsetzung der mathematischen Modelle fehlt, wie sie in der Ökonometrie und in den Sozialwissenschaften bekannt ist. Wie die Transportoptimierung in den politischen Wissenskulturen des Ostblocks (1945 – 1990) und in der DDR aufgenommen wurde, wird in Abschnitt 12 behandelt.

Inhaltsverzeichnis:

Inhalt

1	Einleitung.....	3
2	Die Entstehung des Operations Research im Cold War Kontext	6
3	Die Ausstrahlung der Linearen Programmierung auf andere Mathematisierungsansätze.....	10
4	Die erfolgreiche Institutionalisierung von Operations Research 1950 – 1980 in den USA, Europa und in Westdeutschland	11
5	Die zögernde Anwendung von Operations Research in der Industrie	28
6	Der Aufstieg der Wirtschaftsinformatik als Barriere für Operations Research	32
7	Der anfangs problematische Einsatz des Großcomputers in der Massendatenverarbeitung	34
8	Management Science und Operations Research	37
9	Der Computer und Monte–Carlo–Simulationen im Operations Research.....	39
10	OR–Algorithmen in Logistiknetzwerken.....	44

11	Der artifizielle Inhalt von Cold War Operations Research	47
11.1	Die Dynamische Programmierung ohne Anwendung	47
11.2	Das Netzwerkfluss–Modell verbleibt in der Mathematik.....	48
11.3	Das Quadratische Zuordnungsproblem als mathematischer Stalinismus.....	49
11.4	Das Transportmodell als Abstraktifizierung.....	50
11.5	Das Travelling-Salesman-Problem als Erfindung.....	61
11.6	Berechnete Mahlzeiten als mathematische Unterhaltung.....	62
12	Der Boom der Transportoptimierung in der DDR	63
12	Literaturverzeichnis.....	73

1 Einleitung

Das Paper zeigt auf, wie das Fachgebiet Operations Research (OR) in der politischen Wissenskultur des Kalten Krieges seit 1945 entstanden ist. Zunächst wird der rasante institutionelle Aufstieg in den sozialen Räumen der Universitäten verdeutlicht, dann aber der geringe Grad an empirischen Projekten in den sozialen Räumen von Wirtschaftsunternehmen geschildert und Gründe dafür angeführt. Zugleich behinderte die rapide Verbreitung von Computern zur Unternehmenssteuerung die Implementierung von OR–Projekten in Unternehmen. Der Abstieg des Fachgebiets Operations Research in den sozialen Räumen der Universitäten begann, als in den 1990er Jahren immer mehr Lehrstühle auf Wirtschaftsinformatik und Logistik umgewidmet wurden.

Wie bereits Alexander Nützenadel im Jahre 2005 in seiner wissenschaftshistorischen Studie „Die Stunde der Ökonomen“ über die Volkswirtschaftslehre, die Ökonometrie und wissenschaftliche Politikberatung in der Bundesrepublik Deutschland (BRD) der 1950er und 1960er Jahre anmerkte,¹ war diese Zeitperiode, die grundlegend für die politische und wirtschaftliche Entstehung und Etablierung der BRD war, bisher wenig erforscht worden. Ich nehme in diesem Papier den Ansatz von Nützenadel auf und erweitere dessen Untersuchung von der Volkswirtschaftslehre auf die Historisierung der mathematischen Planungsverfahren in Volks– und Betriebswirtschaftslehre in der BRD.

Das Fachgebiet Operations Research ist in der Betriebswirtschaftslehre verortet und hat die mathematischen Methoden für die Planung von Materialflußsystemen in Fabriken, für die Umlaufplanung von Verkehrsmitteln und für die Erstellung von Personaleinsatzplänen zum Gegenstand.² Die forschungsleitenden Ideen sind die Minimierung von Kosten oder die Maximierung von Gewinnen eines einzelnen Unternehmens. Über den Umsatz eines Unternehmens sind die Größen Kosten und Gewinn definitorisch wie folgt verknüpft: $\text{Gewinn} = \text{Umsatz} - \text{Kosten}$. Kosten oder Gewinne werden als eine Funktion von Variablen modelliert, und das Minimum bzw. Maximum dieser

¹ Nützenadel, Ökonomen, 2005.

² Operations Research wird auch abgekürzt mit OR und ist im Deutschen auch als Unternehmensforschung bekannt.

Funktion wird versucht zu bestimmen. In der sogenannten Linearen Programmierung werden diese Funktionen als lineare Funktionen der eingesetzten Mengen modelliert und zum Gegenstand von Algorithmen, wenn sie über komplexe Strukturen von Nebenbedingungen, die zumeist durch lineare Ungleichungen ausgedrückt werden, über kompakte Mengen im n-dimensionalen Zahlenraum minimiert bzw. maximiert werden. Häufig besitzen die Algorithmen eine Schleifenstruktur der Form Repeat ... Verbesserungsschritt ... until Abbruchbedingung. Bei der optimalen Lösung weisen die Variablen bestimmte Zahlenwerte auf, und das Management kann die Lösung im Unternehmen umsetzen, indem es die Aufgaben in der Produktion entsprechend den Werten der Variablen ändert.

Bisher waren die Veröffentlichungen zur Geschichte des Operations Research eher unkritische Success-Stories, wie etwa die „Timeline“ von Saul Gass und Arjang Assad aus dem Jahre 2005, die Geschichte des OR von William Thomas (2015) oder auch die Geschichte des OR von Stephen Johnson aus dem Jahre 1997.³ Dagegen ist es das Ziel dieses Papers, das Fachgebiet Operations Research wissenschaftshistorisch aufzuarbeiten und die sozialen Räume im Cold War Science der USA, aber auch im Ostblock, aufzuzeigen, in denen die algorithmischen Wissenskulturen des Operations Research entstanden sind. Zur Evaluation wird mit einem neuen Ansatz das OR als eine mathematische Disziplin charakterisiert, die auf der Entwicklung neuer mathematischer Methoden beruht, aber weniger an der Gewinnung von empirischen Daten interessiert ist. Vergleicht man das Operations Research mit den auf empirischen Daten beruhenden Wissenschaften der Ökonometrie, der Meteorologie, der Astronomie und den Ingenieurwissenschaften, so wird dieser Ansatz des OR deutlich. Atsushi Akera and Brent Jesiek haben bereits die führende Rolle von Mathematikern bei der Entwicklung des elektronischen Digitalcomputers hervorgehoben.⁴ Ich möchte diese Art der Argumentation aufnehmen und aufzeigen, dass Operations Research ebenfalls eine von Mathematikern vorangetriebene Sicht der Welt begründet, die mit neuen mathematischen Methoden abstraktifizierte Modelle von ökonomischen und sozialen Strukturen der Gesellschaft entwickelt.

In den Ingenieurwissenschaften, der Ökonometrie, der Astronomie und in der Meteorologie dienen mathematische Modelle dazu, gemessene Daten zu strukturieren, um bessere Voraussagen zu machen. Computer werden mit Daten geladen, um Modelle zu testen. Die Gelehrten arbeiten innerhalb des Dreiecks Daten–Modell–Computer und machen damit diesen Ansatz zu einem datengetriebenen.⁵ Zahlreiche Beiträge in der Literatur zeigen die Entstehung von mathematischen Modellen in der Meteorologie, die Datensammlung in diesem Bereich und deren Auswertung auf Computern in der Arbeitsgruppe von John von Neumann am Institute for Advanced Study in Princeton in den Jahren 1945 bis 1955 auf.⁶ Ebenso weisen die Beiträge von Gabriele Gramelsberger den empirischen Bezug der Wissenschaftszweige Biologie und Meteorologie auf. Die Wissenschaftler besitzen zumeist persönliche Erfahrungen mit dem Material, das sie studieren, wie Nathan Ensmenger an dem Beispiel von Laboratorien in der biologischen Forschung aufgezeigt hat.⁷ Alexander Nützenadel zeigte in seiner wissenschaftshistorischen Studie die Rolle von

³ Gass/Assad, Timeline, 2005. Johnson, Approaches, 1997. Thomas, Rational Action, 2015.

⁴ Akera, Calculating, 2007. Jesiek, Origins, 2013. Zur Frühgeschichte des digitalen Computers siehe auch Rojas/Hashagen: The First Computers, 2000.

⁵ Gramelsberger, Science, 2011.

⁶ Thompson, Weather 1957. Aspray, Neumann, 1990.

⁷ Ensmenger, Construction, 2012.

empirischen Wirtschaftsdaten bei der Anwendung von mathematischen ökonomischen Modellen der Gesamtwirtschaft zur Prognose der Wirtschaftsentwicklung auf.⁸

Der hier skizzierte empirische Bezug anderer Wissenschaftsdisziplinen fehlt jedoch beim Operations Research. Hierauf hatte bereits im Jahre 1981 der Darmstädter Professor für Operations Research, Heiner Müller–Merbach, kritisch hingewiesen, und dieses Papier folgt seinem Ansatz.⁹ Ohne einen empirischen Forschungsansatz werden im OR ökonomische Beziehungen in mathematische Modelle überführt und abstraktifiziert, die Material für den akademischen Betrieb abgeben und bloß einen Wert an sich darstellen, aber nicht dazu dienen, um soziale und ökonomische Probleme zu lösen. Mit vereinfachten mathematischen Formeln werden wunderschöne Modelle für den akademischen Betrieb erzeugt, wie unten am Beispiel des Transportmodells aufgezeigt wird. Dieses Modell wurde so stark vereinfacht, dass es in empirischen Zusammenhängen gar nicht mehr angewendet werden konnte. Aber es konnte Material für Lehrveranstaltungen und für die zahllosen Publikationen zu diesem Thema abgeben. Auch die Modellierung von dynamischen, d.h. zeitabhängigen, Materialflussvorgängen in der Fertigungsindustrie mit Markov–Prozessen, welche die Historie abschneiden, führte zu wunderschönen Formeln. Der OR–Promotor Rudolf Henn musste in einer seiner Veröffentlichungen einräumen, dass industrielle Prozesse doch von einer Historie im Zeitablauf abhängen würden, also gar keine abgeschnittene Historie aufwiesen, aber der Markov–Ansatz eben zu wunderschönen Formeln führe.¹⁰ Insbesondere beim Transportmodell lässt sich das Fehlen von wichtigen Quellenangaben bei den Originalwerken beobachten, die dessen akademische Qualität mindern. Im akademischen Raum sind Quellenangaben zwingend erforderlich, und empirische Daten müssen dahingehend erläutert werden, wie sie gewonnen werden. Der Verein für Socialpolitik als Berufsorganisation der Volkswirte hat zu diesen Forderungen im Jahre 2021 eine Ethikrichtlinie veröffentlicht, die fordert, Nachweise für die gewonnenen empirischen Daten zu liefern.¹¹

Da der empirische Kontext die Forscher weniger interessierte, ist Operations Research nicht Daten–getrieben von empirischen Projekten, sondern getrieben von neuen mathematischen Methoden und gehört dem Bereich der angewandten Mathematik an. Dieser Bezug zur angewandten Mathematik wird auch von Professoren für OR so gesehen, wie etwa von dem führenden OR–Promotor Hans Künzi, der an der Universität Zürich einen Lehrstuhl für OR innehatte. In seinem Eröffnungsvortrag der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Unternehmensforschung 1971 führte er aus: „Man geht nicht fehl, wenn man die Theorie des neuen Forschungszweiges als Teilgebiet der angewandten Mathematik betrachtet.“¹² Anders als in den oben beschriebenen Daten–getriebenen Wissenschaften besaßen die Forscher keine persönlichen Erfahrungen mit dem Material ihres Bereiches. Empirische Daten lagen nicht im Focus von OR, und daher blieb das Dreieck

⁸ Nützenadel, Ökonomen, 2005.

⁹ Müller–Merbach, Empirische Forschung, 1981

¹⁰ Vortrag auf der Gründungsversammlung des SVOR im Jahre 1961 von Rudolf Henn: Wirtschaftliche Anwendungsmöglichkeiten stochastischer Prozesse, in: Industrielle Organisation, Band 31, 1962, Heft 1, S. 19–24, hier S. 19. In Band 4 von Operations Research Verfahren, 1967, veröffentlichte Bernd Goldstein auf mehr als 300 Seiten ein Paper mit mathematische Formeln zu Markov–Ketten ohne eine einzige Zeile Text.

¹¹ https://www.socialpolitik.de/sites/default/files/2022-01/Ethikkodex_2021_12_08_DE_final_0.pdf, Zugriff am 14. Juli 2023.

¹² Künzi: Unternehmensforschung, 1971, S. 3.

Daten–Modell–Computer vielfach ungenutzt. Das Paper zeigt auf, dass dem OR eine Ebene der empirischen Umsetzung der mathematischen Modelle, wie sie etwa aus der Ökonometrie und den Sozialwissenschaften bekannt ist, fehlt und diese Ebene auch nicht Gegenstand von Lehrbüchern oder von Forschungsbemühungen im Fachgebiet Operations Research war. In den Sozialwissenschaften werden Methoden der Datenerhebung gelehrt, wie man z.B. einen Fragebogen aufbaut und auswertet. In der empirischen Wirtschaftsforschung wird unterrichtet, welche Zeitreihen im Statistischen Bundesamt zur Verfügung stehen und welche Aussagekraft sie besitzen. Diese Methoden fehlen in den Lehrbüchern zum Operations Research vollständig. Die geringe Anbindung an die Empirie erinnert ein wenig an die Physiker in Paris, die zu Beginn des 19. Jahrhunderts mathematische Theorien über das Verhalten von Körpern hinsichtlich von Wärme und Magnetismus formulierten, ohne einen starken empirischen Bezug aufzuweisen, wie Friedrich Steinle nachwies.¹³

Zu betonen ist, dass der Vorgang der Modellbildung die soziale Realität insoweit vereinfacht, dass mathematische Formeln überhaupt angewendet werden können und die gegebenenfalls erforderliche Datenerhebung ebenfalls vereinfacht wird, wie unten am Beispiel des Berliner Air Lifts aufgezeigt wird. Allerdings vereinfachen alle Modelle, auch in den oben genannten Disziplinen der Ingenieurwissenschaften, der Ökonometrie, der Astronomie und in der Meteorologie, die Realität. Im Unterschied zum OR werden allerdings die Ergebnisse der Modellrechnungen wiederum in der realen Welt angewendet. Aus der Physik sind Beispiele bekannt, wie Forscher die Materie vereinfachen zu einer Ansammlung von schwingenden Atomen, wie es etwa Max Planck für seine Strahlungsformel gemacht hatte und Albert Einstein für seine Theorie der spezifischen Wärme. Diesen drastischen Vereinfachungen in den Modellen standen aber wichtige Ergebnisse gegenüber. Planck konnte seine Strahlungsformel mit diesem Ansatz herleiten, und ebenfalls Einstein konnte das Verhalten der spezifischen Wärme bei tiefen Temperaturen mit diesem Modell erklären.¹⁴ Dieser Rückbezug auf die Realität fehlt aber dem OR, wie dieser Beitrag am Beispiel des Transportmodells aufzeigt.

2 Die Entstehung des Operations Research im Cold War Kontext

In diesem Abschnitt wird aufgezeigt, wie das Operations Research in der politischen Wissenskultur im Zweiten Weltkrieg und im anschließenden Kalten Krieg entstand. Bereits viele Studien haben aufgezeigt, wie das Operations Research in der politischen Wissenskultur der USA und von Großbritannien im Zweiten Weltkrieg und im anschließenden Kalten Krieg entstanden ist.¹⁵ Während des Zweiten Weltkriegs wurde das Operations Research in Großbritannien und in den USA entwickelt, um Methoden zum Aufspüren feindlicher Flugzeuge und U-Boote zu erforschen. Großbritannien gründete die Gruppe für Naval Operational Research und die USA die Antisubmarine Warfare Operations Research Group (ASWORG) unter der Leitung von Philip Morse, dem späteren Präsidenten der ORSA.¹⁶ Nach dem Zweiten Weltkrieg brach die OR–Forschung nicht ab, sondern die USA

¹³ Steinle, Friedrich: Explorative Experimente: Ampère, Faraday und die Ursprünge der Elektrodynamik, Stuttgart: Steiner 2005.

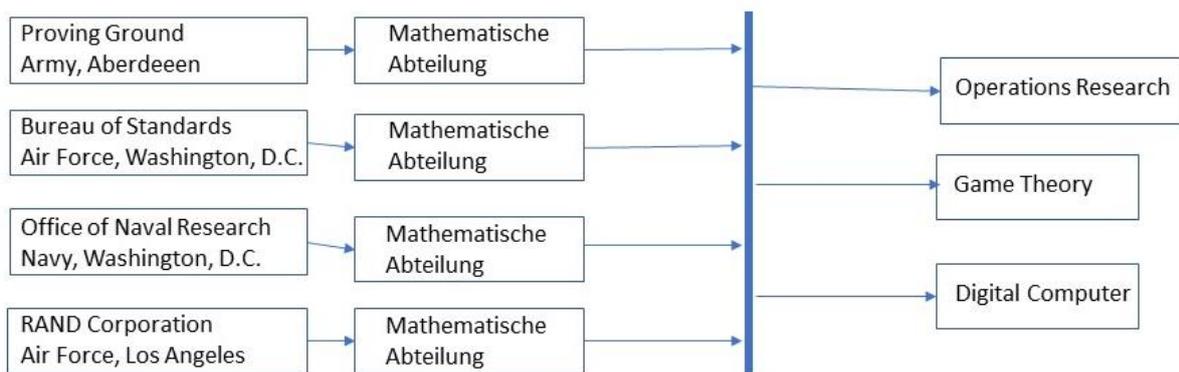
¹⁴ Fölsing, Albrecht: Albert Einstein – eine Biografie, Frankfurt 1995, S. 142, 175.

¹⁵ Erickson u.a., How Reason 2013. Klein, Cold War 2015. William Thomas, Rational Action 2015, Krige, Hegemony 2006.

¹⁶ William Thomas, Rational Action, S. 87.

bewahrten spezielle OR–Kenntnisse mit der Navy Operations Evaluation Group, allerdings mit reduzierter Mannschaft. Diese Gruppe entwickelte in der Zeit des Kalten Krieges die OR–Methoden weiter.¹⁷

In den sozialen Räumen der mathematischen Abteilungen in den Waffengattungen der US–Streitkräfte unterstützten die Mathematiker in starker Weise die Entwicklung des Digitalcomputers und verwandter Forschungen in Spieltheorie und Operations Research (vergl. Abbildung 1). Das Army’s Ballistic Research Laboratory in Aberdeen, Md., wurde von Mathematikern geleitet und finanzierte die Entwicklung des ersten elektronischen Digitalcomputers ENIAC an der Moore School der University of Pennsylvania in Philadelphia. Die Navy unterhielt ein Büro für Naval Research in Washington, D.C., mit einer mathematischen Abteilung und unterstützte zahlreiche Forschungs- und Entwicklungsprojekte.¹⁸ Ferner betrieb die Air Force die RAND Corporation (in Sante Monica bei Los Angeles) mit einer Abteilung für angewandte Mathematik und das National Bureau of Standards (in Washington, D.C.), das Tabellen von mathematischen Funktionen erstellte, als Agenturen, um den Digitalcomputer, Operations Research und Spieltheorie zu finanzieren und zu entwickeln. Im National Bureau of Standards wurde die Computerentwicklung von der Abteilung für angewandte Mathematik geleitet, welche auch eine Buchserie zur angewandten Mathematik herausgab. Die RAND Corporation wurde 1948 in Santa Monica von der Air Force gegründet und galt als deren Denkfabrik.¹⁹ Die Forschung dort fokussierte nicht alleine auf die Zukunft des Luft–Krieges und der strategischen Bombardierung, sondern auch auf akademische Aktivitäten. RAND organisierte Konferenzen und gab Bücher heraus. Als im Jahr 1947 neu gegründeter Zweig des Militärs war die US–Luftwaffe (zuvor war die Luftwaffe Teil der US Army) bestrebt, sich einen Namen für die Anwendung wissenschaftlicher Methoden bei der Programmplanung und der Nutzung des Digitalcomputers – der erst in Zukunft erwartet wurde – für diese Aufgabe zu machen, wie ein Rundschreiben des Stabschefs vom 13. Oktober 1948 zum Ausdruck brachte.²⁰



¹⁷ Harris, Center, 1996, S. 62–64. Shrader, History, 2013, Kapitel 1.

¹⁸ Rees, Computing, 1982, S. 102–120.

¹⁹ Shrader, History, 2013, S. 60. Zur Rolle RAND Corporation in der Forschungs– und Entwicklungspolitik siehe Edwards, World, 1996, S. 114–116. George Dantzig: Impact of Linear Programming on Computer Development, Lecture at ORSA/TIMS meeting on April 30, 1985, typewriter manuscript Stanford University, Document ADA157659, 1985 (Internet source). Zu RAND siehe Bhattacharya, 2022, Kapitel 7.

²⁰ Paul Erickson et al., How Reason Almost Lost Its Mind, 60. Zur Geschichte von RAND siehe auch die offizielle Darstellung 50 Years Project Air Force, 1996.

Abbildung 1: Die Forschungsagenturen der US–Streitkräfte unterstützen mathematische Forschungen in Operations Research, Game Theory und dem Digitalcomputer

Die Erfindung der Linearen Programmierung erfolgte unabhängig voneinander durch den russischen Mathematiker und späteren Nobelpreisträger Leonid Kantorowitsch im Jahre 1939 und den US–amerikanischen Mathematiker George Dantzig im Jahre 1947 bei RAND im Kontext von Cold War Science. Bevor die Lineare Programmierung als mathematische Optimierungsmethode in der RAND Corporation entstand, entwickelte Kantorowitsch seine in den USA bis 1960 unbekannt gebliebenen Linearen Programmierungsansätze im Jahre 1939.²¹ Im Jahre 1947 startete RAND das Projekt SCOOP, mit dem Planungsunterlagen und Voraussagen für den Bedarf an Ersatzteilen und Treibstoff für die verschiedenen Flugzeugtypen auf den weltweiten Air Force Basen erstellt werden sollten. Dieses Projekt wurde bereits in verschiedenen historischen Analysen zur Mathematisierung beschrieben.²² Ziel dieses Projekts war es, die Planungsschritte für eine militärische Operation, das sogenannte Programm, zu beschleunigen. In Erwartung des elektronischen Digitalcomputers sollte der Einsatz mathematischer Planungsmethoden die Programmschritte verkürzen. Der RAND-Mathematiker Georg Dantzig erfand 1947 einen mathematischen Planungsansatz und nannte ihn Linear Programming. Es stellte Berechnungstechniken zur Verfügung, um eine lineare Funktion über eine konvexe und kompakte Menge im n -dimensionalen Zahlenraum, die von linearen Ungleichungen aufgespannt wurde, zu maximieren. Die RAND Corporation besaß zahlreiche CPC–IBM–Maschinen, und Dantzig programmierte, aber erst im Jahre 1952, sein SCOOP–Optimierungsproblem mit 45 Variablen auf einer dieser Maschinen, um die minimalen Kosten der weltweiten Ersatzteilversorgung für die Air Force zu identifizieren. Nach 8 Stunden Laufzeit bekam er das Ergebnis. Im Jahr 1952 codierte er dieses Problem ebenfalls auf dem digitalen Hochgeschwindigkeits–Computer Univac I.²³ Unter Dantzigs zahlreichen Research Memoranden blieben Anwendungen seines Modells im Projekt SCOOP, das die Reparatur–Kapazität der Air Force weltweit koordinieren sollte, unbekannt. Dantzigs Arbeit bei RAND schien akademisch und ohne Anwendungen zu bleiben. Der Leiter des Projekts SCOOP, Murray Geisler, schätzte, dass die Anforderungen der Air Force zu umfangreich waren, um von der Größenordnung her als ein Lineares Programm in der damaligen Zeit behandelt werden zu können.²⁴ Unabhängig von Dantzigs Bemühungen konnten bereits andere Gelehrte, die in dem Projekt SCOOP arbeiteten, mit dem Einsatz anderer Methoden als der Linearen Programmierung Entscheidungen treffen, um Lufttransport–fähige Notfallkisten mit den wichtigsten Ersatzteilen zusammenzustellen, die dann über alle Air Force Basen weltweit verteilt wurden. Wissenschaftshistorisch bemerkenswert ist, dass die Entwicklung der Linearen Programmierung nicht von der sonst unter Ökonomen gehegten Erwartung geprägt war, in den Wirtschaftswissenschaften ähnlich exakte Voraussagen wie in der Physik zu ermöglichen. Diese Erwartungshaltung motivierte viele mathematische Ökonomen in den 1940er Jahren, wie Alexander Nützenadel in seiner Untersuchung hervorhob.²⁵

²¹ Die englische Übersetzung findet sich in Kantorowitsch, *Methods*, 1960.

²² Zum SCOOP Projekt siehe Ceruzzi, *Limits*, 1989, S. 41–43. Dantzig, *Impact*, 1985, S. 15. Dorfman, *Discovery*, 1984. Geisler, *History*, 1986, S. 3–17. Johnson, *Approaches*, 898. Erickson, *Mind*, 72. Klein, *Cold War*, 2007.

²³ Orchard-Hays, *History*, 1984, S. 300. Zu Dantzigs Codierungsarbeiten siehe auch Dantzig, *Impact*, 1985, S. 26. Zu den CPC–Maschinen siehe Bashe et al., *IBM's*, 1986, S. 71.

²⁴ Geisler, *History*, 1986, S. 5. Ich spreche hier von digitalen Hochgeschwindigkeits–Computern, um die Nutzung von elektronischen Analogcomputer abzugrenzen, die in der US–Luftfahrtindustrie zur Lösung von Differentialgleichungen verbreitet waren, siehe Vahrenkamp, *Computing Boom*, 2019. Professor Jürgen Heinhold von der Universität München beantragte im Jahre 1962 ein DFG–Projekt zu Anwendungsmöglichkeiten des elektronischen Analogcomputers auf Probleme der nichtlinearen Optimierung, siehe Brusberg, *Unternehmensforschung* 1965, S. 313.

²⁵ Nützenadel, *Ökonomen*, 2005, S. 91.

Als ein Vorzeigeprojekt für die Lineare Programmierung in der politischen Wissenskultur der US-Luftwaffe im Kontext des Kalten Krieges entwickelte die SCOOP-Gruppe auch ein Modell für die Berliner Luftbrücke von 1948-1949 (Operation Vittell) und machte es auf verschiedenen Konferenzen publik. Ausgehend von der breiten Palette von Flugzeugmodellen, die in der Berliner Luftbrücke eingesetzt wurden, vereinfachte das Projekt die Flugzeugflotte und betrachtete nur C7- und C47-Flugzeuge. Es ermittelte den kostengünstigsten Zeitplan unter Berücksichtigung von Treibstoffkosten, Besatzungen und Ersatztriebwerken. Das Modell wurde nie in der täglichen Planung verwendet, sondern diente als Tutorial-Beispiel, um den Nutzen der Linearen Programmierung zu demonstrieren. Es erregte akademische Aufmerksamkeit, und einige Dissertationen über dieses Modell wurden geschrieben. Murray Geisler, der Leiter von SCOOP, vermutete, dass die Anforderungen der Luftwaffe zu umfangreich seien und die Größenordnung übertrafen, die ein Lineares Programm damals auf dem winzigen Hauptspeicher eines Digitalcomputers bewältigen konnte. Er vermutete, dass 3600 Variablen und 3600 Ungleichheiten notwendig wären.²⁶ Das Modell der Berliner Luftbrücke kann als Musterbeispiel für die von mir vertretene These der Abstraktifizierung angesehen werden. Es diente weder der Planung noch der operativen Durchführung der Luftbrücke, sondern bloß akademischen Interessen.

Da im Jahre 1947, als Dantzig die Methode der Linearen Optimierung erfand, ein Digitalcomputer noch gar nicht zur Verfügung stand, sondern auf Tischrechenmaschinen kleine Modelle der Linearen Optimierung gerechnet werden mussten, wie unten unter 11.6 auch am Beispiel des Diet-Problems gezeigt wird, wo Danzig erst im Jahre 1953 überhaupt den digitalen Hochgeschwindigkeitscomputer für das Diet-Problem einsetzte, diese Überlegungen deuten darauf hin, dass Dantzig das Verfahren der Linearen Optimierung gar nicht für den digitalen Hochgeschwindigkeitscomputer konzipiert hatte. Auch die Begeisterung der OR-Gemeinde für Methoden von Papier und Bleistift, die im Abschnitt 11.4 des Transportmodells und im Abschnitt 9 zur Simulation näher erläutert werden, weisen darauf hin, dass OR gar nicht im Kontext des digitalen Hochgeschwindigkeitscomputers bis in die 1950er Jahre begriffen wurde. Das Ignorieren des Computers wurde sogar zum Kennzeichen der mathematisch orientierten OR-Gemeinde, deren Veröffentlichungen in den Textbüchern bis in das Jahr 2010 keinen Computer Bezug hergestellt hatten, wie in Abschnitt 8 dargestellt. Zwar war es verständlich, wenn zu Ende der 1950er Jahre, als es an US-amerikanischen Universitäten noch kaum Computer-Kapazität gab, die Forscher hilfsweise auf Methoden zurückkamen, die einen eigentlichen Computereinsatz umgehen konnten. Dieses waren die Monte-Carlo-Methode und das Transportmodell. Der Einsatz der Monte-Carlo-Methode mutierte aber dazu, dass Tabellen von Zufallszahlen in Printmedien publiziert wurden, aus denen sich die Forscher bedienen konnten (vergl. Abschnitt 9). Diese Wendung zu Printmedien ist besonders ironisch, da die Monte-Carlo-Methode ja ursprünglich für den Digitalcomputer von John von Neumann entwickelt wurde.

Wie Alexander Nützenadel seiner Untersuchung festgestellt hatte, war unter den Ökonomen der 1940er Jahre die Vorstellung verbreitet, für die Vorgänge in der Volkswirtschaft maschinelle Analogie zu suchen, wie etwa hydraulische Maschinen. Auch die statistische Bestimmung von

²⁶ Murray Geisler, *A Personal History of Logistics*, 6. Marshall Woon and Murray Geisler, *Development of Dynamic Models for Program Planning*, 1951. Zur Operation Vittell siehe Paul Erickson et al., *How Reason Almost Lost Its Mind*, 2013, S. 56f.

Stoffströmen zwischen Wirtschaftssektoren zählte dazu, die dann zu Input–Output–Tabellen formalisiert wurden, in der alle Vorlieferbeziehungen abgebildet wurden.²⁷ Im Bureau of Labour Statistics der USA sammelte Wassily Leontief Daten für eine Input-Output-Matrix der USA und erwarb sich damit ein hohes wissenschaftliches Ansehen. 1973 erhielt er den Nobelpreis für Wirtschaftswissenschaften. Die Input–Output–Matrix, sagen wir A, mit 200 Zeilen und Spalten konnte nur mit einem digitalen Hochgeschwindigkeits-Computer genutzt werden, der erst Mitte der 1950er Jahre verfügbar war. Denn zur Nutzung der Tabelle musste die "Leontief-Inverse"-Matrix $(I-A)^{-1}$ berechnet werden, was nur mit einem Computer möglich war.²⁸ Wassily Leontiefs Forschung beeinflusste auch SCOOP. Im Project SCOOP erweiterte Dantzig die Matrix, bezeichnet als inter industries relations, sogar auf 400 industrielle Sektoren.²⁹ Diese 400 Sektoren–Matrix zur Leontief–Inversen zu invertieren, war wohl erst mit der Hauptspeicherkapazität von Computern aus den 1960er oder gar 1970er Jahren möglich, also Anfang der 1950er Jahre vollkommen illusionär. Wissenschaftshistorisch bemerkenswert ist, wie die SCOOP-Gruppe zwischen lokaler Optimierung in einem Unternehmen oder einer Organisation wie der Luftwaffe und der makroökonomischen Ebene der Wirtschaft hin– und herschwankte. Es wurden Ideen zur zentralen Wirtschaftsplanung ("Marktsozialismus") diskutiert, die sich in ihrem Feindesland – der Sowjetunion – durchgesetzt haben. Im Marktsozialismus arbeiteten die Unternehmen unabhängig voneinander, aber die Preise der Waren wurden von einem zentralen Computer berechnet („Superbrain“).³⁰ Als Mitglied von SCOOP wies George Dantzig auf der Konferenz zur Aktivitätsanalyse 1949 wie ein sowjetischer Planer darauf hin, dass Leontiefs Modell die zentrale Planungsfrage beantworten könnte, wieviel Aluminium, Stahl und elektrische Energie benötigt würden, um den Anforderungen der steigenden Waffenproduktion gerecht zu werden.³¹ Wie Nützenadel kritisch anmerkte, blieb jedoch offen, ob die Input–Output–Tabellen bloß eine imposante Ansammlung von Statistiken darstellen, oder ob sie einen Nutzen bei wirtschaftspolitischen Entscheidungen ermöglichen.³²

3 Die Ausstrahlung der Linearen Programmierung auf andere Mathematisierungsansätze

In diesem Abschnitt wird der Aufstieg der Linearen Programmierung in den Wissenskulturen der Spieltheorie und der Volkswirtschaftslehre aufgezeigt. Als Dantzig seine Entdeckung der Linearen Programmierung John von Neumann im Jahre 1947 vorstellte, konnte das mathematische Genie von Neumanns in kurzer Zeit Verbindungen der Linearen Optimierung zum Zweipersonen Null-

²⁷ Nützenadel, Ökonomen, 2005, S. 104–108.

²⁸ Frederick Moore, "A Survey of Current Interindustry Models", in National Bureau of Economic Research, 1955, 215–252. Zur Berechnungszeit von Matrix–Inversion auf verschiedenen Maschinen siehe Gass, Programming Shoppe, 2002, 62. Zur Inversion einer 38x38 Input–Output–Matrix siehe Herbert F. Mitchell: Inversion of a Matrix of Order 38, in: Mathematical Tables and Other Aids to Computation, Vol. 3, No. 23 (Jul., 1948), pp. 161-166.

²⁹ Dantzig, Operations Research in the world, 1967, S. 115.

³⁰ Dorfman, Robert, Paul Samuelson and Robert Solow, Linear Programming and Economic Analysis, New York, 1958, 395. Dieses Buch erschien unter dem Copyright der RAND Corporation. Philip Mirowski, Machine Dreams, 259.

³¹ Marshall Woon and George Dantzig, "The Programming of independent Activities", in: Koopmans 1951, 15–18, hier 18.

³² Nützenadel, Ökonomen, 2005, S. 108.

Summen-Spiel herstellen und ferner die Dualitätstheorie der Linearen Optimierung entwickeln.³³ Zu jedem Linearen Programm gehört ein duales Programm mit dualen Variablen, welches die transponierte Koeffizientenmatrix des Primalprogramms benutzt. Bei der Lösung des primalen Programms wird implizit auch zugleich das duale Programm gelöst. Diese primal–duale Sicht erweiterte die Wissenskultur der Linearen Programmierung beträchtlich. Während beim klassischen Simplexalgorithmus die primalen Variablen stets im Bereich der Zulässigkeit gehalten werden, das heißt, dass sie nicht negativ sind und im Bereich der zulässigen Lösungen des Polyhedrons liegen, werden parallel im dualen Programm die dualen Variablen schrittweise in deren zulässigen Bereich überführt, so dass am Schluss sowohl die primalen als auch die dualen Variablen zulässig sind. Auf diesen primal–dualen Ansatz setzen verschiedene Algorithmen auf. So untersucht der Algorithmus für das Transportmodell, wie er vorhandene primale Lösungen verbessern kann, indem er attraktive duale Variable identifiziert. Das Zuordnungsproblem als Spezialisierung des Transportmodells geht anders vor. Dort werden die dualen Variablen bei jedem Schritt im Bereich der Zulässigkeit gehalten, während die Primalvariablen schrittweise in den Bereich der Zulässigkeit überführt werden.³⁴ Das Transportmodell strahlt mathematische Schönheit aus, und intellektuell ist das Spiel mit primalen und dualen Variablen sehr faszinierend.

Auch die Volkswirtschaftslehre hat die primalen und dualen Ansätze aufgegriffen. In den volkswirtschaftlichen Modellen sind primale Modelle mengenorientiert, während duale Modelle zugehörige Preisinformationen liefern. In der Volkswirtschaftslehre konnte die Lineare Programmierung Modelle liefern, die auf Produktion mit linearen Produktionsfunktionen, auf die allgemeine Gleichgewichtstheorie, auf die Wohlfahrtökonomie und die Theorie der Duopole angewendet werden konnte. Insofern entwickelte sich die Lineare Programmierung zu einem wichtigen Bestandteil für die statischen Gleichgewichtsmodelle der neoklassischen Theorie. Die berühmten Ökonomen Robert Dorfman, Robert Solow und Paul Samuelson waren der RAND Corporation dankbar, dass diese Lineare Programmierung als ein fruchtbares analytisches Instrument ansah und im Jahre 1958 die Herausgabe ihres Buches "Linear Programming and Economic Analysis" (New York 1958) unterstützte, wie sie im Vorwort schrieben. Diese Publikation in der RAND Books Series war sehr einflussreich, insofern als auch eine internationale Studentenedition erschien. John Krige beschreibt den Export von OR nach Europa als Softpower der USA.³⁵

4 Die erfolgreiche Institutionalisierung von Operations Research 1950 – 1980 in den USA, Europa und in Westdeutschland

Dieser Abschnitt geht auf die politischen Wissenskulturen ein, in den Operations Research entstand. Diese ist bereits von der Gruppe am Max–Planck–Institut für Wissenschaftsgeschichte (MPI–

³³ Dantzig, Impact, 1985. Von Neumann/Morgenstern, Theory, 1944. Morgenstern, Collaboration, 1976. Henn/Moeschlin, Mathematical, 1977. Oskar Morgenstern übernahm im Jahre 1973 einen Lehrauftrag am Lehrstuhl von Professor Rudolf Henn an der Universität Karlsruhe.

³⁴ Mattfeld/Vahrenkamp, Logistiknetzwerke, 2014, S. 173.

³⁵ John Krige: American Hegemony and the Postwar Reconstruction of Science in Europe, Cambridge (Mass) 2006.

Gruppe) erforscht worden, die 2010 in Berlin eine Summer School zu diesem Thema abhielt.³⁶ Die Projekte der US–Luftwaffe haben auch den Sprung von militärischen zu zivilen Anwendungen der Linearen Programmierung in Verwaltung und Industrie vorangetrieben. Mit den Universitäten Chicago und Pittsburgh schloss RAND Verträge ab, um mit dem mathematischen Ökonomen Tjalling Koopmans, mit Abraham Charnes und mit Herbert Simon die unter dem Begriff "Operations Research" zusammengefassten mathematischen Planungsverfahren im zivilen Bereich anzuwenden.³⁷ 1949 – nur zwei Jahre nach Dantzig's Entdeckung – organisierte RAND die später berühmte gewordene Konferenz über Lineare Programmierung an der University of Chicago, die als "Activity Analysis of Production and Allocation" angekündigt wurde, gefolgt vom ersten Symposium in Linear Programming in Washington, D.C., unter der gemeinsamen Schirmherrschaft der RAND Corporation und des National Bureau of Standards 1951. Beide Konferenzen fanden ohne jegliche Erfahrung mit digitalen Hochgeschwindigkeits-Computern statt, die erst 1953 bei RAND verfügbar waren. Zusammen mit dem Leiter einer Ölraffinerie, Bob Mellon, hat die University of Pittsburgh im Auftrag der US–Luftwaffe ein Linear–Programmierung–Projekt zur kostengünstigsten Mischung von Flugbenzin durchgeführt.³⁸ Das Modell enthielt 22 Variablen und wurde mit Hilfe von elektromechanischen Tischrechnern gelöst. Die Autoren Charnes et al. haben die Verwendung einer digitalen IBM CPC-Maschine oder gar eines digitalen elektronischen Computers nicht erwähnt. Die Motivation des Luftwaffenvertrages bleibt unklar. Gab es einen vorherrschenden Mangel an Flugbenzin? Oder war das Thema "Flugbenzin" eine ausreichende Rechtfertigung für einen Luftwaffenvertrag? Diese Fragen beleuchten die diffuse Motivation der Air Force in ihrer F&E-Politik.

