SCIENTIA NOVA

eine Bibliothek des modernen wissenschaftlichen Denkens

Bisher erschienen:

Karl R. Borch, Wirtschaftliches Verhalten bei Unsicherheit

Richard C. Jeffrey, Logik der Entscheidungen

Norman Malcolm, Ludwig Wittgenstein

Oskar Morgenstern, Spieltheorie und Wirtschaftswissenschaft

Ernest Nagel - James R. Newman, Der Gödelsche Beweis

John von Neumann, Die Rechenmaschine und das Gehirn

Hubert Schleichert, Elemente der physikalischen Semantik

Erwin Schrödinger, Was ist ein Naturgesetz?

Hermann Weyl, Philosophie der Mathematik und Naturwissenschaft

Dean E. Wooldridge, Mechanik der Gehirnvorgänge

Dean E. Wooldridge, Mechanik der Lebensvorgänge

C. WEST CHURCHMAN
RUSSEL L. ACKOFF
E. LEONARD ARNOFF

Operations Research

Eine Einführung in die Unternehmensforschung

R. OLDENBOURG MÜNCHEN - WIEN 1971

Titel der Originalausgabe: CHURCHMAN-ACKOFF-ARNOFF, Introduction to Operations Research
New York, John Wiley & Sons, Inc. 1957
4. Auflage 1959

Übersetzt von Dr. Elvine Schlecht und Dr. Franz Ferschl.

5. Auflage 1971

©1961 R. Oldenbourg, Wien

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege sowie der Speicherung und Auswertung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Werden mit schriftlicher Einwilligung des Verlages einzelne Vervielfältigungsstücke für gewerbliche Zwecke hergestellt, ist an den Verlag die nach §54, Abs. 2 UG zu zahlende Vergütung zu entrichten, über deren Höhe der Verlag Auskunft gibt.
Druck: Leuthold, München

ISBN: 3-486-43465-9

INHALTSVERZEICHNIS

TEIL I. EINLEITUNG

1 Was ist Operations Research? 13
2 O.R. Untersuchung eines Systems als Ganzheit 28
3 Untersuchung einer Prüfabteilung mit der Team-Methode 63

TEIL II. DAS PROBLEM

4 Analyse der Organisation 73
5 Die Formulierung des Problems 105
6 Die Bewertung von Zielen 132

TEIL III. DAS MODELL

7 Konstruktion und Auswertung des Modells 151

TEIL IV. LAGERHALTUNGSMODELLE

8 Elementare Lagerhaltungsmodelle 189
9 Lagerhaltungsmodelle mit mengenabhängigen Preisen (Preissprüngen) . . . 219
10 Lagerhaltungsmodelle mit Nebenbedingungen 235

TEIL V. ZUTEILUNGSMODELLE

11 Lineare Programme 257
12 Das Zuordnungsproblem 314
13 Einige Beispiele für Zuteilungsprobleme 337

TEIL VI. WARTEZEITMODELLE

14 Warteschlangen-Modelle 357
15 Verkehrsstauungen bei Mautstellen 379
16 Ablaufplanungs-Modelle 409

TEIL VII. ERSATZMODELLE

17 Ersatzmodelle 439

TEIL VIII. KONKURRENZMODELLE

18 Die Theorie der strategischen Spiele 473
19 Anbotmodelle 510

TEIL IX. PRÜFUNG, ÜBERWACHUNG UND VERWIRKLICHUNG

20 Unterlagen für die Prüfung des Modells 527
21 Überwachung und Verwirklichung der Lösung 543

TEIL X. DIE VERWALTUNG VON OPERATIONS RESEARCH

22 Auswahl, Ausbildung und Organisation für Operations Research 571

VORWORT ZUR DEUTSCHEN AUSGABE

„Introduction to Operations Research" von C. W. Churchman, R. L. Ackoff und E. L. Arnoff war eines der ersten Bücher über Operations Research. Es hat eine publizistisch überaus fruchtbare Periode eingeleitet, in der eine größere Zahl von Werken über Operations Research als Ganzes oder einzelne seiner Teilgebiete (Linear Programming, Production Control usw.) erschienen.

Operations Research steht — trotz der dynamischen Entwicklung in England und den USA — im deutschen Sprachgebiet noch im Anfangsstadium, und es besteht hier ein echtes Bedürfnis nach einem Werk, das den Interessenten in der Industrie einen praxisnahen Einblick in das Wesen von Operations Research gibt und sie über dessen Anwendungsmöglichkeiten unterrichtet. Es ist dies genau das Bedürfnis, das das Buch von Churchman, Ackoff und Arnoff in seiner natürlichen Ursprünglichkeit — aus heterogenen Elementen zusammengetragen — in so hervorragender Weise erfüllt. Auch der Mathematiker wird vieles davon mit Gewinn lesen. Es wird ihm bei der Lektüre deutlich werden, wo die echten Probleme der Praxis liegen. „An Introduction to Operations Research" stellt daher ein wirksames Gegengewicht gegen die zunehmende Theoretisierung von Operations Research dar.

Die vorliegende Übersetzung wurde von Frau Dr. E. Schlecht und Herrn Dr. F. Ferschl angefertigt. Sie bietet eine möglichst originaltreue Wiedergabe. Nur vereinzelt wurden — im Einvernehmen mit den Autoren — geringfügige Abänderungen vorgenommen. Hinweise auf deutschsprachige Bücher über Operations Research finden sich am Schluß. Es sei an dieser Stelle den Verfassern, insbesondere Herrn Arnoff, gedankt, die unsere Anfragen mit großer Sorgfalt beantwortet haben. Unser Dank gebührt ferner dem Verlag R. Oldenbourg, der nicht nur für eine vorzügliche drucktechnische Ausstattung des Werkes Sorge getragen hat, sondern auch in allen Phasen der Arbeit intensiv um das Gelingen der Übersetzung bemüht war.

Wien, Dezember 1960.

J. Pfanzagl

VORWORT

Dieses Buch entstand aus den Vorlesungsunterlagen der vom Case Institute of Technology seit 1952 jährlich abgehaltenen „Kurzseminare über Operations Research". Diese Seminare und daher auch das vorliegende Buch verfolgen zwei Ziele:

1. sollen sie den zukünftigen Auftraggebern für Operations-Research-Untersuchungen eine Grundlage bieten, dieses Wissensgebiet zu beurteilen und seine Möglichkeiten und Methoden zu verstehen.

2. sollen sie denjenigen, die Operations Research in der Praxis betreiben wollen, einen Überblick verschaffen und eine Grundlage für ihre weitere Ausbildung geben.

In beiden Fällen ging es uns darum, Verständnis für die Anwendung wissenschaftlicher Methoden auf betriebliche Probleme zu wecken, nicht aber darum, Methoden aufzuzählen.

Für den zukünftigen Auftraggeber werden die Teile I, II, III und X sowie die in anderen Teilen enthaltenen Darstellungen praktischer Fälle von besonderem Interesse sein. Wer sich auf Operations Research spezialisieren will, sollte das gesamte Material durcharbeiten.

Es muß betont werden, daß es sich bei diesem Buch um eine Einführung handelt. Es soll kein Nachschlagewerk für Spezialisten sein. Wir bemühten uns, das fachliche Material zu vereinfachen, ohne es zu verfälschen.

Eine besondere mathematische Vorbildung ist nicht nötig. Die Teile I, II, III und X erfordern vom Leser nur elementare mathematische Kenntnisse, die auch aus „ferner Vergangenheit" stammen können — sofern er sich nicht von Formeln und Abstraktionen abschrecken läßt. Die Teile IV bis IX verlangen gelegentlich ein höheres mathematisches Niveau, namentlich die Beherrschung der elementaren Differential- und Integralrechnung.