Unter dem Begriff des Operations Research wurden in den 1950er Jahren eigentlich heterogene mathematische Methoden wie Spieltheorie, Dynamische Optimierung, Lineare Optimierung, Lagerhaltung, Ersatzteiltheorie, Warteschlangentheorie, Simulation und Produktionssteuerung zusammen gefasst, die als Einsatzfeld primär auf den zivilen Bereich in der Industrie abzielten. Im Jahre 1951 wurde die erste OR–Gruppe am Case Institute for Technology in Cleveland, Ohio, gegründet. Nach Einschätzung des OR–Promotors Künzi war Charles West Churchman dort der erste Professor für Operations Research.³⁹ Zum Thema Operations Research wurden wissenschaftliche Gesellschaften und Zeitschriften in den 1950er Jahren gegründet, wie die Operation Research Society of America (ORSA) 1952 und das Institute for Management Science (TIMS) 1953. Philip Morse, der Leiter der Weapons Systems Evaluation Group des Pentagon, wurde der erste Präsident der ORSA und zog die Firmen des militärisch–Industriellen Komplexes in die ORSA, die bald mehr als 500 Mitglieder zählte.⁴⁰ Die ORSA erreichte in den 1960er Jahren sogar die erstaunliche Zahl von 8000 Mitgliedern.⁴¹ Auch Beratungsunternehmen gründeten OR-Gruppen, wie William Thomas in seiner Studie betonte. 1953 veröffentlichten Abraham Charnes und William Cooper das erste Lehrbuch über Lineare Programmierung.⁴²

³⁶ Erickson u.a., *How Reason* 2013. Klein, *Cold War* 2015.

³⁷ Johnson, *Three Approaches to Big Technology*, 898. Paul Erickson et al., *How reason almost lost its mind*, 2013, 72. Klein, *The Cold War Hot*, 2007. Koopmans, *Activity Analysis*, 1951. Klein, *Cold War*, 2015.

³⁸ Charnes, *Programming Interdependent Activities*, 1952.

³⁹ Leonard Arnoff: *Operations Research at Case Institute of Technology*, in: *Operations Research*, 1957, Vol. 5, No. 2, S. 289 – 292, Vortrag von Hans Künzi auf der Gründungsversammlung des SVR 1961, in: *Industrielle Organisation*, 1961, Heft 11, S. 491.

⁴⁰ John Krige: *American Hegemony and the Postwar Reconstruction of Science in Europe*, Cambridge (Mass) 2006, S. 233f.

⁴¹ Hanssmann, *Unternehmensforschung*, 1971, S. 11.

⁴² Thomas, *Operations Research* 2012. Charnes, *Linear Programming*, 1953.

Dieser Abschnitt geht auf die sozialen Räume ein, die als Institutionalisierung des OR durch Mathematiker an wirtschaftswissenschaftlichen Fachbereichen von Universitäten beschrieben werden. Die Gründung von ORSA und TIMS beruhte nicht auf einer Nachfrage der Industrie nach OR-Anwendungen, sondern stellte sich als eine autonome Expertenbewegung von Mathematikern heraus, die von militärischen Forschungseinrichtungen unterstützt wurde. Das Office of Naval Research gab die Zeitschrift *Naval Research Logistics Quarterly* seit 1953 heraus, die u.a. Modelle von Schlachtfeldern publizierte und die weltweit führende internationale Zeitschrift für Operations Research im Zeitraum 1953 bis 1980 war. Das Office of Ordnance Research der US Army hielt seine erste OR-Konferenz im Januar 1955 ab.⁴³ In seinem 1960 publizierten Buch über die Automationsbewegung charakterisierte Herbert Simon das Operations Research als eine neue Wissenschaft des Managements, die von Mathematikern vorangetrieben werde.⁴⁴ Die autonome OR-Bewegung der Mathematiker war nicht ungewöhnlich für das 20. Jahrhundert. Man kann ebenso den Taylorismus in den Kontext verschiedener Expertenbewegungen im 20. Jahrhundert einordnen, und ebenfalls die Rationalisierungsdebatte in Europa in den 1920er Jahren und in die Automationsdebatte in den USA und Europa um 1960.⁴⁵

In den 1950er und 1960er Jahren wurden in den USA und Großbritannien (1964 in Lancaster) Lehrstühle für Operations Research in den Fakultäten für Management der Universitäten eingerichtet. Weitere Einflüsse aus den USA auf die Entwicklung des Operations Research in Westeuropa können hier nachgezeichnet werden. So wurden maßgebende OR-Lehrbücher aus den USA auf Deutsch und Französisch (nicht aber auf Italienisch) publiziert, wie das Buch von George Dantzig „*Linear Programming*“ (1963) und das Buch von West Churchman et al. „*Introduction to Operations Research*“ (1957). Das letztere wurde 1973 in Madrid auch auf Spanisch publiziert und öffnete damit zugleich lateinamerikanische Leser für das Operations Research. Die Nato gab wichtige Impulse zur Verbreitung von Operations Research in Westeuropa. Das Nato Hauptquartier SHAPE in Frankreich veranstaltete in den 1950er Jahren vier Konferenzen zu OR – die im Jahre 1956 mit 120 Teilnehmern – und brachte damit OR nach Festland-Europa.⁴⁶ Innerhalb der Nato wurde OR auch als „*Scientific Advisory*“ (SA) bezeichnet und in der *Advisory Group of Aeronautical Research and Development* (AGARD) zusammengefaßt.⁴⁷ Beide Einrichtungen der Nato, das SHAPE und das AGARD, veranstalteten im April 1957 eine OR Konferenz im Palais de Chailott in Paris – einem der angesehensten Konferenzorte in Paris.⁴⁸ Liest man heute die Konferenzpapiere, so fallen die Nato-Konferenzen als äußerst blass auf: Man versicherte sich gegenseitig, wie wichtig OR sei. Die eigentlichen Ziele von Nato-OR blieben aber unerwähnt: Wollte man das Radar verbessern oder die Treffsicherheit von Flugabwehrkanonen? Wie könnte der Nachschub an Ersatzteilen beschleunigt werden? Als Frankreich die Nato verließ, strahlte die Verlagerung des Nato Hauptquartiers von Frankreich nach Belgien im Jahre 1966 auf die Institutionalisierung von OR in Belgien aus, wo Jacques Drèze im

⁴³ Churchman/Ackoff/Arnoff, *Introduction*, 1957, S. 429.

⁴⁴ Simon, *Science*, 1960, S. 15.

⁴⁵ Haber, *Efficiency*, 1964. Maier, *Taylorism 1970*. Kline, *Cybernetics*, 2006.

⁴⁶ *Operational Research in Practice*, Report of a NATO Conference, herausgegeben von Max Davies und Michel Verhust, Pergamon Press London 1958, S. 1.

⁴⁷ *The AGARD history: 1952 - 1997 / NATO. Advisory Group for Aerospace Research and Development*; Bliet, Jan van der [Hrsg.]. - Neuilly-sur-Seine, 1999. Zum Export von OR nach Europa durch die Nato siehe auch Krige, *Hegemony*, Kapitel 8.

⁴⁸ Davies et al., *Operational Research in Practice*.

Jahre 1966 an der Katholischen Universität Löwen (Belgien) CORE, the Center for Operations Research and Econometrics gründete.⁴⁹

In Deutschland gab es in den 1920er Jahren unter dem Begriff der „Großzahlforschung“ die Anwendung von statistischen Methoden zur Qualitätssicherung in der Stahlindustrie. In den 1930er Jahren wurde die Ausbildung von „Industriemathematikern“ diskutiert.⁵⁰ Das Bundesverteidigungsministerium der BRD vergab im Jahre 1956 drei Kleinprojekte nicht zur Waffenentwicklung, wohl aber zur Methodik des OR, d.h. zu mathematischen Methoden, gleichmäßig in Westdeutschland von Süden nach Norden verteilt an die Universitäten München, Münster und Kiel.⁵¹

Die unten dargestellte Gründung einer internationalen Dachorganisation für nationale OR-Gesellschaften in Oxford im Jahre 1959, der International Federation of Operational Research Societies (IFORS), übte im deutschsprachigen Raum einen erheblichen Druck aus, wie die jeweiligen nationalen OR-Initiativen in Österreich, der Schweiz und in Westdeutschland sich zur IFORS stellen sollten. Welche Organisation sollte den deutschsprachigen Raum in der IFORS vertreten? Sollten sich Österreicher oder Schweizer von einer eigenen Organisation vertreten lassen? Die Schweizer OR-Gemeinde reagierte auf die IFORS-Herausforderung, indem sie eine eigene Schweizerische Vereinigung für Operations Research (SVOR) im Jahre 1961 in Zürich gründete. Auf der Gründungsversammlung hielten verschiedene OR-Forscher Vorträge, unter anderem auch der spätere OR-Promotor in Westdeutschland, Rudolf Henn, damals Professor an der Handelshochschule St. Gallen. Die Vorträge wurden in Heft 11/1961 der von der ETH Zürich herausgegebenen Zeitschrift „Industrielle Organisation“ veröffentlicht und erhielten damit einen Anwendungskontext in der Industrie.⁵² Henn gab zusammen mit dem zum Präsidenten der SVOR gewählten habilitierten Mathematiker Hans Künzi später ein zweibändiges Werk über Unternehmensforschung heraus. Die österreichische OR-Gemeinde konnte sich nicht entscheiden, ob sie eine eigene Gesellschaft gründen sollte oder sich von der westdeutschen AKOR (Arbeitskreis Operational Research) vertreten lassen sollte. Die Unentschlossenheit der Österreicher führte auch zu einer Verzögerung, dass die AKOR nicht als westdeutscher Vertreter in die IFORS aufgenommen werden konnte. Dass die DDR nicht in die IFORS aufgenommen werden sollte, war klar, da die IFORS von vornherein antikommunistisch orientiert war und den freien Westen repräsentieren sollte. Als ein eigener Staat war die DDR ohnehin im Westen gar nicht anerkannt worden. Die antikommunistische Orientierung der IFORS war bei der ebenfalls 1959 gegründeten Dachorganisation von nationalen Gesellschaften für Computeranwendungen, der International Federation of Information Processing (IFIP), nicht vorherrschend, da sie auch Mitglieder aus dem Ostblock besaß. Alwin Walther als Vertreter der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Rechenanlagen (DARA) bestand allerdings auf der Sitzung des Exekutivkomitees der IFIP in Rom 1960 darauf, dass die westdeutsche DARA auch den Ostteil Deutschlands vertrete.⁵³

⁴⁹ NATO Conference on the Role and Evaluation of Military Exercises in Operational Research, London, England, 25 August 1964. Brusberg, Unternehmensforschung 1965, S. 52. Mirowski, Dreams, S. 490.

⁵⁰ Daeves 1925, Mehrrens 1986.

⁵¹ Benecke, Status of Operations Research in Germany, S. 23.

⁵² Ablauf- und Planungsforschung, Band 2, 1961, Heft 3, S. 66.

⁵³ Protokoll der Sitzung des Exekutivkomitees unter [https://www.ifip.org//images/stories/ifip/public/Archive/Min-Hist/1960%20council%20jun%20rome%20\(it\).pdf](https://www.ifip.org//images/stories/ifip/public/Archive/Min-Hist/1960%20council%20jun%20rome%20(it).pdf). (Zugriff am 20. Juli 2021)

Die Gründung der deutschen OR-Gesellschaften macht die Zweispaltung in Praktiker und Mathematiker deutlich. Die AKOR wurde im Februar 1957 an dem Institut für Praktische Mathematik von Professor Alwin Walther der TH Darmstadt gegründet auf Betreiben des – mit dem in Frankfurt a.M. ansässigen Rationalisierungskuratorium der Deutsche Wirtschaft (RKW) assoziierten – Ausschusses für Wirtschaftliche Fertigung (AWF) im Vorfeld der internationalen OR-Konferenz in Oxford (Großbritannien) im September 1957, um eine Plattform für die Teilnahme an dieser Tagung zu erhalten.⁵⁴ Obwohl die IFORS erst 1959 gegründet wurde, zählte die Oxforder OR-Konferenz als IFORS Vorläuferkonferenz oder gar als erste IFORS-Konferenz. Das RKW spielte bereits im Jahre 1955 die Rolle des OR-Promotors in Westdeutschland, als es eine vom Wirtschaftsministerium finanzierte Reise von fünf Experten – unter anderen auch Helmut Kregeloh vom Institut für Praktische Mathematik der TH Darmstadt – in die USA organisierte, bei der der Stand der Implementierung von OR in den USA bei großen Unternehmen erkundet werden sollte.⁵⁵ Die Gründung der IFORS im Jahre 1959 führte bei der AKOR zu einer Professionalisierung ihres Auftretens, indem sie ab 1960 die Zeitschrift „Ablauf- und Planungsforschung“ herausgab. Die AKOR wurde von dem nichtpromovierten Diplom-Mathematiker Helmut Kregeloh geführt, der aber immerhin einen akademischen Hintergrund als Assistent bei Alwin Walther am mathematischen Institut der Technische Universität Darmstadt besaß. Die AKOR wandte sich vor allem dem Geschäftsfeld der Beratung zu, um die OR-Methoden in den Unternehmen zu verbreiten. Offenbar war der Beratungsmarkt attraktiv, da auch die Technische Akademie in Wuppertal OR-Beratungen anbieten wollte. Die AKOR einigte sich mit der Technischen Akademie dahingehend, dass diese lediglich Lehrgänge der Dauer von ein bis drei Tagen anbieten sollte. Länger dauernde Lehrgänge sollten der AKOR vorbehalten bleiben.⁵⁶ Um die Beratungsmärkte in Österreich und der Schweiz abzudecken, wurden auch Sitzungen der AKOR in den dortigen Ländern angeboten, so zum Beispiel am 22. Oktober 1959 in Salzburg.⁵⁷

Als stellvertretender Präsident der IFIP im Jahre 1960 gelang es Alwin Walther, den zweiten internationalen IFIP-Kongress 1962 nach München zu holen. Dieser Kongress wurde von der überwältigend anmutenden Zahl von 2800 Fachleuten besucht und machte der deutschen OR-Gemeinde deutlich, dass man sich nicht bloß auf mathematische Modelle beschränken dürfe, sondern wie wichtig Computer-Anwendungen in Produktion und Verwaltung waren.⁵⁸ Hierzu wurden zahlreiche Papiere in der Zeitschrift der AKOR, der Zeitschrift für Ablauf- und Planungsforschung, veröffentlicht.⁵⁹

Eine Würdigung von Alwin Walther zu seinem 65. Geburtstag mit Portraitfoto in der Zeitschrift für Ablauf- und Planungsforschung umging dessen Verstrickung in das NS-Regime.⁶⁰ Das Institut für

⁵⁴ Davies, Max (Hersg.): International Conference on Operational Research (Oxford), London 1957, S. 494.

⁵⁵ Rationalisierungskuratorium der Deutsche Wirtschaft (Hersg.): Ablauf- und Planungsforschung, Operations Research, Erfahrungsbericht einer deutschen Studiengruppe von einer Reise in die USA, München 1958. Wie die Teilnehmer indirekt einräumten, waren sie methodisch überfordert, den Stand der Implementierung von OR in bei großen Unternehmen zu erkunden. Vielmehr referierten sie in der Buchpublikation verschiedene Methoden des OR, wie Lagerhaltung oder Warteschlangen, die sie aus den bekannten Veröffentlichungen zum OR entnahmen.

⁵⁶ Ablauf- und Planungsforschung, Band 2, 1961, Heft 1, S. 16.

⁵⁷ Unternehmensforschung, Band 4, 1960, S. 95.

⁵⁸ Tagungsbericht von Heiner Müller-Merbach, in: Ablauf- und Planungsforschung, Band 3, 1962, Heft 1, S. 113–115.

⁵⁹ Alwin Walther: Der Rechenautomat und Operational Research, in: Ablauf- und Planungsforschung, Band 4, 1963, Heft 1, S. 146–157.

⁶⁰ Ablauf- und Planungsforschung, Band 4, 1963, Heft 1, S. 181.

⁶⁰ Ablauf- und Planungsforschung, Band 4, 1963, Heft 1, S. 181–182.

Praktische Mathematik von Professor Alwin Walther, das auch Computeranwendungen forcierte, war wegen der im Jahre 1944 erfolgten Kooperationsabsicht mit der NS-Organisation der SS skandalumwittert. Die SS plante ein Konzentrationslager für Häftlinge, die in Zwangsarbeit mathematische Berechnungen für die V2-Rakete durchführen sollten.⁶¹

Während in der AKOR primär Praktiker, d.h. Mitarbeiter oder gar leitende Mitarbeiter von Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen großer Unternehmen, organisiert waren, übernahmen in der Deutschen Gesellschaft für Unternehmensforschung (DGU) Mathematiker an Universitäten die Führung. Gegenüber den Praktikern drängten die Mathematiker an Universitätslehrstühlen in der DGU Computeranwendungen eher an den Rand. Die Gründung der Gesellschaft für Unternehmensforschung im Jahre 1961 in München⁶² ging zurück auf den Fachausschuss Unternehmensforschung, der im Jahre 1959 von der Gesellschaft für angewandte Mathematik und Mechanik (GAMM) als Folge der IFORS-Gründung am Institut für angewandte Mathematik der Universität Freiburg i. Br. mit dem Vorsitzenden Professor Görtler etabliert wurde.⁶³ Dieser Fachausschuss gründete einen Dachverband deutscher Gesellschaften für Operations Research – den Deutschen Ausschuss für Unternehmensforschung (DAU), um die deutschen bzw. westdeutschen Vertretungsrechte für die 1959 gegründete International Federation of Operational Societies, IFORS, auf der zweiten IFORS-Tagung in Aix-en-Provence 1960 zu erringen. Tatsächlich gelang es der GAMM, über die AKOR einen Vertreter nach Aix zu entsenden. Um ein akademisches Gewicht zu erlangen, hatte der Deutsche Ausschuss für Unternehmensforschung gleich im August 1960 eine Konferenz in Freiburg i. Br. mit Referenten aus dem Ausland veranstaltet. Da die Freiburger Forschungsstelle der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt Mitveranstalter der Tagung war, kann man vermuten, dass Bundesmittel bereitstanden, um die nicht unerheblichen Reisekosten der ausländischen Referenten zu finanzieren.⁶⁴

Nach dem Rechenschaftsbericht der AKOR von 1960 konnte die AKOR nach Gesprächen mit dem amtierenden Präsidenten der IFORS, Sir Charles Goodeves, und mit dem zukünftigen Präsidenten der IFORS, Philip Morse, die deutschen Vertretungsrechte gegenüber der IFORS behalten.⁶⁵ Der als mathematischer Physiker ausgebildete Wilhelm Krelle, seit 1958 Professor für Wirtschaftswissenschaften an der Universität Bonn, war im Vorstand der Gesellschaft für Unternehmensforschung und zog viele Mathematiker in die DGU. Krelle konnte gegenüber der AKOR durchsetzen, dass die deutschen Anmeldungen für Vorträge auf der dritten IFORS Konferenz in Oslo 1963 über seinen Schreibtisch gingen.⁶⁶ Die DGU versuchte, die gleichnamige Zeitschrift Unternehmensforschung als ihr Verbandsorgan zu gewinnen.⁶⁷ Obwohl als Vorstandsmitglied der DGU eigentlich an Unternehmensforschung interessiert, nahm sich Krelle die Freiheit, zusammen mit dem habilitierten Mathematiker Hans Künzi im Jahre 1962 im Springer Verlag ein rein mathematisches Buch über nichtlineare Optimierung ohne Computeranwendungen und ohne Anwendungen in Unternehmen zu veröffentlichen. Die Deutsche Gesellschaft für Unternehmensforschung erreichte im Jahre 1962 die Anzahl von 259 Mitgliedern.⁶⁸ Im Jahr 1971 verschmolzen AKOR und DGU zur Deutschen Gesellschaft

⁶¹ Mehrtens, *Angewandte Mathematik*, S. 344.

⁶² *Ablauf- und Planungsforschung*, Band 3, 1962, Heft 1, S. 14.

⁶³ *Ablauf- und Planungsforschung*, Band 2, 1961, Heft 1, S. 15. *Unternehmensforschung*, Band 4, 1960, S. 96f.

⁶⁴ Konferenzbericht in: *Ablauf- und Planungsforschung*, Band 2, 1961, Heft 2, S. 24.

⁶⁵ *Ablauf- und Planungsforschung*, Band 2, 1961, Heft 1, S. 16.

⁶⁶ *Ablauf- und Planungsforschung*, Band 3, 1962, Heft 1, S. 31.

⁶⁷ *Ablauf- und Planungsforschung*, Band 3, 1962, Heft 1, S. 15.

⁶⁸ Brusberg, *Unternehmensforschung*, 1965, S. 56f, S. 242–244. Albach, *Unternehmensforschung*, 1967, S. 254.

für Operations Research (DGOR), die seitdem Jahrestagungen abhielt und die gehaltenen Referate in jährlich erscheinenden Proceedings veröffentlicht. Die Zahl der persönlichen Mitglieder der DGOR wuchs von 496 im Jahre 1972 auf über 600 im Jahre 1978.⁶⁹

Die Zeitschrift „Unternehmensforschung“ mit dem Untertitel „Operations Research“ hatte der Statistiker–Professor Slawtscho Sagoroff an der Universität Wien im Jahre 1956 völlig unabhängig von der DGU gegründet und ließ sie im Physica-Verlag erscheinen.⁷⁰ Nach dem Editorial der ersten Nummer war die Zeitschrift Unternehmensforschung durchaus anwendungsorientiert und nicht bloß auf mathematische Modelle fixiert. Der Herausgeber versammelte zahlreiche prominente Namen im Beirat der Zeitschrift, unter anderem von Alwin Walther und Oskar Morgenstern, der vor seiner erzwungenen Emigration in Wien gewirkt hatte. Auch erschienen in der Zeitschrift zahlreiche Artikel zum Computereinsatz in der Produktionssteuerung. Offenbar prägte Sagoroff den Term Unternehmensforschung. Auf der 27. Jahrestagung der Deutschen Statistischen Gesellschaft 1956 in Essen hatte Sagoroff den Term Unternehmensforschung weiter institutionalisiert und im Vorfeld angeregt, den Ausschuß „Anwendung der statistischen Methoden in der Industrie“ zum Thema „Unternehmensforschung in Fertigungsbetrieben“ tagen lassen.⁷¹ Sagoroff versuchte, mit einer Tagung an der ETH Zürich im Jahre 1958 die Unternehmensforschung in der Schweiz zu etablieren.⁷² Auffallend ist, dass die Zeitschrift Unternehmensforschung gar nicht die OR–Initiativen in Österreich abdeckte. Nach der Gründung der Deutschen Gesellschaft für Unternehmensforschung im Jahre 1961 versuchte diese Gesellschaft, die Zeitschrift Unternehmensforschung als ihr Verbandsorgan zu übernehmen.

Auffallend bei den zahlreichen Tagungen im deutschsprachigen Raum zum Operations Research in den 1950er und 1960er Jahren ist der geringe Gehalt von neuen Forschungsergebnissen. Tatsächlich werden vielfach bloß Ergebnisse aus England und den USA von den Referenten, von denen nach Möglichkeit auch solche aus England und den USA sein sollten, vorgetragen. Bei jeder neuen Tagung wurde der Zauber der mathematischen Methoden für die Praktiker aus der Wirtschaft neu aufgerufen, wie z.B. die Lineare Planungstechnik und Monte Carlo Methoden. Vielfach wurden auch weithin bekannte Themen aus den 1930er Jahren angesprochen und mit dem frischen Label Operations Research versehen: Rudolf Henn griff die seit 1906 bekannten Markovprozesse auf und trug vor auf der Gründungsversammlung des SVOR über Markov-Prozesse in Industrie-Werken⁷³, Wilhelm Krelle referierte ebendort über Entscheidungen bei Unsicherheit⁷⁴. Ferner gab es dort Vorträge über Warteschlangensysteme und Lagerhaltung. Das von Krelle und Künzi 1962 veröffentlichte Buch über nichtlineare Optimierung, das zahlreiche Neuauflagen erlebte, enthielt auch bloß US–Ergebnisse aus den 1950er Jahren, aber keine neuen Forschungsergebnisse der beiden Autoren, die womöglich darauf spekulierten, dass die Nichtlineare Optimierung im Nachklang von Linearer Optimierung von 1947 und Dynamischer Optimierung von 1957 das dritte Megathema des

⁶⁹ Reinhold Sellien, Helmut Sellien (Hersg.), Gablers Wirtschafts Lexikon, 10. Auflage, Wiesbaden 1980, Spalte 1003f. Bradtke, Grundlagen, 2003, S. 3. Deutsche Gesellschaft für Operations Research (Hersg.), Mitgliederverzeichnis, 1978, Niddatal 1978. Brusberg, Unternehmensforschung, 1965, S. 241.

⁷⁰ Adolf Adam: Slawtscho Sagoroff, Leben und Wirken. In: Metrika 14 (1969) 1, S. 133–137.

⁷¹ Unternehmensforschung, 1. 1956, Heft 1, S. 63.

⁷² Tagungsbericht in: Unternehmensforschung, 2. 1958, S. 208.

⁷³ Vortrag auf der Gründungsversammlung des SVOR im Jahre 1961 von Rudolf Henn: Wirtschaftliche Anwendungsmöglichkeiten stochastischer Prozesse, in: Industrielle Organisation, Band 31, 1962, Heft 1, S. 19–24. Henn räumte ein, dass das Modell der Markov–Prozesse die Fertigungsabläufe stark vereinfacht.

⁷⁴ Industrielle Organisation, Band 30, 1961, Heft 11, S. 523–526.

Operations Research werden könnte. Die von John Krige referierte Debatte in England der 1950er Jahre, ob Operations Research wirklich neu sei, fand in Deutschland überhaupt nicht statt.⁷⁵

Auffallend an den Gründungsgeschichten der OR-Initiativen im deutschsprachigen Raum (SVOR, AKOR, DGU, DAU) ist die Bedeutung der IFORS-Gründung als Impulsgeber. In den OR-Initiativen formierten sich vornehmlich akademische Interessen. Von den großen Produktionsunternehmen, wie Volkswagen, Siemens oder der BASF, sind in der Gründungsphase keine Initiativen bekannt, Operations Research zu etablieren. Ebenso wenig ist dies der Fall aus dem Bereich von Banken und Versicherungen. Vielmehr verlief die Verbreitung von Operations Research umgekehrt, dass die OR-Initiativen den sogenannten Praktikern aus der Wirtschaft die Vorzüge von Operations Research in Lehrgängen vorgestellt haben.

Überraschend ist, dass der Computer-Pionier Konrad Zuse bzw. seine Computer-Produktionsfirma, die Zuse KG in Hünfeld bzw. Bad Hersfeld, zahlreiche Beiträge in der Wiener Zeitschrift „Unternehmensforschung“ veröffentlicht hat. Konrad Zuse publizierte den Aufsatz "Große und kleine programmgesteuerte Rechengerte" in Band 1, 1956/57. Ferner publizierte er den Text seines Vortrags bei der Verleihung der Ehrenpromotion an der TH Berlin am 28. Mai 1957: „Gedanken zur Automation und zum Problem der technischen Keimzelle“, in Band 1, 1956/57. Dort erschien auch eine Notiz zur Ehrenpromotion mit einem Foto Zuses. Mit seinem Vortragstext knüpft Zuse an die in den Jahren 1955 bis 1960 in USA und Europa virulente Automationsdebatte an.⁷⁶ Schließlich veröffentlichte die Konrad Zuse KG mit dem Autor Adolf Adam einen Beitrag über den speziell von der Zuse KG entwickelten Computer Z70 zur Steuerung der Produktion. Der Beitrag in Band 4, 1960 trägt den Titel: "Die Z70 als informationstechnischer Lösung eines betriebsorganisatorischen Problems". Obwohl das Institut für Praktische Mathematik von Alwin Walther an der Technischen Hochschule Darmstadt sogar im gleichen Bundesland Hessen liegt wie die Computerfabrik von Konrad Zuse, hat Zuse niemals in der Zeitschrift der AKOR publiziert, in der Zeitschrift für „Ablauf- und Planungsforschung.“

In den 1960er Jahren wurden OR-Lehrstühle auch in der Schweiz und in der Bundesrepublik Deutschland (BRD) eingerichtet, wo sie auch als Lehrstühle für Unternehmensforschung bezeichnet wurden. Bereits im Jahre 1958 besetzte der habilitierte Mathematiker Hans Künzi einen OR-Lehrstuhl an der Universität Zürich und ab 1966 zusätzlich einen Parallel-OR-Lehrstuhl an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich. Ebenfalls im Jahre 1958 besetzte Rudolf Henn ein Extraordinariat für Ökonometrie und Operations Research an der Handelshochschule St. Gallen. Seit 1962 war Künzi Präsident der Schweizerischen Vereinigung für Operations Research (SVOR). In seinem Eröffnungsvortrag zum Thema „Unternehmensforschung in Wissenschaft, Wirtschaft und Politik“ der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Unternehmensforschung in Bochum 1971 berichtete Künzi von einem Projekt mit dem Wirtschaftsministerium der Schweiz, wo er in einem Optimierungsmodell die kostenminimale Zuweisung von Anbauflächen in der Schweizer Landwirtschaft modellierte, um im Verteidigungsfall die Versorgung der Schweizer Bevölkerung mit Nahrungsmitteln sicherzustellen. Zur Bestimmung der optimalen Lösung lief das Modell eine Stunde auf einem digitalen Hochgeschwindigkeits-Computer. Ferner berichtete er von einer

⁷⁵ Krige, John: American Hegemony and the Postwar Reconstruction of Science in Europe, Cambridge (Mass) 2006.

⁷⁶ Zur Automationsdebatte siehe Richard Vahrenkamp: Von Taylor zu Toyota – Rationalisierungsdebatten im 20. Jahrhundert, Köln 2013.

kostenminimalen Auswahl eines Jagdflugzeuges für das Schweizer Militär und die Optimierung von innerstädtischen Ampelschaltungen.⁷⁷ In diese drei Beispielen fehlen aber industrielle Anwendungen. Aus dem Titel „Unternehmensforschung in Wissenschaft, Wirtschaft und Politik“ bezieht sich Künzi zuerst auf die Wissenschaft und zeigt damit das selbstreferentielle Verständnis des sozialen Raums der Unternehmensforschung an.

Im Jahre 1963 existierten bereits drei Institute für Unternehmensforschung an Universitäten in der BRD:⁷⁸

-
- Institut für Industrielle Unternehmensforschung an der Universität Münster, geleitet von Ludwig Pack, Professor für Betriebswirtschaftslehre.
 - Institut für Ökonometrie und Unternehmensforschung an der Universität Bonn, geleitet von Martin Beckmann, Professor für Volkswirtschaftslehre, nachdem er in den 1940er Jahren mit dem mathematischen Ökonom Tjalling Koopmans (siehe unten) in der Cowles Commission an der Universität Chicago gearbeitet hatte.⁷⁹ Beckmann hatte in den 1950er Jahren Mathematik und Physik an der Universität Göttingen studiert. Mit Koopmans hat Beckmann zu den Themen Quadratic Assignment Problem (siehe unten unter 11.3) und dem Transportproblem (siehe unten unter 11.4) zusammen gearbeitet.
 - Institut für Unternehmensforschung an der Universität Hamburg, geleitet von Herbert Jacob, Professor für Industriebetriebslehre und Organisation.

Dem von Thomas Bradtke in der BRD beobachtete Boom von Operations Research⁸⁰ in den Jahren 1960 bis 1970 verlieh die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) einen beträchtlichen Schwung, als sie im Jahre 1961 das Gebiet Unternehmensforschung in ihr Schwerpunktprogramm aufnahm. In den Jahren 1962 und 1963 finanzierte sie jeweils 16 bzw. 30 Kleinprojekte zur Unternehmensforschung mit ein bis zwei Mannjahren an den Lehrstühlen westdeutscher Universitäten, die weit überwiegend modelltheoretisch ohne einen empirischen Bezug aufgestellt waren, wie die thematische Auflistung aller Projekte offenbarte.⁸¹ Die DFG gab ein Gutachten über den Stand der Unternehmensforschung in Auftrag, das als eine Buchpublikation mit über 400 Seiten im Jahre 1965 erschien. Der Autor, der Diplomingenieur Helmut Brusberg, empfahl eine Verlängerung des DFG-Schwerpunktprogramms und die Aufnahme von „mindestens einem Mathematiker“ in die lokalen OR-Forschungsgruppen.⁸² Von Mathematikerinnen war in dem Gutachten nicht die Rede. Von der räumlichen Nähe des DFG-Sitzes in Bad Godesberg profitierte die wirtschaftswissenschaftliche Fakultät der Universität Bonn. Nicht nur, dass in Bonn eine Literaturstelle für OR von der DFG finanziert wurde, die im Jahre 1963 bereits 836 Bände umfasste.⁸³ Auch konnte die Fakultät in den Jahren 1962 und 1963 zwei bzw. drei Kleinprojekte im Schwerpunktprogramm OR einwerben: Professor Horst Albach, der in der Betriebswirtschaftslehre eine führende Rolle spielte, erhielt die drei modelltheoretischen Projekte:

⁷⁷ Künzi, Unternehmensforschung, 1971, S. 8.

⁷⁸ Brusberg, Unternehmensforschung, 1965, S. 253.

⁷⁹ Zur Rolle von Tjalling Koopmans bei der Cowles Commission siehe Mirowski, Machine, 2002, S. 252.

⁸⁰ Bradtke, Grundlagen, 2003, S. 2.

⁸¹ Brusberg, Unternehmensforschung 1965, S. 313–316.

⁸² A.a.O., S. 319. Siehe auch Albach, Unternehmensforschung, 1967.

⁸³ Katalog der Literaturstelle für Unternehmensforschung, Institut für Ökonometrie und Unternehmensforschung, Universität Bonn 1963-1970, Institut für Ökonometrie und Unternehmensforschung, Bonn, 1971.

-
- Betriebliche Fragen der Investitionspolitik,
 - Anwendungen der Dynamischen Programmierung in der Investitionstheorie und
 - Ablaufplanung und Produktionsplanung.

Und Professor Wilhelm Krelle erhielt von der DFG zwei selbstreferentielle Projekte: „Förderung der Unternehmensforschung“.⁸⁴ Krelle hatte als Diplom-Physiker sein Studium abgeschlossen und spielte bereits bei der Gründung der DGU und als deren stellvertretender Vorsitzender eine entscheidende Rolle im OR-Netzwerk. Andererseits entwickelte er auf der makroökonomischen Ebene große ökonometrische Modelle der Volkswirtschaft der BRD („das Bonner Modell“) und wurde Sprecher des DFG-Sonderforschungsbereichs 21 „Ökonomische Prognose-, Entscheidungs- und Gleichgewichtsmodelle“ der Universität Bonn von 1970 bis 1984. Er forschte im Teilprojekt B1 zu mathematischen ökonometrischen Prognosemodellen der Gesamtwirtschaft.⁸⁵ Um das OR-Schwerpunkt-Programm der DFG in die Wissenschaftspolitik der DFG einzuordnen, sei hier angemerkt, dass die DFG bereits seit 1952 die Entwicklung und Beschaffung von Computern an Universitäten in ihrem Rechner-Programm unterstützt.⁸⁶

Mit einer ökonomischen und mathematischen Ausbildung besetzte Rudolf Henn im Jahre 1966 den Lehrstuhl für Ökonometrie und Unternehmensforschung an der Universität Karlsruhe und stieg mit seiner seit 1963 herausgegebenen Zeitschrift „Operations Research Verfahren“ zu einem der führenden OR-Promotoren in der BRD auf. Der im Jahre 1963 erschienene Band 1 veröffentlichte die Paper der Tagung über OR-Verfahren in der Industrie, die am 9. und 10. Dezember 1959 in Zürich stattfand. Die Tagung wurde von der Forschungsstelle Operations Research und Ökonometrie der Universität Göttingen und dem Institut für Betriebswirtschaftslehre der Hochschule St. Gallen ausgerichtet.⁸⁷ Der im Jahre 1965 erschienene Band 2 enthielt den Eröffnungsvortrag von Henri Theil über „Ökonometrie und Unternehmensforschung“, den er auf der gemeinsamen Tagung von TIMS und der Econometric Society im September 1964 in Zürich gehalten hatte, was den Einfluss von TIMS in Europa und die Verbindung der Fachgebiete OR und Ökonometrie anzeigt. Mit dem Erscheinen von Band 3 versah der Diplom-Mathematiker Burkhardt Rauhut als Mitarbeiter am Lehrstuhl Henn im Institut für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften der Technischen Hochschule Karlsruhe die Funktion der Schriftleitung. Beide, Henn und Künzi, gaben im Jahre 1966 gemeinsam das Grundlagenwerk „Einführung in die Unternehmensforschung“ für die universitäre Lehre in den Heidelberger Taschenbüchern des Springer Verlags in zwei Bänden heraus.⁸⁸

Sechs neu geschaffene OR-Lehrstühle in der BRD deuten auf eine erfolgreiche Institutionalisierung von OR in den sozialen Räumen der Universitäten im Zeitraum 1969 – 1981:

-
- Hans-Jürgen Zimmermann (Lehrstuhl für Unternehmensforschung) an der RWTH Aachen 1969. Zimmermann schloss sein Studium in dem von mathematischen Modellen stark geprägten Studiengang des Diplomingenieurs ab und promovierte in mathematischer

⁸⁴ Brusberg, Unternehmensforschung 1965, S. 313f.

⁸⁵ Zu Wilhelm Krelle siehe Nützenadel, Ökonomen, 2005, S. 118–119.

⁸⁶ Entwicklungstendenzen wissenschaftlicher Rechenzentren, herausgegeben von D. Wall, Berlin 1980, S. 146.

⁸⁷ Zur Geschichte der Ökonometrie siehe Nützenadel, Ökonomen, 2005, S. 91f.

⁸⁸ Henn/Künzi, Einführung, 1966 mit biographischen Daten von Henn und Künzi.

- Volkswirtschaftslehre. Zimmermann führte Methoden von Fuzzy Sets in das OR ein.
- Christoph Schneeweiss (Lehrstuhl für Operations Research) an der FU Berlin 1971. Schneeweiss promovierte zuvor in dem von mathematischen Modellen stark geprägten Fachgebiet Physik. Schneeweiss war 1999 bis 2000 Präsident von EURO (siehe unten).
 - Heiner Müller–Merbach, 1972 Professor für Betriebswirtschaftslehre und Operations Research an der TH Darmstadt. Er war 1961 bis 1967 Assistent am Institut für Praktische Mathematik der TH Darmstadt.
 - Dieter Pressmer (Lehrstuhl für Unternehmensforschung) an der Universität Hamburg 1974. Er schloss sein Studium in dem von mathematischen Modellen stark geprägten Studiengang des Diplomingenieurs ab. Pressmer war Präsident des 9. Weltkongresses der IFORS 1984 (siehe unten).
 - Wolfgang Domschke (Lehrstuhl für Operations Research) an der Bundeswehr Universität Hamburg 1975. Domschke erwarb seine akademischen Grade an der stark mathematisch geprägten Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Technischen Hochschule Karlsruhe.
 - Richard Vahrenkamp (Lehrstuhl für Operations Research) an der Universität–Gesamthochschule Kassel 1981. Vahrenkamp schloss sein Studium an der Universität Heidelberg als Diplom–Mathematiker ab. Er promovierte und habilitierte in mathematischer Wirtschaftstheorie an der Universität Karlsruhe (TH).

Ebenso wie im Operations Research läßt sich im verwandten Feld der Spieltheorie die These belegen, dass Mathematiker Stellen in ökonomischen Fakultäten besetzt hatten, wie die Karrieren von prominenten Gelehrten für Spieltheorie anzeigen, wie Robert Aumann, Reinhard Selten und Joachim Rosenmüller. Alle drei erwarben den Dokortitel in Mathematik, bevor sie Spieltheoretiker wurden. Robert Aumann gründete 1989 an der Stony Brook University auf Long Island, New York, das bekannte Center for Game Theory in Economics. Er erhielt 2005 den Nobelpreis für Wirtschaftswissenschaften. Reinhard Selten wurde 1969 ordentlicher Professor an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Freien Universität Berlin und ging 1972 an das neu gegründete Zentrum für mathematische Wirtschaftstheorie der Universität Bielefeld. Das Zentrum wurde Teil der erst 1974 neugegründeten Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Universität Bielefeld. Selten erhielt 1994 den Nobelpreis für Wirtschaftswissenschaften. Joachim Rosenmüller wurde 1972 ordentlicher Professor an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Universität Karlsruhe und ging 1978 an das das Zentrum für mathematische Wirtschaftstheorie der Universität Bielefeld.

Der von Thomas Bradtke in der BRD beobachtete Boom von Operations Research hielt nach dieser Aufstellung auch in den Jahren 1970 bis 1980 an.⁸⁹ Die Tendenz, OR–Lehrstühle an wirtschaftswissenschaftlichen Fakultäten vornehmlich mit mathematisch ausgebildeten Bewerbern zu besetzen, kann man hier bloß konstatieren. Der Grund für das hohe Ansehen dieser Bewerberkategorie an den wirtschaftswissenschaftlichen Fakultäten läßt sich nur durch Studium der Archivbestände erschließen, wo Akten von Berufungsverfahren Aufschluss geben könnten. Man kann allgemein ein hohes Ansehen von den modernen, aus den USA stammenden quantitativen Verfahren in Europa annehmen, das auch in der Presse von zahlreichen Bildreportagen über das Eintreffen von

⁸⁹ Bradtke, Grundlagen, 2003, S. 2.

Großcomputern aus den USA per Luftfracht auf Flughäfen der BRD und der Schweiz geschaffen und unterstützt wurde.⁹⁰

Hans Künzi und Martin Beckmann gewannen im deutschsprachigen Raum des OR-Forschungs-Netzwerkes eine beherrschende Stellung, als sie im Jahre 1968 die Softcover Lecture Notes Reihe im wissenschaftlichen Springer Verlag unter verschiedenen Reihentiteln herausgaben: Die „Lecture Notes in Operations Research and Mathematical Economics“, die ab Band 15 in „Lecture Notes in Operations Research and Mathematical Systems“ umbenannt wurde (vergl. Abbildung 2). Ab 1971 und ab Bandnummer 60 hieß die Reihe dann „Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems“.⁹¹ Den Band 1 der OR-Reihe über Entscheidungen bei Unsicherheit verwandte Künzi gleich als Schulungsmaterial für die SVOR.⁹² Mit dieser Reihe erschloss der Springer Verlag ein neues Publikationsformat, das auf Vervielfältigung von Schreibmaschinenmanuskripten mit dem Offsetverfahren basierte, damit den aufwendigen Bleisatz umging und eine rasche Publikation nach Manuskripteinreichung ermöglichte. Die Reihe wuchs explosionsartig. Die Reihe „Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems“ erreichte im Jahre 1979 die Anzahl von 170 Titeln, d.h. 16 Titel pro Jahr seit 1968, wie die Herausgeber in einem Sonderband dokumentierten.⁹³ Die Reihe erreichte bereits im Jahre 1970 die Anzahl von 50 Titeln, d.h. auch 16 Titel pro Jahr.⁹⁴ Vor dem Erfolg der Lecture Notes Reihe legten Hans Künzi und Wilhelm Krelle das Fundament für die Hard-Cover-Buchreihe „Ökonometrie und Unternehmensforschung“ im Springer Verlag. Der Band 1 war Künzi/Krelle/Oettli: Nichtlineare Programmierung, 1962. Dann kam erst vier Jahre später 1966 der Band 2 heraus mit der deutschen Übersetzung von Dantzig's Buch „Linear Programming and Extensions“. Innerhalb von 10 Jahren folgten dann 20 weitere Bände.⁹⁵ Das von Alexander Nützenadel geprägte Diktum „Stunde der Ökonomen“ scheint auf die 1970er Jahre zuzutreffen, wenn man die rasante Expansion der Lecture Notes Reihe und Künzis und Krelles Hard-Cover-Reihe bedenkt.

⁹⁰ Vergl. das großartige Presseecho vom Eintreffen eines UNIVAC Rechners auf dem Frankfurter Rhein-Main-Flughafen in einer PAN AM Frachtmaschine am 6. August 1956. Der Rechner war für das Auftragsforschungsunternehmen Battelle in Frankfurt a.M. bestimmt, siehe Die Lochkarte – Hausmitteilungen der Remington Rand GmbH Frankfurt a. M., Nr. 168, 1956, S. 1973.

⁹¹ Zu den Reihentiteln und Reihenbezeichnungen siehe Derigs/Burchard 1980, Innenumschlag. Beckmann, Unternehmensforschung heute, 1971, Verzeichnis der Titel im Innenumschlag.

⁹² H. Bühlmann u.a.: Einführung in die Theorie und Praxis der Entscheidung bei Unsicherheit, Berlin 1968, zweite Auflage 1969.

⁹³ Beckmann/Künzi 1979.

⁹⁴ Beckmann, Unternehmensforschung heute, 1971, Verzeichnis der Titel.

⁹⁵ Eine Liste der erschienenen Bände ist abgedruckt in Burkhard/Derigs: Assignment und Matching Probleme, 1980, Innenumschlag. Bereits vor den Lecture Notes Reihen veröffentlichte der Akademie Verlag in Ostberlin 1965 die Protokolle der Tagung „Mathematik und Kybernetik in der Ökonomie“ in einem ähnlichen Format wie die Lecture Notes Reihen. Softcover, Offsetdruck, um eine rasche Publikation zu ermöglichen, wie das Vorwort hervorhob, und ein farbiger, markanter Querbalken auf dem Titel (siehe Abbildung 8 unten). Offenbar gab diese Publikation ein Vorbild für die Lecture Notes Reihen ab.

Die anschwellende Publikationsflut zum Thema OR in den 1970er Jahren wird auch deutlich, wenn man die deutschsprachigen Bücher mit „Operations Research“ im Titel einer Bibliothek nach Erscheinungsjahren auflistet. Für die Bibliothek der Technischen Universität Berlin ergab sich im Jahre 2019 folgende Verteilung von Titeln (einschließlich Neuauflagen) nach Dekaden:

Zeitraum	Anzahl der Titel
vor 1958	0
1958–1965	13
1966–1975	85
1976–1985	50
1986–1995	47
1996–2005	18
2006–2015	10

Tabelle: Anzahl der deutschsprachigen OR-Bücher nach Dekaden in der Bibliothek der TU Berlin

Für die Zeit nach 1995 ist ein deutlicher Rückgang erkennbar. Es sei angemerkt, dass Krelle und Beckmann auch zum Gründungskuratorium des Bielefelder Instituts für mathematische Wirtschaftsforschung zählten und dort 1971 den Spieltheoretiker Reinhard Selten (zuvor an der FU Berlin) und den Ökonomen Carl Christian von Weizsäcker (zuvor an der Universität Heidelberg) als Professoren beriefen.

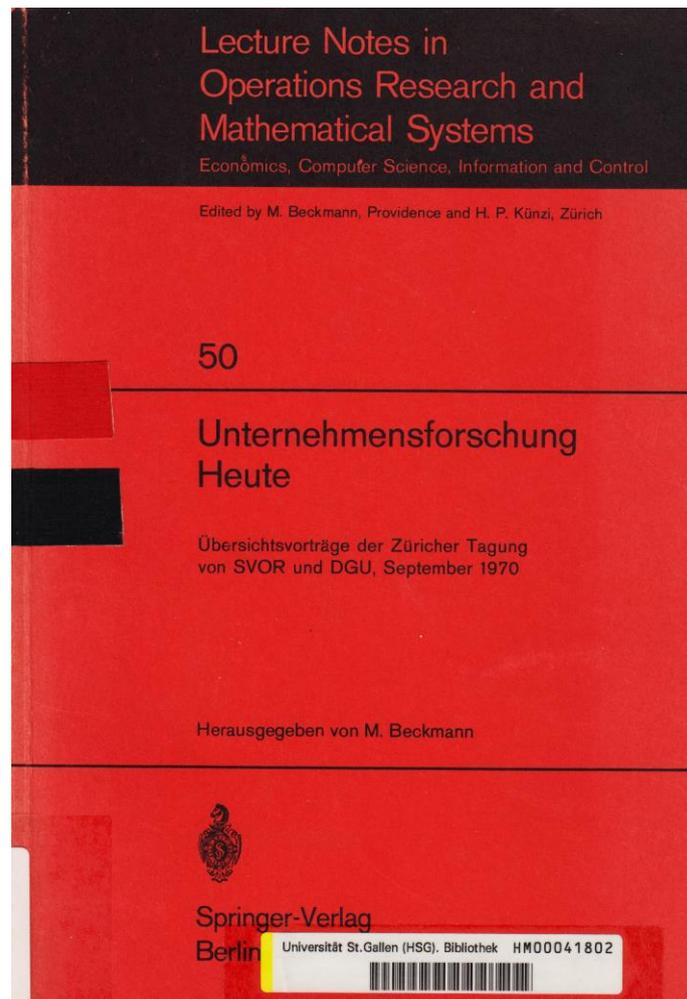


Abbildung 2: Lecture Notes Reihe im Springer Verlag, Band 50, 1971.

Der Cover von Band 50 der OR-Reihe stellt einen Bezug zu „Computer Science“ her, wie aus Abbildung 2 hervorgeht. Damit partizipiert die Reihe in irreführender Weise am Prestige dieses Computerfachgebietes, da das OR gar keine Computeranwendungen vorweisen konnte, wie ausgeführt wird. Wie die einzelnen Titel anzeigen, vereinigte die Lecture Notes Reihe einen bunten Strauß verschiedenartigster Themen, aber keine Computeranwendungen: z.B. OR-Verfahren für betriebliche Anwendungen, wie z.B. Warteschlangenberechnungen. Dann traten Titel auf zur Statistik, zur Ökonometrie und zur Volkswirtschaftslehre. Rudolf Henn veröffentlichte gemeinsam mit Otto Opitz ein Lehrbuch mit einem Standardtext zur neoklassischen Konsum- und Produktionstheorie (OR-Reihe, Band 25, 1970), das als Begleitmaterial zu den Grundvorlesungen an der TH Karlsruhe eingesetzt wurde. Aber auch Forschungsberichte wurden veröffentlicht. Carl Christian von Weizsäcker, Professor für Volkswirtschaftslehre an der Universität Heidelberg, veröffentlichte einen Forschungsbericht zu Steady State Capital Theory (OR-Reihe, Band 54, 1971). Als Band 50 der OR-Reihe gab Martin Beckmann den Band „Unternehmensforschung heute“ im Jahre 1971 heraus (vergl. Abbildung 2), der sechs rein mathematische Übersichtsvorträge ohne einen empirischen Bezug der gemeinsamen Tagung von SVOR und DGU in Zürich im September 1970 enthielt:

- W. Dinkelbach: Über einen Lösungsansatz zum Vektormaximumproblem,
- F. Fenschel: Neuere Entwicklungen auf dem Gebiet der Warteschlagentheorie,
- D. Hochstädter: Neuere Entwicklungen der stochastischen Lagerhaltungstheorie,
- P. Kall: Entwicklungstendenzen in der mathematischen Optimierung,

- B. Korte: Ganzzahlige Programmierung,
- W. Uhlmann: Grundbegriffe der Entscheidungstheorie.

Als günstig zur Vermarktung von mathematischen OR–Verfahren erwies sich, dass die Herausgeber der Economics Reihe die „Mathematical Systems“ mit „Economics“ im Reihentitel kombinierten und so den „Mathematical Systems“ eine inhaltliche Relevanz vermittelten.

Zur Bildung eines internationalen, selbstreferentiellen Systems Operations Research trug die internationale Kooperation von nationalen OR–Gesellschaften bei und erklärt deren explosionsartiges Wachstum. Bereits im Jahre 1959 gründeten die US–amerikanische, die englische und die französische nationale OR Gesellschaft die International Federation of Operations Research Societies (IFORS).⁹⁶ Die Vorläufer–Konferenz der IFORS am 2. bis 6. September 1957 in Oxford (England), organisiert von TIMS, ORSA und der englischen OR–Gesellschaft, wies 250 Teilnehmer auf, vornehmlich aus den Nato–Staaten und aus dem britischen Commonwealth, darunter aber zwei polnische Teilnehmer als einzige aus dem kommunistischen Block.⁹⁷ Der später als Management–Berater berühmt gewordene Stafford Beer vom britischen Konzern United Steel referierte dort – in Ermangelung eines digitalen Hochleistungscomputers – zur Simulation von Produktionsprozessen mit mechanischen Analogcomputern: „The Mechanical Simulation of Stochastic Flows“.⁹⁸ Auch beteiligten sich sieben Mitglieder des westdeutschen Arbeitskreises Operational Research (AKOR). Der Diplom–Mathematiker Helmut Kregeloh referierte als Vorsitzender der AKOR über die Verbreitung von OR–Methoden in Deutschland, Österreich und der Schweiz. Er berichtete ferner über die Gründung der AKOR im Jahre 1957 in Darmstadt und den Einsatz eines Analogcomputers zur Lösung von OR–Problemen an seinem Institut für Praktische Mathematik der TH Darmstadt.⁹⁹ Zur zweiten Konferenz der IFORS in Aix–en–Provence vom 5. bis 9. September 1960, die bereits 350 Teilnehmer vereinigte, entsandte die AKOR 10 deutsche AKOR–Mitglieder und einen Vertreter der GAMM.¹⁰⁰ Die IFORS erreichte im Jahre 1960 bereits 10 nationale Mitglieder, die alle – bis auf Indien und Australien – aus dem Westbündnis der Nato stammten: Niederlande, Norwegen, Frankreich, Belgien, Canada, USA und Großbritannien. Auf der dritten Konferenz der IFORS in Oslo vom 1. bis 5. Juli 1963 berichteten zwei Mitglieder der AKOR über Arbeitsergebnisse aus der Praxis.¹⁰¹ Für die junge Bundesrepublik waren diese internationalen Kontakte äußerst wichtig, um im Nachkriegseuropa ein wenig Reputation zu erlangen. Im Jahre 2006 nahm die IFORS Stafford Beer in die OR Hall of Fame auf.¹⁰²

Im Jahre 1975 vereinigte der Aachener OR–Professor Hans–Jürgen Zimmermann elf nationale OR–Gesellschaften Westeuropas (d.h. unter Ausschluss von Ländern aus dem Ostblock) unter dem

⁹⁶ Rand, Graham: IFORS: the formative years, in: International Transactions in Operational Research, 7(2000), S. 101–107.

⁹⁷ Davies, Max (Hersg.): International Conference on Operational Research (Oxford), London 1957, Vorwort, S. 523. Bei den polnischen Teilnehmern handelte es sich Professor Jan Oderfeld und Professor Rajski, beide Institut für Mathematik der Universität Warschau.

⁹⁸ Ebenda, S. 166–175.

⁹⁹ Ebenda, S. 494. Zur Rolle von Analogcomputern in der Luft– und Raumfahrt siehe Vahrenkamp, Richard: The Computing Boom in the US Aeronautical Industry, 1945–1965, in: ICON – The Journal of the International Committee for the History of Technology, Band 24, 2019, 127–149.

¹⁰⁰ Ablauf– und Planungsforschung, Band 2, 1961, Heft 1, S. 15, Ablauf– und Planungsforschung, Band 3, 1962, Heft 1, S. 117.

¹⁰¹ Brusberg, Unternehmensforschung, 1965, S. 242.

¹⁰² Rosenhaed 2006.

Dach „EURO“.¹⁰³ Während die IFORS ihre internationalen Tagungen im Dreijahresrhythmus veranstaltete, bot EURO in den verbleibenden Zweijahreslücken ihre internationalen Konferenzen an, die von bis zu 2000 Teilnehmern besucht wurden, wie die EURO Webseite berichtet. EURO gab seit 1976 das *European Journal of Operational Research* heraus, dessen explosionsartiges Wachstum man daran ermesen kann, dass im Jahre 1996 bereits der 96. Band erschien. Diese internationalen Kooperationen bildeten ein selbstreferentielles System. Ein(e) OR-Forscher/inn an einer Universität in der BRD konnte jährlich die Tagungen der DGOR besuchen, dort Referate halten und diese als Paper in den Proceedingsbänden veröffentlichen. Diese Schritte steigerten die wissenschaftliche Reputation. Ohne dass die Qualität der Papiere noch einmal anwuchs, konnten Forscher die national präsentierten Papiere unverändert noch einmal auf der internationalen Ebene präsentieren, so ihre Reputation verdoppeln und mit einer abwechslungsreichen Auslandsreise verbinden. John Krige beschrieb, wie in den 1950er Jahren die USA durch den Export von Soft-Power nach Europa die Werte der europäischen Wissenschaftler auf die liberalen Werte der USA orientieren wollte, um ein Bollwerk gegen den Kommunismus zu errichten. Instrumente waren ein Austausch von Wissenschaftlern, wissenschaftliche Konferenzen und Sommer Schools. Ob die Gründung der IFORS von den USA finanziell unterstützt wurde, ist blieb bisher unerforscht. Gleichwohl fällt das Muster der IFORS in die Soft-Power-Politik der USA.¹⁰⁴ An der ersten IFORS Konferenz in Oxford 1957 nahmen allein 57 Wissenschaftler aus den USA teil.¹⁰⁵ Dass das durch den Zweiten Weltkrieg verarmte Europa keine internationalen Konferenzen, die teure Trans-Atlantik-Tickets erforderten, finanzieren konnte, liegt auf der Hand. Rand weist auf die travel funds durch UNESCO, UN oder OEEC hin.¹⁰⁶

Wie eine Analyse der Proceedingsbände der DGOR ergab, waren die weitaus meisten Beiträge modelltheoretisch ohne einen empirischen Teil, der erhobene Daten präsentiert hätte. Damit bot das selbstreferentielle System Operations Research eine Plattform für umfangreiche modelltheoretische Aktivitäten, die von der Notwendigkeit abschirmte, in Unternehmen empirische Daten zu erheben. Auf Jahrestagung der DGOR 1981 in Göttingen hatte bereits Heiner Müller-Merbach, seit 1972 Professor für Betriebswirtschaftslehre und OR an der TH Darmstadt, gegen die hypothetische und nominelle Art vieler OR-Papiere Stellung bezogen, die etwa einleitend einen fiktiven Industriebetrieb mit den Worten „Ein Industriebetrieb habe drei Maschinen...“ beschwören, um dann den modelltheoretischen Ansatz fortzuführen. Er forderte eine stärkere empirische Orientierung. Jedoch blieb sein Appell ohne Wirkung, und die Kongress-Maschinen von DGOR, EURO und TIMS liefen ungestört zur Reputationsgewinnung weiter. Die Jahrestagung der GOR 2017 in Berlin besuchten noch immerhin 900 Personen.¹⁰⁷

Das Bild, das AKOR, DGU und DGOR vom Operations Research in der Fachöffentlichkeit zeichnete, führte in der BRD der 1960er Jahre zu einer übersteigerten Erwartung von Unternehmensführern. Das Universitätsseminar der Wirtschaft der Universität Bonn, das sich als Weiterbildungsinstitut für

¹⁰³ Euro – The Association of the European Operational Research Societies, Newsletter 2, Brüssel 1975. Zimmermann, Founding 1995.

¹⁰⁴ Krige, John: *American Hegemony and the Postwar Reconstruction of Science in Europe*, Cambridge (Mass) 2006.

¹⁰⁵ Davies et al., *First International Conference*, S. 526.

¹⁰⁶ Rand, IFORS, 2000, p. 104. Kline (2015) gibt ein Beispiel für die Finanzierung der Besuche des Symposiums Informationstheorie in London 1955, was auch gendermäßig interessant ist, weil die Anthropologin Margaret Mead keine Finanzierung erhielt, S. 113f.

¹⁰⁷ Die GOR war die Nachfolgeorganisation der DGOR. <http://www.gor-ev.de/rueckblick-or-2017-in-berlin>. (Zugriff am 30.5.2018).

Führungskräfte der Wirtschaft verstand, kritisierte in einer Veröffentlichung des Jahres 1971 diese Erwartungen: „Man denkt sich die Unternehmensforschung als eine Art Werkzeugkiste voller exotischer mathematischer Verfahren...Diese Vorstellungen werden auf die Spitze getrieben, wenn die mathematischen Verfahren in Verbindung mit der immer noch mystischen Rolle des Computers gesehen werden... So hegte ein Vorstandsmitglied eines großen Energieversorgungsunternehmens die Erwartung, man müsse nur einige Daten sammeln und einige Maschinenprogramme aus dem Regal ziehen, um am anderen Ende des Computers den optimalen Investitionsplan...in Empfang zu nehmen.“¹⁰⁸ Insofern entsprachen diese Erwartungen von Führungskräften der Wirtschaft genau dem Bild, was die OR–Hochschulforscher mit ihrem selbstreferentiellen Ansatz verfolgt hatten.

An der hier vermittelten Geschichte der Institutionalisierung von OR fällt die Doppelrolle zahlreicher Lehrstühle auf den Gebieten des OR und der Ökonometrie auf. Es handelt sich um die Lehrstühle von Drèze, Beckmann, Henn (seit 1958) und Krelle. Auch zahlreiche Tagung organisierten Panels sowohl für Ökonometrie wie auch für OR. Ferner boten Beckmann und Künzi in ihrer Lecture Notes Reihe Veröffentlichungen zu beiden Fachgebieten an. Martin Beckmann gab 1979 zusammen mit Günter Menges und Reinhard Selten das Handbuch der mathematischen Wirtschaftswissenschaften heraus, das Teilbände zur Unternehmensforschung und zur Ökonometrie enthielt. Wissenschaftshistorisch ist die Doppelrolle von OR und Ökonometrie bemerkenswert, da es sich um eine Kopplung von zwei inkompatiblen Gebieten handelt. Ökonometrie ist makroökonomisch orientiert und verwendet als bedeutsamen Input für ihre mathematischen Modelle empirische Daten über die Volkswirtschaft und deren Verflechtungen, die sie vom Statistischen Bundesamt bezieht. Ökonometrie zählt damit zur empirischen Wirtschaftsforschung, die Voraussagen macht und daher für die Politikberatung und in volkswirtschaftlichen Abteilungen von Banken relevant ist.¹⁰⁹ Andererseits ist Operations Research auf betriebliche Abläufe fokussiert und stellt unabhängig von empirischen Daten mathematische Verfahren bereit, ohne Voraussagen zu machen.

Ebenfalls in die sozialistische DDR wurden die Ideen von Operations Research verbreitet (vergl. Abschnitt 12). Dort wurde nicht der Terminus Unternehmensforschung verwendet sondern Operationsforschung. Das Grundlagenwerk von Werner Dück und Manfred Blieferich erschien 1971 in einem dreibändigen Werk in Ost–Berlin, das als ein Remake des Buches von Henn und Künzi aufgefasst werden kann.¹¹⁰ Auch in Band 1 gibt es, wie bei Henn und Künzi, lediglich mathematische Grundlagen in Analysis und Linearer Algebra. Der Band 2 behandelt die Spieltheorie.

¹⁰⁸ Hanssmann, 1971, S. 25.

¹⁰⁹ Nützenadel, Ökonomen, 2005, S. 92.

¹¹⁰ Dück/Blieferich, Operationsforschung, 1971.

5 Die zögernde Anwendung von Operations Research in der Industrie

In einem deutlichen Unterschied zur Publikationsflut über theorieorientierte OR–Themen blieb die Anwendung von OR–Methoden in der Industrie jedoch gering. Martin Beckmann drehte dieses Verhältnis von Theorieangebot und Nachfrage von Anwendern einfach um, als er 1979 das Gegenteil behauptete: “Mathematische Verfahren finden im Wirtschafts– und Sozialbereich immer weitere Anwendungen, vor allem dort, wo es um die Entscheidungsfindung in komplizierten Situationen geht. Gerade die Unternehmensforschung, bei der es um die Anwendung von mathematischen Modellen für wirtschaftliche Entscheidungen geht, hat sich aufgrund dieses Bedarfs...schnell entwickelt.“¹¹¹

Die geringe Anwendung von OR in den sozialen Räumen der Industrie sprach der Präsident von TIMS und Chef der mathematischen Abteilung von RAND, Merrill Flood, an, als er in seiner Präsidenschaftsadresse im Jahre 1955 konzedierte, dass OR zwar allgemein als wichtig anerkannt würde, aber doch bloß gewissermaßen „in der Luft“ läge.¹¹² Als Promotor der Linearen Optimierung betonte Dantzig, dass die erste Anwendung dieser Methode in der Industrie die Planung von Flugbenzin in einer Petroleumsraffinerie im Jahre 1951 war.¹¹³ Wie Dantzig in seinem Buch von 1963 anmerkte, war die Akzeptanz der Industrie, die Lineare Optimierung in der Produktionsplanung einzusetzen, aber verhalten.¹¹⁴ In anderen Veröffentlichungen berichtet er von der erfolgreichen Anwendung in der Ölindustrie.¹¹⁵ Auch gab es Hinweise zum Einsatz von OR–Verfahren in der Stahl– und Chemie–Industrie der BRD, wie eine empirische Erhebung von Volker Steinecke im Jahre 1973 ergab.¹¹⁶ Im Jahre 1957 erntete der Linear–Programming–Ansatz in der Ölindustrie ausgerechnet von der RAND Corporation Kritik als zu stark vereinfacht. Der Maximalgewinn einer Raffinerie würde von vielen anderen zusätzlichen Einflussfaktoren, die nicht im Modell aufgenommen seien, abhängen.¹¹⁷ Diese Einwände beziehen sich auf die Validität von Linear–Programming–Ansätzen. Validität ist ein von der angewandten Statistik kultiviertes Gütekriterium der Modellbildung, das von der OR–Literatur ansonsten ignoriert wird. Der im Jahre 1959 veröffentlichte Ansatz des verhaltenswissenschaftlichen Ökonomen Herbert Simon, sich bei der Modellierung mit einer beschränkten Rationalität abzufinden, bringt die Kosten der Informationsbeschaffung als Grenze für die Modellverfeinerung in Anschlag. Simons verhaltenswissenschaftlicher Ansatz ist ein Gegenpol zum mathematischen Paradigma des Operations Research.¹¹⁸ In der Computermodellierung

¹¹¹ Beckmann, Unternehmensforschung 1979, Vorwort.

¹¹² Flood, Objectives, 1956.

¹¹³ Charnes/Cooper/Mellon, Blending, 1952.

¹¹⁴ Dantzig, Programming, 1963, S. 28. Das Buch erschien unter dem Copyright von RAND.

¹¹⁵ Dantzig, Operations Research in the World, 1965. Siehe auch Steinecke, 1973.

¹¹⁶ Steinecke, Lineare Planungsmodelle. Die Lineare Zuschnittoptimierung in der Stahlindustrie beschreibt Volkmar Kussl: Die Lenkung von Fertigungsprozessen, in Helmar Frank (Herg.): Kybernetischen Maschinen, Frankfurt 1964, S. 251–265, hier 257.

¹¹⁷ Goldstein, J.R.: Scientific Aids to Decision Making – A Perspective, in: Max Davies et al. (Herg.): Nato Conference, London 1958, S. 53–56, hier S. 56.

¹¹⁸ Herbert Simon: Theories of decision making in economics and behavioural science. In: American Economic Review. Vol. 49, No. 3, 1959, S. 253–283. Simon schwankte zwischen dem verhaltenswissenschaftlichen Ansatz und mathematischen OR–Papern, siehe Erickson et al., How Reason, S. 207.

von dynamischen Systemen, wie z.B. Klimamodellen, wird das Problem der Modellverfeinerung als Closure–Problem diskutiert.¹¹⁹

Der geringe Erfolg von OR–Methoden steht auch in Zusammenhang damit, dass US–Unternehmen bereits in den 1930er und 1940er Jahren vermehrt wissenschaftliche Methoden in der Unternehmensführung eingesetzt haben und von daher der Bedarf nach Beratung nicht ausgeprägt war. Die Beratungsleistungen zur Einführung und Verbesserung von Lochkartentechnik in den Unternehmensverwaltungen durch die Aussendienstorganisationen der Firmen IBM und Powers seien hier erwähnt.¹²⁰ Auch in Deutschland führte die Leistungsmobilisierung der NS–Kriegswirtschaft zu einem hohen Stand der wissenschaftlichen Durchdringung des Produktionsprozesses, der zunächst keinen Bedarf an OR–Beratern auslöste.¹²¹

Anders war die Lage in Großbritannien, wo die Unternehmensführung große Defizite aufwies. Dort wurde OR erfolgreich in den Stadtwerken und in der Grundstoffindustrie angewandt. Man sprach vom „Goldenen Zeitalter des OR“ in der Spanne von 1945 bis 1970. OR wurde als Mittel gesehen, die Industrie zu modernisieren. Vor allem auf Verbandsebene – also entfernt von der Empirie eines Stahlwerkes – wurden OR–Forschungsgruppen installiert, wie z.B. die von Sir Charles Goodeve 1950 gegründete OR Research Gruppe der British Iron and Steel Research Association.¹²² Auch der märchenhafte Aufstieg von Stafford Beer, geboren 1926, zum international angesehenen Management–Berater begann in der britischen Stahlindustrie. In dem typischen britischen Karrieremuster des Gentleman–Managers hatte Beer bloß ein Jahr Psychologie und Philosophie studiert, bevor er in den Armee–Dienst in Indien ging. Als er 1949 die Armee im Rang des Captains verließ, trat er mit 23 Jahren in eine Tochtergesellschaft von United Steel in Sheffield als Management–Trainee ein und konnte dort erfolgreich eine OR–Gruppe gründen, die er dann auf die gesamte United Steel Gruppe ausdehnen konnte. In seiner OR–Gruppe beschäftigte er in der Spitze 70 Mitarbeiter – wahrscheinlich weltweit die größte OR–Gruppe in einem Privatunternehmen – und erhielt im Jahre 1956 den ersten digitalen Groß–Computer (Ferranti Pegasus), der außerhalb des Feldes von Scientific Computing (d.h. vor allem für Rüstungsprojekte) für Management–Fragen bei United Steel eingesetzt werden konnte.¹²³ Beers OR–Gruppe war damit wahrscheinlich weltweit die erste OR–Gruppe, die über einen digitalen Hochgeschwindigkeitscomputer verfügen konnte.¹²⁴ Ein wichtiges Thema war für Beer die Simulation von industriellen Produktionsprozessen. Hier war sein hier war

¹¹⁹ Peter Müller und Hans von Storch: *Computer Modelling in Atmospheric and Oceanic Sciences*, Berlin 2004, S. 36–39.

¹²⁰ Atsushi Akera, *Calculating a Natural World - Scientists, Engineers, and Computing during the Rise of U.S. Cold War Research*, MIT Press 2007.

¹²¹ Kirby, Maurice und R. Capey: *The Origins*, S. 309. Flachowsky, Sören: *Das Reichsamt für Wirtschaftsausbau als Forschungsbehörde im NS-System. Überlegungen zur neuen Staatlichkeit des Nationalsozialismus*, in: *Technikgeschichte*, Jahrgang 82 (2015), Heft 3, S. 185–224.

¹²² Kirby, Maurice und R. Capey: *The Origins and Diffusion of Operational Research in the UK*, in: *The Journal of the Operational Research Society*, Vol. 49, 1998, No. 4, S. 307–326. Kirby, Maurice: *Operational Research in War and Peace: The British Experience from the 1930s to 1970*, London 2003.

¹²³ Die Bio–Daten zu Beer sind entnommen aus Jonathan Rosenhead: *IFORS'Operational Research Hall of Fame: Stafford Beer*, in: *Intl. Trans. in Op. Res.* 13(2006), S. 577–581. In seiner Veröffentlichung „*The Scope for Operational Research in Industry*“, London 1957, gibt Beer die Größe seiner OR–Gruppe noch mit 25 Personen an. Zum Gentleman Manager in Großbritannien siehe Jon Agar: *The government machine: a revolutionary history of the computer*, MIT Press 2003. Beer gibt in seinem Vortrag 1957 in Oxford die Größe seiner OR Gruppe mit 25 Forschern an, siehe Fussnote 121.

¹²⁴ In den USA gingen die ersten von IBM ausgelieferten digitalen Hochgeschwindigkeitscomputer des Modells 701 an militärischen Einrichtungen oder in die Flugzeugindustrie.

sein Ansatz ähnlich wie der von Jay Forrester zur Simulation von industriellen Prozessen. Auf dem internationalen OR-Kongress 1957 in Oxford trug er vor zur Simulation mit einem elektromechanischen Analogcomputer mit dem Monte Carlo Ansatz, d.h. eine Simulation ohne eine Verwendung eines Digitalcomputers.¹²⁵ Beer war stark von Norbert Wiener's weit verbreitetem Buch „Cybernetics“ (10. Auflage New York 1952) beeinflusst.¹²⁶ Er vertrat einen interdisziplinären und partizipativen Ansatz und wurde auch bekannt durch seine Publikationen, wie das Buch „Cybernetic and Management“, das 1959 erschien, 1967 eine dritte, erweiterte Auflage erhielt und in zahlreiche Sprachen übersetzt wurde, oder das Buch „Decision and Control: the Meaning of Operational Research and Management Cybernetics“, das 1967 in der fünften Auflage in London erschien.

Anders als in Großbritannien gab es aber in den USA und in Westdeutschland Hindernisse bei der breiten Anwendung von Operations Research in den sozialen Räumen der Unternehmen, auch insofern, als die Modelle empirische Daten benötigten, um optimale Lösungen berechnen zu können. Die Daten waren aber erst in den Unternehmen zu erheben. Dieses Datenproblem wird in den OR-Veröffentlichungen meistens mit formelmäßigen Äußerungen heruntergespielt. In seinem 1963 erschienenen Grundsatzpapier „Verfahren des Operations Research und ihre Anwendungen in der Industrie“ in Band 1 seiner Zeitschrift „Operations Research Verfahren“ schreibt Rudolf Henn: „Bei vielen betrieblichen Abläufen kommt es vor, dass man in jeder Zeitperiode für die Größen [gemeint sind Variable – R.V.] eine Wahrscheinlichkeitsverteilung hat.“ Wie man diese Wahrscheinlichkeitsverteilungen ermittelt, sagt er nicht. Auch andere Professoren konnten diese Fragen nicht beantworten. Vielmehr bildete sich eine Arbeitsteilung zwischen Universitäten und „Praktikern“ in industriellen Unternehmen heraus. Wie die oben gezeigten Themen der DFG-Kleinprojekte zu OR von Professor Horst Albach erkennen lassen, sind diese ausschließlich modelltheoretisch ohne einen empirischen Bezug angelegt. Albach leitete auch das Universitätsseminar der Wirtschaft der Universität Bonn, das sich als Weiterbildungsinstitut für Führungskräfte der Wirtschaft verstand. Für dieses Seminar ließ er von dem Unternehmensberater Friedrich Hanssmann eine Schrift zur Unternehmensforschung erstellen, worin Hanssmann die Schwierigkeiten der Datenerhebung im Unternehmen lebhaft schilderte.¹²⁷ Albach schrieb das Vorwort und dankte Hanssmann für seine mühevollen Arbeit. Damit hatte Albach, der mit seinen DFG-Projekten und seinem 1967 erschienenen Paper als ein Promotor der Unternehmensforschung gelten kann,¹²⁸ die Verantwortung für empirische Forschung auf einen Praktiker abgeschoben. Auch Albach deutete die zögernde Anwendung von OR-Methoden in der Industrie an.¹²⁹ Nievergelt u.a. sprechen in ihren praktischen Studien zur Unternehmensforschung von den „hohen Opfern“, die ihre Firma bei der Einführung von OR leisten musste.¹³⁰

Um Daten zu gewinnen, mussten die mathematisch orientierten OR-Forscher an den Universitäten sich in die sozialen Räume von Unternehmen begeben, wofür sie allerdings keine sozialwissenschaftliche Ausbildung aufweisen konnten. Aus der Sicht des Managements eines Unternehmens ist es bekannt und nach Simons Ansatz der beschränkten Rationalität plausibel, dass Daten über

¹²⁵ Stafford Beer: The Mechanical Simulation of Stochastic Flow, in: Davies, Max (Hrsg.): International Conference on Operational Research (Oxford), London 1957. Forrester, Industrial, 1961, S. 166–175.

¹²⁶ Zur Geschichte der Kybernetik siehe Thomas Rid: Maschinendämmerung. Eine kurze Geschichte der Kybernetik, Berlin 2016.

¹²⁷ Hanssmann, Unternehmensforschung, 1971, S. 25.

¹²⁸ Albach, Unternehmensforschung, 1967.

¹²⁹ A. a. O., S. 254.

¹³⁰ Nievergelt, E, O. Müller, F. Schlaepfer: Praktische Studien zur Unternehmensforschung, Vorwort.

die einzelnen betrieblichen Vorgänge innerhalb des Unternehmens zu sammeln, sowohl mühsam als auch teuer ist. Auch gibt es Widerstände des unteren Managements, den eigenen Entscheidungsbereich durchleuchten zu lassen.¹³¹ Daher balanciert das Management zwischen der Qualität der Daten und den Kosten der Erhebung und neigt eher zu einfachen Regeln. In seiner auf Umfragen in den Jahren 1970 und 1971 beruhenden empirischen Untersuchung zum OR-Einsatz in Unternehmen der BRD räumt Rolf Gössler ein, dass selbst „erfahrene Unternehmen“ über kein Rechnungs- und Informationssystem verfügen, das den Datenerfordernissen von OR-Studien gerecht wird.¹³² Aber die OR-Berater mussten über die Barriere der Datenerhebung springen, um Daten hoher Qualität zu gewinnen, die sie in ihre verfeinerten OR-Modelle einbauen konnten. Wegen dieser Schwierigkeiten blieb letztlich das Ausmaß der Anwendungen von Operations Research in den Unternehmen niedrig.