Die einzelnen Kapitel dieses Buches wurden ursprünglich von verschiedenen Verfassern ausgearbeitet: Kapitel 3 von Loring G. Mitten, Kapitel 4 von Van Court Hare, der praktische Fall in Kapitel 4 von R. J. D. Gillies, Kapitel 8 und 18 von Eliezer Naddor, Kapitel 10 und 17 von Bertram E. Rifas, Kapitel 12 und 16 von Ram Vaswani, Kapitel 14 von Walter R. van Voorhis, Kapitel 19 von Lawrence Friedman, das praktische Beispiel über die Durchführung in Kapitel 21 von Elizabeth A. Small und Kapitel 22 von Joseph F. McCloskey. Fall I in Kapitel 6 stellt einen auszugsweisen Nachdruck eines Artikels von Paul Stillson dar. Kapitel 15 ist ein Nachdruck eines Artikels von Leslie C. Edie. Für diese Nachdrucke haben die Verfasser und die Herausgeber der Zeitschriften „Industrial Quality Control" bzw. „Operations Research" ihre freundliche Erlaubnis erteilt.

Um einen fortlaufenden und zusammenhängenden Text zu erhalten, wurden die genannten Artikel überarbeitet. In mehreren Fällen waren die Abänderungen sogar ziemlich umfangreich. Für alle Ungenauigkeiten und Unstimmigkeiten, die dadurch entstanden sein mögen, tragen wir die Verantwortung.

Im vorliegenden Buch wurde vor allem die Bedeutung von Operations Research für industrielle Probleme aufgezeigt, weil wir auf diesem Anwendungsgebiet Erfahrungen besitzen. Wir sind uns durchaus darüber im klaren, daß Operations Research in großem Umfang zur Lösung militärischer Probleme herangezogen wurde. Ebenso ist uns bekannt, daß auch die öffentliche Verwaltung, wie Kapitel 15 zeigt, ein bedeutendes Arbeitsfeld für Operations Research darstellen könnte. Zwei der Autoren dieses Buches haben sich bereits eingehend bemüht, Operations Research bei der Lösung gewerkschaftlicher Probleme und bei der Städteplanung zur Anwendung zu bringen. Wir sind auch weiterhin der Ansicht, daß Operations Research auf allen Gebieten der Verwaltung Eingang finden sollte. Tatsache ist jedoch, daß die militärischen und industriellen Führungskräfte viel stärker als die Verwaltungsbehörden daran interessiert sind, Operations-Research-Projekte zu unterstützen und deren Dienste in Anspruch zu nehmen.

W. W. Cooper, Alfred W. Jones, J. S. Minas, John F. Muth, Leon Pritzker, Richard S. Rudner und Max A. Woodbury gebührt unser Dank für ihre konstruktive Kritik während der Vorbereitung dieses Buches. Wertvolle redaktionelle Unterstützung erhielten wir von Beverly Bond, Richard E. Deal und Arthur J. Yaspan.

Besonderer Dank gilt dem Leiter unserer Fakultät, Clay H. Hollister, und den Dekanen Elmer H. Hutchisson und Karl B. McEachron für die Ermutigung und begeisterte Unterstützung, die sie unserer Operations-Research-Gruppe bei dieser und anderen Arbeiten zuteil werden ließen.

Schließlich möchten wir Carol Mara Prideaux und Grace White für ihre Mitarbeit am Manuskript unsere Anerkennung aussprechen.

Cleveland, Ohio, 25. Oktober 1956.

C. West Churchman
Russell L. Ackoff
E. Leonard Arnoff

TEIL I

EINLEITUNG

Teil I dieses Buches befaßt sich mit der Bedeutung von Operations Research. Kapitel 1 bringt eine Definition des Gegenstandes und eine Untersuchung seiner Merkmale. Im Mittelpunkt steht der Gedanke, daß Operations Research darauf abzielt, bei der Behandlung von Problemen das gesamte System zu berücksichtigen, in dem diese auftreten. Dies wird an Hand des in Kapitel 2 besprochenen Beispiels gezeigt. Der in Kapitel 3 geschilderte praktische Fall erläutert sehr eindrücklich, warum ein Operations-Research-Team aus Fachleuten verschiedener Wissenszweige zusammengesetzt wird. Wie man ein Operations-Research-Team aufbaut, wird jedoch erst in Kapitel 22 im einzelnen dargelegt.

KAPITEL 1

WAS IST OPERATIONS RESEARCH?

Die wesentlichen Merkmale von Operations Research

Eine Wissenschaft ist noch nie an einem bestimmten Tag geboren worden. Wissenschaft entsteht dann, wenn sich für irgendeinen Problemkreis erhöhtes Interesse entwickelt und gleichzeitig wissenschaftliche Methoden und Verfahren verfügbar werden, die zur Lösung dieser Probleme geeignet sind. Operations Research (O.R.)[1]) bildet in dieser Hinsicht keine Ausnahme. Seine Wurzeln sind so alt wie die Wissenschaft und wie die Funktion des Unternehmers. Sein Name stammt erst aus dem Jahre 1940[2]). Der erste Anstoß zu O.R. wurde während des Zweiten Weltkrieges in Großbritannien gegeben, und die Vereinigten Staaten schalteten sich sogleich in die Entwicklung ein. Diese Anfänge lagen auf militärischem Gebiet. Nach dem Krieg drang O.R. in die Wirtschaft und in die Verwaltung ein. In den Vereinigten Staaten spielte sich diese Entwicklung langsamer ab als in England, aber ab 1951 setzte sich O.R. auch in der amerikanischen Industrie durch und hat sich seither außerordentlich rasch verbreitet.

Trotz des militärischen Ursprungs von O.R. läßt sich seine Entwicklung oder Entstehung in Anlehnung an die wohlbekannte Entwicklung der industriellen Organisation beschreiben. Vor der industriellen Revolution bestanden die meisten Wirtschaftszweige aus kleinen Unternehmungen unter der Leitung eines einzelnen Unternehmers, der alles selbst besorgte: den Einkauf, die Produktionsplanung und -überwachung, den Verkauf, die Einstellung und Kündigung des Personals usw. Die Mechanisierung der Produktion führte zu einem so raschen Wachstum der Unternehmungen, daß all diese leitenden Funktionen unmöglich mehr von einem einzelnen Menschen bewältigt werden konnten. Die Folge davon war eine Aufteilung der unternehmerischen Aufgabe. Es kam zur Ausbildung eigener Führungskräfte für Produktion, Verkauf, Finanzierung, Personalfragen usw. Die zunehmende Mechanisierung, teilweise ergänzt durch Automatisierung, führte zu einem noch stärkeren industriellen Wachstum, das sich in einer Dezentralisation der betrieblichen Vorgänge und einer immer stärker ausgeprägten Spezialisierung der Unternehmeraufgaben auswirkte. So zum Beispiel wurden die Produktionsabteilungen in

[1]) Anmerkung der Übersetzer: Der Ausdruck „Operations Research" wurde unübersetzt übernommen, da zwar verschiedene Verdeutschungsvorschläge, wie z. B. „Unternehmensforschung", „Planungsforschung" usw., vorliegen, sich jedoch bisher keiner dieser Ausdrücke im Sprachgebrauch durchsetzen konnte. Die Übernahme des Ausdruckes „Operations Research" ins Deutsche erscheint im Hinblick auf die Pionierarbeit, die von amerikanischen und englischen Wissenschaftlern auf diesem Gebiet geleistet wurde, durchaus gerechtfertigt.

[2]) Eine kurze Geschichte von O.R. findet sich bei Florence N. Trefethen: „A History of Operations Research" in Joseph F. McCloskey und Florence N. Trefethen (Hrsg.): Operations Research for Management, The John Hopkins Press, Baltimore 1954.