Betrachtet man das Versprechen der Kostensenkung durch den Einsatz von Operations-Research-Methoden, so konnten die OR-Berater nur einen schmalen Anteil an den Kosten mit ihren Modellen senken, da viele industrielle Prozesse hohe Fixkosten tragen, so dass eine Reduktion von, zum Beispiel 5 Prozent, der variablen Kosten nicht besonders überzeugend erschien. Zusätzlich zeigten viele Prozesse Kostenkurven, die kein scharfes Minimum aufwiesen, so dass Abweichungen von den minimalen Kosten nur gering ins Gewicht fielen und grobe Schätzmethode angewendet werden konnten. In der Literatur ist keine Kostenkurve bekannt mit einem scharfen Kostenminimum, etwa wie ein Spalt in einen Felsen, das eine aufwendige Suche rechtfertigen würde.

In ihrem OR-Buch von 1957 zeigten Churchman et al. im Detail, wie die Methoden der Datensammlung, etwa Kostenkurven in Stahlwerken oder Warteschlangen an Mautstationen der New Yorker Stadtautobahn, vor sich gehen und verbreiteten Warnungen, dass OR-Forscher sich nicht auf Methoden konzentrieren, sondern stattdessen lieber Daten im Unternehmen sammeln sollten.¹³³ Sie sollten auch vertraut werden mit den sozialen Beziehungen in dem Unternehmen, von dem sie den Beratungsauftrag erhielten. War die empirische Orientierung von OR noch bei der Ubootjagd im 2. Weltkrieg zentral und war sie noch in dem Buch von Churchman et al. 1957 streckenweise vorhanden, so wurde der empirische Ansatz von den Mathematikern auf den OR-Lehrstühlen eliminiert.

Die OR-Forscher wandten sich nicht empirischen Projekten in den sozialen Räumen von Unternehmen zu, sondern etablierten sich erfolgreich in den sozialen Räumen von wirtschaftswissenschaftlichen Fakultäten der Universitäten. Dort trieben sie die Entwicklung von mathematischen Optimierungsmethoden voran und verwandelten ihre Lehrbücher über Operations Research in reine Methodenbibeln. Das zweibändige Werk zur Unternehmensforschung von Henn und Künzi behandelte in Band 1 gar keine Unternehmensforschung sondern lediglich Mathematik: Mengenlehre, lineare Algebra, Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik. Der Band 2 enthielt auch ein Kapitel zur Spieltheorie. Da sich die Unternehmensforschung nicht den ökonomischen Beziehungen im Unternehmen zuwandte, unterblieb weitgehend eine empirisch orientierte Forschung. Die starke Betonung mathematischer Methoden stieß bereits seit den 1950er Jahren auf Ablehnung durch Unternehmensführer. Man warf den OR-Spezialisten unverständliches „Fachchinesisch“ vor, wie der

¹³¹ Kaplan/Cooper, Cost 1998.

¹³² Gössler, Operations Research Praxis, 1974, S. 228.

¹³³ Churchman et al., Introduction, 1957.

Leiter des Maschinenbaukonzerns Fichtel und Sachs, Walter Trux, in seinem Eröffnungsvortrag der Jahrestagung 1980 der Deutschen Gesellschaft für Operations Research in Essen formulierte.¹³⁴

Bloß orientiert an mathematischen Methoden, besaßen die Mathematiker keine Erfahrungen in den Sozialwissenschaften, wie Daten in Unternehmen gesammelt werden konnten. Die Gelehrten kompensierten ihren Mangel an Daten, indem sie einfach Daten auf ihrem Schreibtisch erfanden. In den Universitätsvorlesungen zur Spieltheorie und zu OR war keine Tabelle aus empirischen Daten abgeleitet, sondern lediglich frei erfunden. Die Forscher zur Tourenplanung bezogen sich als Referenz auf erfundene Standard-Datensätze, die weltweit kursierten, und bewegten sich so in einer Scheinwelt von Daten. Ebenso erfand auch Dantzig im Jahre 1963 für sein Buch über Lineare Programmierung Beispiele für das Transportmodell und das Travelling-Salesman-Problem, wie unten gezeigt wird.

6 Der Aufstieg der Wirtschaftsinformatik als Barriere für Operations Research

Als das Operations Research Jahrzehnte lang den Computer und die Empirie ignorierte und auf dem Niveau von Papier und Bleistift verharrte, wurde es vom Fachgebiet Wirtschaftsinformatik überholt. Es folgten nach einer Phase einer erfolgreichen Institutionalisierung von OR an den Universitäten bis 1970 eine Stagnation und ein Niedergang nach 1980, der auf den Aufstieg der konkurrierende Fachgebiete Wirtschaftsinformatik und Logistik zurückzuführen ist.¹³⁵ Seit Ende der 1980er Jahre wurden zunehmend Lehrstühle für Operations Research in die Fachgebiete Wirtschaftsinformatik und Logistik umgewandelt. Als Fachvertretung der OR-Professoren an deutschen Universitäten innerhalb des Verbandes der Betriebswirte verlor die Wissenschaftliche Kommission Operations Research zunehmend Mitglieder mit der Denomination Operations Research. Im Jahre 2019 besaßen von den 100 Professoren (Lehrstühle nur innerhalb von Deutschland, ohne Emiriti) der Wissenschaftlichen Kommission Operations Research bloß noch zwei die Denomination Operations Research, während die übrigen die Denomination Wirtschaftsinformatik oder Logistik aufwiesen.¹³⁶ Dem Trend zur Aufgabe des Operations Research stellten sich im Jahre 2009 die drei Professoren Stefan Nickel, Oliver Stein und Karl-Heinz Waldmann entgegen, als sie im Jahre 2009 an der ehemaligen OR-Hochburg von Rudolf Henn – an der Universität Karlsruhe – das Institut für Operations Research gründeten.¹³⁷ Den Übergang von OR zur Wirtschaftsinformatik markiert die Berufung von Ulrich Derigs, aus einer mathematischen Forschungsgruppe für OR an der Universität

¹³⁴ Rider, Operations, 1992, S. 231. Trux, Einsatz, 1981, S. 21. Eine Kostprobe Fachchinesisch lieferte Rudolf Henn mit seinem Aufsatz „Bemerkungen zur Simplexmethode“, wo er das Verfahren in geordneten Körpern anstelle des n-dimensionalen Zahlenraums erläuterte (Operations Research Verfahren, Band 2, 1965, S. 91–107). In Band 4 von Operations Research Verfahren, 1967, veröffentlichte Bernd Goldstein auf mehr als 300 Seiten mathematische Formeln zu Markov-Ketten ohne eine einzige Zeile Text.

¹³⁵ Bradtke, Operations Research, 2003, spricht von einer Krise des OR zu Ende der 1970er Jahre, S. 3. Rudolf Henn stellte das Erscheinen seiner Zeitschrift Operations Research Verfahren im Jahre 1979 ein.

¹³⁶ Mitteilung des Vorsitzenden der WK Operations Research, Professor Achim Koberstein, Universität Frankfurt(Oder).

¹³⁷ Nickel et al., Operations Research, Vorwort.

Köln kommend, an die Universität Bayreuth auf einen Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik im Jahre 1985. Auch in Großbritannien nahm man eine Krise von OR wahr.¹³⁸

Die Verdrängung des Operations Research durch die Wirtschaftsinformatik wird auch an der Aufnahme eines dritten Editors in die Springer Lecture Notes Reihe deutlich. Mit dem Band 60 trat im Jahre 1971 der Karlsruher Informatik–Professor Gerhard Goos in den Herausgeberkreis ein. Die Reihe wurde von „Lecture Notes in Operations Research and Mathematical Systems“ auf Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems“ umbenannt. Das Operations Research war aus dem Reihentitel verschwunden.

Abgesehen von diesen akademischen Umwälzungen wurde der Einsatz von Operations Research in den sozialen Räumen von Unternehmen auch durch den Aufstieg von computergestützten Datenbanksystemen zur Produktionssteuerung behindert. Diese betriebswirtschaftliche Steuerung von Unternehmen durch Computer kann wie folgt historisiert werden. Die Kapazität der Unternehmen, ihre eigene Organisation zu modernisieren, wurde in den Jahren 1960 bis 2000 absorbiert von der Installation immer neuer und leistungsfähigerer Generationen von Computern zur betriebswirtschaftlichen Steuerung der Produktion und konnte kaum der Beratung von OR–Consultants Beachtung schenken. In der Produktionswirtschaft stand die Anwendung der von der Wirtschaftsinformatik bevorzugten relationalen Datenbankmodelle für die Steuerung des Materialflusses in der Produktion der Fertigungsindustrie im Mittelpunkt, während noch in den 1960er Jahren IBM vergeblich hierarchische Datenbankmodelle favorisiert hatte. Die relationalen Datenbankmodelle wurden möglich, als in den 1960er Jahren der Übergang vom listenförmigen, linearen Speicher auf Band auf den wahlfreien Zugriff auf Magnetplatten erfolgte und der Aufbau von Dateisystemen erstmals überhaupt möglich wurde. Am Beispiel der Fichtel & Sachs AG in Schweinfurt wird der Zuwachs an Plattenkapazität deutlich. In diesem Unternehmen wuchs die Plattenkapazität von 2,8 MB im Jahre 1975 auf 15 MB 1980.¹³⁹ IBM stellte seine Betriebssysteme von der Bandorientierung (TOS) auf Plattenorientierung um (DOS).

Dieter Pressmer, Professor für Unternehmensforschung an der Universität Hamburg (siehe oben), initiierte am Bundesministerium für Bildung und Wissenschaft in den 1980er Jahren ein Förderprogramm für das Universitätsfachgebiet Wirtschaftsinformatik und gründete 1995 das Institut für Wirtschaftsinformatik an der Universität Hamburg.¹⁴⁰ Die von der Wirtschaftsinformatik entwickelten Programme zur Produktionssteuerung in der Fertigungsindustrie (auch als PPS bezeichnet) gehen auf einfache Stücklistenprozessoren der 1960er Jahre zurück. Als erste Programme für die effiziente Ausnutzung von digitalen Hochgeschwindigkeits–Computern wurden Job Shop Scheduling Programme bereits Anfang der 1950er Jahre entwickelt, welche eine optimale Sequenz von Anwendungsprogrammen (Jobs) bestimmten, die als Lochkarten im Batch in den Computer eingelesen wurden, um die gesamte Wartezeiten des wertvollen Prozessors zu minimieren. Diese Job Scheduling Programme wurden später in PPS integriert. PPS wurde um die Verwaltung weiterer

¹³⁸ Fildes, R. and J. Ranyard: The foundation, development and current practice of OR: An editorial introduction and overview, in: Journal of Operational Research, vol. 49, 1998, 304–306.

¹³⁹ Eröffnungsvortrag zur neunten Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Operations Research in Essen im Jahre 1980 von Walter Trux. Trux, Einsatz, 1981, S. 22.

¹⁴⁰ Traueranzeige Pressmer auf der Webseite www.bwl.uni-hamburg.de/iwi/ueber-das-Institut/pressmer.html, Zugriff am 15. März 2019.

betrieblicher Funktionsbereiche erweitert, wie Vertrieb, Lieferanten, Finanzen, Personal und Raumplanung einschließlich verschiedener Standorte im In- und Ausland und als Enterprise Resource Planning (ERP) bezeichnet.¹⁴¹ Damit wurde die gesamte Unternehmensorganisation in diesem Datenbank-Programm abgebildet, was aber nicht immer reibungslos gelang. Bei der Programm-Installation in den Firmen entstanden zwischen der Rigidität der vorgesehenen Software und der lebendigen Organisation der Firmen Konflikte.¹⁴²

In der Fertigungsindustrie zerlegten Datenbankmodelle die Strukturen von Arbeitsmaschinen, Material und Stücklisten in Tausende von Tabellen in atomisierten Normalformen, wodurch sich wegen zahlreicher Festplattenzugriffe lange Laufzeiten auf dem Computer zur Erstellung von Produktionsplänen des Folgetages ergaben. Die Computer liefen die gesamte Nacht lang. Dieser Nachteil konnte erst behoben werden, als Halbleiter-basierte Hauptspeicher im Gigabytebereich ab dem Jahre 2000 technologisch möglich wurden und somit die langsamen Festplattenzugriffe auf die atomisierten Tabellen in den schnellen Hauptspeicher verlagert werden konnten. Der Softwarekonzern SAP vertrieb diese neue ERP-Software unter der Marke Hana. In sein Produkt zur Produktionsplanung R3 fügte SAP in den 1990er Jahren ein auf der Linearen Programmierung basierendes Optimierungstool mit der Bezeichnung „Advanced Planner und Optimizer“ (APO) ein.¹⁴³ Empirisches Wissen über den Einsatz dieses Tools liegt lediglich in den Diskussionsforen der SAP Anwendergruppe vor, deren Diskussionen mehr auf Produktions- und Absatzplanung als auf die eigentliche Optimierung abzielen.¹⁴⁴ Ob die Lineare Optimierung in diesem Tool für Produktions-Unternehmen nützlich war oder bloß eine Marketingaktion von SAP, lässt sich auf der Grundlage der Diskussionsforen nicht entscheiden.

Zur Steuerung von Anlagen in der Prozessindustrie wurden Digitalcomputer mit speziellen Betriebssystemen eingesetzt, welche ihren Schwerpunkt auf die Interruptsteuerung legten, um damit unerwünschte Maschinenzustände rechtzeitig abzufangen.¹⁴⁵ In der modernen Terminologie werden diese Systeme heute als Realtimecomputer bezeichnet.

7 Der anfangs problematische Einsatz des Großcomputers in der Massendatenverarbeitung

In diesem Abschnitt sollen die Probleme der Massendatenverarbeitung mit Großcomputern in den sozialen Räumen von Unternehmen in den 1950er Jahren aufgrund der geringen Hauptspeichergröße aufgezeigt werden, um dann überzuleiten zum Thema OR als Management Science.

¹⁴¹ Kurbel, Enterprise, 2011. Fleischhack, Welt, 2016. Sie berichtet von Anwendungen von Job Shop Scheduling Programmen in kommunalen Rechenzentren noch in den 1970er Jahren, S. 58.

¹⁴² Ein Beispiel um die Einführungskonflikte von SAP R/3 beim M.I.T. siehe Williams, Solid, 2000, S. 641–668.

¹⁴³ Bartsch, SAP APO, 2000.

¹⁴⁴ Siehe <https://www.dsag.de/>

¹⁴⁵ Volkmar Kussl: Die Lenkung von Fertigungsprozessen, in Helmar Frank (Hersg.): Kybernetischen Maschinen, Frankfurt 1964, S. 251–265, hier S. 256. Volkmar Kussl: Technik der Prozessdatenverarbeitung. Aufbau und Wirkungsweise der Prozessrechner, München 1973.

Ich folge hier Timo Leimbach, der in seiner Studie zur Softwarebranche den Einsatz des Computers für administrative Zwecke im Unternehmen nach zwei Arten unterscheidet. Einerseits der Computer als Automatisierung einfacher Angestelltenarbeit und zweitens als ein Instrument, welches Informationen bereitstellt, um dem Manager Entscheidungen zu ermöglichen.¹⁴⁶ In den 1950er Jahren hielt der Großcomputer in den Unternehmen Einzug, um administrative Vorgänge zu automatisieren, wie zum Beispiel Verkaufsstatistiken, Lohnabrechnungen und die Lagerverwaltung. Viele dieser Bereiche waren bereits durch den Einsatz von Lochkartenmaschinen teilweise automatisiert worden, und der Computer konnte diese Ansätze der Lochkartenabteilungen in den Unternehmen fortführen, zumal der Input und der Output von Daten noch über Lochkarten erfolgten.¹⁴⁷ John von Neumann hatte dem digitalen Großcomputer eine besondere Architektur verliehen. Er kombinierte eine schnelle arithmetische Einheit mit einem schnellen Hauptspeicher. Diese Architektur ermöglichte es, insbesondere Differentialgleichungen zu integrieren, indem in kürzester Zeit Millionen Iterationsschritte kleine Datenmengen zwischen dem Hauptspeicher und der arithmetischen Einheit hin und her schoben. Für die Computerhersteller war der Großcomputer in den 1950er Jahren kein besonders großer Absatzmarkt. Die Anzahl von Installationen blieb überschaubar. Tatsächlich setzte sich eine andere Architektur durch, die von Neumann nicht berücksichtigt hatte. Eine schnelle arithmetische Einheit wurde mit einem langsamen Hauptspeicher kombiniert, der von einer Magnetrommel realisiert wurde. Unter den bis zu 70 Typen von Digitalcomputern mit Magnetrommel, die in den 1950er Jahren auf dem Markt in den USA erschienen,¹⁴⁸ wurde die IBM 650 zum Erfolgsmodell dieser Architektur.

Mag ein Großcomputer, wie der IBM 701 oder die Univac 1103, bei wissenschaftlichen Berechnungen, wie der Integration von Differentialgleichungen, erfolgreich gewesen sein, so sieht dessen Anwendung in der administrativen Datenverarbeitung weniger günstig aus. Diese Anwendung wurde zwar von einer großartigen Rationalisierungs-Rhetorik von Effizienz, Schnelligkeit und Kosteneinsparung begleitet. Jedoch war, wie Thomas Haigh in seiner Studie zur Computereinführung bei der administrativen Datenverarbeitung in den 1950er Jahren aufzeigte, dieser Weg äußerst mühsam, da Großcomputer bloß über winzige Hauptspeicher verfügten und die Verarbeitung von Massendaten in zahlreiche separate Runs gesplittet werden musste. Der Geschwindigkeitsvorteil des Großcomputers ging so verloren.¹⁴⁹ Diese Hauptspeicherrestriktion wiesen aber die klassischen Tabuliermaschinen nicht auf.

Es kam in der administrativen Datenverarbeitung, die Martin Schmitt für den Sektor Sparkassen in der Bundesrepublik Deutschland aufgearbeitet hat,¹⁵⁰ besonders auf sortierte Datenbestände an. Umsatzdaten, Personaldaten, Kundendaten, Materialdaten und Lieferantendaten erhielten Nummerierungssysteme, mit denen bestimmte Datensätze in einem sortierten Bestand schnell aufgefunden werden konnten; das Magnetband musste nur soweit vorgespult werden, bis die

¹⁴⁶ Leimbach, Geschichte, 2010.

¹⁴⁷ Vahrenkamp, Informationsexplosion, 2017, S. 209–242. Erweiterte Fassung unter http://www.vahrenkamp.org/files/Punch_Cards_Vahrenkamp_WP1_2017.

¹⁴⁸ Weik, Survey, 1955.

¹⁴⁹ Haigh, Tabulator, 2001.

¹⁵⁰ Schmitt, Martin: Digitalisierung der Kreditwirtschaft. Computereinsatz in den Sparkassen der Bundesrepublik und der DDR 1957 bis 1991 (Medien und Gesellschaftswandel im 20. Jahrhundert). Wallstein Verlag, Göttingen 2021.

Datensatz–Nummer erschien. Allerdings mussten die Datenbestände stets neu sortiert werden, sobald Änderungen eintraten. Anders als bei Lochkarten wurden die linearen Magnetbänder aber zu Käfigen für die Massendaten. In Magnetbändern aufbewahrte Massendaten auf Großcomputeranlagen zu sortieren, erwies sich als einschneidender Engpass, da die Bänder mit Massendaten wegen des kleinen Hauptspeichers wiederum in zahlreiche separate Runs gesplittet werden mussten, während Sortierung auf Lochkartenmaschinen problemlos möglich war. Paul Ceruzzi schätzte, dass Großcomputeranlagen 25% ihrer Zeit für Sortierungen aufwandten. In einer Anzeige spricht die Electronic Data Division von RCA sogar von 40% für Sortierung.¹⁵¹ Bei den umständlichen Sortiervorgängen fiel der langsame Hauptspeicher der IBM 650 und der langsame Massenspeicher mit Magnetplatten (600 Millisekunden mittlere Zugriffszeit) der IBM 1401 nicht ins Gewicht.¹⁵² Im Computer Science wurden Sortieralgorithmen zu einem wichtigen Forschungsfeld; Donald Knuth von der Stanford University veröffentlichte 1973 eine mit über 700 Seiten überbordende Sortierbibel.¹⁵³ Die Einführung von Massenspeichern auf Magnetplatten ermöglichte auch die Etablierung von Betriebssystemen, wie wir sie heute kennen. Von den Platten aus konnten die Betriebssysteme in kürzester Zeit Utilities für die Verwaltung des Computers und der Datensätze laden, was im Bandbetrieb nur unter hohem Aufwand von Vor– und Zurückspulen möglich gewesen war. Mit Hilfe der Plattenlaufwerke konnte bereits im Jahre 1959 Sitzplatzreservierung für täglich 1000 Flüge der US–Airline United Airlines auf der IBM Maschine RAMAC durchgeführt werden.¹⁵⁴

Während die mittelgroße IBM Maschine 650 noch über kein eigenes Druckwerk verfügte, sondern dafür eigens eine Tabelliermaschine angeschlossen werden musste, brachte die Maschine 1401 zusammen mit dem Schnelldrucker 1403 im Jahre 1959 IBM den Durchbruch in der administrativen Datenverarbeitung mit Computern. Der Schnelldrucker mit einer Leistung von 1000 Zeilen pro Minute konnte ein Abbild der Unternehmensdaten auf riesigen Papierstapeln ausdrucken, die auf kleinen Wägelchen in die Büros befördert wurden.¹⁵⁵

Zum Erfolg der 1401 trug bei, dass auf diese Maschine – wie bereits auf der IBM 650 – viele Programme der alten IBM–Tabelliermaschinen mit Übersetzungsprogrammen übertragen werden konnten. Die Tabelliermaschinen–orientierten Ansätze in der administrativen Datenverarbeitung entwickelte IBM fort, als es in den 1960er Jahren den Großcomputer S/360 einführte. In dieser Maschine gab es einen Status, der die erfolgreiche Maschine 1401 emulierte. Damit konnten die alten Programme der 1401 weiterbenutzt werden und Kunden überzeugt werden, auf die 360–Maschine zu wechseln. Auch der große, bis in die 1980er Jahre anhaltende Erfolg des Lochkarten–orientierten IBM–Softwareprodukts „Report Program Generator“ (RPG), mit dem Summen¹⁵⁶ einer Umsatz–Liste oder ähnlicher Listen über verschiedene Kriterien gezogen und als Reporte auf Papier ausgedruckt werden konnten, auf der IBM S/360 zeigt diese Politik auf, die alten

¹⁵¹ Die Anzeige von RCA Electronic Division findet sich in *Datamation*, Band 6, 1960, S. 7. Ceruzzi, *History*, 2000, S. 89. Vahrenkamp, *Informationsexplosion*, 2017, zeigt die Bedeutung von Sortiervorgängen beim Lochkarteneinsatz auf. Zum Hantieren mit vier Bändern beim Sortieren einer 20x25 Tabelle siehe J. L. McPherson: *Applications of Large-Scale High-Speed Computing Machines to Statistical Work*, in: *Mathematical Tables and Other Aids to Computation*, Apr., 1948, Vol. 3, No. 22, pp. 121-126.

¹⁵² Baer, *1400 Series*, 1976, S. 629f.

¹⁵³ Knuth, *Computer Programming*, 1973.

¹⁵⁴ Thompson, *RAMAC*, 1959. Ich verdanke diese Quelle Dr. Daniela Zetti von der ETH Zürich.

¹⁵⁵ Haigh, *Tabulator*, 2001, S. 86. Ceruzzi, *History*, 2000 S. 73f.

¹⁵⁶ Es konnten auch andere statistische Funktionen programmiert werden, wie Mittelwert, Minimum und Maximum der in Frage stehenden Werte. Die Maximum–Berechnung war wichtig für Elektrizitätswerke, da die Tarife für Industriestrom vom Maximum der Last abhingen.

Tabelliermaschinen–Ansätze der administrativen Datenverarbeitung fortzuführen, was sicherlich auch den Markterfolg von IBM zum Teil erklärt.¹⁵⁷ In gewisser Weise erscheint es heute absurd, wenn auf der Hochleistungsmaschine S/360 die alten Tabelliermaschinenprogramme im langsamen 1401–Modus liefen, zeigen aber die hohe Bedeutung von Reportlisten für die Unternehmensführung an.¹⁵⁸ Solange Massendaten auf Bändern als primäres Speichermedium aufbewahrt wurden und noch nicht auf Plattenspeichern mit wahlfreiem Zugriff, konnte die hohe Geschwindigkeit der Maschine S/360 ohnehin nicht wirklich ausgenutzt werden, sodass der langsamere 1401–Modus nicht stark ins Gewicht fiel. Nach Ceruzzi zeigt das langfristige Überleben der alten 1401–Software, dass im Gegensatz zur kurzlebigen Hardware die Software langlebig ist, um die getätigten Investitionen in der Softwareentwicklung zu schützen.¹⁵⁹

8 Management Science und Operations Research

In der Automationsdebatte in den 1950er Jahren wurde auch sehr stark der zweite Aspekt des Computereinsatzes betont, für das Management Daten bereitzustellen, um es in Entscheidungssituationen zu unterstützen, wie es die Reportlisten bereits taten. Die Ausführungen gingen so weit, auch das Ziel zu formulieren, mit dem Computer Entscheidungen des Managements zu automatisieren oder zumindest teilweise zu automatisieren.¹⁶⁰ Ein Rekurs auf die Methoden des Operations Research vermittelte diesem Fachgebiet die Aura, die notwendigen Methoden für die Automation der Managemententscheidungen zu liefern. Bereits im Jahre 1955 – als noch kaum ein Großcomputer in der administrativen Datenverarbeitung überhaupt installiert war – hielten Herbert Simon und Russel Ackhoff in Harvard eine Konferenz zur Entscheidungsunterstützung des Managements mit Computern und zum Einsatz von OR–Methoden ab.¹⁶¹ Simon publizierte im Jahre 1960 das in der Automationsdebatte einflussreiche Buch „Die Neue Wissenschaft der Managemententscheidung“. In diesem Buch zählt Simon die beiden Möglichkeiten des Computereinsatzes auf, die Automation von einfacher Angestelltenarbeit und die Unterstützung des Managements. Ganz typisch für das unkritische Vorgehen in der Automationsdebatte, erblickte er in Frederick Taylor und im Taylorismus einen Vorläufer des Operations Research.¹⁶² Konkrete Vorgehensweisen, wie Managemententscheidungen unterstützt werden sollten, konnte Simon nicht liefern, sondern er brachte nur Schlagworte vor, indem er die verschiedenen Methoden des Operations Research aufzählte, wie Spieltheorie, Dynamische Programmierung, Lineare Optimierung und Simulation.¹⁶³ Betrachtet man den oben skizzierten steinigen Weg, den Computeranwendungen zur Automation

¹⁵⁷ Campbell-Kelly/Aspray, *Computers*, 1996, S. 133. Zum RPG siehe Rottmann, *IBM/360*, 1966. Heger, *100 Jahre*, 1990, S. 140–144. Die RPG–Programmierung lief noch auf der AS/400 von IBM bis in die 2000er Jahre, siehe die Anzeige von RPG–Programmierern <https://www.itec-services.de/de/it-services/software-entwicklung> (Zugriff am 18. 8. 2020).

¹⁵⁸ Ceruzzi, *History*, S. 149–151. Nach Ceruzzi („Nothing new since von Neumann“: A Historian looks at Computer Architecture 1945–1995, In: Raul Rojas and Ulf Hashagen (Hrsg.): *The First Computers. History and Architecture*, MIT Press 2000, S. 196–217), S. 207, liefen in der Emulation die 1401–Programme auf der S/360 10 Mal schneller als auf der Originalmaschine 1401.

¹⁵⁹ Ceruzzi, *Nothing new*, S. 207.

¹⁶⁰ Simon, *Management*, 1960, S. 14. Auch in der Sowjet–Union wurde die Automatisierung von Management–Entscheidungen diskutiert, siehe Gerovitch, *Cybernetics*, 2002, S. 266.

¹⁶¹ Ackhoff/Simon, *Proceedings*, 1955, wo Ackhoff die Anwendung des Operations Research für das Management empfahl.

¹⁶² Zur Automationsdebatte und zur Taylorismusdebatte siehe Vahrenkamp, *Von Taylor zu Toyota*, 2013.

¹⁶³ Simon, *Management*, 1960, S. 14–16.

einfacher Angestelltenarbeit in den 1950er Jahren nehmen mussten, so scheinen die Ausführungen von Simon märchenhaft zu sein. Man konnte damals den Computer nicht einfach als ein Arbeitsinstrument benutzen, etwa an einen Computer herantreten und am Bildschirm über die Tastatur eine Abfrage über Umsatz, Lagerbestand oder Finanzmittel eingeben. Vielmehr verfügten die Computer nur über Eingabekonsolen mit Schaltern und Glühlampen, aber ohne einen Bildschirm. Schließlich mussten Lochkarten für Programm und Daten hergestellt, kompiliert und in den Computer eingelesen werden.¹⁶⁴ Wie in dem winzigen Hauptspeicher anspruchsvolle Programme zur Analyse von großen Datenmengen durchgeführt werden sollten, und damit sogar Manager unterstützt werden könnten, verbleibt im Bereich der Fantasie. Ausgerechnet Operations Research zur Unterstützung des Managements heran ziehen zu wollen, war wenig zielführend, da die Promotoren nicht die bloß geringe empirische Orientierung von Operations Research beachtet hatten. So konnte das Operations Research gar nicht die empirischen Methoden bereitstellen, um das Management zu unterstützen. Die Vertreter des Operations Research waren auch insofern die falschen Adressaten von Simons Automationsthese, da sie ihr Fachgebiet weitgehend frei von Computeranwendungen gehalten hatten. In den Textbüchern zum Operations Research wird durchweg kein Bezug zum Computer hergestellt. In dem Grundlagenwerk von Henn und Künzi aus dem Jahre 1966 wird nur ein einziges Mal in altmodischer Terminologie der „elektronische Rechenautomat“ erwähnt.¹⁶⁵ Heiner Müller–Merbach betont zwar in der zweiten Auflage 1971 seines Buches Operations Research die Bedeutung des Computers für OR, gibt aber keine Hinweise auf eingesetzte Software, obwohl er bererist im Jahre 1962 sich kritisch geäußert hatte über das Fehlen von ALGOL–Programmen in dem Werk „Lineare Entscheidungsmodelle“ von Kromphardt/Henn/Förstner.¹⁶⁶ Im Jahre 1993, als Personalcomputer mit ihren Visualisierungsmöglichkeiten von Transportmodellen bereits weit verbreitet waren, erschien das Lehrbuch „Operations Research“ der Autoren Klaus Neumann und Martin Morlock, die überhaupt nicht auf das Thema Computer eingehen. Ebenso ignorierte noch im Jahre 1998 Theodor Ellinger in der sogar überarbeiteten vierten Auflage seines Lehrbuches „Operations Research“ (zusammen mit Günter Beuermann und Rainer Leisten) den Computer. Klassische OR–Bücher ohne Computerbezug erschienen noch bis 2014 von Werner Dinkelbach (Operations Research 2013) und von dem Karlsruher Institut für Operations Research (Stefan Nickel, Oliver Stein und Karl–Heinz Waldmann: Operations Research, 2. Auflage 2014). PC–basierter Spreadsheetsoftware setzten die Autoren Wolfgang Domschke und Andreas Drexel in ihrem Standardwerk „Einführung in Operations Research“ erst in der 5. Auflage 2001 ein. Allerdings wurde die Tabellenkalkulation nur in Kapitel 11 angeklebt, ohne als ein didaktisches Hilfs– und Visualisierungsmittel durchgehend in Text aufzutreten. Die Autoren wunderten sich, dass US–Lehrbücher bereits seit Ende der 1990er Jahre Tabellenkalkulation einsetzen.

Wie in den Textbüchern erkennt man auch in der Forschung das gleiche Bild. In den Proceedings der Jahrestagungen der Deutschen Gesellschaft für Unternehmensforschung bzw. Operations Research treten Vorträge über Computer–Anwendungen nur vereinzelt auf: Auf der Tagung 1971 gar nicht, auf der Tagung 1972 bloß zwei Paper unter 30 Papern.¹⁶⁷ Auch die von Künzi und Beckmann herausgegebene OR–Lecture Notes Reihe umgeht das Thema Computer. Entgegen dem auf dem Deckblatt erscheinenden Schlagwort „Computer Science“ (vergl. Abbildung 2) weist die Reihe unter den 51 bis 1971 erschienenen Titeln fast ausschließlich mathematische Titel auf. Nur ein

¹⁶⁴ Zum Vorgang des Compilierens mit der Sprache Fortran auf dem IBM 650 siehe den Erfahrungsbericht der Columbia University unter <http://www.columbia.edu/cu/computinghistory/650.html>. (Abgerufen am 30. Mai 2018).

¹⁶⁵ Henn/Künzi, Unternehmensforschung, 1966, Band 2, S. 171.

¹⁶⁶ Heiner Müller Merbach in seiner Rezension von Wilhelm Kromphardt, Rudolf Henn und Karl Förstner: Lineare Entscheidungsmodelle, Springer Verlag, Berlin 1962, in: Ablauf– und Planungsforschung, Band 3, 1962, S. 120.

¹⁶⁷ Jeweils Physica Verlag Würzburg 1972 und 1973.

einzigster stellt einen Bezug zu Computer Science her: Der 1971 erschienene Band 48 von M. Constant: „Fortran für Anfänger“.¹⁶⁸ Ein Anfänger-Buch zu Fortran hat im engeren Sinne wenig mit Computer Science mit dem Stand des Jahres 1971 zu tun. Vielmehr ist Fortran eine von IBM in den 1950er Jahren entwickelte Programmiersprache zur Vermarktung Ihres Großcomputers 704. Als einer der wenigen OR-Wissenschaftler veröffentlichte der Diplom-Mathematiker Ulrich Derigs, angestellt ausgerechnet am „Industrieseminar“ der Universität Köln, im Jahre 1980 Software zur Lösung von OR-Algorithmen, zusammen mit Rainer Burkhard (vergl. unten Abschnitt 11.3), Professor für Mathematik am Mathematischen Institut der Universität Köln.¹⁶⁹ Ebenfalls geben Walter Dürr und Klaus Kleibohm in ihrem Buch Operations Research von 1983 eine Übersicht über die wichtigsten Softwarepakete zur Linearen Optimierung für Großrechner der großen Hersteller CDC, Univac und IBM. In gleicher Weise vermitteln die Autoren Paul Schmitz und Alfred Schönlein in ihrem Buch „Lineare und linearisierte Optimierungsmodelle sowie ihre ADV gestützte Lösung“ von 1978 Einblicke in Softwarepakete.

Als in den 1960er Jahren Computer leistungsfähiger wurden und Bildschirm-Terminals, Timesharingssysteme, Dateisysteme auf Festplattenlaufwerken und darauf aufbauende Datenbanksysteme eingerichtet werden konnten, kam die Idee auf, dem oberen Management einen einfachen Zugang zu den Informationen zu geben, die bereits in den Datenbanken der operativen Systeme der Massendatenverarbeitung vorlagen. So entstand eine Debatte um Managementinformationssysteme (MIS) mit einer rasch wachsenden Zahl von Publikationen, wobei die Informationsversorgung im Vordergrund stand, aber das Operations Research nur eine Nebenrolle spielte.¹⁷⁰ Im MIS wurde der Manager als Nutzer konzipiert, der Terminalabfragen in der Datenbasis starten konnte. Die Einrichtung eines MIS galt als teuer und dessen Nutzen schwerer nachweisbar als in der Massendatenverarbeitung. Kontrovers blieb, ob die MIS-Promotoren zu viel versprochen hatten. Manche Autoren sahen im MIS sogar einen Misserfolg.¹⁷¹

9 Der Computer und Monte-Carlo-Simulationen im Operations Research

In der Literatur umfasst das Thema Simulation ein weites Gebiet. Dieser Abschnitt beschränkt sich auf diskrete Monte-Carlo-Simulationen, ohne auf Simulationen einzugehen, die Systeme von Differentialgleichungen mit Computerprogrammen lösen, wie in der Meteorologie, der Astrophysik und der Industrial Dynamics von Jay Forrester.¹⁷²

¹⁶⁸ Eine Liste der bis 1971 erschienenen Titel findet man in Beckmann, Unternehmensforschung heute, OR-Reihe Band 50, 1971, Innenumschlag.

¹⁶⁹ Burkard/Derigs, Assignment, 1980.

¹⁷⁰ Alavi/Carlson, Review, 1992, S. 45–62.

¹⁷¹ Teichroew, Management, 1976, S. 845–847.

¹⁷² Zur Simulation in der Meteorologie siehe Gramelsberger, Computerexperimente, 2010, S. 209. Forrester, Industrial, 1961. Dieses Buch lieferte später die methodische Vorlage für das Weltmodell des Club of Rome.

Die diskrete Simulation im Operations Research wurde zunächst unter dem Begriff Monte-Carlo-Simulation geführt. Diese Debatte greift den Fragenkomplex nach politischen Wissenskulturen auf und stelle diese in den Kontext von Cold War Science des US-Atombombenprogramms. Als erster Wissenschaftler überhaupt setzte der ungarische Mathematiker John von Neumann (Johann Neumann von Margitta), der sich an der Berliner Friedrich-Wilhelms-Universität im Fach Mathematik habilitiert hatte, die von Zufallszahlen unterstützte Simulation ein. Er wollte sich einen heuristischen Eindruck von der Streuung der Neutronen bei Kettenreaktionen in Atombomben verschaffen und diese Bomben nach gewissen Zielen „optimieren“. Seine Frau, Clara von Neumann, und Nicholas Metropolis programmierten den Computer ENIAC und berechneten zusammen die Neutronenstreuung im Jahre 1948.¹⁷³ Beide waren dazu mit zahlreichen Lochkarten ausgestattet, die Zufallszahlen enthielten. Klara von Neumann und John von Neumann stammten beide aus großbürgerlichen Elternhäusern in Budapest und besaßen persönliche Erfahrungen, das Glücksspielcasino in Monte Carlo, Monaco, besucht zu haben.¹⁷⁴ Auf eine Idee von Stan Ulam zurückgehend, hatten beide, Stan Ulam und John von Neumann, den Einsatz von randomisierten Verfahren im Jahre 1946 in Los Alamos erfunden und gaben dem Verfahren den Namen „Monte-Carlo-Methode.“ Dieser Begriff faszinierte Mathematiker und Naturwissenschaftler augenblicklich, da mit Monte Carlo vermutlich weltweit mit dem Glücksspiel assoziiert wurde. Auf diesen Trend sprang die RAND Corporation der US Air Force auf und organisierte 1949, zusammen mit dem Oak Ridge National Laboratory (ORNL) und dem Institute for Numerical Analysis (Los Angeles) der National Applied Mathematics Laboratories, die erste wissenschaftliche Konferenz zur Monte-Carlo-Methode in Los Angeles an der Universität UCLA, der später weitere folgten, auf der die Akteure der Kernwaffenforschung, u.a. auch das Los Alamos Scientific Laboratory, zusammenkamen.¹⁷⁵ Auf der Konferenz wurden verschiedene Papiere zur Streuung oder Dämpfung von Neutronen vorgestellt sowie Verfahren zur Erzeugung von gleichverteilten Zufallszahlen. In einem Beitrag beschrieben Shoor et al. eine Forschungsgruppe von Northrop Aircraft, wie sie pro Tag ca. 400 Lebenszyklen von Neutronen berechnen konnten. Sie rechneten auf dem Card Programmed Calculator der Northrop Corporation („poor man’s ENIAC“ nennt Shoor dieses Vorgehen) und verbrauchten für ihr Project ca. 2,5 Mio. Lochkarten.¹⁷⁶ Der Physiker Gilbert King stellte die Monte-Carlo-Methode in den Zusammenhang mit stochastischen Methoden in der Statistischen Mechanik, wie z.B. Markovketten. Bemerkenswerter Weise machen die Beiträge dieses Symposiums deutlich, dass zur Erzeugung von Zufallszahlen kein digitaler Computer erforderlich ist. Vielmehr erzeugte RAND ihre Zufallszahlen mit einer Art von schnell drehendem Roulette Tisch und veröffentlichte Tabellen von Zufallszahlen, die andere Wissenschaftler nutzen konnten. Auch die Auswertung von Simulationsexperimenten mit der Monte-Carlo-Methode musste nicht unbedingt auf einem digitalen Hochgeschwindigkeits-Computer erfolgen. Die meisten Autoren berichten von der Verwendung von Standard-Lochkarten-Equipment von IBM wie den lochenden Rechnern IBM 602, 603 und 604. Nur ein

¹⁷³ Zum Computer ENIAC und der Programmierung von Metropolis und Clara von Neumann siehe Haigh/Priestley/Rope, ENIAC, 2016.