Unterabteilungen aufgegliedert, die mit der Instandhaltung, Qualitätsüberwachung, Produktionsplanung, dem Einkauf, der Lagerhaltung usw. betraut wurden und häufig der Leitung von Personen im Direktorenrang unterstanden. Die Aufteilung der Produktion auf mehrere Werke führte zur Schaffung vieler neuer Werksdirektorenstellen. Immer weniger Leiter von Produktionsabteilungen haben noch einen direkten Kontakt mit dem Herstellungsprozeß. Sie tragen jedoch dafür die Verantwortung und müssen die Tätigkeit der ihnen untergeordneten Bereiche koordinieren.

Mit zunehmender Differenzierung und Aufgliederung der Unternehmerfunktion begann sich die Wissenschaft in steigendem Maße für die in den verschiedenen Abschnitten des Betriebsgeschehens auftretenden Probleme zu interessieren. Sie widmete ihre Aufmerksamkeit beispielsweise mehr und mehr den Produktionsproblemen. Das Ergebnis dieser Bemühungen war die Entstehung mehrerer neuer Zweige der angewandten Forschung, wie der mechanischen, chemischen und industriellen Technologie und der statistischen Qualitätskontrolle. Durch die Beschäftigung mit anderen Betriebsfunktionen entstanden Marktforschung, Betriebswirtschaft, Ökonometrie, Betriebspsychologie, industrielle Soziologie und andere angewandte wissenschaftliche Disziplinen.

Während dieser Periode der Differenzierung und Aufgliederung der Unternehmerfunktion tauchte eine neue Art unternehmerischer Probleme auf, die als spezifische Probleme übergeordneter Führungskräfte angesehen werden können. Diese Probleme ergaben sich unmittelbar aus der Arbeitsteilung im Betrieb, die zu einer *Organisation* des Betriebsablaufes führt. In einer Organisation hat jede Abteilung oder Unterabteilung einen Teil der Gesamtaufgabe durchzuführen. Jeder dieser Teile ist für die Verwirklichung der *Ziele* der Organisation notwendig. Aus dieser Arbeitsteilung ergibt sich jedoch auch, daß jede Abteilung auch eigene Ziele entwickelt. So zum Beispiel setzt sich die Produktionsabteilung gewöhnlich das Ziel, die Produktionskosten so gering und das Produktionsvolumen so hoch wie möglich zu halten. Die Verkaufsabteilung strebt an, die Verkaufskosten je Einheit, bezogen auf den Umsatz, zu minimisieren und das Absatzvolumen zu maximisieren. Die Finanzabteilung versucht die Investitionspolitik des Unternehmens optimal zu gestalten. Die Personalabteilung will gute Kräfte bei geringstmöglichen Kosten aufnehmen und dem Betrieb erhalten usw. Diese Ziele sind nicht immer miteinander vereinbar. Nicht selten geraten sie sogar untereinander in direkten Widerspruch.

Betrachten wir beispielsweise die Einstellung der verschiedenen Abteilungen eines Unternehmens zum Problem der Lagerhaltung. Die Produktionsabteilung ist an langen, ununterbrochenen Produktionsläufen interessiert, weil dadurch die Kosten für die Vorbereitung der Produktion und daher die Herstellungskosten überhaupt so niedrig wie möglich gehalten werden, doch kann dies trotz Beschränkung auf wenige Produkte zu großen Lagern an halbfertigen und Fertigwaren führen. Die Verkaufsabteilung strebt hingegen an, eine Vielfalt von Produkten rasch ausliefern zu können. Sie ist daher an einem reichhaltigeren, aber dennoch im einzelnen nicht zu beschränkten Sortiment interessiert. Sie wünscht auch eine elastische Produktionsabteilung, die in der Lage ist, kleine Spezialaufträge kurzfristig zu erfüllen. Die Finanzabteilung ist für ein möglichst kleines Lager, weil sie Kapitalinvestitionen, die das Betriebskapital auf unbestimmte Zeit hinaus binden, möglichst herabsetzen

will. Die Personalabteilung will die Beschäftigung stabilisieren und dies ist nur möglich, wenn während flauer Perioden auf Lager produziert wird usw.

Die Lagerhaltungspolitik wirkt sich demnach auf jede Abteilung einer industriellen Organisation aus. Die für eine Abteilung beste Politik ist gewöhnlich für die anderen nicht die beste. Daraus ergibt sich das Problem: Welche Lagerhaltungspolitik ist für die Organisation als Ganzes am besten? Wir haben es dabei mit einem Problem übergeordneter Verantwortungsträger zu tun, weil es a) die Leistung der gesamten Organisation beeinflußt und b) einen Widerspruch der Interessen der einzelnen Abteilungen der Organisation in sich birgt.

Ein ähnliches Problem kann sich auch innerhalb einer bestimmten Betriebsabteilung ergeben. So zum Beispiel kann ein Interessenkonflikt bezüglich der Lagerhaltung entstehen, der sich nur auf die Produktionsabteilung erstreckt und daher ein Koordinierungsproblem für den Leiter der Produktionsabteilung darstellt. Es kann eine Stelle der Produktionsabteilung daran interessiert sein, die Vorbereitungskosten für die Produktion herabzusetzen, wodurch sich jedoch für gewisse Produkte ein Lagerbestand ergäbe, der die Kapazität der vorhandenen Lagerhäuser überschreiten würde. Dadurch ist ein Interessenkonflikt innerhalb der Produktionsabteilung gegeben, dessen Lösung als ein Koordinationsproblem für diese Abteilung zu betrachten ist.

Dabei muß hervorgehoben werden, daß eine solche Teilung der organisatorischen Ziele nicht „schlecht" ist. Wenn mehrere Personen gemeinsam eine Aufgabe zu erfüllen versuchen, so wird es ihnen wahrscheinlich nicht möglich sein, wie eine Einzelperson vorzugehen. Es ist daher sinnlos, einen Plan für eine große industrielle Organisation zu entwickeln, der von der Annahme ausgeht, daß ein jeder weiß und abschätzen kann, was jeder andere tut. Die Funktionsteilung scheint in dieser Situation die einzig mögliche Lösung zu sein. Das Koordinationsproblem ergibt sich demnach aus der Notwendigkeit, die Funktionen in Teilfunktionen aufzulösen. Es läßt sich kaum dadurch bewältigen, daß man sagt: „Versuchen wir alle, die Probleme der anderen zu verstehen." Es verlangt vielmehr, daß man die Ziele der einzelnen Abteilungen und das Gesamtziel außerordentlich gewissenhaft gegeneinander abwägt. Die Abteilungen müssen an der Verfolgung ihrer eigenen Ziele interessiert sein, und es besteht die Gefahr, daß ihre Bemühungen erlahmen, wenn sie zu sehr nach dem Wohl des übergeordneten Ganzen fragen. Wenn wir von einem „Gesamt-Optimum" sprechen, meinen wir daher eine Vorgangsweise, die die Notwendigkeit einer Funktionsteilung innerhalb der Organisation sehr wohl berücksichtigt.

Mit dem Auftauchen der Koordinationsprobleme entwickelte sich ein neuer Berufsstand: der des Industrieberaters. Diese Berater versuchten den mit solchen Problemen ringenden Verantwortlichen dadurch zu helfen, daß sie ihnen ihre Erfahrung mit Problemen ähnlicher Art in anderen Zusammenhängen zur Verfügung stellten. Die von ihnen eingeführte Methode bestand darin, zu beobachten, was den verschiedenen, von den verantwortlichen Führungskräften zu lösenden Problemen gemeinsam war und die vorgeschlagenen Lösungen zu analysieren. Auf diese Weise gelangte man ganz natürlich zu Versuchen, eine gemeinsame Struktur („Modell") dieser Lösungen aufzudecken sowie zu Grundlagen für die Prüfung solcher Strukturen. Dies führte zu der Anwendung wissenschaftlicher Methoden bei der Behandlung von Koordinationsproblemen. Solche Methoden wurden auf diesem Gebiet bereits vor der Entwicklung von O.R. fallweise angewendet.

Während des Zweiten Weltkrieges appellierte die militärische Führung an eine große Zahl von Wissenschaftlern, bei der Lösung strategischer und taktischer Probleme mitzuwirken. Bei vielen dieser Probleme handelte es sich um jene Fragestellungen, die wir als Koordinationsprobleme bezeichnet haben. Wissenschaftler verschiedener Disziplinen wurden zu Teams zusammengefaßt, deren Aufgabe es war, eine optimale Ausnützung aller Hilfsmittel zu ermöglichen. Dies waren die ersten „O.R.-Teams".

Ein Ziel von O.R. — wie es sich von der Entwicklung der industriellen Organisation her ergab — besteht darin, den Unternehmensleitungen eine wissenschaftliche Grundlage für die Lösung von Problemen, bei denen Komponenten der Organisation in einer Wechselbeziehung stehen, in der dem Interesse der Gesamtorganisation am besten dienenden Form zur Verfügung zu stellen. Eine für die Gesamtheit der Organisation „beste" Entscheidung wird als „optimal" bezeichnet, eine in bezug auf einen oder mehrere Teile der Organisation beste Entscheidung als „suboptimal". Wie man die Kriterien für eine optimale Entscheidung aufstellt, ist wieder ein sehr kompliziertes methodisches Problem. Es wird im einzelnen im Kapitel 5 behandelt werden.

O.R. versucht, die für einen möglichst großen Teil der Organisation beste Entscheidung zu finden. Wenn beispielsweise ein Instandhaltungsproblem in einer Fabrik zu lösen ist, bemüht sich O.R., die Wirkung verschiedener Instandhaltungspläne auf die gesamte Produktionsabteilung abzuschätzen. Wenn möglich, wird berücksichtigt, wie sich die Auswirkungen auf die Produktionsabteilung ihrerseits wieder auf andere Abteilungen und letztlich auf den ganzen Betrieb übertragen. Manchmal untersucht man sogar, welchen Einfluß die Umstellungen in einem bestimmten Betrieb auf die gesamte Industriesparte haben usw. O.R. versucht, die Wechselwirkungen oder Kettenreaktionen, soweit sie von Bedeutung sind, zu berücksichtigen. In der Praxis ist der Rahmen für O.R.-Untersuchungen jedoch normalerweise beschränkt, entweder deshalb, weil der Zugang zu höheren Organisationsebenen versperrt ist, oder weil Zeit, Geld und andere Mittel nur in begrenztem Umfang zur Verfügung stehen. Dies muß man bei der Lektüre des Buches im Auge behalten. Zwischen dem, was man tun möchte, und dem, was man wirklich tut, besteht immer ein Unterschied. O.R. wird hier durch seine wichtigste Zielsetzung charakterisiert: den umfassenden Einblick in optimale Lösungen von Koordinationsproblemen in Organisationen.

O.R. setzt sich das Ziel, Probleme unter Berücksichtigung des gesamten Systems zu betrachten. Unter „System" verstehen wir eine Gesamtheit funktionell miteinander verknüpfter Teile. Eine geschäftliche Organisation ist beispielsweise ein soziales oder ein Mensch-Maschine-System. Aber nicht in allen Systemen gibt es menschliche oder soziale Komponenten. Ein Kraftfahrzeug etwa ist ein mechanisches System. Es besteht aus funktionellen Einheiten, wie z. B. dem Motor, der Kraftübertragung, dem Kühler und der Lichtmaschine. Diese und andere Einheiten sind miteinander zu einem Mechanismus verbunden, der verschiedenen Zwecken dienen kann. Die Wirksamkeit jeder Einheit hängt davon ab, wie sie in das Ganze hineinpaßt, und die Wirksamkeit des Ganzen davon, wie jede Einheit funktioniert. Das Problem der bestmöglichen Gestaltung eines mechanischen Systems ähnelt den Problemen in Mensch-Maschine-Systemen, wenn es auch nicht mit ihnen identisch ist. In beiden Systemen besteht ein Konflikt der Interessen. Die Benützer von Kraftfahrzeugen wünschen Wagen, die rasch, sicher, wirtschaftlich,

bequem, geräumig und formschön sind. Es ist unmöglich, allen diesen Wünschen gleichzeitig gerecht zu werden. Bei der Festlegung des Entwurfes muß daher eine Optimallösung unter Berücksichtigung einer Reihe von zumindest teilweise einander widersprechenden Zielsetzungen getroffen werden. Die „Arbeitsteilung" menschlicher Organisationen unterscheidet sich jedoch von dem Zusammenspiel der Teile in einem mechanischen System. In menschlichen Organisationen besteht das kritische Problem, daß die Abteilungen zur Ausführung der ihnen zugedachten Funktionen den entsprechenden Antrieb besitzen müssen.

Die Anwendung der Wissenschaft bei der Entwicklung mechanischer Mensch-Maschine-Systeme wird manchmal als Systemanalyse bezeichnet und diese oft mit O.R. gleichgesetzt. In diesem Sinn ist die Entwicklung und die Auswertung von Waffen und Nachrichtensystemen O.R. Das vorliegende Buch beschäftigt sich jedoch mit menschlichen Organisationen, weil auf diesen das Schwergewicht der O.R.-Praxis in Wirtschaft und Industrie liegt.

Die Betrachtung von Problemen unter Berücksichtigung des ganzen Systems, in dem sie auftreten, bedeutet nicht, daß sehr allgemein formulierte Probleme in einem einzigen Untersuchungsgang gelöst werden müssen. So wünschenswert das auch sein mag, es läßt sich doch in der Praxis selten verwirklichen. Praktisch werden die einzelnen Teile eines umfassenden Problems der Reihe nach gelöst. In vielen Fällen kann das Gesamtproblem gar nicht im vorhinein formuliert werden, sondern die Lösung einer bestimmten Phase trägt dazu bei, die nächste Phase abzugrenzen. So zum Beispiel kann ein Problem auf dem Gebiet der Produktionsplanung die Bestimmung der wirtschaftlichsten Produktionsmengen verschiedener Güter erforderlich machen. Sobald diese gefunden sind, kann sich unter Umständen herausstellen, daß es gar nicht möglich ist, solche Mengen mit der vorhandenen Ausrüstung in der zur Verfügung stehenden Zeit herzustellen. Dadurch entsteht ein neues Problem, dessen Lösung auf die in der ersten Phase erzielte Lösung nicht ohne Einfluß bleibt. Obwohl die gleichzeitige Optimisierung aller Phasen eines Systems wünschenswert wäre, zwingen die praktischen Verhältnisse meist zu einer schrittweisen Optimisierung von Teil-Systemen, jeweils verbunden mit einer Anpassung der bereits bestimmten „Phasen-Optima", um das „Gesamt-Optimum" auch wirklich zu erreichen.

Wenn man sagt, daß O.R. einen möglichst großen Teil des Systems betrachtet, so heißt das nicht, daß von vornherein mit dem ganzen System *begonnen* wird. Die meisten O.R.-Projekte beginnen mit bekannten Problemen von begrenztem Umfang. Aber im Laufe der Untersuchung wird dieser Rahmen so weit ausgedehnt, wie es die Umstände erlauben. Der Umfang der Untersuchung ist sogar ein Maßstab dafür, inwieweit in einem bestimmten Fall tatsächlich O.R. betrieben wird. Es ist demnach so, daß O.R. zwar häufig mit denselben Problemen beginnt, mit denen auch ein Maschineningenieur, Betriebsingenieur, Chemiker oder Marktforscher anfangen würde, selten jedoch mit denselben Problemen aufhört. Diese Seite von O.R. wird noch in dem im Kapitel 2 dargelegten praktischen Fall erläutert.

Es ist für O.R. charakteristisch, daß durch die Lösung eines jeden Problems neue Probleme aufgeworfen werden. Deshalb wird O.R., wenn man bei einer Untersuchung mit einem Schlag eine endgültige Lösung erzielt und es dabei bewenden läßt, eigentlich nicht richtig eingesetzt. Aus den oben dargelegten Zielen von O.R. folgt, daß der größte Nutzen erst durch eine kontinuierliche Weiterverfolgung der Untersuchung erzielt wird.