¹⁷⁴ Zur Biografie von John von Neumann siehe Bhattacharya 2022. Auch dort ein Abschnitt zur Monte Carlo Methode.

¹⁷⁵ Monte-Carlo-Method: Proceedings of a Symposium held June 29, 30, and July, 1, 1949, in Los Angeles, US Government Printing Office, Washington D.C. 1951 (Band 12 von National Bureau of Standards: Applied Mathematics Series). Dyson, Turing’s, 2012, beschreibt in Kapitel 12 die Berechnungen von Klara von Neumann und Nicholas Metropolis. Dysons Buch beruht auf einer Recherche im Archiv der Princeton University. Eine detaillierte Darstellung der ENIAC-Programmierung liefern Haigh/Priestley/Rope, ENIAC, 2016, Kapitel 8 und 9. Ob von Neumann mit der Monte-Carlo-Simulation sein Ziel erreichte, die Atombombe zu „optimieren“, ist nicht bekannt. Monte-Carlo-Method, 1951. Galison, Computer, 2011, S. 125.

¹⁷⁶ Zu dem Card Programmed Calculator siehe Vahrenkamp, Richard: The Computing Boom in the US Aeronautical Industry, 1945–1965, in: ICON – The Journal of the International Committee for the History of Technology, Band 24, 2019, 127–149.

Beitrag geht auf die Verwendung des damals einzigen verfügbaren digitalen Hochgeschwindigkeits-Computers ENIAC ein.

Während die Monte-Carlo-Methode in der Physik entwickelt worden war, strahlte sie auch auf Ingenieurwissenschaften und Operations Research aus, um komplizierte Gleichungen, die in einem non-probabilistischen Umfeld entstanden und nicht mit numerischen Methoden gelöst werden konnten, versuchsweise mit zufällig erzeugten Datensätzen zu lösen. Damit erreichte die Numerik einen experimentellen Charakter, wie stets in der Literatur zur Monte-Carlo-Methode hervorgehoben wird. Man kann die Monte-Carlo-Methode auch in die Verwendung von Zufallszahlen und des Wahrscheinlichkeitsbegriff in dem Management von Telegrafienlinien in den 1930er Jahren einbeziehen. Statistische Überlegungen bei der Übermittlung von Texten in Telegrafienlinien waren durchaus weit verbreitet. Der in der englischen Sprache am häufigsten auftretende Buchstabe E wird im Morse-Alphabeten nur mit einem Punkt bezeichnet. Diese Codierung ist ökonomischer als dem Buchstaben E eine Sequenz von Punkten und Strichen zuzuordnen. In der Kryptographie gab es Tabellen, welche die Wahrscheinlichkeiten angeben, dass in englischen Texten auf einen bestimmten Buchstaben ein anderer folgt (Übergangswahrscheinlichkeiten). Wie aus dem Informationstheorie-Paper von Claude Shannon aus dem Jahre 1948 hervorgeht, war das Hantieren mit Zufallszahlen in der Wissenschaft durchaus üblich. Claude Shannon gibt ein Beispiel zur zufälligen Erzeugung von pseudo englischem Text mithilfe von Zufallszahlen, die er aus einer Tabelle in einer Buchveröffentlichung – also nicht von einem Computer erzeugt – aus dem Jahre 1939 bezieht.¹⁷⁷ Auch verweist er auf die Statistische Mechanik, in der diskrete Prozesse mit Markov-Prozessen nachgebildet werden, die auch bei der Modellierung der Übermittlung von Text in Telegrafienleitungen angewandt werden können, um Übertragungskapazität einzusparen, wenn Übergangswahrscheinlichkeiten von einem Buchstaben auf den Folgebuchstaben berücksichtigt werden.

Als das Operations Research die Monte-Carlo-Methode übernahm, gab es sich damit einen geheimnisvollen Anstrich und erzeugte Aufmerksamkeit. Allerdings brachten die Autoren Henn und Künzi im Kapitel vier zur Monte-Carlo-Methode ihres Buches (Band 1) fast ausschließlich triviale Anwendungen, wie der erratische „Weg eines betrunkenen Mannes“ (Random Walk), das Nadelexperiment von Buffon aus dem Jahre 1733 und den Umsatz eines Zeitungsverkäufers. Mit diesen Beispielen konnten sie keine Unternehmensführer vom Nutzen des Operations Research überzeugen und zeigten damit, dass sie gar nicht diese Absicht besaßen, sondern lediglich auf die akademische Arena zielten, um Material für Lehrveranstaltungen zu OR zu präsentieren. Mit dem Erfolg von Monte-Carlo-Methoden stieg der Bedarf an Zufallszahlen stark an, damit Simulationen mit einem anderen Set von Zufallszahlen wiederholt werden konnten und somit die Replizierbarkeit von Simulations-Experimenten gewährleistet wurde. Lehrbücher veröffentlichten Tabellen mit gleichverteilten Zufallszahlen.¹⁷⁸ Eine Publikation der RAND Corporation mit Zufallszahlen wurde zu einem Bestseller im RAND-Buch-Programm.¹⁷⁹ Die Benutzung von veröffentlichten Zufallszahlen entthob die OR-Gemeinde, zur Lösung eines OR-Problems einen Computer benutzen zu müssen. In

¹⁷⁷ Claude Shannon: A mathematical theory of communication, in: The Bell System Technical Journal (Volume: 27 , Issue: 3 , July 1948), pp. 379 – 423, hier S. 389.

¹⁷⁸ Henn/Künzi: Unternehmensforschung, Band 1, S. 129. Churchman et al., Operations Research, 1957, geben auf Seite 173 eine Tabelle von Zufallszahlen an, die sie von der RAND Corporation bezogen haben.

¹⁷⁹ 50 Years Project Air Force, 1996, S. 50.

der theoretischen Informatik wuchs ein eigener Forschungszweig heran, um Software zur Erzeugung von gleichverteilten Zufallszahlen zu entwickeln.¹⁸⁰

Der Monte–Carlo–Ansatz war für das Operations Research insofern ideal, als für diese Experimente gar keine Computer benutzt werden mussten, sondern auf publizierte Tabellen von Zufallszahlen zurückgegriffen werden konnte. Tatsächlich waren in der OR Community auch erst in den 1970er Jahren Computer verfügbar. Zugleich schirmte die Referenz auf publizierte Zufallszahlen von der Notwendigkeit ab, eigene empirische Daten erheben zu müssen. Das Operations Research konnte seine Position als Schreibtisch–Forschung festigen. Churchman et al. publizierten in ihrem OR–Lehrbuch ein Beispiel zur Bestimmung einer kostenminimalen Flotte von Lieferwagen zur Paketauslieferung eines Warenhauses mit Hilfe der Monte–Carlo–Methode auf dem Schreibtisch. In ihrem Beispiel wird die Abstraktifizierung deutlich. In Ermangelung von empirischen Daten wird umstandslos eine Normalverteilung der Zahl der täglich anfallenden Pakete angenommen mit dem Mittelwert 1000 und der Standardabweichung 100. Bloß fünf Werte aus einer in ihrem Buch publizierten Tabelle einer (0,1)–Normalverteilung wurden genommen, mit 100 multipliziert und dazu der Mittelwert 1000 addiert. Mit diesen elementaren Operationen hatten die Autoren Zufallsdaten für eine Kalkulation der täglich anfallenden Paketmenge. Zur ihrem Vorgehen der Abstraktifizierung merkten die Autoren selbstkritisch an, das Beispiel der Paketauslieferung sei „deliberately oversimplified“ (absichtlich übervereinfacht).¹⁸¹ In gleicher Weise wenden Henn und Künzi die Monte–Carlo–Methode auf die Wartung eines Maschinenparks von „Hochdruck–Einspritzpumpen“ an.¹⁸² Die Referenz ausgerechnet auf Hochdruck–Einspritzpumpen suggeriert industrielle Anwendungen des OR. Die bei Churchman et al. im Jahre 1957 publizierten Beispiele von Anwendungen der Monte–Carlo–Methode wurden in der Literatur weit verbreitet. So übernahmen Henn und Künzi das Beispiel des Weges eines betrunkenen Mannes (Random Walk) ohne Quellenangabe.¹⁸³ Der polnische Autor Wieslaw Sadowski übernahm in seinem OR–Lehrbuch, das 1963 auf Deutsch in Ostberlin erschien, das Beispiel der Lieferfahrzeuge mit Quellenangabe.¹⁸⁴

Im Operations Research war die diskrete Simulationen von Produktionssystemen oder Verkehrssystemen ein wichtiges Thema. Sie wurden als Softwareprogramme auf Digital–Computern eingesetzt, wenn keine geschlossenen Lösungen mit mathematischen Formeln abgeleitet werden konnten und Teile des Systems von Zufallsvariablen mit gewissen Verteilungsfunktionen abhingen. Sie wurden auch eingesetzt, wenn Experimente mit realen Systemen zu teuer oder zu gefährlich waren. Aus den 1960er Jahren berichtete Hans Künzi über Anwendungen von Simulationen an seinem Züricher Lehrstuhl für Operations Research in Kooperation mit dem Schweizer Militär. Auf dem Computer wurden Luftkämpfe simuliert, um eine kostenminimale die Beschaffung eines Jagdflugzeuges unter verschiedenen Typen zu ermitteln. Auch berichtete er von Simulationen von innerstädtischem Individualverkehr, um Ampelschaltungen zu optimieren.¹⁸⁵ OR–Fachleute in der DDR benutzten ebenfalls den Terminus Monte Carlo, ohne jedoch auf das Spielcasino hinzuweisen.¹⁸⁶ Mit GPSS kam 1960 eine Software auf den Markt, die Warteschlangen in Produktionssystemen mit zufallsgesteuerten Materialflusssystemen modellierte und bis 1972 zu GPSS5 weiterentwickelt

¹⁸⁰ Galison, Computer, 2011.

¹⁸¹ Churchman et al., Introduction, S. 411.

¹⁸² Henn/Künzi, Unternehmensforschung, Band 1, S. 135.

¹⁸³ A.a.O., S. 133. Bei Churchman et al., Introduction, ist das Beispiel des betrunkenen Mannes auf S. 184 zu finden.

¹⁸⁴ Wieslaw Sadowski: Theorie und Methoden der Optimierungsrechnung in der Wirtschaft, Berlin 1963, S. 204.

¹⁸⁵ Künzi, Unternehmensforschung, 1972, S. 9f.

¹⁸⁶ Dück et al., Operationsforschung, 1971, Band 2, S. 383–387. Schubert, Nutzeffekt, 1965.

wurde. Andere Simulationssprachen traten hinzu, wie das Fortran-ähnliche Simscrip der RAND Corporation 1963 und das auf Algol beruhende Simula67 im Jahre 1967.¹⁸⁷

Die Historisierung der Simulation kann auch Fragenkomplexen nach der Visualisierung des Workshops Algorithmische Wissenskulturen aufgreifen. Während noch in den 1980er Jahren die vorherrschenden Simulationssprachen SIMAN und ARENA zur Simulation von Produktionssystemen im Batch abliefen, kamen in den 1990er Jahren Softwarepakete mit graphischer Benutzeroberfläche auf den Markt. Wie in einem Baukasten konnte man Arbeitsmaschinen, Warteräume und Material-Fördersysteme zusammenstellen, diese auf Bildschirmen visualisieren und Engpässe im Materialfluss ermitteln. Die einzelnen Elemente wurden mit randomisierten Ankunfts- und Abfertigungszeiten versehen, deren Verteilung gewählt werden konnte (Gleichverteilung, Normalverteilung und Poissonverteilung). Kritisch war bei der Anwendung dieser Software, empirische Daten über das Verhalten der einzelnen Elemente zu erhalten. Kenndaten der Arbeitsmaschinen der Maschinenbauerhersteller und die Erfahrungen von Produktionsingenieuren wurden herangezogen.¹⁸⁸ Während von praktischen Anwendungen von Simulationssoftware zum Layout von Produktionssystemen keine Misserfolge in der Literatur bekannt sind, ist in theoretischer Hinsicht zu beachten, dass die Ergebnisse von Layoutsimulationen bloß Mittelwerte liefern, davon aber große Abweichungen bei der Realisierung von Zufallsvariablen auftreten können.

Bereits in den 1960er Jahren wurden auf Digitalcomputern zufallsgesteuerte heuristische Suchverfahren eingesetzt, um Optima aufzufinden.¹⁸⁹ Als die Rechenleistung der Computer stark anstieg, konnten randomisierte Verfahren des Operations Research Millionen von Alternativen in kürzester Zeit überprüfen. Riesige Suchräume konnten mit Realisierungen von Zufallsvariablen auf günstige Lösungen abgetastet werden.¹⁹⁰ So wurden in den 1990er Jahren zahlreiche deterministische Verfahren des OR in randomisierte Verfahren umgewandelt. Der Einsatz von gleichverteilten Zufallsvariablen, die nahezu jede Programmiersprache mit einem Zufalls-Generator implementiert hatte, nahm man nun als selbstverständlich hin, ohne noch bombastisch von Monte Carlo zu sprechen. Als neuen Forschungszweig des Operations Research untersuchte man genetische Algorithmen und das Simulated Annealing.¹⁹¹ Das Letztere simuliert das Abkühlungsverhalten von Kristallen, um aus lokalen Minima springen zu können und bessere Lösungen zu erhalten. Das Erstere ahmt die Evolution in der Natur nach. Werte von Variablen wurden als binäre 1-0-Strings modelliert. Mit der Mutation wurden einzelne Positionen im String zufallsgesteuert geändert. Mit der Rekombination wurden Teile von zwei Strings zufallsgesteuert ausgetauscht. Die Selektion wählte aus den sich ergebenden randomisierten Lösungen die vielversprechendsten aus. Genetische Algorithmen und das Simulated Annealing waren ideale Felder des OR, da sie der Methodenorientierung von OR neuen Antrieb gaben und das OR endlich mit dem Computer verbanden.

¹⁸⁷ Martin Edlinger: Tendenzen bei der Entwicklung von Simulationssprachen, in: Proceedings Operations Research, Tagung in Karlsruhe 1973 der DGOR, Physika Verlag Würzburg 1974, S. 546–549. Stanley Greenberg: GPSS Primer, New York 1972.

¹⁸⁸ Eley, Simulation, 2012. Wenzel u.a., Simulation, 2008. Herbert Simon wies bereits 1960 darauf hin, dass Simulationsstudien einen Bedarf an empirischen Daten haben, der nur schwer zu befriedigen sei, siehe New Science, S. 19.

¹⁸⁹ Volkmar Kussl: Die Lenkung von Fertigungsprozessen, in Helmar Frank (Hersg.): Kybernetischen Maschinen, Frankfurt 1964, S. 251–265, hier 257.

¹⁹⁰ Zum eindimensionalen Zuschnittproblem siehe etwa Vahrenkamp, Random, 1996.

¹⁹¹ Michalewicz, Algorithms, 1996, S. 250–252.

10 OR–Algorithmen in Logistiknetzwerken.

Für die Modellierung von globalen Lieferketten der See– und Luftfracht¹⁹² sowie für die Versorgung von Haushalten auf der letzten Meile hat das Operations Research verschiedene Verfahren entwickelt. Neben den Algorithmen zur Standortwahl in Netzwerken (Median– und Center–Probleme) sind in Verkehrs–Netzwerken vier verschiedene Ansätze zu unterscheiden: das kürzeste Wege Problem, das Travelling Salesman Problem, das Tourenplanungsproblem und das Transport Modell.¹⁹³ Diese Algorithmen sind durchaus unterschiedlich und haben wenig miteinander zu tun. Lediglich das Tourenplanungsproblem kann implizit auf dem Travelling Salesman Problem aufbauen. Während das OR die Modelle zur Verfügung stellte, waren empirische Forschungen zum Verkehr Gegenstand der Verkehrswissenschaften, aber nicht des Operations Research.

Das Transport Modell wird in Abschnitt 11 ausführlich dargestellt. Es sucht nach einem kostenminimalen Plan der Lieferungen von Anbietern zu Nachfragern und ist relativ einfach in einer Tabelle zu programmieren. Man sucht erst eine Start–Lösung auf, die gewisse Gesamtkosten des Transports beinhaltet und verbessert dann diese Start–Lösung schrittweise, bis man eine kostenminimale Lösung gefunden hat. Das Kriterium für die Optimalität ist leicht zu testen. Oder man gibt sich mit einer heuristischen Lösung zufrieden (Vogel’sche Approximationsmethode¹⁹⁴).

Das Kürzeste–Wege–Verfahren sucht in einem Netzwerk den kürzesten Weg von A nach B. Es wurde von dem niederländischen Computerwissenschaftler Edsger Dijkstra 1959 entwickelt und ist ein sehr einfacher und ein sehr schneller Algorithmus, der mit wenigen Zeilen Code programmiert werden kann.¹⁹⁵ Um den kürzesten Weg von Knoten A zum Knoten B in einem Netzwerk zu finden, legte Dijkstra auf jeden Knoten s des Netzwerks eine „Marke“. Diese besitzt die inhaltliche Bedeutung, dass sie die Länge des bisher bekannten kürzesten Weges von A nach s ausdrückt. Die Marken werden mit einer sehr großen Zahl (Unendlich) initialisiert und während des Verfahrens schrittweise reduziert, wenn Wege von A nach s über andere Routen kürzer sind. Ist keine Reduktion mehr möglich, dann stoppt das Verfahren. Die Marke auf B ist dann die Länge des kürzesten Weges von A nach B. Während des Verfahrens wird für jeden Knoten s der direkte Vorgängerknoten des Weges von A nach s gespeichert, aus denen dann der kürzeste Weg von A nach B rekonstruiert werden kann. Man kann durch Millionen von Knoten augenblicklich den kürzesten Weg bestimmen, was heute eine verbreitete Kulturtechnik in elektronischen Kartenwerken darstellt.

¹⁹² Richard Vahrenkamp: Globale Luftfrachtnetzwerke – Laufzeiten und Struktur, erweiterte Neuauflage, Igel Verlag, Hamburg 2014.

¹⁹³ Dirk Mattfeld und Richard Vahrenkamp: Logistiknetzwerke – Modelle für Standortwahl und Tourenplanung, 2. Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden 2014.

¹⁹⁴ Dürr et al., Operations Research, 1983, S. 105. Horst Vogel: Erfahrungen bei der Optimierung von Liefer– und Transportbeziehungen, in: Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“ in Dresden,, 10. 1962, Heft2, S. 583–586.

¹⁹⁵ Edsger Dijkstra: A note on two problems in connexion with graphs. In: Numerische Mathematik. 1, 1959, S. 269–271. In der Kybernetik–Debatte um lernende Automaten wurde nicht erkannt, dass die von Claude Shannon 1952 in der achten Kybernetik–Konferenz aufgeworfene Frage nach Wegen im Labyrinth mit Dijkstras Algorithmus gelöst werden kann, siehe R. Eier: Ein Labyrinthmodell, in: Fachtagung Lernende Automaten, München 1961, S. 206–225.

Das Handlungsreisenden Problem oder das Travelling Salesman Problem (TSP) ist ein berühmtes Problem des Operations Research mit Tausenden von Beiträgen in der Literatur. Es wird auch in Abschnitt 11 behandelt und sucht eine geschlossene Rundreise durch alle vorgegebenen Knoten mit der kleinsten Summe der zurückgelegten Entfernungen unter allen alternativen Routen. In der Literatur werden TSP häufig mit abstrakten Daten für die Entfernungen zwischen den Knoten gelöst, wobei die Daten im Zufallsgenerator erzeugt werden. Für die Logistiknetzwerke sind aber bloß Entfernungsdaten relevant, die auf Geo-Koordinaten aufbauen. Bei der See- und Luftfracht sind es Routen, die auf Kreissegmenten der Erdkugel liegen. Bei städtischen Ausliefertouren werden Entfernungsdaten zwischen Knoten im Straßennetzwerk als Differenzen zwischen x - y -Koordinaten in der euklidischen Ebene berechnet oder mit Messwagen abgefahren. Zur Lösung eines TSP unterscheidet man zwischen heuristischen Lösungen, die relativ einfach zu programmieren sind und Touren liefern, die um zirka 3% (in der Tourlänge) oberhalb der optimalen (kürzesten) Tour liegen können und dem aufwendigen Nachweis einer Lösung, die tatsächlich die kürzeste unter allen Lösungen des TSP darstellt (optimale Lösung, exakte Lösung). Zum Nachweis setzt man Maximierungen von Lagrange-Funktionen der unteren Schranke ein.¹⁹⁶ Man kann dann aus der Differenz zur unteren Schranke eine Abschätzung der Qualität der gefundenen besten heuristischen Lösung finden und diese Technik auch einsetzen, um mit Branch-und-Bound-Verfahren eine exakte Lösung zu finden. Ferner unterscheidet man Verfahren der Konstruktion einer Tour und Verfahren der Verbesserung einer Tour. Zu den Tourenkonstruktionsverfahren, die zu heuristischen Lösungen führen, zählen der Nächste-Nachbar-Algorithmus (Nearest Neighbor Search) und Einfügeverfahren. Die letzteren gehen von einer Starttour mit wenigen Knoten aus und fügen die restlichen Knoten schrittweise in die Tour nach dem Kriterium des geringsten Zuwachses der Tourlänge ein. Der Nächste-Nachbar-Algorithmus sucht bei der Tourenkonstruktion den am nächsten gelegenen noch nicht besuchten Knoten auf. Er kann zwar bei nicht-euklidischen Entfernungsdaten zu schlechten Ergebnissen führen, bei euklidischen Entfernungsdaten, die in Logistiknetzwerken grundlegend sind, führt dieses Verfahren jedoch in Verbindung mit dem Verbesserungsverfahren 2-opt nach Einschätzung des Standardwerks von Domschke und Drexl zu guten Ergebnissen, was auch von Vahrenkamp (2003) bestätigt wurde.¹⁹⁷ Angewendet wird es bei Auslieferungsfahrten von Paketdiensten, deren Lieferwagen die Häuser straßenweise abfahren, d.h. von Nachbar-zu-Nachbar fahren. Zu den Verfahren der Tourenverbesserung zählen der Austausch von zwei Kanten (2-opt-Verfahren) und der Austausch von drei Kanten (3-opt-Verfahren).¹⁹⁸ Das 2-opt-Verfahren ist insofern bei euklidischen Entfernungsdaten interessant, als es in der euklidischen Ebene zu kreuzungsfreien Touren führt, die stets kürzer sind als Touren mit Kreuzungen. Folgt man Simons Ansatz der beschränkten Rationalität, was Daten und Berechnungsleistungen anbelangt, so spricht dieser Ansatz eher für Heuristiken zur Lösung des TSP, zumal Verkehrsdaten einen großen Unsicherheitsbereich aufweisen.¹⁹⁹

Beim Tourenplanungsproblem plant man, wie in einer Stadt ein Lkw von einem Großhandels-Stützpunkt aus verschiedene Läden beliefert. Als Restriktion ist zu bedenken, dass die Auslieferungsfahrzeuge keine großen mittelschweren 18-Tonnen-Lkw oder gar schwere 40-Tonnen-Lkw sind, sondern kleine wendige 7,5-Tonnen- oder 12-Tonnen-Lkw, die auch in der Innenstadt

¹⁹⁶ Wolfgang Domschke: Logistik: Rundreisen und Touren, 3. Auflage München 1997, S. 150. Richard Vahrenkamp: Quantitative Logistik für das Supply Chain Management, München 2003, S. 228.

¹⁹⁷ Wolfgang Domschke und Andreas Drexl: Einführung in Operations Research, 7. Auflage 2007, S. 147.

¹⁹⁸ Wolfgang Domschke: Logistik: Rundreisen und Touren, 3. Auflage München 1997, S. 117.

¹⁹⁹ Zur Kritik von Herbert Simon am Travelling Salesman Problem siehe Erickson et al., How Reason, S. 76.

gut manövrieren können und in enge Hofeinfahrten hineinfahren können. Dieser kleinere Lkw-Typ bedeutet aber, dass die Ladefläche des Lkw so klein ist, dass nur Bestellungen für 5 – 10 Läden transportiert werden können und pro Tour also nur 5 – 10 Läden angefahren werden müssen. (Dasselbe ist der Fall bei Auslieferungs-Touren von Stückgut-Speditionen). Wegen des hier erkennbaren kleinen Dimensionsumfangs des TSP kann man es sehr gut mit einfachen Methoden heuristisch lösen, wenn das Liefergebiet auf das Straßennetz der Stadt projiziert wird. Hier gibt es nicht viele verschiedene Möglichkeiten, eine Tour abzufahren aufgrund der Gegebenheiten des Straßennetzes. Man kann also mit einfachen heuristischen Methoden Auslieferungs-Touren von 5 – 10 Läden im Stadtgebiet zusammenstellen. In ihrem Standardwerk zum Operations Research stellen die Autoren Wolfgang Domschke und Andreas Drexl fest, dass die Anwendung einfacher Algorithmen, wie das Nächste-Nachbar-Verfahren kombiniert mit dem 2-opt-Austausch zu guten Lösungen führt.²⁰⁰ Daher sind die übertriebenen Ansprüche an die exakte Lösung großer TSP bloß Forschungsansätze von Mathematikern, die das Problem auf Millionen von Städten weltweit expandieren, aber in der logistischen Realität keine Anwendung finden.²⁰¹

Um einzelne Touren zu bestimmen, war es notwendig, vorab die einzelnen Liefergebiete festzulegen, worin die einzelnen Touren optimiert werden sollten. Für diese Zerlegung gab es noch kein mathematisches Verfahren bis zur Veröffentlichung der britischen Forscher G. Clark und J. Wright im Jahre 1964, wo sie mit der als Savingsverfahren bezeichneten Heuristik die Liefergebiete und zugleich optimierte Touren festlegen konnten.²⁰² Der Ansatz von Clark und Wright ist insofern interessant, als er von einer ungewöhnlichen Startlösung ausgeht, nämlich derjenigen, welche die schlechteste von allen Lösungen darstellt: Jedes Geschäft wird von einem LKW in einer Pendeltour vom Depot aus bedient, ohne die Bedienung anderer Geschäfte einzubeziehen. In einem Iterationsverfahren werden Pendeltouren schrittweise kombiniert, welche die größte Ersparnis an Fahrtstrecke zurück zum Depot versprechen.

Die Anwendung von Software zur Tourenplanung konnte sich nur langsam durchsetzen. Im Jahre 1990 wunderte sich Lewis Bodin über den geringe Anwendungsgrad dieser Software, obwohl doch bereits 20 Jahre lang die wissenschaftliche Gemeinde über Tourenplanung geforscht hätte.²⁰³ Erst ab den 1980er Jahren waren mit ca. 300 Kilobyte die Hauptspeicher der in den Unternehmen in der BRD verfügbaren Digitalcomputer groß genug, um Tourenplanungssoftware, wie zum Beispiel das Paket TRAFFIC von Siemens, anwenden zu können. Vor allem in den Vertriebsorganisationen der kapitalstarken Unternehmen in der Getränkeindustrie und der Milchverarbeitung wurde diese Software eingesetzt, um Gaststätten und Einzelhandelsläden in Städten zu beliefern. In der BRD traten bei der Tourenplanung Probleme mit der Abstraktifizierung auf. Die von den Lieferfahrzeugen versorgten Läden wollten in den wiederkehrenden Touren stets vom gleichen Fahrer bedient werden – ein Wunsch, den die Tourenplanungssoftware nicht berücksichtigte. Auch gab es Probleme, Läden mit unterschiedlichen Belieferungsrhythmen in eine gemeinsame Tour

²⁰⁰ Wolfgang Domschke und Andreas Drexl: Einführung in Operations Research, 7. Auflage, Springer Verlag Berlin 2007, S. 146.

²⁰¹ <http://www.math.uwaterloo.ca/tsp/world/index.html>. (Zugriff am 15. März 2020).

²⁰² Clarke, G. und Wright, J. W.: Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points, in: Operations Research 12 (1964), Heft 4, S. 568–581.

²⁰³ Bodin, Lewis: Twenty Years of Routing and Scheduling, in: Operations Research, 38 (1990), Heft 4, S. 571–579.

aufzunehmen.²⁰⁴ In den Tourenplanungspaketen wurde die eigentliche Tourenplanung wesentlich erweitert zu einem LKW–Flottenmanagementsystem, das Abrechnungen über Touren, Fahrzeugkosten und Personaleinsatz umfasste. Hohe Lizenzkosten der Softwarehersteller behinderten allerdings eine breite Anwendung bis in die 1990er Jahre.²⁰⁵ Die vorsichtige Geschäftsstrategie der Softwarehäuser basierte im Wesentlichen auf Eigenkapital und nicht auf Venture Capital, das erst ab dem Jahr 2000 mit hohen Anfangsverlusten Märkte durch Niedrigpreise erobern konnte. Zum Stand der Tourenplanung im Jahre 2015 gibt die Marktstudie des Fraunhofer Instituts SCS Auskunft.²⁰⁶

11 Der artifizielle Inhalt von Cold War Operations Research

Der folgende Abschnitt geht auf das Transport Modell, das Travelling Salesman Problem und das Diet–Problem vertieft ein und zeigt deren artifiziellen Inhalt von Cold War Operations Research auf. Aber auch andere OR–Fragestellungen weisen diesen artifiziellen Inhalt auf und wurden nicht in der Wirtschaft angewendet, blieben also akademisch. Insbesondere beim Transportmodell lässt sich das Fehlen von wichtigen Quellenangaben bei den Originalwerken beobachten, die dessen akademische Qualität mindern. Im akademischen Raum sind Quellenangaben zwingend erforderlich, und empirische Daten müssen dahingehend erläutert werden, wie sie gewonnen werden. Der Verein für Socialpolitik als Berufsorganisation der Volkswirte hat zu diesen Forderungen im Jahre 2021 eine Ethikrichtlinie veröffentlicht, die fordert, Nachweise für die gewonnenen empirischen Daten zu liefern.²⁰⁷

11.1 Die Dynamische Programmierung ohne Anwendung

Die Dynamische Programmierung entwirft Modelle optimaler Entscheidungen im diskreten Zeitablauf und geht von einem festen, aber in der Zukunft liegenden Zeithorizont aus. Auch beim Thema dynamische Programmierung tritt die führende Rolle von Mathematikern bei der Grundlegung des Operations Research hervor. Im Jahre 1954 trug der Mathematiker Richard Bellman auf der Jahrestagung der amerikanischen mathematischen Gesellschaft zu seinem neuen Konzept der Dynamischen Programmierung vor. Die RAND Corporation veröffentlichte seine Rede als Sonderdruck.²⁰⁸ Im Jahre 1957 publizierte Bellman zur Dynamische Programmierung das grundlegende Buch im

²⁰⁴ Lück, Wolfgang: Logistik und Materialwirtschaft, Berlin 1984, S. 437–473. Zum Problem des gleichen Fahrers siehe ebd., S. 458.

²⁰⁵ Vahrenkamp, Richard: Marktstudie Tourenplanungssoftware, in: Deutsche Verkehrszeitung vom 17. Oktober 2006.

²⁰⁶ https://www.scs.fraunhofer.de/content/dam/scs/de/dokumente/studien/Summary_Software_zur_Tourenplanung.pdf (Zugriff am 3. Juli 2021)

²⁰⁷ https://www.socialpolitik.de/sites/default/files/2022-01/Ethikkodex_2021_12_08_DE_final_0.pdf, Zugriff am 14. Juli 2023.

²⁰⁸ Richard Bellman: The Theory of Dynamic Programming, Rand Paper 550, Santa Monica 1954. Dieses Papier ist der Text einer Rede von Richard Bellman vor der jährlichen Sommertagung der American Mathematical Society in Laramie, Wyoming, am 2. September 1954. Richard Bellman: Dynamic Programming, Princeton: Princeton University Press 1957.

Copyright von RAND. Bellman fand viele Nachahmer auf dem Publikationsmarkt zur Dynamische Programmierung.²⁰⁹ Man vermutete, Bellman könnte 10 Jahre nach Dantzig's Linearer Programmierung dessen Erfolg mit einem neuen Ansatz wiederholen. Dieser Ansatz bezog die Zeitdimension wirtschaftlichen Handelns explizit ein und zerlegte den zukünftigen Zeitablauf in verschiedene Perioden, in denen jeweils verschiedene Politikoptionen gewählt werden konnten. In einem Aufsehen erregenden, weil kontraintuitiven Vorgehen bestimmte Bellman zunächst in der Endperiode die optimale Politik und arbeitete sich schrittweise von dort zum Gegenwartszeitpunkt zurück (Rückwärtsrekursion). Die Dynamische Programmierung war ideal für OR-Modelle, da es über zukünftigen Entwicklungen prinzipiell keine empirischen Daten gibt, also Forscher gar nicht empirisch arbeiten müssen. Hans Künzi veröffentlichte in seiner Lecture Notes Reihe im Jahre 1968 für die SVOR gleich einen Einführungskurs in Dynamische Programmierung.²¹⁰ Wie mit der Methode der Linearen Programmierung konnte man auch mit der Dynamischen Programmierung optimale Lösungen wegen der aufwendigen Berechnungen nur mit Hilfe des Computers ermitteln. Christoph Schneeweiss wies im Jahre 1979 auf den hohen Hauptspeicherbedarf der Rückwärtsrekursion hin, der mit dem damaligen Technologiestand der Computertechnik nur für sehr kleine Modelle befriedigt werden konnte.²¹¹ Damit war die Dynamische Programmierung gar nicht in der Lage, Berechnungsprogramme für die weltweite Ersatzteilversorgung der Air Force zu leisten, wie Judith Klein in ihrer Studie zur Cold War Dynamic Programming unterstellte.²¹²

Unbeantwortet blieb die Frage, wieso die Dynamische Programmierung einfachen Entscheidungsregeln überlegen sei, die ohnehin auf unsicheren Annahmen über die zukünftigen Entwicklungen – etwa bei Investitionsentscheidungen – basieren. Mit einer Abstraktifizierung verwandelte die Dynamische Programmierung unsichere Daten über die Zukunft in scheinbar exakte Daten und reflektiert nicht die Kuriosität, einen aufwendigen, exakten Algorithmus auf unsichere Daten anzuwenden. Auch die Kritik von Judy Klein über Dynamische Programmierung als Cold War Science erkennt nicht diesen Schwachpunkt der Dynamische Programmierung.²¹³

11.2 Das Netzwerkfluss-Modell verbleibt in der Mathematik

Das Netzwerkfluss-Modell vereinfacht die als Navier-Stokes-Gleichungen bekannten partiellen Differentialgleichungen über strömende Flüssigkeiten in Röhren, die von Ingenieuren, Mathematikern und Physikern im 18. und 19. Jahrhundert entwickelt wurden.²¹⁴ Das Netzwerkfluss-Modell abstraktifiziert die komplexen Navier-Stokes-Gleichungen soweit, dass gar keine Reibung beim Transport von Flüssigkeiten in Röhren auftreten, also der Transport verlustfrei und wirbelfrei

²⁰⁹ . Zu weiteren Publikationen siehe z.B. Martin Beckmann, *Dynamic Programming* 1968. Horst Albach erhielt 1962 an der Universität Bonn ein DFG Kleinprojekt zur Dynamischen Programmierung, siehe oben.

²¹⁰ Künzi, Hans, O. Müller, E. Nievergelt: *Einführungskurs in die Dynamische Programmierung*, Berlin 1968 (Lecture Notes in Operations Research and Mathematical Economics, Bd. 6).

²¹¹ Schneeweiss, Christoph: *Dynamische Programmierung*, in: Beckmann, Martin, Günter Menges und Reinhard Selten (Herg.): *Handwörterbuch der Mathematischen Wirtschaftswissenschaften*, Teilband Unternehmensforschung, Wiesbaden 1979, S. 32.

²¹² Klein, *Cold War*, 2015

²¹³ Klein, *Cold War*, 2015.

²¹⁴ Zur Geschichte der Navier-Stokes-Gleichungen siehe Gabriele Gramelsberger: *Computereperimente*, Zürich 2010, S. 69ff.

abläuft. In diesem vereinfachten Kontext konnten die Mathematiker Lester Ford und Delbert Fulkerson im Jahre 1956 das berühmte Dualitäts–Theorem „Max–Flow–Min–Cut“ formulieren.²¹⁵ Zuvor hatten im Jahre 1955 Dantzig und Fulkerson es als RAND–Paper P–826 publiziert. Aber Anwendungen vom Netzwerkfluss–Modellen blieben unbekannt. In die Debatte um den Netzausbau wichtiger Infrastrukturen, wie dem Elektrizitätsnetz oder dem Gasnetz, wurden die Netzwerkmodelle des Operations Research nicht einbezogen.

11.3 Das Quadratische Zuordnungsproblem als mathematischer Stalinismus

Das Quadratische Zuordnungsproblem formulierten zuerst die mathematischen Ökonomen Martin Beckmann und Tjalling Koopmans in einem gemeinsamen Artikel in der *Econometrica* im Jahre 1957, der berühmt und nach Google knapp 3000 mal zitiert wurde.²¹⁶ Der Artikel behandelt eine nur auf den ersten Blick volkswirtschaftliche Fragestellung, nämlich die räumliche Anordnung von verschiedenen Produktionsbetrieben auf gegebenen Ansiedlungsflächen. Unterstellt werden dabei hypothetische – empirische Daten lagen nicht vor – Lieferbeziehungen von Vormaterial unter den Betrieben, die in Tonnen gemessen in das Modell eingehen. Bekannt seien die räumlichen Entfernungen in Kilometern zwischen den Fabriken. Gefragt wird nach einer optimalen Anordnung der Fabriken auf den Grundstücken, welche die Verkehrsleistung (Summe der Tonnen*km) beim Austausch von Gütern unter den Fabriken minimiert. Auch auf betrieblicher Ebene gab es Veröffentlichungen, die sich mit der Anordnung von Maschinen in einem Industriebetrieb in Hinsicht auf den Austausch von Zwischenprodukten beschäftigten.²¹⁷ Die dem Quadratische Zuordnungsproblem zugrunde liegende Abstraktifizierung wird an dem eindimensionalen Ziel der Minimierung der Verkehrsleistungen deutlich. Wohl nur sowjetische Planer im Stalinismus konnten so eindimensional bei der Ansiedlung von Fabriken vorgehen.²¹⁸ In demokratischen Gesellschaften geht jedoch eine Vielzahl von Kriterien in die Ansiedlungspolitik ein. Auch die Konfiguration von Fabriken mit Maschinen weist ein ähnlich komplexes Zielbündel auf, wie Gerhard Wäscher in seinem Standardwerk nachgewiesen hat. Im Unterschied zu Beckmanns oben in Abschnitt 5 wiedergegebene Behauptung, Operations Research sei besonders in komplizierten Entscheidungssituation anwendbar, reduzieren die Autoren Koopmans und Beckmann die Komplexität der Entscheidungssituation auf die eine Dimension der Verkehrsleistung.