Es ist ein wesentliches Merkmal von O.R., daß es eine *optimale* Entscheidung, Vorgangsweise oder Gestaltung finden will. Nicht nur eine bessere Lösung eines Problems soll gefunden werden als die bisher übliche, sondern die *beste* Lösung. Infolge der Beschränkungen, die der gegenwärtige Stand der Wissenschaft, Mangel an Zeit, Geld oder Gelegenheit auferlegen, wird diese beste Lösung vielleicht nicht immer gefunden, O.R. ist aber jedenfalls ständig bemüht, das Optimum zu erreichen oder ihm zumindest so nahe wie möglich zu kommen.

Manchmal läßt sich eine Optimallösung nicht bestimmen, weil eine (oder mehrere) der wesentlichen Größen des Systems nicht bewertet werden kann. So wird es vielleicht nicht möglich sein, den Zeitaufwand von Kunden, die auf Bedienung warten, kostenmäßig zu erfassen. Mit Hilfe von O.R. kann man jedoch die optimale Entscheidung für jeden Wert angeben, der dieser Wartezeit zugeordnet werden kann. Welcher Wert solchen Wartezeiten zuzuordnen ist, muß dem Urteil desjenigen überlassen werden, der die Entscheidung trifft. Sobald dies geschehen ist, steht die bezüglich dieses Wertes optimale Lösung fest. O.R. erlaubt es, die quantitativen Auswirkungen solcher Beurteilungen auf das System aufzuzeigen. Beispielsweise kann es angeben, auf welchen Betrag sich bei jedem der für die Wartezeit der Kunden eingesetzten Werte die zu erwartenden Gesamtkosten für den Betrieb einer Bedienungsstelle belaufen werden. In jedem Fall liegt die endgültige Entscheidung bei den verantwortlichen Betriebsleitern und nicht bei den O.R.-Fachleuten. Diese können nur Empfehlungen für die Lösung bzw. für die Grundlagen zur Auswahl der Lösung geben. Sobald die Entscheidung gefallen ist, können sie wieder bei der praktischen Verwirklichung der Lösung mithelfen.

Wenn wir das bisher Gesagte zusammenfassen, so können wir O.R. im allgemeinsten Sinn charakterisieren als die Anwendung wissenschaftlicher Methoden und Verfahren auf Probleme betreffend die Arbeitsweise von Systemen, mit dem Ziele, jenen Personen, die diese Arbeitsweise lenken, optimale Lösungen für diese Probleme zu liefern. Das vorliegende Buch beschränkt sich auf die Anwendung von O.R. auf das Problem der Koordination in Organisationen.

Das bedeutet nicht, daß wir andere Formen der Systemanalyse vernachlässigen wollen; aber wenn ein Modell, z. B. eines Produktionssystems, konstruiert wird, so geschieht das zu dem Zweck, dem O.R.-Fachmann klarzumachen, wie die Produktion organisatorisch verankert ist. Wir beginnen daher unsere Diskussion in Kapitel 4 mit den Fragen der Problem-Formulierung; dies ist im wesentlichen ein Versuch, einen möglichst übergeordneten Gesichtspunkt zu gewinnen. Dieses Kapitel sollte sich der Leser bei allen späteren Darlegungen, die sich mit speziellen Gesichtspunkten der Problem-Lösung beschäftigen, vor Augen halten. Auf diese Weise wird ein aufmerksamer Leser nicht in erster Linie an die „Lösung" von Lagerhaltungsproblemen als solche denken, sondern daran, daß ein organisatorisches Problem zu lösen ist, in dem die Lagerhaltung eine wichtige Rolle spielt. Wie wir später sehen werden, ist ein Lagerhaltungsmodell ein „Verfahren", und die Art und Weise, wie man es in die ganze Untersuchung einbaut, ist eine „Methode". Beim Studium der Kapitel über Modelle sollte sich der Leser ständig fragen, wie ein beliebiges Modell innerhalb eines bestimmten, ihm bekannten Systems verwendet werden kann. Dadurch wird er am besten vermeiden, sich zu einseitig auf die technischen Gesichtspunkte zu konzentrieren.

Die Team-Methode

Da sich O.R. aus anderen Wissenschaften heraus entwickelte, macht es bei diesen umfangreiche Anleihen. Das war bei der „Geburt" jeder wissenschaftlichen Disziplin der Fall. Es ist immer schwierig, ein neues Fach von jenen Fächern zu unterscheiden, aus denen es entstanden ist, weil sich Probleme, Methoden und Begriffe naturgemäß überschneiden. Nach und nach wird die Differenzierung deutlicher, und die Praktiker werden nicht mehr von der Frage verfolgt: „Worin liegt hier eigentlich der Unterschied zu diesem oder jenem Fach?" Die rasche Verbreitung von O.R. unter einer eigenständigen Bezeichnung legt Zeugnis dafür ab, daß diese Eigenständigkeit in zunehmendem Maße anerkannt wird. Aber die Differenzierung ist noch lange nicht abgeschlossen.

Die Überschneidung der Methoden und Verfahren von O.R. mit denen anderer Wissenszweige ist größtenteils auf die Art und Weise zurückzuführen, in der O.R. ursprünglich betrieben wurde und noch heute betrieben wird. Es ist eine von einer Gruppe von Wissenschaftlern gemeinsam getragene Forschungsarbeit, wobei die einzelnen Glieder des Arbeitsteams von verschiedenen wissenschaftlichen und technischen Fächern herkommen. So werden beispielsweise ein Mathematiker, ein Physiker, ein Psychologe und ein Wirtschaftswissenschaftler gemeinsam an einem Problem der optimalen Kapitalerhöhung arbeiten. Der Erfolg, mit dem solche aus Fachleuten mehrerer Wissenszweige zusammengesetzte Teams jene Probleme behandeln, die als spezifisches Aufgabengebiet von O.R. anzusehen sind, beruht nicht auf Zufall.

Wenn ein Wissenschaftler einem neuen Problem gegenübersteht, so versucht er — wie es jeder in einer ähnlichen Situation tun würde — das Wesentliche des Problems herauszuarbeiten und festzustellen, ob er nicht einem ähnlich gelagerten Problem schon in einem anderen Zusammenhang, insbesondere in seinem engeren Fachgebiet, begegnet ist. Sobald er ein analoges Problem in seinem Spezialgebiet entdeckt hat, kann er sich fragen, ob sich die Methoden, die er zur Lösung desselben anwenden würde, auch für das neue Problem eignen. Auf diese Weise geht er an das neue Problem mit Methoden heran, an die man in diesem Zusammenhang sonst vielleicht gar nicht gedacht hätte. Wenn Wissenschaftler verschiedener Fachrichtungen dies gemeinsam tun, so wächst das Reservoir der möglichen Vorgangsweisen naturgemäß an.

So zum Beispiel wird ein Schwachstromingenieur angesichts eines Problems der Produktions- und Lagerhaltungsplanung bald erkennen, daß die Schwankungen des Lagerbestandes eine Funktion jener Zeitspanne sind, die zwischen der Änderung der Marktlage und der Anpassung des Produktionsniveaus verstreicht. Er sieht das Problem unter dem Gesichtspunkt eines Regelungssystems, in dem die notwendigen Informationen über Änderungen der Marktlage rasch und richtig zu jener Stelle, welche die Produktion regelt, rückzukoppeln sind. In dieser Zentrale können Produktionsanpassungen so vorgenommen werden, daß gewisse Kostenfunktionen ein Minimum werden. Der Schwachstromingenieur hat somit das Problem in ein regelungstechnisches verwandelt und er weiß darüber Bescheid, wie solche Probleme zu lösen sind. Dieses Beispiel ist übrigens durchaus nicht erfunden.