Im Computer Science und in der kombinatorischen Mathematik löste das Quadratische Zuordnungsproblem, das bis zum Jahre 2013 nur bis zu einer Problemgröße von $n = 30$ exakt lösbar war, eine Flut von Veröffentlichungen aus, so zum Beispiel in dem *Handbook of Combinatorial*

²¹⁵ Lester Ford Jr., D.R Fulkerson: Maximal flow through a network. In: *Canad. J. Mathematics*, 8, 1956, S. 399-404.

²¹⁶ Tjalling Koopmans and Martin Beckmann: Assignment Problems and the Location of Economic Activities, in: *Econometrica*, Vol. 25, No. 1 (Jan., 1957), S. 53-76.

²¹⁷ Wäscher, Gerhard: Innerbetriebliche Standortplanung bei einfacher und mehrfacher Zielsetzung, Wiesbaden : Gabler, 1982.

²¹⁸ Klaus Gestwa: Die Stalinschen Großbauten des Kommunismus, München 2010.

Optimization, das in fünf Bänden zuletzt 2013 erschien und bereits Vorgängerauflagen aufwies.²¹⁹ Jedoch bleiben Anwendungen mit empirischen Daten unbekannt.²²⁰

11.4 Das Transportmodell als Abstraktifizierung

Das im Folgenden behandelte Transportmodell zeigt das Paradox auf, dass dessen Entdecker 1975 mit dem Nobelpreis für Wirtschaftswissenschaften ausgezeichnet wurde, aber dennoch dieses Modell keine Anwendung in der wirtschaftlichen Realität fand. Die Gründe für dieses Scheitern werden versucht zu erklären. Man kann diesen Fall dahingehend verallgemeinern, dass das Transportmodell für viele andere Modelle des OR steht, deren Relevanz stets nur behauptet wird. Das Transportmodell wird in der Betriebswirtschaftslehre als solches behandelt. In der Volkswirtschaftslehre läuft es unter der Überschrift der optimalen Nutzung von Ressourcen, wofür Koopmans auch den Nobelpreis in Wirtschaftswissenschaften erhalten hat. Auf beiden Ebenen ist aber das Modell das gleiche.

Das Transportmodell ist stets ein bedeutendes Kapitel in jedem Textbuch zum Operations Research und in den Curricula der Management Schools.²²¹ Es beschreibt als ein drastisch vereinfachtes statisches Modell ohne Einbezug der Zeitdimension, wie Transporte eines homogenen Gutes zwischen verschiedenen Quellen und Zielpunkten bei gegebenen konstanten Transportkosten pro Tonne organisiert werden sollten, damit die gesamten Transportkosten minimal sind. Das Modell wird in Abbildungen 3 und 7 visualisiert. Das Modell stellt Anbieter und Nachfrage gegenüber und fußt auf Transportrelationen, die von Anbietern zu den Nachfragern verlaufen. Auf diesen Transportrelationen herrschen unterschiedliche Kostensätze pro Tonne, die auch von den unterschiedlichen Entfernungen zwischen Anbietern und Nachfragern resultieren können. Hervorzuheben ist, dass diese Kostensätze konstant sind und nicht von der transportierten Menge oder vom Zeitablauf abhängen. Gegeben sind ferner für die verschiedenen Anbieter die angebotenen Mengen und für die verschiedenen Nachfrager die nachgefragten Mengen. Im Modell wird angenommen, dass die Summe der angebotenen Mengen gleich der Summe der nachgefragten Mengen ist (Gleichgewichtsbedingungen). Sofern jedoch Unterschiede in diesem Summen auftreten, kann man durch Einfügen von Dummy-Anbietern beziehungsweise Dummy-Nachfragern das Gleichgewicht herstellen. Innerhalb dieses Modells wird diskutiert, wie Lösungen aussehen, die Angebot und Nachfrage über die Transportrelationen zum Ausgleich bringen. Konkret soll die Frage beantwortet werden, welche Transportmenge vom Anbieter i zum Nachfrager k transportiert werden soll. Die Summe über alle Transportkosten (Menge mal Kostensatz) auf den Verkehrsrelationen ergibt die Kosten der betrachteten

²¹⁹ Burkard, Rainer: Quadratic Assignment Problems, in: Handbook of Combinatorial Optimization, S. 2741-2814, herausgegeben von Panos M. Pardalos, Ding-Zhu Du und Ronald L. Graham, Springer Verlag 2013. Burkard gibt eine Bibliographie an.

²²⁰ Axel Nyberg behauptete in seinem Vortrag am 15. November 2013 an der Abo Universität in Turku, das im Jahre 1972 erbaute Klinikum in Regensburg hätte ein nach dem Quadratic Assignment optimales Layout. Dieses wurde aber erst im Jahre 2000 bewiesen, konnte also beim Bau keine Rolle gespielt haben. (Quelle: Internet).

²²¹ Wolfgang Domschke: Logistik, Band 1, Transport, 2., erg. Aufl., München, Oldenbourg Verlag, 1985. Richard Vahrenkamp: Quantitative Logistik für das Supply Chain Management, München 2004.

Lösung. Unter den verschiedenen Lösungen wird die Lösung gesucht, welche die geringsten Gesamtkosten unter allen anderen Lösungen aufweist (optimale Lösung).

Das Transportmodell des Operations Research

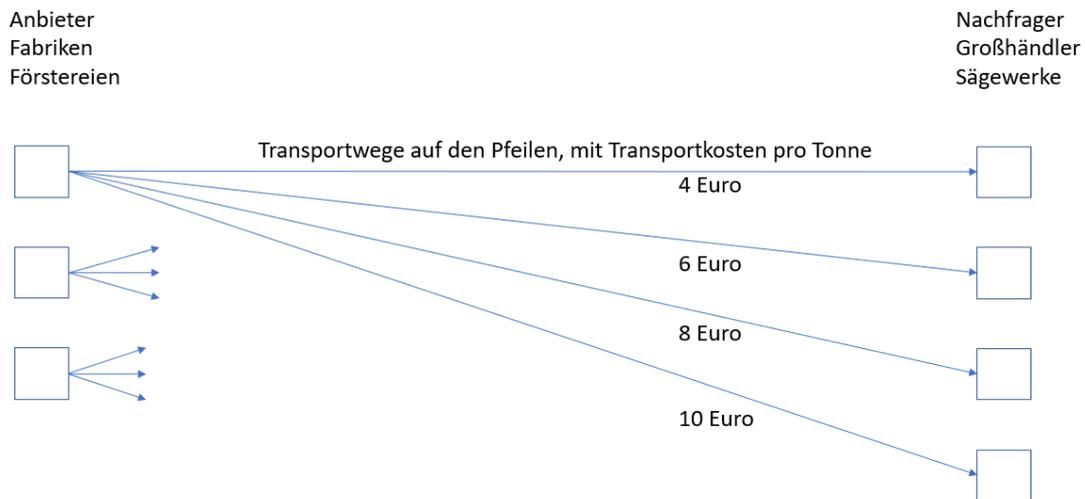


Abbildung 3: Skizze des Transportmodells

In der OR-Welt versichert man sich gegenseitig, dass das Transportproblem „in der praktischen Anwendung verbreitet“ sei.²²² Aber das Transportmodell besitzt gar keine Anwendung in der Wirtschaftswelt. Vielmehr ist es bloß nominell und benutzt die physische Welt lediglich, um ein Problem zu identifizieren und in ein einfaches mathematisches Modell zu überführen. In diesem Prozess werden Transportvorgänge in einfache mathematische Modelle für die akademische Welt verwandelt (abstraktifiziert), ohne jedoch irgendein Problem in der Transportwirtschaft damit zu lösen. Die Autoren haben daher auch Schwierigkeiten, Anwendungen in der Wirtschaftswelt nachzuweisen. Churchman et al. führen das Transportproblem in ihrem Lehrbuch unvermittelt ein am Beispiel der Leerwagenkoordinierung von Eisenbahngesellschaften, ohne irgendeine empirische Fundierung für dieses Beispiel zu geben. Sie benutzen bloß die Referenz auf Eisenbahnen, um sich einen empirischen Anschein zu geben.²²³ Dorfman et al. behaupten in ihrem Lehrbuch, dass es zahlreiche Anwendungen des Transportproblems in der Volkswirtschaft und im Geschäftsleben gäbe, ohne dies zu belegen.²²⁴ Eines ihrer Beispiele nennen sie vollständig erfunden („purely fictitious“).²²⁵ Henn und Künzi verzichten in ihrem Lehrbuch „Einführung in die Unternehmensforschung“ vollständig auf eine ökonomische Interpretation des Transportmodells und geben bloß das mathematische Modell an. Sie können mit ihrem Vorgehen nicht klarmachen, was das Transportmodells mit Unternehmensforschung zu tun hat. Auch Dantzig verzichtet darauf, den

²²² Heiner Müller Merbach in seiner Rezension von Wilhelm Kromphardt, Rudolf Henn und Karl Förstner: Lineare Entscheidungsmodelle, Springer Verlag, Berlin 1962, in: Ablauf- und Planungsforschung, Band 3, 1962, S. 119.

²²³ Churchman et al., Introduction, S. 283.

²²⁴ Robert Dorfman, Robert Solow und Paul Samuelson, Linear Programming and Economic Analysis, New York 1958, S. 106.

²²⁵ A.a.O., S. 117.

ökonomischen Nutzen des Transportmodells in seinem Lehrbuch zur Linearen Programmierung herauszuarbeiten. Vielmehr spricht er bloß von einem optimalen Transportplan.²²⁶

Das Transportmodell wurde in den Jahren 1941 und 1942 von den Mathematikern Frank Hitchcock und Tjalling Koopmans unabhängig voneinander erfunden.²²⁷ Während des Zweiten Weltkrieges formulierte Tjalling Koopmans, promoviert als mathematischer Physiker in den 1930er Jahren, Vorläufer des Transportmodells. Als Statistiker im Combined Shipping Adjustment Board der USA beobachtete er im Zweiten Weltkrieg Engpässe in der Transportkette weltweiter Schiffsumläufe und fragte danach, welche Schiffsverbindungen in der Kapazität reduziert werden könnten, wenn zusätzlicher Schiffsraum für eine andere Verbindung benötigt würde.²²⁸

Koopmans Veröffentlichung zum Transportmodell im Jahre 1947, das als eine der ersten Veröffentlichungen zum Transportmodell angesehen wird, zeigt derart zahlreiche Schwächen auf, dass das Transportmodell auf wackeligen Füßen steht.²²⁹ Die empirischen Daten sind mysteriös, und Quellen zum Statistischen Reichsamt des Deutschen Reiches sind ungenau zitiert. Was für das Transportmodell später typisch werden sollte, wird in Koopmans Veröffentlichung bereits explizit gefordert: ein statisches Modell ohne Zeitdimension sowie ein einziges homogenes Massengut. Diese radikale Vereinfachung der ökonomischen Beziehungen im Transportsektor, die Koopmans gemäss seiner Herkunft als mathematischer Physiker vornimmt, lassen das Transportmodell aber ungeeignet werden, um in der ökonomischen Realität im Transportsektor angewendet zu werden.

Koopmans veröffentlichte in seinem 1947-Paper eine Tabelle von 15 Seehäfen weltweit, bei denen er den Eingang und Ausgang von Massengütern in Millionen Tonnen aufzeigt, siehe die folgende Tabelle in Abbildung 5. Von den 15 Häfen besitzen drei Häfen einen Überschuss, sodass sie mehr Tonnen an Eingang haben als im Ausgang. Diese sind die Häfen Athen, Lissabon und Yokohama. Bei den übrigen 12 Häfen ist die Situation umgekehrt. Wundersamerweise ist die Summe der Eingangsmengen über die 15 Häfen gleich der Menge der Ausgangsmengen, sodass, wie im Transportmodell gefordert, Angebot gleich Nachfrage ist. Koopmans zitiert etwas lässig als Quelle für seine Tabelle das Statistische Reichsamt mit der Veröffentlichung „Der Güterverkehr in der Weltschifffahrt“ von 1928. Tatsächlich handelt es sich um ein „Ergänzungsheft zum Heft 1“ der Zeitschrift Vierteljahreshefte zur Statistik des Deutschen Reiches von 1928 im 37. Jahrgang. In dieser Veröffentlichung wird der weltweite Handel mit den sechs Rohstoffen Holz, Kohle, Erdöl, Eisenerz, Weizen und Reis in Millionen Tonnen dargestellt. Der Handel ist nach den geographischen Kategorien der einzelnen Länder gegliedert, nicht aber nach Häfen. Häfen kommen in dem Ergänzungsheft gar nicht vor. Wie Koopmans zu den 15 Häfen seiner Tabelle gelangt, bleibt daher unklar. Wie er seiner Veröffentlichung schreibt, aggregiert er den Einzugsbereich seiner 15 Häfen. So bedient der Hafen von Rotterdam ganz Nordwesteuropa, New York deckt den ganzen Bereich vom Nordwesten der

²²⁶ Dantzig, *Linear Programming*, S. 299.

²²⁷ Zu Hitchcock siehe Hitchcock, Frank: *The Distribution of a Product from several Sources to numerous Localities*, in: *Journal of Mathematics and Physics*, vol. 20, 1941, S. 224–230.

²²⁸ *Exchange Ratios between Cargoes on Various Routes (Non-Refrigerated Dry Cargoes)*. Memorandum for the Combined Shipping Adjustment Board, Washington, D.C., 1942, publiziert in *Scientific Papers of Tjalling C. Koopmans*, Springer Verlag, herausgegeben von Martin Beckmann, Berlin 1970, S. 77-86. Dieses Paper ist eigentlich nicht „scientific“, da es für seine Daten keine Quellen angibt.

²²⁹ Zitiert nach Reprint 1949: Koopmans, *Optimum Utilization*, 1949, S. 136.

USA ab. Welche Länder der Hafen Lissabon aggregieren soll, schreibt er nicht. Offenbar aggregiert der Hafen von Athen den ganzen Mittelmeerraum. Dieses ist verwunderlich, da die Hinterlandanbindung von Athen an den Balkan über Eisenbahnlinien sehr schlecht ist. Man erkennt hieran, dass die Tabelle, die Koopmans mit der Quellenangabe „Statistisches Reichsamt“ veredelt, doch mehr eine Fiktion darstellt als auf nachweisbaren statistischen Daten zu beruhen. Koopmans fragt, wie in seinem fiktiven Modell von den Überschuhäfen Schiffe in Leerfahrten kostengünstig zu den Bedarfshäfen geführt werden können, um die Summe der Transportkosten über alle dieser Leerfahrten zu minimieren. Er stellt also die drei Überschusshäfen den 12 Defizithäfen in einem Transportmodell gegenüber und berechnet in diesem Modell ansatzweise Dualvariable, um die Lenkungswirkung der marginalen Kosten herauszuarbeiten. Bei der Berechnung der Dualvariablen geht er so vor, dass er von den drei Überschusshäfen Athen, Lissabon und Yokohama ausgeht. Er setzt die als Potential bezeichnete Dualvariable für Athen gleich null und berechnet Dualwerte für die von Athen erreichbaren Häfen im Indischen Ozean und Pazifik, indem er die Fahrzeiten in Tagen, welche die Transportpreise annähern sollten, als Dualvariable heranzieht. Wie er mit den Häfen in Amerika und in Westafrika umgeht, bleibt offen.

Koopmans berief sich auf ein Theorem von M. Allais ohne eine Quellenangabe, was die akademische Qualität seines Papers noch weiter mindert. Nach diesem Theorem entsprechen unter Wettbewerbsbedingungen die Verhältnisse der Preise für Transportleistungen den Verhältnissen der marginalen Kosten im Optimum.²³⁰ Er postulierte aber, dass unabhängig von Wettbewerbsbedingungen marginale Kosten eine Lenkungswirkung hin zum Optimum ausüben können. Das Optimum ist ein Transportplan, in dem die Summe der Transportkosten minimal ist. Tatsächlich nimmt er zur Erläuterung seines Modells eine „globale Organisation“ an, welche die Transporte durchführt und gar nicht Transporte unabhängiger Unternehmen unter Wettbewerbsbedingungen.²³¹ Dieser Ansatz ist verwirrend, da Koopmans einerseits als Wettbewerbsökonom von der Cowles Commission an der Universität Chicago auftritt und dann zugleich von einer ökonomischen Zentralmacht ausgeht.²³² Er publizierte das Modell unter dem Titel „Optimum Utilization of the Transportation System“ in der angesehenen Zeitschrift *Econometrica* im Jahre 1949 als Nachdruck seiner 1947-Veröffentlichung. Sein Paper wurde nach Google Scholar über 500 Mal zitiert.

²³⁰ Koopmans, *Optimum Utilization*, 1949, S. 136.

²³¹ Koopmans, *Koopmans, Optimum Utilization*, 1949, S. 138.

²³² Zum Lebenslauf von Koopmans siehe die einführenden Worte von Martin Beckmann in dem vom Letzteren herausgegebenen Sammelband 1970.

Net receipts of dry cargo in overseas trade, 1925

Unit: Millions of metric tons per annum

(1)	(2)	(3)	(4)
Area represented by ¹	All cargoes other than mineral oils		
	Received	Dispatched	Net receipts
New York	23.5	32.7	-9.2
San Francisco	7.2	9.7	-2.5
St. Thomas	10.3	11.5	-1.2
Buenos Aires	7.0	9.6	-2.6
Antofagasta	1.4	4.6	-3.2
Rötterdam*	126.4	130.5	-4.1
Lisbon*	37.5	17.0	20.5
Athens*	28.3	14.4	13.9
Odessa	0.5	4.7	-4.2
Lagos	2.0	2.4	-0.4
Durban*	2.1	4.3	-2.2
Bombay	5.0	8.9	-3.9
Singapore	3.6	6.8	-3.2
Yokohama	9.2	3.0	6.2
Sydney	2.8	6.7	-3.9
Total	266.8	266.8	0.0

Source: *Der Güterverkehr der Weltschifffahrt*, Statistisches Reichsamt, Berlin, 1928.

Abbildung 5: Fiktive Daten zum Überseehandel im Jahre 1925, nach Koopmans 1947, Reprint in *Econometrica* 1949, S. 136.

Für dieses Modell erhielt er den Nobelpreis für Wirtschaftswissenschaften im Jahre 1975 (zusammen mit dem russischen Mathematiker Leonid Kantorowitsch für dessen Entdeckung der Linearen Programmierung). Martin Beckmann, mit dem zusammen Koopmans auch zum Quadratic Assignment Problem publiziert hatte (siehe Abschnitt 11.3), hatte im Jahre 1970 mit der Herausgabe der wissenschaftlichen Papiere von Tjalling Koopmans in einem Band beim Springer Verlag den Weg zum Nobelpreis 1975 geebnet.²³³ Das Nobelpreiskomitee unterstrich die Leistungen Koopmans bei der Erforschung der optimalen Allokation von Ressourcen.²³⁴ Beckmann hatte bereits in den 1940er Jahren mit Koopmans in der Cowles Commission an der Universität Chicago gearbeitet.²³⁵

Ein Lösungsverfahren für das Transportproblem im Kontext der Linearen Programmierung entwickelten Abraham Charnes und William Cooper im Jahre 1954, das als Stepping Stone Methode bekannt wurde. Diese Arbeit war eine Auftragsarbeit des Office for Naval Research, wie die Autoren ausweisen.²³⁶ Ein Nutzen für die Navy wurde nicht bekannt.

Das Transportproblem abstraktifiziert die reale Welt in verschiedenen Stufen. Es stellt für ein homogenes Gut („dry cargo“ der Weltschifffahrt) verschiedene Anbieter verschiedenen Nachfragern

²³³ Scientific Papers of Tjalling C. Koopmans, Springer Verlag, herausgegeben von Martin Beckmann, Berlin 1970.

²³⁴ Siehe die Pressemitteilung der Schwedischen Reichsbank unter: <https://www.nobelprize.org/prizes/economic-sciences/1975/press-release/>. Die Gesellschaft für Operations Research behauptet fälschlicher Weise auf ihrer Webseite, dass Georg Dantzig einen Nobelpreis erhalten habe, siehe <http://www.gor-ev.de/or-2008-in-augsburg>. (Zugriff am 30.5.2018).

²³⁵ Mirowski, Machine, 2002, S. 252.

²³⁶ Charnes, Abraham and William Cooper: The stepping stone method of explaining linear programming calculations in transportation problems, in: *Management Science*, 1(1), 1954, S. 49-69.

gegenüber, wobei die Transportkosten pro Tonne vom Anbieter i zum Nachfrager k gegeben sind. In einem Prozess der Vereinfachung wird die Verschiedenartigkeit von Gütern eliminiert und bloß ein homogenes Gut betrachtet, sodass es für einen Nachfrager gleichgültig ist, welche Anbieter ihn beliefern. Aber die Bestimmung der Bezugsquelle ist eine wichtige unternehmerische Entscheidung für das Management. Beschaffungspolitik ist sogar ein Kernpunkt unternehmerischen Handelns, wie die umfangreiche betriebswirtschaftliche Literatur zu Einkauf und Beschaffung belegt. Diese Art der Entscheidung ist im Transportmodell nicht möglich, und damit bildet das Transportmodell die wirtschaftliche Realität unzureichend ab. Ein homogenes Gut bedeutet, dass auf einem Schiff keine unterschiedlichen Güter transportiert werden könnten – eine absurde Vereinfachung, nur um eine elegante mathematische Formel abzuleiten. Ferner abstrahiert das Transportmodell von zeitlichen Änderungen der Frachtsätze, die in der realen Welt häufig auftreten. Was sollen in der Welt des Transportmodells Schiffe tun, wenn sie sich auf dem Ozean befinden und die Frachtsätze ändern sich? Sollen sie zurückkehren, um dann nach einem erneut optimierten Plan auszulaufen? Auch abstrahiert es von den Economies of Scale, die in der Transportwirtschaft vorherrschen, wo die Frachtsätze für eine Tonne höher sind als für 1000 Tonnen.²³⁷ Die drastische Vereinfachung der wirtschaftlichen Realität im Transportmodell steht in krassem Gegensatz zur Behauptung des OR-Promoters Martin Beckmann, OR sein besonders in komplizierten Entscheidungssituationen anwendbar: "Mathematische Verfahren finden im Wirtschafts- und Sozialbereich immer weitere Anwendungen, vor allem dort, wo es um die Entscheidungsfindung in komplizierten Situationen geht. Gerade die Unternehmensforschung, bei der es um die Anwendung von mathematischen Modellen für wirtschaftliche Entscheidungen geht, hat sich aufgrund dieses Bedarfs...schnell entwickelt."²³⁸

Im Transportmodell können Angebot und Nachfrage in einer Tabelle sogar anschaulich gegenübergestellt werden. Das abstrakte Modell der Linearen Optimierung konnte so mit einer Tabelle veranschaulicht werden, wie folgende Abbildung aus dem Buch von Churchman et al. auf Seite 290 zeigt.

TABLE 11-5b. SECOND FEASIBLE SOLUTION: $C = 233$

Destinations Origins	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	Total
S_1	(3)	(5)	(0)	(1)	7	9
S_2	-11	-13	(4)	18	0	4
S_3	-10	-1	1	(5)	(3)	8
Total	3	5	4	6	3	21

Abbildung 6: Tabelle des Transportmodells mit 3 Anbietern und 5 Nachfragern

Churchman et al. zeigen auf Seite 283 begeistert auf, wie der komplizierte Ansatz der Linearen Optimierung mit dem Transportmodell vereinfacht und so dem mathematisch wenig vorgebildeten Management nahegebracht werden kann. Das Transportmodell war so ein wichtiges

²³⁷ Auf die Ausblendung von Economies of Scale machte bereits Richard Vahrenkamp in seinem Vortrag auf der Jahrestagung der Gesellschaft für Operations Research 2008 in Augsburg aufmerksam.

²³⁸ Beckmann, Unternehmensforschung 1979, Vorwort.

Marketingargument für Operations Research: Seht her – Operations Research ist doch ganz einfach! Dies war die Botschaft.

Die Lösungsverfahren für das Transportmodell liefen vollständig im ganzzahligen Zahlenbereich ab, da es bloß um Addition und Subtraktion von Größen geht, aber nicht um die Division. Diese Beschränkung auf simple Additionen und Subtraktionen war ideal für das Operations Research, weil damit eine Fülle von Beispielen für Lehrbücher erzeugt werden konnten, ohne dass auf einen Computer zurückgegriffen werden musste. Diese Beispiele waren auch ideal für Übungsaufgaben in Universitätskursen, die mit Transportaufgaben den Studenten Anwendungen suggerieren konnten. Die Studenten konnten ohne Computer mit Papier und Bleistift ein Problem in einer Klausur lösen. Dorfman et al. heben dieses einfache Lösungsverfahren mit Papier und Bleistift als besondere Eigenschaft des Transportproblems hervor.²³⁹ Churchman et al. vermuteten sogar, dass diese einfache Rechenstruktur geeignet sei, um Probleme von einfachen Büroangestellten durchrechnen zu lassen.²⁴⁰ Die Autoren zeigen damit an, dass sie sich im Jahre 1957 mental noch im Vor-Computer-Zeitalter befinden. Selbst William Thomas stellt das Transportproblem in seiner Geschichte des OR unkritisch als Success-Story dar.²⁴¹

²³⁹ Dorfman et al, Linear Programming, S. 106.

²⁴⁰ Churchman et al., Operations Research, S. 298.

²⁴¹ Thomas, Rational Action, S. 181.

Zusätzlich kann das Transportproblem eindrucksvoll graphisch z. B. mit einer Landkarte der USA hinterlegt werden, wie es Georg Dantzig in seinem Buch bereits auf Seite drei getan hat, um die ökonomische Bedeutung seines Buches zu unterstreichen. Er zeigt dort Standorte von fünf Lagerhäusern und drei Fischverarbeitungsfabriken der Fischkonservenindustrie. Zudem zeigt er Verkehrsrelationen zwischen diesen Standorten und den dort gegebenen Transportkosten pro Tonne:

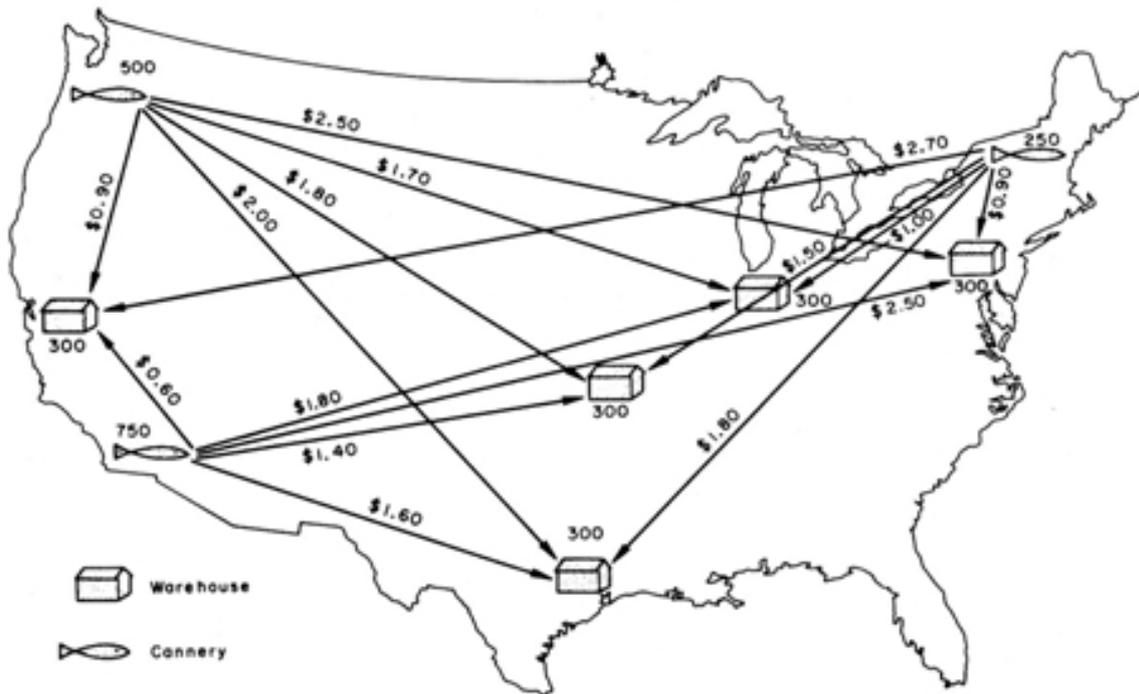


Abbildung 7: Dantzigs Karte mit drei Fischkonservenfabriken, Frachtsätzen und fünf Lagerhäusern in den USA. (Quelle: Dantzig, Lineare Optimierung, 1966, S. 3. Copyright beim Wissenschaftsverlag Springer).

Dass Dantzig ausgerechnet die Fischkonservenindustrie als Beispiel in einem hochindustrialisierten Land mit starker High-Tech-Industrie wie den USA auswählte anstatt z.B. Standorte von Lagerhäusern für Ersatzteile in der Flugzeugindustrie, überrascht. Womöglich bezog sich Dantzig auf John Steinbeck. Für seinen im Jahre 1945 erschienenen Roman *Cannery Row*, der die Fischkonservenindustrie an der US Westküste in Monterey schildert, erhielt John Steinbeck im Jahre 1962 den Nobelpreis für Literatur – ein Jahr, bevor das Buch von Dantzig erschien. Ebenfalls in Monterey baute die Navy 1951 ein großes OR-Department in der Navy Postgraduate School auf, das nach der Einschätzung des OR-Promoters Saul Gass das größte OR-Department der USA und sogar der Welt wurde.²⁴² Sollte diese Einschätzung zutreffen, könnte die These gestützt werden, dass Operations Research nur dazu diente, dem US-Militär ein wissenschaftliches Outfit zu verleihen, wobei eine empirische Nützlichkeit der OR-Methoden zweitrangig wäre. Vermutlich zielte Dantzig mit der

²⁴² Gass et al., *Timeline*, S. 195. Vortrag von Saul Gass auf der Jahrestagung OR der GOR im Jahre 2008 in Augsburg, siehe <http://www.gor-ev.de/or-2008-in-augsburg>. (Zugriff am 30.5.2018).

Publikation seiner Landkarte auf den großen OR–Navy–Standort Monterey ab, um dort Aufmerksamkeit für sein Buch zu erzielen.

Als bloß nominalen Ansatz leitete Dantzig die Standorte der Lagerhäuser auf dieser Landkarte als eine Erfindung auf seinem Schreibtisch ab, nicht aber durch einen Beratungsvertrag von einer Fischkonservenfirma in einem empirischen Forschungsprojekt. Die These von einer Erfindung wird davon gestützt, dass Dantzig keine Quelle für seine Karte angeben kann. Eine Quellenangabe ist aber für eine wissenschaftliche Publikation zwingend erforderlich.

Die Landkarte scheint die Autorität eines bedeutenden ökonomischen Problems auszustrahlen, jedoch ist dieser Eindruck irreführend. Vermutlich zielte Dantzig mit der Veröffentlichung der Karte sogar auf eine bewußte Irreführung des Lesers ab, da im Jahre 1963 überhaupt keine Anwendungen des Transportproblems in der Wirtschaft bekannt waren. Sogar bis heute ist keine Anwendung des Transportmodells in der ökonomischen Welt außerhalb des kommunistischen Blocks 1945–1990 publiziert worden. Es verbleibt als ein Modell in der OR–Welt, ohne eine Transformation in die physische Welt aufzuweisen. Wie der Autor dieses Working Papers in einer Literaturstudie festgestellt hat, ist in der Literatur kein Beispiel dafür bekannt, dass Unternehmen der Transportindustrie (Schiff, Flugzeug, Eisenbahn, Lastkraftwagen) in der kapitalistischen Welt das Transportmodell benutzt haben, um ihre Routen zu optimieren. Dennoch stellt William Thomas das Transportproblem in seiner Geschichte des OR unkritisch als Success–Story dar.²⁴³

Im akademischen Betrieb ist das Transportmodell aber sehr nützlich, da es Stoff bietet für OR–Lehrbücher, für OR–Vorlesungen, für Übungen und Klausuren. Den Studenten wird sogar der Anschein eines anwendungsrelevanten Modells vermittelt. Vorlesungen zum Transport–Modell werden online gestellt, so an der Universität Hamburg.²⁴⁴ Bemerkenswert ist, dass viele OR–Textbücher keine, sich eigentlich anbietende Spreadsheet–Software mit deren Visualisierungsmöglichkeiten präsentieren, um das Transportmodell als Tabelle zu visualisieren und darin Berechnungen zur Bestimmung der Dualvariablen durchzuführen.²⁴⁵ Stattdessen schildern sie altmodische Methoden aus der Vor–Computerzeit, um die optimale Lösung zu finden. Diese sind die Northwest–Regel und die Stepping–Stone–Methode.²⁴⁶ In die Großrechner Software–Pakete zur Linearen Programmierung im MPS–Format wurde das Transportmodell folgerichtig überhaupt nicht aufgenommen, da es in der realen Welt nicht vorkam.²⁴⁷

²⁴³ Thomas, *Rational Action*, S. 179.

²⁴⁴ Professor Knut Haase von der Universität Hamburg präsentierte das Transportproblem noch im Jahre 2017 in seiner Online–Vorlesung Operations Research: <https://lecture2go.uni-hamburg.de/l2go/-/get/v/22402> (Abruf am 1.12.2019)

²⁴⁵ Zur Spreadsheet Software siehe Campbell–Kelly, Number, 2007.

²⁴⁶ Siehe OR–Kurs von Daniel Lambert auf www.wiwiweb.de: <https://www.wiwiweb.de/operations-research/transport/stepp-stone-methode.html>

²⁴⁷ Walter Dürr und Klaus Kleibohm: *Operations Research*, 1. Auflage, München 1983, S. 212.

Dagegen hatten sich die Länder des Ostblocks von dem Optimierungs–Glanz des Transportmodells blenden lassen und hatten es in den 1960er Jahren vielfach auf Großrechnern implementiert.²⁴⁸ Aber es gab Widerstände gegen die Umsetzung der Lösungsvorschläge des Transportmodells im Ostblock (vergl. Abschnitt 12). Sie rühren an die grundsätzliche Frage, wie überhaupt Rationalisierungsgewinne im Transportmodell verteilt werden können. Sofern alle Versender einer Firma gehören beziehungsweise alle Empfänger, kann man davon ausgehen, dass Rationalisierungsgewinne, die durch das Aufsuchen des Kostenminimums im Transportmodell entstehen, dem Versender beziehungsweise dem Empfänger gutgeschrieben werden können. Anders ist die Situation, wenn unterschiedliche Player sowohl auf der Versender– wie auch auf der Empfängerseite auftreten. Diese Situation hatte Koopmans in seinem Transportmodell gar nicht berücksichtigt, sondern nur naiv das Kostenminimum aufgesucht, ohne einen gesellschaftlichen Kontext zu bedenken. Tatsächlich nimmt er zur Erläuterung seines Modells eine „globale Organisation“ an, welche die Transporte durchführt und gar nicht Transporte unabhängiger Unternehmen unter Wettbewerbsbedingungen.²⁴⁹

Dass Koopmans unzureichend Eigentumsverhältnisse und Wettbewerbsbedingungen in seiner Analyse berücksichtigt, wird auch in dem einleitenden Teil seines 1947–Papers deutlich, woher er ein Problem von Arthur Pigou beschreibt,²⁵⁰ wie die Kosten von Leerfahrten zu veranschlagen sind, wenn 5 beladene Güterzüge von einem Ort A zu einem Ort B fahren, für die Rückfahrt aber nur 3 Güterzüge beladen zurückfahren und 2 Güterzüge leer. Die Kosten für die Leerfahrten können auf unterschiedliche Weise mit den offerierten Preise an die Kunden weitergegeben werden, je nachdem, wie die Eigentumsverhältnisse sind, die Koopmans gar nicht berücksichtigt. Wenn die Gleisanlagen und die 5 Güterzüge einer Gesellschaft gehören, dann kann den Kunden eine Mischkalkulation angeboten werden. Sind aber Gleisanlagen und Betrieb getrennt und gehören die 5 Güterzüge zu 5 unterschiedlichen Gesellschaften, so können die Fahrten unterschiedlich kalkuliert werden.

Im akademischen Bereich von Operations Research waren die Gelehrten an ihren Modellen interessiert, nicht aber an der Anwendung und an empirischen Methoden. Darum zog in den seit seiner Entdeckung vergangenen 70 Jahren die Frage gar keine Aufmerksamkeit auf sich, warum das Transportmodell unzureichend ist, um die Transportvorgänge der realen Welt abzubilden. Diese Frage ließen die Gelehrten unbeantwortet. Man kann hier vermuten, dass das Modell so stark vereinfacht wurde, dass es in der realen Welt keine Anwendung fand.

Auf den ersten Blick könnte die Koordination von leeren Güterwagen in einer Eisenbahngesellschaft geeignet sein, um Quell– und Zielverkehre zu modellieren und das Transportmodell anzuwenden, wie es auch Koopmans in seiner Arbeit anregt.²⁵¹ Jedoch koordinierte die deutsche Eisenbahngesellschaft Reichsbahn in den 1920er Jahren nicht ihre Kohlenzüge, um Leerwagen zu bündeln. Stattdessen benutzte sie für den Kohlentransport Pendelzüge zwischen den Kohlenruben

²⁴⁸ Vahrenkamp: *Mathematik trifft auf Machtkalkül*, 2019. Es verwundert nicht, dass in den 1920er Jahren ein sowjetischer Mathematiker Vorläufer des Transportmodells formuliert hat, siehe Schrijver, Alexander: *Combinatorial Optimization*, Berlin, 2003, S. 362.

²⁴⁹ Koopmans, Koopmans, *Optimum Utilization*, 1949, S. 138.

²⁵⁰ Arthur Pigou: *Economics of Welfare*, London 1920.

²⁵¹ Koopmans, Koopmans, *Optimum Utilization*, 1949, S. 144.

und den Orten des Verbrauchs. Auf der Rückfahrt führen die Pendelzüge leer zu den Zechen zurück.²⁵² Empirische Forschungen über Eisenbahn–Gesellschaften zeigen die Bedeutung der Zeitstrukturen des Transportes auf. So benötigen Eisenbahngesellschaften eine Vorausschau für den Bedarf an leeren Güterwagen, welche das extrem vereinfachte Transportmodell nicht bereitstellen kann.²⁵³

11.5 Das Travelling-Salesman-Problem als Erfindung

Das berühmte Travelling–Salesman–Problem²⁵⁴ entstand in der akademischen Umgebung von RAND als eine Erfindung des Mathematikers Georg Dantzig, um etwas Licht von Anwendungen auf das Operations Research zu werfen, aber nicht als eine Auftragsarbeit für eine Firma, welche ihre Verkaufsorganisation verbessern wollte. Bei RAND sah man das Travelling–Salesman–Problem als eine zusätzliche intellektuelle Herausforderung neben der Spieltheorie an.²⁵⁵ Dantzig abstraktifizierte ein Problem aus dem täglichen Arbeitsleben eines Handlungsreisenden, der seine Kunden besucht. Mit einer kleinen semantischen Verschiebung schlug Dantzig vor, dass ein Reisender nicht eine gewisse Anzahl von Kunden, sondern stattdessen eine gewisse Anzahl von Städten besuchen solle. Dantzig warf die Frage auf, wie eine Reise durch diese Städte zu organisieren sei, um eine Route zu finden, die unter allen Reisealternativen eine minimale Distanz aufwies. Zusammen entwickelten die RAND–Mathematiker George Dantzig, Delbert Fulkerson and Selmer Johnson eine Route durch die 48 Staaten der Vereinigten Staaten, wobei sie für jeden Staat bloß eine einzige Stadt auswählten. Damit enthielt die Route auch dünn besiedelte Staaten, wie den Staat Montana, in dem damals weniger als eine halbe Million Einwohnern siedelten, wo aber ein Handlungsreisender wegen geringer Nachfrage kaum Produkte verkaufen konnte.²⁵⁶ Zusätzlich wurde Washington, D.C., in die Route eingeführt. So entstand eine Route, die ein Handlungsreisender in der physischen Welt kaum durchfahren würde. Die Entfernungsangaben zwischen den Städten entnahmen die Forscher als “Schreibtisch–Forschung” einem Autoatlas. Aber die vorgeschlagene Route durch 48 Staaten diente nicht einer Verkaufsorganisation, um ihre Handlungsreisenden einzusetzen. Sie war aber eine gute Marketingstrategie von Dantzig, als er, unterstützt mit der Abbildung einer Karte der Vereinigten Staaten, an den nationalen Stolz der US–Bürger in jedem Staat appellierte. Er zeigte, dass Operations Research ein vereinigendes Band darstellt, das die einzelnen Staaten verbindet. Gass und Assad machten in ihrer Timeline die launige Bemerkung: “Erleben Sie die USA in einem Chevrolet”, womit sie den nicht ganz ernst gemeinten Ansatz des Travelling–Salesman–Problems unterstrichen.²⁵⁷ Anstatt durch 48 Staaten beziehungsweise 48 Städte zu fahren, nahm in einer Marketingaktion von IBM ein Ausstellungs–LKW eine Route durch 24 Städte der

²⁵² Spiess (ohne Vorname): Die Bedeutung der Rückfracht für einzelne Verkehrsmittel, in: Der Güterumschlag, Tagung und Ausstellung des VDI in Düsseldorf und Köln 1925, Sonderausgabe der Zeitschrift des VDI, Berlin 1926, S. 246–248.

²⁵³ Spiess, Bedeutung, 1926. Zum Leerwagenproblem siehe auch Gorman, Empty, 2015, Nievergelt u.a., Praktische Studien, 1970.

²⁵⁴ Hoffman/Padberg, Travelling, 1996.

²⁵⁵ Gass/Assad, Timeline, 2005, S. 48.

²⁵⁶ In ihrem Buch Business Statistics unterstreichen die Autoren Riggelman und Frisbee die Bedeutung der Bevölkerungsdichte, um die für einen Handlungsreisenden wichtige Nachfrage nach Konsumgütern zu abbilden. John Riggelman und Ira Frisbee: Business Statistics, London 1938, S. 428.

²⁵⁷ Gass/Assad, Timeline, 2005, S. 48.

USA, um den neuen Computer RAMAC von IBM für die kommerzielle Datenverarbeitung dem Publikum vorzustellen.²⁵⁸ Interessant wäre es, im Archiv von IBM nachzuvollziehen, welche Route diese Marketingshow genommen hat und ob diese Route mit einer Heuristik oder einem exakten Verfahren optimiert worden war.

Über die vergangenen 60 Jahre faszinierte das Travelling–Salesman–Problem, mit seinem Anschein von Anwendung in der realen Welt, die von der Empirie abgewandten Mathematiker mit einer stetig wachsenden Zahl von Städten, die besucht werden sollten – parallel zu der anwachsenden Rechenkraft der Digital–Computer – und im Jahre 2017 wurden bereits Routen durch 1,9 Millionen Städte der Welt veröffentlicht.²⁵⁹

Empirische Erhebungen über den Bedarf von Lösungsverfahren für das Travelling–Salesman–Problem in der Industrie blieben unbekannt. Merill Flood berichtete in seinem Papier, dass er von Anwendungen gehört habe.²⁶⁰ Der maßgebliche OR–Gelehrte in Deutschland, Andreas Drexel, der nach der Pressemitteilung seiner Universität Kiel der führende Forscher an der Universität Kiel war, berichtete im Jahre 2005 in einem Presseinterview, er sei von der Schönheit des Travelling–Salesman–Problems beeindruckt. Unterstellte Anwendungen in Produktion und Logistik werden immer wieder angeführt, um Projekte für Supercomputer zu rechtfertigen oder gar für den Quantencomputer.²⁶¹ Tatsächlich fehlen aber von großen Produktions– oder Logistik–Unternehmen, wie zum Beispiel Siemens oder Kühne und Nagel, Mitteilungen, dass der Einsatz von exakten Lösung von sehr großen Travelling Salesman Problemen in ihrem Bereich zu substantziellen Kosteneinsparungen geführt habe.

11.6 Berechnete Mahlzeiten als mathematische Unterhaltung

Um den Anschein einer Anwendung zu erwecken, erfand Dantzig neue Probleme, die mit Hilfe der Linearen Programmierung zu lösen waren: das Diätproblem und das Problem des Handlungs–Reisenden. Hier werde ich das Diätproblem darstellen. Dieses Problem wurde zunächst 1945 vom späteren Nobelpreisträger und Ökonomen George Stigler erfunden. Es ist ein seltsames Problem: Wie kann man einen Menschen ausreichend und kostengünstig ernähren? Stigler stellte den Gehalt an Nährstoffen (Fette, Proteine, Kohlehydrate) in verschiedenen Lebensmitteln (wie Gemüse, Obst und Fleisch) den Kosten seiner Beschaffung gegenüber und fragte, wie man eine Mahlzeit für eine Person mit ausreichenden Nährstoffen zu den niedrigsten Kosten serviert.²⁶² Stiglers Papier steht jedoch in einem Vakuum und ist nicht mit der wirtschaftlichen Situation der USA im Jahr 1945

²⁵⁸ Datamation, Band 4, 1958, Heft 1, S. 38–39.

²⁵⁹ <http://www.math.uwaterloo.ca/tsp> (Zugriff am 15. März 2020).

²⁶⁰ Pressemitteilung der Universität Kiel vom 28.11.2005. Handelsblatt vom 12.12.2005. Flood, Travelling, 1956, S. 65.

²⁶¹ Zum Quantencomputer siehe die Projektliste unter <https://www.qutac.de/projekte/> (Zugriff am 1. August 2021)

262

George Stigler, „The Cost of Subsistence“, in *Journal of Farm Economics*, vol. 27, 1945, no. 2, 303–314.

verbunden. Viele Konsumgüter wurden durch den Krieg rationiert. Die kommunalen und staatlichen Sozialprogramme richteten sich an arme Menschen. Wollte Stigler die Kosten für diese Programme senken? Warum hat Stigler nach den niedrigsten Kosten gesucht, nicht nach den zweitniedrigsten oder gar den maximalen Kosten? Das seltsame Ernährungsproblem überlebte viele Jahrzehnte in den Lehrbüchern von Operations Research, ohne jegliche Erklärung, warum es nützlich sein könnte. Selbst William Thomas stellt es in seiner Geschichte des OR unkritisch dar.²⁶³ Noch im Jahre 2014 stellten Stefan Nickel, Oliver Stein und Karl–Heinz Waldmann in der zweiten Auflage ihres Lehrbuches Operations Research das Diät–Problem auf Seite 4 vor, ohne den mangelnden empirischen Gehalt zu erkennen. Zur Lösung des Diätproblems interviewte Dantzig sogar John von Neumann, wie Bhattacharya in seiner von Neumann Biographie betonte, ohne die Kuriosität des Problems zu bemerken und es als eine legitime wissenschaftliche Fragestellung begriff.²⁶⁴

1947 löste Jack Laderman vom Mathematical Tables Project im der Air Force unterstellten National Bureau of Standards das Diätproblem mit der neuen Technik der Linearen Programmierung. Sein Ansatz bestand aus 9 Gleichungen und 77 Variablen, und er löste es mit Hilfe von Büro–Rechnern als eine akademische Übung ohne Anwendung. Dantzig widmete diesem Problem in seinem Buch von 1963 sogar ein ganzes Kapitel. Selbst auf dem Hochgeschwindigkeits-Digitalcomputer 701 von IBM kodierte er das Problem bei der RAND Corporation, aber seine berechneten Mahlzeiten wurden nie an die Piloten von Dantzigs Arbeitgeber, der Luftwaffe, ausgegeben. Dantzig erkannte nicht die doppelte Kuriosität, fortschrittliche Berechnungstechniken auf ein erfundenes Problem anzuwenden, das nur auf schwachen Daten basiert – ein Problem, das weder von der Industrie, den Kommunen noch von der Luftwaffe gestellt wurde. Als empirische Daten zeigte er in seinem Buch eine Tabelle mit Nährstoffen, in welcher der Gehalt an Ascorbinsäure zwischen verschiedenen Apfelsorten um mehr als 100 Prozent variierte.²⁶⁵ Dantzig konnte also die Frage nicht beantworten, ob ein Pilot ein oder zwei Äpfel pro Tag essen sollte. Während die MPI-Gruppe das Diätproblem als ein ernsthaftes wissenschaftliches Problem betrachtete, kann man hier kritisieren, dass Dantzigs Verfahren die Spitzentechnologie von Hochgeschwindigkeits-Digitalcomputern auf das Niveau eines Spielzeugs senkte, das ausschließlich der mathematischen Unterhaltung diene.²⁶⁶

12 Der Boom der Transportoptimierung in der DDR

²⁶³ Thomas, *Rational Action*, S. 181. Das Diätproblem tritt auch im OR–Buch von Nickel et al. in der zweiten Auflage 2014 auf.

²⁶⁴ Ananyo Bhattacharya: *The Man from the Future. The Visionary Life of John von Neumann*, Allan Lane 2021, Penguin Books 2022, p. 191.

²⁶⁵

George Dantzig, *Linear Programming*, 551–553. Georg Dantzig, „The Diet Problem“, in *Interfaces*, vol. 20, 1990, no. 4, 43–47.

²⁶⁶ Paul Erickson et al., *How Reason Almost Lost Its Mind*, 65.

Die Anwendung von OR–Methoden im Ostblock war von politischen Wissenskulturen geprägt. Während in der Sowjet–Union die – auch als Kybernetik bezeichnete – Anwendung mathematischer Planungsmethoden in der Volkswirtschaft zunächst Anfang der 1950er Jahre als „westlich“ abgelehnt worden war, änderte sich die Einstellung durch Nikita Chruschtschows Kritik an Stalin auf dem 20. Parteitag der KPDSU 1956 und mit einer Tagung zur Wirtschaftsmathematik 1959 in Moskau.²⁶⁷ Im Jahre 1967 schätzte George Dantzig, inzwischen Professor für OR an der Stanford University, dass in der Sowjet–Union gegenüber den USA ein Mehrfaches an Mathematikern, OR–Forschern und Forschern in Computer Science tätig seien, um den Rückstand in der Güterproduktion aufzuholen.²⁶⁸

Nachdem in der DDR auch der SED–Chef Walter Ulbricht noch zu Beginn der 1950er Jahre skeptisch gegenüber der Kybernetik und Datenverarbeitung eingestellt gewesen war, wandelte er sich Ende der 1950er Jahre zum Promotor von Kybernetik und Datenverarbeitung. Kybernetik als Systemwissenschaft wurde nun breit diskutiert. Im Jahre 1964 fand die internationale Tagung „Mathematik und Kybernetik in der Ökonomie“ in Ost–Berlin statt.²⁶⁹ Der Computer wurde als ein ideales Werkzeug der Planwirtschaft gesehen.²⁷⁰ Von Martin Schmitt wird der Einsatz von speziell auf die Massendatenverarbeitung in Unternehmensverwaltungen eingerichteten Großcomputern in der Kreditwirtschaft der DDR beschrieben.²⁷¹

²⁶⁷ Zur Debatte um die Kybernetik in den 1950er Jahren siehe Seising, *Cybernetics*, 2010. Zur Kybernetik in der UDSSR siehe Gerovitch, *Cybernetics*, 2002, hier S. 155. Brusbeck, *Unternehmensforschung*, 1965, S. 46.

²⁶⁸ Dantzig, *Operations Research in the World*, 1967, S. 117.

²⁶⁹ Dittmann/Seising, *Kybernetik 2007. Mathematik und Kybernetik in der Ökonomie*, Internationale Tagung in Berlin im Oktober 1964, *Proceedings*, Akademie–Verlag Berlin 1965.

²⁷⁰ Donig, *DDR–Computertechnik*, 2006, S. 252. Potthoff, *Linearprogrammierung*, 1961. Nützenadel, *Ökonomen*, 2005, S. 201.

²⁷¹ Schmitt, Martin: *Digitalisierung der Kreditwirtschaft. Computereinsatz in den Sparkassen der Bundesrepublik und der DDR 1957 bis 1991 (Medien und Gesellschaftswandel im 20. Jahrhundert)*. Wallstein Verlag, Göttingen 2021.

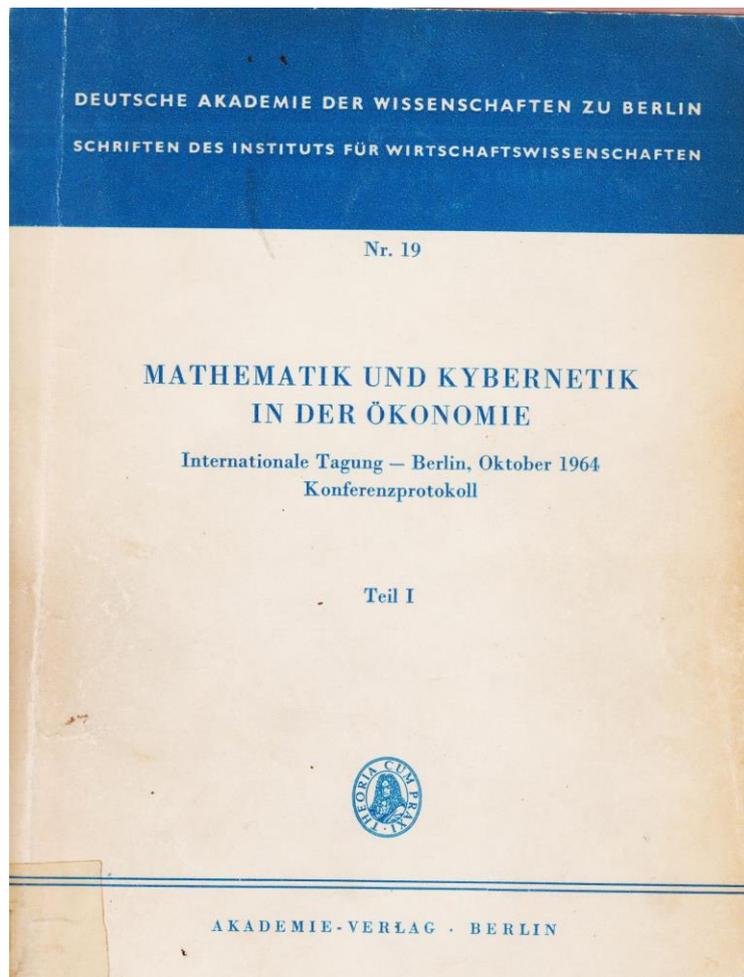


Abbildung 8: Band Mathematik und Kybernetik, Berlin 1965.

In der Richtlinie zum Neuen Ökonomischen System der Planung und Leitung der Volkswirtschaft forderte der Ministerrat der DDR 1963 den Aufbau eines computergestützten Systems der Rechnungsführung für die Volkswirtschaft.²⁷² Sogar dem Schweizer OR-Promotor Hans Künzi gelang es, in der DDR, im Leipziger Teubner Verlag, im Jahre 1966 eine Schrift über mathematische Optimierung mit FORTRAN- und Algolprogrammen publizieren.²⁷³

Unter der Vielzahl von Kybernetikmethoden greife ich hier die computergestützte Transportoptimierung heraus. Der gesamte Ostblock erlebte Anfang der 1960er Jahre geradezu einen Boom der Transportoptimierung. Anders als in der kapitalistischen Welt wurden im Ostblock Methoden der computergestützten Transportoptimierung, wie die Tourenplanung und das Transportmodell, begierig aufgegriffen, da sie den vereinfachenden Denkansätzen der Planwirtschaft zu entsprechen

²⁷² Die Richtlinie sprach eigentümlich von „hochmechanisierten Rechenanlagen“. Im „Prager Frühling“ 1968 erzählte der in der DDR aufgewachsene Führer der rebellierenden West-Berliner Studenten, Rudi Dutschke, den erstaunten Studenten der Universität Prag, die nach 20 Jahren Kommunismus eigentlich eine marktwirtschaftliche Steuerung der Wirtschaft anstrebten, dank des IBM Computers S/360 sei die Planwirtschaft das überlegene System, siehe die Erinnerungen von Stepan Benda an seine Begegnung mit Rudi Dutschke in Prag unter <https://www.tschechien-online.org/blog/meine-begegnung-rudi-dutschke-im-april-1968-prag-01082016-17424>. (Zugriff am 30.5.2018).

²⁷³ Hans P. Künzi, Hans G. Tschach, Carl A. Zehnder: Numerische Methoden der mathematischen Optimierung: mit ALGOL- und FORTRAN-Programmen, Leipzig: Teubner, 1966.

schienen. Wie vom Fachgebiet der Wirtschaftspolitik an Universitäten der BRD hervorgehoben, lassen sich die Planungsansätze von Zentralverwaltungswirtschaften durch Vereinfachung charakterisieren. Die Warenvielfalt, welche westliche Märkte kennzeichnet, wird auf nur wenige Typen von Gütern reduziert.²⁷⁴

In der DDR wurde das Operations Research als Operationsforschung bezeichnet, und in der Reformära erschienen in der DDR zahlreiche Bücher zur sozialistischen Wirtschaftsführung mit Hilfe der Operationsforschung. Von der Reformfraktion in der SED wurde dieser Ansatz als Organisationswissenschaft verstanden, um in Rahmen des Neuen Ökonomischen Systems der 1960er Jahre die großen sozialistischen Konzerne, wie die Vereinigung volkseigener Betriebe (VVB), richtig leiten zu können.²⁷⁵ Von der Operationsforschung erwartete die SED eine Anleitung des Managements, wie es Herbert Simon vorgeschlagen hatte. Seit 1967 gab es an den Hochschulen das Studiengebiet „Marxistisch–Leninistische Organisationswissenschaft“ (MLO), in welchem Operationsforschung eine große Rolle spielte.²⁷⁶ Die Gründung der Konzerne „Vereinigung volkseigener Betriebe“ hatte die SED so überstürzt vorgenommen, dass ihr Methoden der Führung dieser großen Konglomerate fehlten. Das MLO schien dafür einen Ausweg zu bieten.

An dieser Stelle wird eine Übersicht über die Publikationen zum Thema Operationsforschung gegeben. Der polnische Autor Wiesław Sadowski legte im Jahre 1963 im Akademieverlag sein ursprünglich auf Polnisch publiziertes Lehrbuch „Theorie und Methoden der Optimierungsrechnung in der Wirtschaft“ auf Deutsch vor. Im Jahre 1968 publizierte die an der Bergakademie Freiberg im Jahre 1966 habilitierte Wissenschaftlerin Hannelore Fischer²⁷⁷ – wahrscheinlich die einzige weibliche OR–Wissenschaftlerin im Rang einer Professorin in Deutschland, wenn nicht gar in ganz Europa – „Modelldenken und Operationsforschung als Führungsaufgaben“ in der hoch am Zentralkomitee der SED angesiedelten Schriftenreihe zur sozialistischen Wirtschaftsführung des Zentralinstituts für Sozialistische Wirtschaftsführung beim ZK der SED in Verbindung mit dem Arbeitskreis "Sozialistische Wirtschaftsführung" des Beirates für Ökonomische Forschung bei der Staatlichen Plankommission der DDR. In dieser Schrift beschrieb sie die Koordinierung einzelner Betriebe eines VVB – eigentlich ein Thema von Controlling und Rechnungswesen, aber nicht von Operationsforschung. Die „Tabellen“ für Kosten und Gewinne der einzelnen Betriebe sollten zentral in einer Tabelle konsolidiert werden.²⁷⁸ Mit der Einführung von MLO im Jahre 1967 war der Bedarf an Grundlagentexten zur Steuerung der VVB groß, und das Buch erlebte bereits im Jahre 1969 seine dritte Auflage.

²⁷⁴ Eucken, Wirtschaftspolitik, 1990, S. 78.

²⁷⁵ Gert-Joachim Glaeßner: Herrschaft durch Kader: Leitung der Gesellschaft und Kaderpolitik in der DDR am Beispiel des Staatsapparates, Opladen 1977.

²⁷⁶ Hartmut Schulze: Kybernetik und die Ausbildung der Ökonomen in der DDR, in: Dittmann, Frank und Rudolf Seising, Kybernetik, 2007., S. 433–445.

²⁷⁷ An der Bergakademie Freiberg habilitierte sich Hannelore Fischer 1966 mit der Schrift „Optimierung einer Erzeugnisgruppe als Mittel der komplexen sozialistischen Rationalisierung“, siehe ihr Buch „Modelldenken und Operationsforschung als Führungsaufgabe“, Berlin 1968, S. 114. Zur Fischers Bio und Werk siehe den Wikipedia Eintrag Hannelore Fischer vom Autor.

²⁷⁸ Hannelore Fischer: Modelldenken und Operationsforschung als Führungsaufgaben, Berlin 1968, S. 72–90. In dem aufwendig editierten Konferenzbericht zur ersten IFORS–Konferenz 1957 in Oxford werden in einem drei Seiten umfassenden Fotoindex alle 250 Teilnehmer namentlich mit einem Foto identifiziert sowie im Teilnehmerverzeichnis nach Ländern gruppiert aufgeführt. Nach dem Fotoindex sind ca. 10 Teilnehmer weiblich, darunter Dr. Anna Maria Restelli vom Centro per la Ricerca Operativa der Universität Bucconi in Mailand, deren Chef Francesco Brambilla allerdings als Professor aufgeführt wird, siehe Davies, Max (Hersg.): International Conference on Operational Research (Oxford), London 1957, S. 523.

Fischers Ansatz zur Steuerung von VVB über „Tabellen“ scheiterte an der hierfür nötigen Vereinheitlichung der Datenbasis und der Vereinheitlichung der darauf zugreifenden Software in den einzelnen Betrieben. Die Unternehmen eines VVB waren darauf nicht vorbereitet. Diese doppelte Vereinheitlichung ist das bis heute ungelöste Problem der Informatik. Technische Datenstrukturen treffen auf soziale Machtstrukturen, welche einer Vereinheitlichung entgegenstehen. Bereits Martin Schmitt formulierte 2021 in seiner Studie zur Digitalisierung der Kreditwirtschaft in der DDR, dass Machtstrukturen zur Vereinheitlichung der Informationstechnik notwendig sind.²⁷⁹ Ebenfalls hoch angesiedelt am Zentralinstitut für Sozialistische Wirtschaftsführung war die nahezu 950 Seiten umfassende und 1969 erschienene, von Hannelore Fischer herausgegebene, Schrift: „Operationsforschung in der sozialistischen Wirtschaft: mit bewährten Modellen aus der Praxis.“²⁸⁰ Zwar gibt es in dem Buch einige Beispiele für Anwendungen von OR-Methoden in der Praxis, wie der Einsatz der Netzplantechnik mit 389 Ereignissen für den Bau der für die Versorgung mit russischen Erdöl für die DDR essentiellen Erdölraffinerie Schwedt (S. 360), aber diese Beispiele sind nicht durchgehend präsentiert.

1968 publizierte Hermann Ley die Proceedings einer Tagung: Operationsforschung: Technik, Praxis, Philosophie / Materialien eines Kolloquiums des Philosophischen Instituts der Humboldt-Universität über Probleme der Operationsforschung, 1967. 1968 gaben Hannelore Fischer, Wolfgang Salecker und Dietrich Schubert für die Bezirksleitung der SED Berlin, Abteilung Agitation, Propaganda, die Schrift „Operationsforschung in der Wirtschaft: Hinweise für Führungskräfte“ heraus. Reinhard Göttner schrieb 1970 das Buch „Was ist – was soll Operationsforschung“, dem mehrere Auflagen folgten. Eine Gruppe von Studenten am Mathematischen Institut der Universität Leipzig legte 1970 unter der Leitung von Professor Hans-Jürgen Girlich eine Bibliografie zu Operationsforschung vor, die unter dem Titel Operationsforschung publiziert wurde.²⁸¹ 1970 erschien das umfassende Werk Mathematische Standardmodelle der Operationsforschung von Franz Böhm, mit 741 Seiten im Verlag „Die Wirtschaft“, Berlin.

Neben diesen allgemeinen Bänden gab es zahlreiche Veröffentlichungen zur Operationsforschung, die sich auf spezielle Wirtschaftsbereiche wie Außenhandel, Landwirtschaft oder den Maschinenbau bezogen. Seit dem Jahr 1970 gab das Zentralinstitut für Mathematik und Mechanik der Akademie der Wissenschaften der DDR die Zeitschrift „Mathematische Operationsforschung und Statistik“ heraus. In Heft 3 des Jahrgangs 1970 berichteten H. Hollatz und H. Weinert von einer Arbeitstagung „Mathematische Optimierung“ vom 28.9. – 4.10.1969 in Gohren auf der Insel Rügen.

Lehrstühle für Operationsforschung wurden an den mathematischen Fakultäten der Universitäten eingerichtet. Ich greife hier zwei Beispiele heraus. Die Verkehrsuniversität List in Dresden richtete im Jahre 1967 die Sektion Mathematische Methoden der Unternehmensforschung im Transport-

²⁷⁹ Schmitt, Martin: Digitalisierung der Kreditwirtschaft. Computereinsatz in den Sparkassen der Bundesrepublik und der DDR 1957 bis 1991 (Medien und Gesellschaftswandel im 20. Jahrhundert). Wallstein Verlag, Göttingen 2021, S. 372.

²⁸⁰ Hannelore Fischer: Operationsforschung in der sozialistischen Wirtschaft: mit bewährten Modellen aus der Praxis, Berlin 1969.

²⁸¹ Hans-Jürgen Girlich: Bibliografie zu Operationsforschung, Leipzig 1970 (Bibliografischer Informationsdienst der Deutschen Bücherei Nr. 16).

und Nachrichtenwesen ein.²⁸² In gleicher Weise wurde 1968 im Zuge der 3. Hochschulreform in der DDR die beiden mathematischen Institute an der Bergakademie Freiberg zur Sektion Mathematik vereinigt und dort eine Sektion Optimierung erreicht.²⁸³ Die Operationsforschung konnte jedoch weniger in der Steuerung der großen sozialistischen Konzerne (VVB) Erfolge vorweisen, wie von der MLO erhofft, sondern auf dem Spezialgebiet der Transportoptimierung außerhalb der VVB.

Im Folgenden sei auf die sozialen Räume der Transportoptimierung in der DDR eingegangen. Seit 1959 wurde auf Parteitage der SED und in Empfehlungen der obersten Leitungsgremien der DDR immer wieder auf bestehende „unnötige, gegenläufige und unwirtschaftliche Transporte“ in der Volkswirtschaft verwiesen, die es mit modernen Methoden zu identifizieren und zu eliminieren gelte, um so einen hohen ökonomischen Nutzen zu erreichen.²⁸⁴ Die zahlreichen Forschungsinstitutionen, wie dem Zentralinstitut für Automatisierung in Dresden und der Verkehrshochschule in Dresden, nahmen diese Vorgaben der Politik gerne an.²⁸⁵ An der Verkehrshochschule untersuchte Karl Hofmann die Lieferbeziehungen in der Grundstoffindustrie und stellte mit dem Transportmodell optimierte, auf dem Eisenbahntransport basierende Lieferbeziehungen für Holz, Kohle, Schwefelsäure und Baustoffe auf. Er vergab dazu zahlreiche Diplomarbeiten und Dissertationen. In wie weit die Optimierungen bloß akademisch blieben und nicht umgesetzt wurden, blieb aber offen.

In der Kohlewirtschaft gelang die Abstraktifizierung im Modell nicht reibungslos, da viele Kohlesorten unterschieden werden mussten. Ferner war für den ca. 50 Tausend Bit umfassenden Trommelspeicher des damals in der DDR gängigen Computers ZRA1, hergestellt von Carl Zeiss in Jena, der Datensatz für die Verteilung von Braunkohlenbriketts zu groß. Die Zahl der Kohleanbieter musste von 50 auf 21 gesenkt werden, und ebenso die Zahl der Nachfrager von 3000 auf 74.²⁸⁶ Auch bei der Belieferung mit Kiefernholz erzielte das Optimierungsprogramm unbefriedigende Lösungen. Kleine holzverarbeitende Betriebe wurden weit entfernte Holzquellen zugeordnet, was für die Betriebe hohe Transportkosten zur Folge hatte und Widerstand gegen die Optimierung hervorrief.²⁸⁷ Die folgende Abbildung 9 zeigt die Koordinierung von Kalklieferungen in der DDR auf.

²⁸² Quelle: https://tu-dresden.de/ua/ressourcen/dateien/integrierte-einrichtungen/hfv/geschichte_hfv_abriss?lang=de (Abruf am 1. 10. 2019)

²⁸³ <https://tu-freiberg.de/fakult1/organisation/historie#inst> (Abruf am 1.10.2019)

²⁸⁴ Hofmann/Schreiter/Vogel, Optimierung, 1964, S. 6. Diese Autoren sowie Potthoff (Linearprogrammierung, 1961) geben umfangreiche Bibliographien mit Quellen aus Polen, Ungarn, UDSSR und der Tschechoslowakei an.

²⁸⁵ Weiter Forschungseinrichtungen beteiligten sich an der Transportoptimierung: Die Versuchs- und Entwicklungsstelle für Kraftverkehr in Dresden, das Institut für Verkehrsforschung in Berlin, die Hochschule für Architektur und Bauwesen in Weimar, das Institut für Ökonomie der deutschen Bauakademie in Leipzig, die Staatliche Plankommission und der Volkswirtschaftsrat, siehe ebd., S. 7. Siehe auch den Eröffnungsvortrag von K. Kohlmay zum Kongress „Mathematik und Kybernetik in der Ökonomie“, in: Deutsche Akademie, Mathematik und Kybernetik, 1965, S. 4–11.

²⁸⁶ Hofmann/Schreiter/Vogel, Optimierung, 1964, S. 72.

²⁸⁷ Ebd., S. 90.

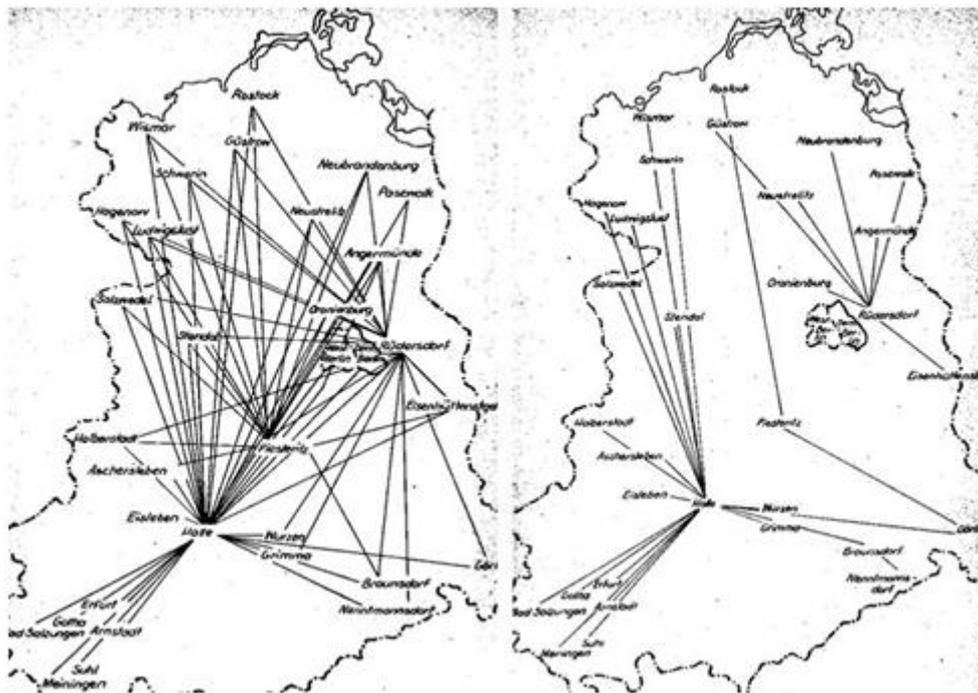


Abbildung 9: Zentralisierung von Kalk-Transporten in der DDR. Links ohne Koordinierung, rechts mit Koordinierung. (Quelle: Hofmann et al. S. 94f).

Die Autoren Hofmann et al. berichten am Schluss ihrer Publikation auch von Hindernissen, die einer Abstraktifizierung im Transportmodell entgegenstehen: Die Abnehmer seien von den geänderten Lieferbeziehungen zu überzeugen und die eventuell notwendigen organisatorischen oder technischen Veränderungen seien mit ihnen zu beraten. Gegenüber dem Wunsch der Optimierer nach zeitlich stabilen Lieferbeziehungen, treten im lebendigen Wirtschaftsleben doch andauernd Veränderungen der Mengen und Qualitätsanforderungen ein. Langjährige Lieferbeziehungen in den staatlichen Verteilungskontoren, Absatzkontoren und Vereinigungen Volkseigener Betriebe wurden geändert, ohne dass die Vorteile der Optimierung diesen Betrieben zugutekamen.²⁸⁸ Auch in den Forschungsberichten der Versuchs- und Entwicklungsstelle des Kraftverkehrs der Verkehrsuniversität Dresden sowie in der Zeitschrift „Der Verkehrspraktiker“ wurde eingeräumt, dass es bisher noch wenig Anwendungen des Transportmodells gebe, aber Beispiele für die Belieferung von Bäckereien mit Mehl in Dresden und die Belieferung von Baustellen mit Ziegeln erwähnt.²⁸⁹

Der in Potsdam angesiedelte Diplom-Mathematiker Gottfried Höfer berichtete in dem von Hannelore Fischer herausgegebenen Buch „Operationsforschung in der sozialistischen Wirtschaft“ vom Einsatz des Transport-Modells in der Forstwirtschaft. In seinem Untersuchungsbereich von Königs Wusterhausen betrachtete er 130 Forstbetriebe, die Bäume fällten und zu 20 Sägewerken transportierten. Dazu erhob er Daten zu Holzeinschlag und Transportleistungen.²⁹⁰ Um genügend zu

²⁸⁸ Ebd., S. 101.

²⁸⁹ Versuchs- und Entwicklungsstelle des Kraftverkehrs, Methodik, 1964. Auf Seiten 25f werden die für die Forschung zugänglichen Computer in der DDR als eine Tabelle zusammengestellt. Jahresberichte der Versuchs- und Entwicklungsstelle 1962 und 1963, Akten des Ministeriums für Verkehrswesen, Bundesarchiv Berlin, Akte DM 1/7152. Verkehrspraktiker, 1964, S. 6–7.

²⁹⁰ Hannelore Fischer: Operationsforschung in der sozialistischen Wirtschaft: mit bewährten Modellen aus der Praxis, Berlin 1969, S. 410–427.

abstraktifizieren, wurden Nadelholz- und Laubholz-Bäume getrennt betrachtet. Das Projekt benötigte 20 Stunden Rechenzeit auf dem Computer ZRA1, um die kostenminimale Transportzuordnung zu finden. Der Computer war aufgestellt in der Sternwarte Potsdam-Babelsberg. Zum Einsatz kam die Vogelsche Approximations-Methode zur Lösung des Transport-Problems.²⁹¹ Dieses Programm wurde im Rechenzentrum der Deutschen Reichsbahn programmiert und war seit 1965 im Einsatz. Eine andere Programm-Variante nach Dennis wurde vom VEB Leuna Werk „Walter Ulbricht“ geschrieben. Höfer erörterte, wie die Widerstände der Forstbetriebe aussahen, ihre Holzablieferungen gemäß der optimierten Pläne des Transport-Modells durchzuführen. Die Optimierung erreichte eine Einsparung von Transportkosten in der Größenordnung von 238.000 Mark, entsprechend 14% der Kosten ohne Optimierung. Die Arbeitsgruppe von Hannelore Fischer dehnte ihren Optimierungs-Ansatz auf die staatlichen Forstbezirke Belzig, Potsdam und Rathenow aus. Während die Optimierung die Transportkosten im Bereich von 10 – 15% senkte, sank die Transportleistung, gemessen in Festmeter Holz mal zurückgelegte Transport-Kilometer, sogar um circa 50%.

Der von der Dresdener Versuchs- und Entwicklungsstelle im Jahre 1964 herausgegebene Band „Methodik für die Optimierung der Transporte mit Kraftfahrzeugen“ fokussierte auf den Gütertransport mit dem Lastkraftwagen (LKW). Dort werden neben dem Transportmodell auch das Rundreiseproblem („Rundfahrtproblem“) und das darauf aufbauende Tourenplanungsproblem dargestellt. Das Tourenplanungsproblem geht von einem zentralen Depot aus und stellt die Gesamtzahl der täglich zu beliefernden Lebensmittelläden einer Stadt in eine Reihe von separaten Belieferungstouren für Lieferfahrzeuge zusammen. Die folgende Abbildung visualisiert diese Problemstellung für 10 Lebensmittelläden und drei Touren.

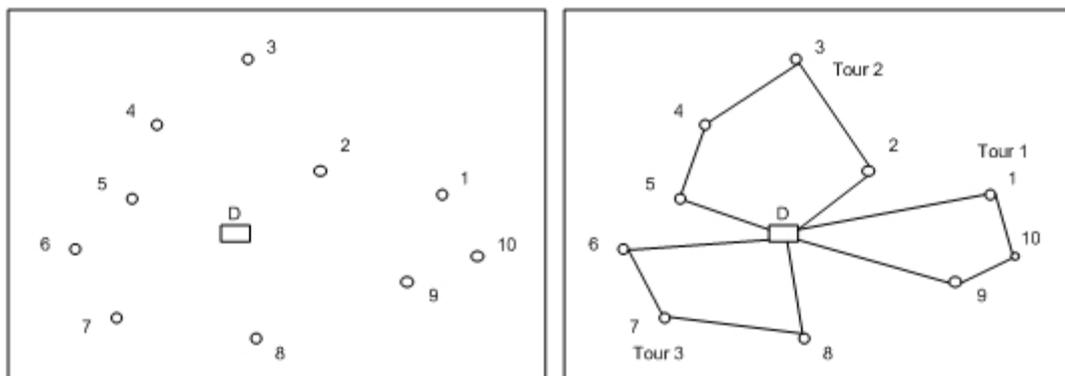


Abbildung 10: Modell einer täglichen Belieferung von 10 Läden in einem Stadtgebiet. Links ohne verbindende Touren, rechts mit drei Touren von einem zentralen Depot D.
(Quelle: Erstellung des Autors)

Das Tourenplanungsproblem fragt danach, wie die Läden einzelnen Versorgungstouren zugeordnet werden sollen und wie die kürzeste Reihenfolge der anzufahrenden Läden in den einzelnen Touren zu bestimmen ist – das Letztere also ein Travelling Salesman Problem (Rundreiseproblem), siehe oben.²⁹² Ziel der Planung ist es, eine Zerlegung in tägliche Touren und deren Reihenfolge so zu

²⁹¹ Vogel, Horst: Erfahrungen bei der Optimierung

²⁹² Hoffman und Padberg, Travelling Salesman, 1996.

bestimmen, dass die Gesamtzahl der von den Lieferfahrzeugen gefahrenen Kilometer minimiert wird. Die einzelnen vom Depot aus startenden Fahrten der Lieferwagen wurden mit heuristischen Verfahren für das Rundreiseproblem zu kürzesten Routen optimiert. Die Anwendung der Optimierungsmethoden von Dantzig auf das Rundreiseproblem mit einem Computer wurde abgelehnt mit dem Hinweis, dass dieses Vorgehen zu viele Alternativen prüfe. Stattdessen wurden einfache Heuristiken erwähnt, die für „Handrechnungen“ gut geeignet seien.²⁹³ Mit der Tischrechenmaschine ausgeführte Handrechnungen waren insofern unproblematisch, als die Problemstellungen überschaubar waren und die einzelnen Versorgungstouren selten mehr als 10 Einzelhandelsgeschäfte umfassten.