Ein Chemiker wiederum würde das gleiche Problem in Begriffen der Strömungslehre formulieren und, sobald dies geschehen ist, über die Methoden zu seiner Lösung verfügen.

Welche der verschiedenen Betrachtungsweisen am fruchtbarsten ist, hängt von den Umständen ab. Das Untersuchungsteam prüft die verschiedenen Möglichkeiten und wählt eine davon aus oder entwickelt eine neue Vorgangsweise, die Elemente mehrerer Methoden enthält.

Einer der Hauptgründe, warum man O.R. mit Hilfe von Teams betreibt, ist die dadurch gebotene Möglichkeit, die am weitesten fortgeschrittenen wissenschaftlichen Methoden für die Lösung der Probleme zur Verfügung zu haben oder neue Methoden zu entwickeln, die leistungsfähiger sind als irgendeine der bestehenden. Der Grundgedanke dabei ist, daß das Gehirn eines einzelnen Menschen unmöglich das gesamte möglicherweise brauchbare Wissen umfassen kann, während dies einem „Team-Gehirn" möglich ist.

Ein anderer wichtiger Vorteil der Team-Methode liegt in der Tatsache begründet, daß die meisten Mensch-Maschine-Systeme physikalische, biologische, psychologische, soziologische, wirtschaftliche und technische Gesichtspunkte vereinen. Diese verschiedenen Seiten eines Systems werden am besten von Fachkräften verstanden und analysiert, die in dem entsprechenden Gebiet ausgebildet sind. Die für die Steuerung des Systems Verantwortlichen sind sich unter Umständen eines oder mehrerer dieser Gesichtspunkte gar nicht bewußt und verfügen daher nur über ein unvollkommenes Bild des Systems. Man muß also, um ein System als Ganzes zu sehen, nicht nur alle seine Komponenten und deren Beziehungen untereinander erkennen, sondern auch alle Seiten der innerhalb dieses Systems durchgeführten Operationen. Ein gemischtes Arbeitsteam erhöht die Zahl jener Seiten der Operationen, die im einzelnen untersucht werden können. Dieser Punkt wird durch den im Kapitel 3 dargelegten praktischen Fall erläutert werden.

Die Entwicklung der O.R.-Methoden und -Verfahren

Da bestimmte Gruppen von Problemen immer häufiger zum Gegenstand von O.R. gemacht werden, beschäftigt man sich natürlich mit diesen besonders eingehend. Daraus ergibt sich, daß für viele immer wiederkehrende Probleme neue Methoden entwickelt oder schon bestehende modifiziert wurden. Nach und nach ist die Zahl der Methoden und Verfahren, die speziell für O.R.-Probleme entwickelt oder von O.R. übernommen wurden, angewachsen. Schon jetzt ist sie so umfangreich, daß ein einzelner nur mehr schwer über alle diese Entwicklungen auf dem laufenden bleiben kann. Aus dieser Tatsache ergeben sich einige wichtige Konsequenzen.

Vor zehn Jahren konnte jeder mit schöpferischer Phantasie begabte Wissenschaftler oder Ingenieur leicht O.R.-Fachmann werden, wenn er sich dafür interessierte. Er bedurfte hiezu keiner besonderen Ausbildung. Jetzt ist der Zugang zu O.R. nicht mehr so leicht, denn je mehr sich O.R. entwickelt, desto mehr Zeit ist erforderlich, um einen Überblick über die bereits geleistete Arbeit zu bekommen und sich über die zur Verfügung stehenden Methoden und Verfahren zu informieren. Andrerseits wird durch die Zunahme an Fachwissen O.R. immer leichter lehrbar. Zahlreiche Universitäten und technische Hochschulen halten Vorlesungen über O.R. ab, und manche haben sogar Studiengänge eingeführt, die mit einem akademischen Grad abschließen.

Nur dank der Entwicklung einer großen Zahl von Methoden und Verfahren ist es überhaupt möglich, ein Buch wie das vorliegende zu verfassen. Dieses Buch wird sich auf den wachsenden Schatz des O.R.-Wissens konzentrieren. Es wird sich nicht darum bemühen, das umfangreiche Hand-

werkszeug mit einzubeziehen, das die O.R.-Fachleute für ihre Arbeit brauchen. So zum Beispiel wird nicht versucht werden, jene mathematischen und statistischen Kenntnisse zu vermitteln, die für die Ausübung von O.R. notwendig sind. Mit allen diesen Dingen muß der O.R.-Fachmann vertraut sein und wenn sie in diesem Buch nicht behandelt werden, so ist das nicht als eine bewußte Herabsetzung ihrer Bedeutung zu verstehen. Es wäre unmöglich, all dieses Material in einem Buch zu bewältigen und es ist auch gar nicht notwendig, es zu versuchen. Es gibt genügend gute Werke über diese Gegenstände. Hingegen gibt es derzeit noch keine Einführung in die Methoden, Begriffe und Verfahren, die durch O.R. hervorgebracht wurden oder anderswo ihren Ursprung nahmen und für den Gebrauch von O.R. adaptiert wurden. Dieser Aufgabe will sich das vorliegende Buch widmen.

Die Ausdrücke „Verfahren" und „Methoden", die wir in der Wissenschaft oft wechselweise gebrauchen, werden hier genau unterschieden. So ist beispielsweise die Verwendung einer Tabelle von Zufallszahlen ein wissenschaftliches Verfahren. Der Untersuchungsplan, der die Verwendung einer Tabelle von Zufallszahlen beinhaltet, ist eine wissenschaftliche Methode.

Obwohl es richtig ist, daß die Methoden und Verfahren aller Wissenschaften gemeinsame Züge aufweisen, kann man mit gleichem Recht sagen, daß jede Wissenschaft eigenständige Methoden und Verfahren verwendet, die die Eigenart der von ihr untersuchten Materie widerspiegeln. Die Entwicklung einer Wissenschaft erfolgt sogar in engem Zusammenhang mit der Entwicklung von Methoden und Verfahren, die ihrem speziellen Gegenstand entsprechen.

Lehrbücher über traditionelle Forschungsgebiete, wie Physik und Chemie, beschäftigen sich nur sehr oberflächlich mit wissenschaftlichen Methoden. Ihr Hauptaugenmerk gilt den Verfahren und Hilfsmitteln. Das vorliegende Buch legt besonderen Nachdruck auf Methoden, weil in einem neuen Forschungsgebiet die Art und Weise, wie man an ein Problem herangeht, wichtiger ist als die dabei verwendeten Verfahren und Hilfsmittel. O.R. war schon bevor es eigene Verfahren und Hilfsmittel zu entwickeln begann, wegen der besonderen Aufmerksamkeit, die es dem richtigen Anpacken der Probleme schenkt, von größtem Wert. Wie wir bereits feststellten, sollte der Leser die Anwendung eines Verfahrens stets als eine Seite des ganzen Problems betrachten und nicht als etwas für sich Wertvolles. Auf diese Weise wird er eine zu einseitige Konzentration auf eine bestimmte Gruppe von Verfahren vermeiden. Die Aufgeschlossenheit gegenüber Verfahren, gepaart mit einem fundierten Wissen über ihre Anwendbarkeit sowie einem richtigen Verständnis des übergeordneten Problems, ist wesentliches Kennzeichen einer gesunden wissenschaftlichen Methode.

Die Phasen einer O.R.-Untersuchung

Vor zehn Jahren hätte man Mühe gehabt, einen O.R.-Fachmann zu einer Beschreibung der Arbeitsweise bei der Lösung eines O.R.-Problems zu bewegen. Heute ist es schwierig, ihn davon abzuhalten. Die Versionen, die verschiedene Praktiker über die Methoden einer O.R.-Untersuchung geben würden (wenn man darüber Aufzeichnungen besäße), dürften in verschiedener Hinsicht voneinander abweichen. Aber sie hätten auch vieles gemeinsam.