In der westlichen OR-Literatur wurde allerdings darauf verwiesen, dass das hier geschilderte Tourenplanungsproblem als „Basismodell“ zu stark vereinfacht und daher bloß für die akademische Lehre geeignet sei und in realen Anwendungsfällen zahlreiche Zusatzbedingungen berücksichtigt werden müssten, wie z.B. Rücknahme von Leergut oder bestimmte Zeitrestriktionen bei der Anlieferung. Aber gerade diese Zusatzbedingungen, die je nach Anwendungsfall verschieden ausfallen, verhinderten die Erstellung eines generischen Grundmodells, an das die Zusatzbedingungen einfach nur „angeklebt“ werden könnten. Daher musste für jeden Anwendungsfall das Modell von Grund auf neu bestimmt werden.²⁹⁴

Die Autoren der Versuchs- und Entwicklungsstelle nannten DDR-weit die Standorte von Institutionen, die Computer – zumeist den ZRA1 – für Berechnungen bereitstellten. Diese Rechnerstandorte übernahmen aufgrund der abgelieferten Daten die Programmierung und die eigentliche Berechnung, wofür 160 Deutsche Mark pro Rechnerstunde in Rechnung gestellt wurden und 12 Deutsche Mark für eine Mathematikerstunde zum Programmieren. Die Anwender sollten daher eine „Handrechnung“ gegenüber der Computerberechnung abwägen.²⁹⁵ Auch Probleme der Datenerhebung sprachen die Autoren an. Das Straßennetzwerk sei aus Kartenmaterial zu erstellen, wobei Anträge zum Bezug von Karten bei der staatlichen Geodäsiekontrolle zu stellen seien, sofern die Karten nicht im Handel erhältlich seien. Die Versandgüter seien nach Typen und Gewicht zu erfassen. Als Anwendung des Tourenplanungsproblems werden Milchlieferungen an Einzelhandelsläden in verschiedenen Städten, wie Dresden, Berlin und Rostock genannt. In Dresden gab es eine Verkürzung der täglichen Auslieferungstouren von 730 km auf 580 km. Bei der Optimierung in Dresden stellte sich heraus, dass die ehemaligen Versorgungsfahrten sich überschneiden, sodass schon aus der Beseitigung der Überschneidungen eine Streckenverkürzung ohne Optimierung möglich wurde.²⁹⁶

Für die Anwendung des Rundreiseproblems auf die Tourenplanungsprobleme war es notwendig, vorab die einzelnen Liefergebiete festzulegen, worin die einzelne Touren optimiert werden sollten. Für diese Zerlegung gab es noch kein mathematisches Verfahren, wie die Autoren in dem 1964 erschienenen Band „Methodik für die Optimierung der Transporte mit Kraftfahrzeugen“ auf Seite 19 beklagten. Die Veröffentlichung der britischen Forscher G. Clark und J. Wright zur Tourenplanung erfolgte erst im gleichen Jahr 1964, wo sie mit dem Savingsverfahren die Liefergebiete festlegen

²⁹³ Versuchs- und Entwicklungsstelle, Methodik, 1964, S. 20.

²⁹⁴ Mattfeld und Vahrenkamp, Logistiknetzwerke, 2012.

²⁹⁵ Versuchs- und Entwicklungsstelle, Methodik, 1964, S. 20, S. 25f. Hofman et al., Optimierung, 1964, S. 29.

²⁹⁶ Versuchs- und Entwicklungsstelle, Methodik, 1964, S. 19.

konnten.²⁹⁷ Der Ansatz von Clark und Wright ist insofern interessant, als er von einer ungewöhnlichen Startlösung ausgeht, nämlich derjenigen, welche die schlechteste von allen Lösungen darstellt: Jedes Geschäft wird von einem LKW in einer Pendeltour vom Depot aus bedient, ohne die Bedienung anderer Geschäfte einzubeziehen. In einem Iterationsverfahren werden Pendeltouren schrittweise kombiniert, welche die größte Ersparnis an Fahrtstrecke zurück zum Depot versprechen. Die Autoren Hofmann et al. nennen auch Faktoren, welche einer Abstraktifizierung entgegenstehen. So werden die täglich schwankenden Bedarfe der Lebensmittelläden genannt, sodass man mit groben Durchschnittswerten arbeiten musste. Für die Bedarfsspitze am Samstag wurden eigene Lieferpläne empfohlen. Bei den Plänen für die Belieferung am Sonntag blieben aber viele Läden geschlossen, sodass für den Sonntag wieder neue Pläne erstellt werden mussten.²⁹⁸

Im Folgenden wird aufgezeigt, wie die Transportoptimierung in die politischen Wissenskulturen der DDR eingebettet war und dort auf Widerstand stieß. Die Mathematiker in der DDR trafen bei der Anwendung von OR-Methoden auf Skepsis. Der Chef der Versuchs- und Entwicklungsstelle des Kraftverkehrs der Verkehrsuniversität Dresden, der Diplom Mathematiker Werner Haering, beklagte sich auf der Tagung von Leitern der Kraftverkehrsverwaltungen (BDK) in Magdeburg im Jahre 1964, die verladende Wirtschaft habe kaum Interesse an der Optimierung des LKW-Einsatzes.²⁹⁹ Die ablehnende Haltung der verladenden Wirtschaft resultierte nicht zuletzt aus der Zentralisierung des LKW-Verkehrs, den die SED seit 1959 vorgenommen hatte. Der verladenden Wirtschaft wurden ihre eigenen LKW-Flotten, die sie im sogenannten Werkverkehr eingesetzt hatte, weggenommen und als volkseigene Verkehrsbetriebe zentralisiert, die der verladenden Wirtschaft nun Transportleistungen anboten.³⁰⁰ Die Hauptabteilung Kraftverkehr des Ministeriums für Verkehrswesen wollte gegen diese zögernde Haltung der verladenden Wirtschaft vorgehen und eine breite Schulungskampagne starten. Bereits im März 1963 in Weimar und im Juni 1964 in Zabeltitz fanden Schulungsprogramme zur Transportoptimierung für die verladende Wirtschaft statt.³⁰¹ Die mathematische Transportoptimierung traf auf das politisierte Feld der zentralisierten LKW-Politik der SED.

Der Boom der Transportoptimierung flaute in der DDR Ende der 1960er Jahre ab. Zwar verwiesen Forscher auf die angebliche Relevanz des Transportproblems. Die Autoren Dück et al. rechtfertigten es im Jahre 1971 wie folgt tautologisch: "In der Ökonomie wird dem Transportproblem wegen seiner großen volkswirtschaftlichen Bedeutung ...große Bedeutung beigemessen."³⁰² Mit „Ökonomie“ meinen die Autoren die Volkswirtschaft. Die Forscher konnten aber auf keine überzeugenden Anwendungen verweisen.

²⁹⁷ Clarke/Wright, Scheduling, 1964.

²⁹⁸ Versuchs- und Entwicklungsstelle, Methodik, 1964, S. 19.

²⁹⁹ Verkehrspraktiker, Mangelndes Interesse, 1964, S. 6f.

³⁰⁰ Vahrenkamp, Dream, 2015.

³⁰¹ Verkehrspraktiker, Mangelndes Interesse, 1964, S. 7. Versuchs- und Entwicklungsstelle, 1964, Vorwort.

³⁰² Dück et al., Operationsforschung, 1971, Bd. 2, S. 186.

12 Literaturverzeichnis

- 50 Years Project Air Force, Washington, D.C., 1996.
- Ackhoff, Russel und Herbert Simon (Hrsg.): Proceedings of the Automatic Data Processing Conference, Graduate School of Business Administration, Harvard University, Boston, 1955.
- Agar, Jon: The government machine: a revolutionary history of the computer, MIT Press 2003.
- Akera, Atsushi: Calculating a Natural World – Scientists, Engineers, and Computing during the Rise of U.S. Cold War Research, MIT Press 2007.
- Alavi, Maryam und Patricia Carlson: A Review of MIS Research and Disciplinary Development, in: Journal of Management Information Systems, 8 (1992) Heft 4, S. 45–62.
- Albach, Horst: Stand und Entwicklungstendenzen der Unternehmensforschung in Deutschland, in: Wissenschaft und Praxis: Festschrift zum zwanzigjährigen Bestehen des Westdeutschen Verlags, Köln 1967, S. 251–282.
- Aspray, William: John von Neumann and the Origins of Modern Computing, Cambridge, Mass., 1990.
- Baer, D.: IBM 1400 Series, in: Encyclopedia of Computer Science, hrsg. von Anthony Ralston und Chester Meek, New York 1976, S. 629f.
- Bartsch, Helmut und Thomas Teufel: Supply Chain Management mit SAP APO: Supply-Chain-Modelle mit dem Advanced Planner and Optimizer, Bonn 2000.
- Bashe, Charles Lyle Johnson, John Palmer, Emerson Pugh: IBM's Early Computers, MIT Press 1986.
- Bhattacharya, Ananyo: The Man from the Future. The Visionary Life of John von Neumann, Allan Lane 2021, Penguin Books 2022
- Beckmann, Martin: Dynamic Programming, Berlin 1968. (Band 9 der Reihe Ökonometrie und Unternehmensforschung, herausgegeben von Hans Künzi und Wilhelm Krelle).
- Beckmann, Martin (Hrsg.): Scientific Papers of Tjalling C. Koopmans, Springer Verlag, 1970.
- Beckmann, Martin: Unternehmensforschung heute, Berlin 1971 (Lecture Notes in Operations Research and Mathematical Systems Bd. 50).
- Beckmann, Martin und Hans Künzi: Lecture Notes Band 170, Berlin 1979 (Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems Bd. 170).
- Beckmann, Martin, Günter Menges und Reinhard Selten (Hrsg.): Handwörterbuch der Mathematischen Wirtschaftswissenschaften, Teilband Unternehmensforschung, Wiesbaden 1979.
- Bellman, Richard: The Theory of Dynamic Programming, Rand Paper 550, Santa Monica 1954. Dieses Papier ist der Text einer Rede von Richard Bellman vor der jährlichen Sommertagung der American Mathematical Society in Laramie, Wyoming, am 2. September 1954.
- Bellman, Richard: Dynamic Programming. Princeton: Princeton University Press 1957.

- Benecke, Theodor: Status of Operations Research in Germany, in: Davies et al., Operations Research in Practice, pp.23–23.
- Bliek, Jan van der: The AGARD history : 1952 - 1997 / NATO. Advisory Group for Aerospace Research and Development ; Bliek, Jan van der [Hrsg.]. - Neuilly-sur-Seine, 1999.
- Bodin, Lewis: Twenty Years of Routing and Scheduling, in: Operations Research, 38 (1990), Heft 4, S. 571–579.
- Bradtke, Thomas, Grundlagen in Operations Research für Ökonomen, 2003, München.
- Brusberg, Helmut: Der Entwicklungsstand der Unternehmensforschung, Wiesbaden 1965.
- Bühlmann. H., H. Löffel und E. Nievergelt: Einführung in die Theorie und Praxis der Entscheidung bei Unsicherheit, Berlin 1968, zweite Auflage 1969. (Lecture Notes in Operations Research and Mathematical Economics Bd. 1)
- Burkard, Rainer und Ulrich Derigs: Assignment and Matching Problems: Solution Methods with FORTRAN-Programs, Berlin 1980 (Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Bd. 184).
- Burkard, Rainer: Quadratic Assignment Problems, In: Handbook of Combinatorial Optimization, S. 2741-2814, herausgegeben von Panos M. Pardalos, Ding-Zhu Du und Ronald L. Graham, Springer Verlag 2013.
- Campbell-Kelly, Martin und William Aspray: Computers – A History of the Information Machine, New York 1996.
- Campbell-Kelly, Martin: Number Crunching without Programming: The Evolution of Spreadsheet Usability, in: Annals of the History of Computing, 29 (2007), Heft 3, S. 6–19.
- Ceruzzi, Paul: Beyond the Limits – Flight enters the Computer Age, MIT Press 1989.
- Ceruzzi, Paul: History of Modern Computing, MIT Press 2000.
- Charnes, A., W. Cooper and B. Mellon: Blending Aviation Gasoline. A Study in Programming Interdependent Activities in an Integrated Oil Company, in: Econometrica, 20 (1952), Heft 2, S. 135–159.
- Charnes, Abraham and William Cooper: An Introduction to Linear Programming, New York 1953.
- Charnes, Abraham and William Cooper: The stepping stone method of explaining linear programming calculations in transportation problems, in: Management Science , 1(1), 1954, S. 49-69.
- Churchman, Charles West, Russell L. Ackoff und E. Leonard Arnoff: Introduction to Operations Research, New York 1957.
- Clarke, G. und Wright, J. W.: Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points, in: Operations Research 12 (1964), Heft 4, S. 568–581.
- Daeves, Karl: Grosszahlforschung, in: Stahl und Eisen, 45. Jahrgang, 15. Januar 1925, S. 79–86.
- Dantzig, George: Impact of Linear Programming on Computer Development, Lecture at ORSA/TIMS meeting on April 30, 1985, typewriter manuscript Stanford University, Document ADA157659, 1985.
- Dantzig, George: Linear Programming and Extensions, Princeton University Press, 1963, copyright by RAND Corp..

- Dantzig, George: Lineare Programmierung und Erweiterungen, Berlin, Springer Verlag, 1966. (Band 2 der Reihe Ökonometrie und Unternehmensforschung, herausgegeben von Hans Künzi und Wilhelm Krelle).
- Dantzig, George: Operations Research in the world of today and tomorrow, in: Operations Research Verfahren, herausgegeben von Rudolf Henn, Band 2, 1965, S. 113–118.
- Davies, Max et al.: Operational Research in Practice, Report of a NATO Conference, herausgegeben von Max Davies und Michel Verhust, Pergamon Press London 1958.
- Davies, Max et al.(Hrsg.): International Conference on Operational Research (Oxford), London 1957.
- Deutsche Akademie der Wissenschaften zu Berlin (Hrsg.): Mathematik und Kybernetik in der Ökonomie, Internationale Tagung in Berlin Oktober 1964, Konferenzprotokoll, Akademie Verlag Berlin 1965 (Schriften des Instituts für Wirtschaftswissenschaften, Bd. 19).
- Deutsche Gesellschaft für Operations Research (Hrsg.): Proceedings der Jahrestagungen, Würzburg, verschiedene Jahrgänge seit 1972.
- Deutsche Gesellschaft für Operations Research (Hrsg.): Mitgliederverzeichnis, Würzburg 1978.
- Dittmann, Frank und Rudolf Seising (Hrsg.): Kybernetik steckt den Osten an – Aufstieg und Schwierigkeiten einer interdisziplinären Wissenschaft in der DDR, Berlin 2007.
- Domschke, Wolfgang und Andreas Drexl: Einführung in Operations Research, 7. Auflage 2007.
- Domschke, Wolfgang: Logistik: Rundreisen und Touren, 3. Auflage München 1997.
- Domschke, Wolfgang: Logistik: Transport, 3. Auflage München 1997.
- Donig, Simon: Die DDR–Computertechnik und das COCOM–Embargo 1958–1973. Technologietransfer und institutioneller Wandel, in: Friedrich Naumann und Gabriele Schade (Hrsg.): Informatik in der DDR, Bonn 2006, S. 251–272.
- Dorfman, Robert: The Discovery of Linear Programming, in: Annales of the History of Computing, 6 (1984), Heft 3, S. 283–295.
- Dorfman, Robert; Paul Anthony Samuelson ; Robert M Solow: Linear programming and economic analysis, New York 1958.
- Dück, Werner und Manfred Bliefferich: Operationsforschung, 3 Bände, Berlin 1971.
- Dürr, Walter und Klaus Kleibohm:, Operations Research, 1. Auflage, München 1983.
- Dyson, George: Turing’s Cathedral. The Origin of the Digital Computer, New York, 2012.
- Edwards, Paul: The closed world. Computers and the Politics of Discourse on Cold War America, Cambridge 1996.
- Eley, Michael: Simulation in der Logistik: Eine Einführung in die Erstellung ereignisdiskreter Modelle unter Verwendung des Werkzeuges Plant Simulation, Berlin 2012.
- Ellinger, Theodor ; Günter Beuermann ; Rainer Leisten: Operations Research: Eine Einführung ; 4., überarb. Aufl., Berlin u.a. : Springer, 1998.

- Ensmenger, Nathan: The Digital Construction of Technology: Rethinking the History of Computers in Society, in: *Technology and Culture*, 53 (2012), Heft 4, S. 753–776.
- Erickson, Paul, Judy Klein, Lorraine Daston, Rebecca Lemov, Thomas Sturm and Michael Gordin: *How Reason Almost Lost Its Mind*, Chicago UP 2013.
- Erickson, Paul: *The World the Game Theorists Made*, University of Chicago Press 2015.
- Eucken, Walter: *Grundsätze der Wirtschaftspolitik*, 6. Auflage, Tübingen 1990.
- Fildes, R. and JC Ranyard: The foundation, development and current practice of OR: An editorial introduction and overview, in: *Journal of Operational Research*, vol. 49, 1998, 304–306.
- Flachowsky, Sören: Das Reichsamt für Wirtschaftsausbau als Forschungsbehörde im NS-System. Überlegungen zur neuen Staatlichkeit des Nationalsozialismus, in: *Technikgeschichte*, Jahrgang 82 (2015), Heft 3, Seite 185–224.
- Fleischhack, Julia: *Eine Welt im Datenrausch: Computeranlagen und Datenmengen als gesellschaftliche Herausforderung in der Bundesrepublik Deutschland (1965-1975)*, Zürich 2016.
- Flood, Merrill: The Objectives of TIMS, in: *Management Science*, 2 (1956), Heft 2, S. 178–184.
- Flood, Merrill: The Traveling-Salesman Problem, in: *Operations Research*, Vol. 4, No. 1 (Feb., 1956), pp. 61-75.
- Fölsing, Albrecht (1993). *Albert Einstein. eine Biographie*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Ford, Lester, Delbert Fulkerson: Maximal flow through a network. In: *Canad. J. Mathematics*, 8, 1956, S. 399-40.
- Forrester, Jay: *Industrial Dynamics*, MIT Press 1961.
- Galison, Peter: Computer Simulation and the Trading Zone, in: Gabriele Gramelsberger (Hrsg.): *From Science to Computational Science*, Zürich 2011, S. 95–130.
- Gass, Saul und Carl Harris (Hrsg.): *Encyclopedia of Operations Research and Management Science*, Boston 1996.
- Gass, Saul: The First Linear-Programming Shoppe, in: *Operations Research*, 50 (2002), Heft 1, S. 61-68.
- Gass, Saul und Arjang Assad: *An annotated Timeline of Operations Research*, New York 2005.
- Geisler, Murray: *A Personal History of Logistics*, Bethesda 1986.
- Gerovitch, Slava: *From Newspeak to Cyberspeak: A History of Soviet Cybernetics*, MIT Press, Cambridge 2002.
- Gössler, Rolf: *Operations–Research–Praxis*, Wiesbaden 1974.
- Goldstein, J.R.: Scientific Aids to Decision Making – A Perspective, in: Davies et al.: *Nato Conference 1958*, S. 58–62.
- Gorman, Michael: Empty Railcar Distribution, in: Bruce W. Patty (Hrsg.): *Handbook of Operations Research Applications at Railroads*. New York 2015, S. 177–190.
- Gramelsberger, Gabriele: *Computereperimente*, Bielefeld 2010.

- Gramelsberger, Gabriele (Hrsg.): *From Science to Computational Science*, Zürich 2011.
- Greniewski, Henryk: *Kybernetisch-ökonomische Modelle (Theoretische Grundlagen)*, in: *Mathematik und Kybernetik in der Ökonomie*, Internationale Tagung in Berlin im Oktober 1964, Akademie-Verlag Berlin 1965.
- Haber, Samuel: *Efficiency and Uplift*, Chicago 1964.
- Haigh, Thomas: *The Chromium–Plated Tabulator: Institutionalizing an Electronic Revolution, 1954–1958*, in: *Annales in the History of Computing*, 23 (2001), Heft 4, S. 75–104.
- Haigh, Thomas, Mark Priestley and Crispin Rope: *ENIAC in Action*, Cambridge (Mass.) 2016.
- Hanssmann, Friedrich, *Unternehmensforschung: Hilfsmittel moderner Unternehmensführung*, Wiesbaden 1971.
- Harris, Carl: *Center for Naval Analysis*, in: Saul Gass and Carl Harris (Hrsg.): *Encyclopedia of Operations Research and Management Science*, Boston 1996, S. 62–64.
- Heger, Hans: *100 Jahre Datenverarbeitung, Band 1*, herausgegeben von IBM, Stuttgart 1990.
- Henn, Rudolf: *Verfahren des Operations Research und ihre Anwendungen in der Industrie*, in: *Operations Research Verfahren, Band 1*, 1963, S. 9–36.
- Henn, Rudolf und Hans Künzi: *Einführung in die Unternehmensforschung*, 2 Bände, Berlin 1966.
- Henn, Rudolf und Otto Moeschlin (Hrsg.): *Mathematical Economics and Game Theory – Essays in Honor of Oskar Morgenstern on his 75th Birthday*, Berlin, 1977.
- Hitchcock, Frank: *The Distribution of a Product from several Sources to numerous Localities*, in: *Journal of Mathematics and Physics*, vol. 20, 1941, S. 224–230.
- Hoffman, Karla und Manfred Padberg: *Travelling Salesman Problem*, in: Saul Gass and Carl Harris (Hrsg.): *Encyclopedia of Operations Research and Management Science*, Boston 1996, S. 697f.
- Hofmann, Karl, Dieter Schreiter und Horst Vogel: *Optimierung der Lieferbeziehungen und des Transports*, Berlin 1964.
- Jesiek, Brent: *The Origins and Early History of Computer Engineering in the United States*, in: *Annals of the History of Computing*, 35 (2013), Heft 3, S. 6–18.
- Johnson, Stephen B.: *Three Approaches to Big Technology: Operations Research, Systems Engineering, and Project Management*, in: *Technology and Culture*, 38 (1997), Heft 4, S. 891–919.
- Kantorowitsch, Leonid: *Mathematical Methods of Organizing and Planning Production*, in: *Management Science*, 6 (1960), Heft 4, S. 366–422.
- Kaplan, Robert und Robin Cooper: *Cost & Effect: Using Integrated Cost Systems to Drive Profitability and Performance*, Boston 1998.
- Kirby, M. und R. Capey: *The Origins and Diffusion of Operational Research in the UK*, in: *The Journal of the Operational Research Society*, Vol. 49, 1998, No. 4, 307–326.
- Kirby, Maurice: *Operational Research in War and Peace: The British Experience from the 1930s to 1970*, London 2003.

- Klein, Judy: Cold War, Dynamic Programming, and the Science of Economizing: Bellman Strikes Gold in Policy Space, lecture at First Annual Conference on the History of Recent Economics (HISRECO), University of Paris X -Nanterre, France, 21-23 June 2007.
- Klein, Judy: "The Cold War Hot House for Modeling Strategies at the Carnegie Institute of Technology", Institute for New Economic Thinking Working Paper Series No. 19, 68 Pages Posted: 2 Oct 2015.
- Kline, Ronald: Cybernetics, Management Science, and Technology Policy: The Emergence of "Information Technology" as a Keyword, 1948–1985, in: *Technology and Culture*, 47 (2006), Heft 3, S. 513–535.
- Kline, Ronald R.: *The Cybernetics Moment, or, Why We Call Our Age the Information Age*. New Studies in American Intellectual and Cultural History, Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2015.
- Knuth, Donald: *The Art of Computer Programming, Band 3, Sorting and Searching*, Reading 1973.
- Koopmans, Tjalling: Exchange Ratios between Cargoes on Various Routes (Non-Refrigerated Dry Cargos). Memorandum for the Combined Shipping Adjustment Board, Washington, D.C., 1942. Publiziert in *Scientific Papers of Tjalling C. Koopmans*, Springer Verlag, herausgegeben von Martin Beckmann, Berlin 1970, pp. 77-86.
- Koopmans, Tjalling (Hrsg.): *Activity Analysis of Production and Allocation*, New York 1951.
- Koopmans, Tjalling: Optimum Utilization of the Transportation System, in: *Proceedings in the International Statistical Conference*, Vol. 5, Washington D.C. 1947. (Reprint in *Econometrica*, Band 17, Supplement, July 1949, S. 136–146).
- Koopmans, Tjalling und Martin Beckmann: Assignment Problems and the Location of Economic Activities, in: *Econometrica*, Vol. 25, No. 1 (Jan., 1957), S. 53-76.
- Kromphardt, Wilhelm, Rudolf Henn und Karl Förstner: *Lineare Entscheidungsmodelle*, Springer Verlag, Berlin 1962.
- Krige, John: *American Hegemony and the Postwar Reconstruction of Science in Europe*, Cambridge (Mass) 2006.
- Künzi, Hans, Wilhelm Krelle und Werner Oettli: *Nichtlineare Programmierung*, Berlin: Springer, 1962.
- Künzi, Hans, Hans Tzschach und Carl Zehnder: *Numerische Methoden der mathematischen Optimierung: mit ALGOL- und FORTRAN-Programmen*, Leipzig: Teubner, 1966.
- Künzi, Hans, O. Müller, E. Nievergelt: *Einführungskurs in die Dynamische Programmierung*, Berlin 1968 (Lecture Notes in Operations Research and Mathematical Economics, Bd. 6).
- Künzi, Hans: Unternehmensforschung in Wissenschaft, Wirtschaft und Politik, in: *Proceedings Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Unternehmensforschung in Essen 1971*, herausgegeben von M. Henke u.a., Physica Verlag, Würzburg 1972, S. 3–14.
- Kurbel, Karl: *Enterprise Resource Planning und Supply Chain Management in der Industrie*, München 2011.
- Leimbach, Timo: *Die Geschichte der Softwarebranche in Deutschland*, München 2010.
- Lück, Wolfgang: *Logistik und Materialwirtschaft*, Berlin 1984,

- Maier, Charles: Between Taylorism and Technocracy: European ideologies and the vision of industrial productivity in the 1920s, in: *Journal of Contemporary History*, 5 (1970), Heft 2, S. 27–61.
- Mathematik und Kybernetik in der Ökonomie, Internationale Tagung in Berlin im Oktober 1964, Proceedings, Akademie-Verlag Berlin 1965.
- Mattfeld, Dirk und Richard Vahrenkamp: *Logistiknetzwerke – Modelle für Standortwahl und Tourenplanung*, 2. Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden 2014.
- Mehrtens, Herbert: Angewandte Mathematik und Anwendungen der Mathematik im nationalsozialistischen Deutschland, in: *Geschichte und Gesellschaft*, Bd. 12 (1986), S. 317–347.
- Michalewicz, Zbigniew: Genetic Algorithms, in: Saul Gass and Carl Harris (Hrsg.): *Encyclopedia of Operations Research and Management Science*, Boston 1996, S. 250–252.
- Mirowski, Philip: *Machine Dreams – Economics becomes a Cyborg Science*, Cambridge (Mass.), Cambridge Univ. Press 2002.
- Monte-Carlo-Method: Proceedings of a Symposium held June 29, 30, and July, 1, 1949, in Los Angeles, US Government Printing Office, Washington D.C. 1951 (Band 12 von National Bureau of Standards: Applied Mathematics Series).
- Morgenstern, Oskar: Collaboration between Oskar Morgenstern and John von Neumann on Theory of Games, in: *Journal of Economic Literature*, 14 (1976), Heft 3, S. 805–816.
- Müller, Peter und Hans von Storch: *Computer Modelling in Atmospheric and Oceanic Sciences*, Berlin 2004.
- Müller-Merbach, Heiner: Empirische Forschung für Operations Research, in: Bernd Fleischmann et al. (Hrsg.), *Operations Research Proceedings 1981*, Springer, Berlin, S. 645-653.
- Neumann, von, John und Oskar Morgenstern: *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton 1944.
- Nickel, Stefan, Oliver Stein, Karl-Heinz Waldmann: *Operations Research*, Berlin 2011.
- Nievergelt, E, O. Müller, F. Schlaepfer: *Praktische Studien zur Unternehmensforschung*, Berlin 1970 (Ökonometrie und Unternehmensforschung, Band 14).
- Nützenadel, Alexander: *Stunde der Ökonomen: Wissenschaft, Politik und Expertenkultur in der Bundesrepublik, 1949-1974*, Göttingen 2005.
- Nyberg, Axel: Applications of the Quadratic Assignment Problem, Vortrag am 15. November 2013 an der Abo Universität in Turku, im web unter: http://web.abo.fi/fak/tkf/at/ose/doc/Pres_15112013/Axel%20Nyberg.pdf.
- Orchard-Hays, William: History of Mathematical Programming Systems, in: *Annals of the History of Computing*, 6 (1984), Heft 3, S. 300–319.
- Potthoff, Gerhart: *Linearprogrammierung im Transportwesen: Über die Anwendung mathematischer Methoden in der Wirtschaftsplanung. Beiträge aus CSSR, Ungarn und der Sowjetunion*, Berlin 1961.
- Ralston, Anthony und Chester Meek: *Encyclopedia of Computer Science*, New York 1976.
- Rand, Graham: IFORS: the formative years, in: *International Transactions in Operational Research*, 7(2000), S. 101–107.

- Rationalisierungskuratorium der Deutsche Wirtschaft (Hersg.): Ablauf- und Planungsforschung, Operations Research, Erfahrungsbericht einer deutschen Studiengruppe von einer Reise in die USA, München 1958
- Rees, Mina: The Computing Program of the Office of Naval Research, 1946–1953, in: *Annals of the History of Computing*, 4 (1982), Heft 2, S. 102–120.
- Rid, Thomas: *Maschinendämmerung. Eine kurze Geschichte der Kybernetik*, Berlin 2016.
- Rider, Robin: Operations Research and Game Theory: Early connections, in: Roy Weintraub (Hrsg.): *Toward a History of Game Theory*, London, 1992, S. 225–240.
- Rojas, Raúl und Ulf Hashagen (Hersg.): *The first computers: history and architectures* Cambridge, MIT Press 2000.
- Rosenhead, Jonathan: IFORS'Operational Research Hall of Fame: Stafford Beer, in: *Intl. Trans. in Op. Res.* 13(2006), pp. 577–581.
- Rottmann, Hans: *IBM/360 Modell 20: Programmieren leicht gemacht mit RPG*, München 1966.
- Sadowski, Wieslaw: *Theorie und Methoden der Optimierungsrechnung in der Wirtschaft*, Berlin 1963.
- Schmitt, Martin: *Digitalisierung der Kreditwirtschaft. Computereinsatz in den Sparkassen der Bundesrepublik und der DDR 1957 bis 1991 (Medien und Gesellschaftswandel im 20. Jahrhundert)*, Wallstein Verlag, Göttingen 2021.
- Schneeweis, Christoph: Dynamische Programmierung, in: Beckmann, Martin, Günter Menges und Reinhard Selten (Hersg.): *Handwörterbuch der Mathematischen Wirtschaftswissenschaften, Teilband Unternehmensforschung*, Wiesbaden 1979, S. 17–45.
- Schubert, D.: Untersuchung des indirekten ökonomischen Nutzeffektes der automatisierten Datenverarbeitung mittels Monte-Carlo-Simulation, in *Deutsche Akademie, Mathematik und Kybernetik*, 1965, S. 111–120.
- Seising, Rudolf: Cybernetics, System(s) Theory, Information Theory and Fuzzy Sets and Systems in the 1950s and 1960, in: *Information Sciences*, Band 180, 2010, Heft 23, S. 4459-4476.
- Shrader, Charles: *History of Operations Research in the United States Army*, Washington D.C. 2006.
- Simon, Herbert: Theories of decision making in economics and behavioural science. In: *American Economic Review*. Vol. 49, No. 3, 1959, S. 253–283.
- Simon, Herbert: *The New Science of Management Decision*, New York 1960.
- Spieß (ohne Vorname): Die Bedeutung der Rückfracht für einzelne Verkehrsmittel, in: *Der Güterumschlag, Tagung und Ausstellung des VDI in Düsseldorf und Köln 1925, Sonderausgabe der Zeitschrift des VDI*, Berlin 1926, S. 246–248.
- Steinecke, Volker: *Lineare Planungsmodelle im praktischen Einsatz*, Dortmund 1973.
- Steinle, Friedrich: *Explorative Experimente: Ampère, Faraday und die Ursprünge der Elektrodynamik*, Stuttgart: Steiner 2005.
- Teichroew, S.: Management Information Systems, in: *Encyclopedia of Computer Science*, hrsg. von Anthony Ralston und Chester Meek, New York 1976, S. 845–847.

- Thompson, G.: IBM's RAMAC's gain wide acceptance in the first year, in: *The Punched Card Data Processing Annual*, Band 8, 1959, S. 23–25.
- Thompson, Philip: *Weather Prediction*, in: Preston Hammer (Hrsg.), *The Computing Laboratory in University*, Madison 1957, 27–42.
- Thomas, William: *Operations Research vis-à-vis Management at Arthur D. Little and the Massachusetts Institute of Technology in the 1950s*, in: *Business History Review* 86 (2012), 99-122.
- Thomas, William: *Rational Action. The Sciences of Policy in Britain and America, 1940–1960*, MIT Press 2015.
- Trux, Walter: *Der Einsatz quantitativer Planungsverfahren aus der Sicht des Top-Managements*, in: *Proceedings der neunten Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Operations Research*, Berlin 1981, S. 21.
- Vahrenkamp, Richard: *Frederik Winslow Taylor – Ein Denker zwischen Manufaktur und Großindustrie, Einleitung zu Walter Volpert und Richard Vahrenkamp (Hrsg.): F. W. Taylor: Die Grundsätze wissenschaftlicher Betriebsführung*, Reprint Weinheim 1977, S. LII – IXC.
- Vahrenkamp, Richard: *Random Search in the one-dimensional Cutting Stock Problem*, in: *European Journal of Operational Research*, 95 (1996), S. 191–200.
- Vahrenkamp, Richard: *Quantitative Logistik für das Supply Chain Management*, München 2003.
- Vahrenkamp, Richard: *Markstudie Tourenplanungssoftware*, in: *Deutsche Verkehrszeitung* vom 17. Oktober 2006.
- Vahrenkamp, Richard: *Von Taylor zu Toyota. Rationalisierungsdebatten im 20. Jahrhundert*, 2. erweiterte Auflage 2013.
- Vahrenkamp, Richard: *Globale Luftfrachtnetzwerke – Laufzeiten und Struktur*, erweiterte Neuauflage, Igel Verlag, Hamburg 2014.
- Vahrenkamp, Richard: *The Dream of Large-Scale Truck Transport Enterprises – Early Outsourcing Experiments in the German Democratic Republic, 1955–1980*, in: *Journal of Transport History*, 36 (2015), Heft 1, S. 1–21.
- Vahrenkamp, Richard: *Die Verkehrspolitik der DDR – Konflikte zwischen dem kommunistischen Zentralisierungskonzept und betrieblichen Notwendigkeiten im LKW-Sektor*, in: *Zeitschrift des Forschungsverbundes SED-Staat*, Heft 40, 2016, S. 3-17.
- Vahrenkamp, Richard: *Mathematik trifft auf Machtkalkül. Kybernetik und Operationsforschung in der Reformära der DDR 1962–1970*, in: *Zeitschrift des Forschungsverbundes SED-Staat*, Heft 44, 2019, S. 152–167.
- Vahrenkamp, Richard: *Die erste Informationsexplosion – Die Rolle der Lochkartentechnik bei der Büro-rationalisierung in Deutschland 1910 bis 1939*, in: *Technikgeschichte*, Bd. 84, 2017, Heft 3, S. 209–242.
- Vahrenkamp, Richard: *The Computing Boom in the US Aeronautical Industry, 1945–1965*, in: *ICON – The Journal of the International Committee for the History of Technology*, Band 24, 2019, 127–149.

- Vahrenkamp, Richard: Nominal Science without Data: The Cold War Content of Game Theory and Operations Research, in: *Real World Economics Review*, vol. 88, 2019, pp. 19–50.
- Vahrenkamp, Richard: Mathematical Management. Operations Research in the United States and Western Europe, 1945 – 1990, in: *Management Revue – Socio-Economic Studies*, vol. 34 (2023), Heft 1, S. 69–91.
- Verkehrspraktiker (Hrsg.): Mangelndes Interesse der verladenden Wirtschaft an der Transportoptimierung, in: *Der Verkehrspraktiker*, 8 (1964), Heft 3, S. 6–7.
- Versuchs- und Entwicklungsstelle des Kraftverkehrs (Hrsg.): *Methodik für die Optimierung der Transporte mit Kraftfahrzeugen*, Berlin 1964.
- Vogel, Horst: Erfahrungen bei der Optimierung von Liefer– und Transportbeziehungen, in: *Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“ in Dresden*, 10. 1962, Heft 2, S. 583–586.
- Wäscher, Gerhard: *Innerbetriebliche Standortplanung bei einfacher und mehrfacher Zielsetzung*, Wiesbaden : Gabler, 1982.
- Wenzel, Sigrid u.a.: Methodik zur systematischen Informationsgewinnung für Simulationsstudien, in: Markus Rabe (Hrsg.): *Advances in Simulation for Production and Logistics Applications*, Stuttgart 2008, S. 595–604.
- Weik, Martin: *A Survey of Domestic Electronic Computer Systems*, Report No. 971, Aberdeen 1955.
- Williams, Rosalind: All That Is Solid Melts into Air – Historians of Technology in the Information Revolution, in: *Technology and Culture* 41 (2000), S. 641-668.
- Woon, Marshall and Murray Geisler: Development of Dynamic Models for Program Planning, in: Tjalling Koopmans (Hrsg.): *Activity Analysis of Production and Allocation*, New York, 1951, S. 189–215.
- Woon, Marshall und George Dantzig, The Programming of independent Activities, in: *Koopmans* 1951, 15–18.
- Zimmermann, Hans-Jürgen: The founding of EURO Association of European Operational Research Societies within IFORS, in: *European Journal of Operational Research* 87 (1995), S. 404–407.