So zum Beispiel würden wahrscheinlich die meisten von ihnen die nachstehenden Phasen eines O.R.-Projektes als die wichtigsten bezeichnen:

1. Die Formulierung des Problems.
2. Den Entwurf eines mathematischen Modells für das zu untersuchende System.
3. Die Ableitung einer Lösung aus dem Modell.
4. Die Überprüfung des Modells und der daraus abgeleiteten Lösung.
5. Die Vorsorge für eine Überwachung und Anpassung der Lösung.
6. Die praktische Verwirklichung der Lösung.

Jede dieser Phasen wird in den nachfolgenden Kapiteln im einzelnen besprochen werden, aber es ist vielleicht von Nutzen, durch eine kurze Zusammenfassung die Orientierung zu erleichtern.

Die Formulierung des Problems

Sowohl das Problem des Auftraggebers als auch das des O.R.-Fachmannes muß formuliert werden. Der Auftraggeber ist jene Person (oder Personengruppe), die über die Durchführung der Untersuchung zu entscheiden hat. Bei der Formulierung des Problems des Auftraggebers muß das von ihm gesteuerte System, müssen seine Ziele und die verschiedenen möglichen Vorgangsweisen untersucht werden. Es muß festgestellt werden, wer sonst noch von den zu untersuchenden Entscheidungen betroffen wird und welche Ziele und Handlungsmöglichkeiten die Betroffenen besitzen. Was wir den übergeordneten Gesichtspunkt genannt haben, ist eng mit dem Versuch verknüpft, Ziele zu definieren. O.R. versucht, eine möglichst umfassende Zielsetzung zu berücksichtigen. Ganz allgemein ausgedrückt besteht das Problem der Untersuchung darin, festzustellen, welche Vorgangsweise im Hinblick auf eine Gruppe von Zielen am wirksamsten ist. Daher muß bei der Formulierung des Problems der Untersuchung ein Maß für die Wirksamkeit angegeben und dessen Brauchbarkeit nachgewiesen werden.

Entwurf eines mathematischen Modells

Dieses Modell stellt die Wirksamkeit des untersuchten Systems als Funktion einer Reihe von Veränderlichen dar, von denen zumindest eine beeinflußbar ist. Die allgemeine Form eines O.R.-Modells ist

$$E = f(x_i, y_j),$$

wobei E die Wirksamkeit des Systems bedeutet, x_i die Veränderlichen des Systems, die beeinflußt werden können, und y_j jene Veränderlichen, die nicht beeinflußbar sind. Einschränkungen bezüglich der Werte der Veränderlichen können durch weitere Gleichungen bzw. Ungleichungen ausgedrückt werden.

Die Ableitung einer Lösung aus dem Modell

Im wesentlichen gibt es zwei Methoden, um aus einem Modell eine Optimallösung (oder die Annäherung an eine solche) abzuleiten: die *analytische* und die *numerische*. Analytische Methoden bedienen sich der mathematischen Ableitung. Dabei müssen verschiedene Teilgebiete der Mathematik herangezogen werden, wie beispielsweise die Differential- und Integralrechnung und die Matrizenrechnung. Analytische Lösungen erhält man in allgemeiner Form, d. h. die Symbole werden erst nach Ermittlung der Lösung durch Zahlen ersetzt.

Bei numerischen Verfahren probiert man im wesentlichen verschiedene Werte der beeinflußbaren Variablen des Modells aus, vergleicht die Resultate und wählt diejenigen Werte, die das beste Ergebnis liefern. Solche Methoden reichen vom einfachen Probieren bis zur komplexen *Iteration*. Unter einem Iterationsverfahren versteht man ein Verfahren, bei dem die aufeinanderfolgenden Werte sich immer mehr der Optimallösung annähern. Außerdem gibt es zu einem Iterationsverfahren gewöhnlich Kriterien, mit deren Hilfe man die Optimallösung, wenn sie einmal erzielt wurde, als solche erkennen kann.

Manchmal können Ausdrücke in einem Modell aus mathematischen oder praktischen Gründen numerisch nicht genau bestimmt werden. In vielen solchen Fällen kann man eine bestimmte Abart der Zufallsstichprobe, die sogenannte Monte-Carlo-Methode, für eine näherungsweise Auswertung der Ausdrücke heranziehen.

Überprüfung des Modells und der Lösung

Ein Modell ist immer nur ein teilweises Abbild der Wirklichkeit. Es erfüllt seinen Zweck, wenn es trotz seiner Unvollkommenheit vorherzubestimmen vermag, wie sich Veränderungen im System auf die Gesamtleistung desselben auswirken. Seine Angemessenheit läßt sich überprüfen, indem man nachprüft, wie genau es die Auswirkungen derartiger Veränderungen vorherzubestimmen vermag. Die Lösung kann man bewerten, indem man die mit und ohne ihre Hilfe erzielten Resultate vergleicht. Diese Bewertungen können entweder rückschauend mit Hilfe bereits vorhandener älterer Ergebnisse oder aber mit Hilfe eines „Probegalopps" oder eines Vortests vorgenommen werden. Bei der Überprüfung muß sorgfältig untersucht werden, welche Ergebnisse gültig sind und welche nicht.

Die Überwachung und Anpassung der Lösung

Eine aus einem Modell abgeleitete Lösung bleibt nur so lange gültig, als die im Modell nicht erfaßten Variablen ihre Werte beibehalten und die Beziehungen zwischen den im Modell erfaßten Variablen gleich bleiben. Die Lösung wird unbrauchbar, wenn sich der Wert einer oder mehrerer nicht erfaßter Variablen bzw. eine oder mehrere der Beziehungen zwischen den Variablen wesentlich verändert hat. Die Bedeutung dieser Veränderung hängt davon ab, wie stark die Lösung unter den veränderten Bedingungen von dem wirklichen Optimum abweicht, sowie von den Kosten, die eine Änderung der bereits in die Wirklichkeit umgesetzten Lösung mit sich bringen würde. Wenn man die Lösung unter Kontrolle halten will, dann muß man Verfahren entwickeln, mit denen man feststellen kann, wann wesentliche Änderungen eintreten und Regeln dafür aufstellen, wie die Lösung unter Berücksichtigung dieser Veränderungen zu modifizieren ist.

Die praktische Verwirklichung der Lösung

Die überprüfte Lösung muß in eine Reihe von Betriebsanweisungen übersetzt werden, die von dem verantwortlichen Personal verstanden und angewendet werden können. Die notwendigen Veränderungen bestehender Methoden und Hilfsmittel müssen festgelegt und durchgeführt werden.

Die aufgezählten Phasen werden selten, wenn überhaupt, in der angegebenen Reihenfolge durchlaufen. Sie können zudem auch gleichzeitig erfolgen. In

vielen Fällen kann beispielsweise die Formulierung des Problems erst dann vollendet werden, wenn die Untersuchung selbst schon so gut wie abgeschlossen ist. Im allgemeinen besteht während des ganzen Verlaufes der Untersuchung ein dauerndes Wechselspiel zwischen den verschiedenen Phasen.

Die häufigsten O.R.-Probleme

Bei den zu besprechenden Verfahren und Hilfsmitteln sind verschiedene Gruppen zu unterscheiden, je nach dem Problem, auf welches sie anzuwenden sind. In den meisten Fällen besitzen diese Probleme schon allgemein gebräuchliche Bezeichnungen, in einigen jedoch noch nicht. Da war es dann die Aufgabe der Verfasser, geeignete Namen zu finden.

In diesem Buche werden folgende Problemkreise behandelt:

Lagerhaltungsprobleme

Unter einem Lagerhaltungsproblem versteht man im Rahmen von O.R. ein Problem, das eine oder beide der nachstehenden Entscheidungen erfordert: a) wieviel in Auftrag zu geben (d. h. zu produzieren oder einzukaufen) ist und b) wann der Auftrag erteilt werden soll. Bei diesen Entscheidungen muß man die Lagerhaltungskosten gegen eine oder mehrere der folgenden Kosten abwägen: Auftragskosten bzw. Kosten der Auflegung einer Produktionsserie, durch Erschöpfung des Lagerbestandes oder verzögerte Lieferung verursachte Kosten, und Kosten, die mit einer Änderung des Produktions- und Einkaufsvolumens zusammenhängen. Zu den Hilfsmitteln für die Lösung dieser Probleme gehören die Gleichungen für die wirtschaftlichen Auftragsmengen sowie das lineare, dynamische und quadratische Programmieren.

Zuteilungsprobleme

Zuteilungsprobleme ergeben sich a) wenn eine Reihe von Operationen durchzuführen ist und es hierzu verschiedene Wege gibt und b) wenn die Hilfsmittel und Einrichtungen nicht verfügbar sind, um jede Operation in der bestmöglichen Weise durchzuführen. Das Problem besteht dann darin, die Operationen und Hilfsmittel so zu kombinieren, daß, insgesamt gesehen, die beste Leistung erzielt wird. Dabei können für die Hilfsmittel oder Operationen bestimmte Anweisungen bestehen. Wenn diese einen gewissen Spielraum lassen, besteht das Problem darin, jene Kombinationen ausfindig zu machen, die die größte Wirksamkeit ergeben.

Die bei Zuteilungsproblemen am häufigsten verwendeten Verfahren sind das lineare Programmieren und andere Arten mathematischen Programmierens.

Wartezeitprobleme

Bei Wartezeitproblemen handelt es sich darum, daß Personen oder Güter durch eine oder mehrere Stellen bedient oder bearbeitet werden müssen. Von Ausnahmsfällen abgesehen, müssen dabei zu bedienende Einheiten oder die Bedienungsstellen warten. Mit beiden Arten von Wartezeiten sind Kosten verbunden. Das Problem liegt nun darin, das Eintreffen der zu bedienenden Einheiten bzw. die Organisation der Bedienungsstellen so zu gestalten, daß die Summe beider Kosten ein Minimum wird.

Für Probleme, die die Bestimmung der Anzahl von Bedienungsstellen oder die Festlegung der Zeitpunkte des Eintreffens der abzufertigenden Einheiten

betreffen, kann die Warteschlangen-Theorie herangezogen werden. Die Ablaufplanungs-Theorie ist auf Probleme anwendbar, bei denen die Reihenfolge festzusetzen ist, in der die bereitstehenden Einheiten bedient werden sollen. Die Theorie des Abstimmens der einzelnen Arbeitsgänge an einem Montageband (line-balancing theory) schließlich eignet sich für die Lösung von Problemen, bei denen die einzelnen Arbeitsgänge einer Bedienungsaufgabe auf eine Reihe von Bedienungsstellen aufzuteilen sind.

Ersatzprobleme

Bei Ersatzproblemen sind je nach der Art des „Alterungsprozesses" zwei Fälle zu unterscheiden: entweder verlieren die in Frage stehenden Einrichtungen durch den Gebrauch nach und nach ihre Leistungsfähigkeit oder veralten durch den technischen Fortschritt (wie im Fall von Werkzeugmaschinen), oder sie fallen, anstatt allmählich abgenützt zu werden, plötzlich zur Gänze aus (z. B. Glühlampen).

Bei allmählichem Leistungsabfall besteht das Problem darin, den Zeitpunkt der Ersetzung so zu wählen, daß die Summe aus den Kosten der neuen sowie den Kosten für die Erhaltung der Leistungsfähigkeit der alten Einrichtung und die durch Ausfall verursachten Kosten minimisiert werden. Bei Einrichtungen, die vollständig ausfallen, besteht das Problem darin, festzustellen, welche Stücke zu ersetzen sind (z. B. alle außer den in der letzten Woche neu installierten) und wie oft man sie ersetzen soll, um die Gesamtsumme der Kosten, die durch die Einrichtung selbst sowie durch den Ausfall und den Ersatz entstehen, so niedrig wie möglich zu halten.

Instandhaltungsprobleme können als Sonderfall der Ersatzprobleme betrachtet werden, da bei der Instandhaltung meist nicht eine ganze Einheit zu erneuern ist, sondern ein Bestandteil ausgetauscht werden muß. Daraus folgt, daß Instandhaltungs- und Ersatzprobleme mit denselben Methoden zu lösen sind.

Konkurrenzprobleme

Ein Konkurrenzproblem ergibt sich, wenn die Entscheidung des einen Partners in ihrer Wirksamkeit durch die Entscheidung eines anderen beeinträchtigt werden kann. Die in O.R.-Kreisen meistdiskutierte Konkurrenzsituation ist ein „Spiel". Ein Spiel ist charakterisiert durch eine Anzahl von Spielern, durch Spielregeln, die alle erlaubten Züge festlegen, durch eine Reihe von Endsituationen (z. B. Gewinnen, Verlieren, Unentschieden) und durch den mit diesen Endsituationen verbundenen Gewinn bzw. Verlust. Die grundlegenden Verfahren zur Behandlung dieses Problemkreises werden als „Spieltheorie" bezeichnet.

Eine andere Art von Konkurrenzsituationen ist die des Anbietens. Sie unterscheidet sich von einem Spiel in folgendem: a) die Zahl der Konkurrenten ist gewöhnlich nicht bekannt; b) die Anzahl der möglichen „Spiele" ist im allgemeinen unbegrenzt; c) die Gewinne oder Verluste sind unbekannt und können nur geschätzt werden; und d) das Ergebnis eines Spieles (Gewinnen oder Verlieren) kann gewöhnlich nur geschätzt werden. Man hat eben erst begonnen, eine Theorie für die Behandlung von Anbotssituationen zu entwickeln, doch gibt es bereits jetzt einige sehr nützliche Hilfsmittel.

Kombinierte Probleme

Nur selten tritt in den wirklichen Systemen bloß eines der soeben besprochenen Probleme auf. So zum Beispiel beinhaltet ein Produktionsplanungsproblem eine bestimmte Kombination von Lagerhaltungs-, Zuordnungs- und Wartezeitproblemen. Ein Ersatzproblem für Materialien, bei denen es zu Totalausfall kommt, wiederum enthält gewöhnlich ein Lagerhaltungsproblem, und ein Anbotsproblem kann die Aufteilung verfügbarer Mittel auf verschiedene Einheiten erfordern, für die Anbote erstellt werden.

Gewöhnlich behandelt man kombinierte Probleme so, daß man eines nach dem anderen löst. Wir wissen aber, daß wir auch bei wiederholten zyklischen Anpassungen in vielen Fällen kein echtes Optimum erreichen. O.R. sieht sich daher in zunehmendem Maße vor die Notwendigkeit gestellt, die abstrakten Probleme zu kombinieren und Modelle zu konstruieren, die die Wechselwirkungen zwischen mehreren der oben geschilderten Probleme berücksichtigen. Dieser Aufgabe wird mehr und mehr Aufmerksamkeit von seiten der Wissenschaft geschenkt.

Weiters ist zu beachten, daß die hier skizzierten fünf Probleme durchaus nicht alle Situationen umfassen, die O.R. zu bewältigen hat. Immerhin berücksichtigen sie den größten Teil der in der Praxis vorkommenden Aufgaben. Wir können jedoch erwarten, daß in Zukunft eine wachsende Zahl häufig wiederkehrender Probleme herauskristallisiert und der mathematischen Analyse unterworfen wird.

Schließlich sollte sich der Leser nicht zu sehr durch den Namen des abstrakten Modells beeinflussen lassen. Lagerhaltungsmodelle sind auf Geld-, Betriebskapital- und Personalprobleme anwendbar. Warteschlangen-Modelle können unter Umständen zur Lösung bestimmter Lagerhaltungsprobleme von Nutzen sein. Als Schlüssel zum wissenschaftlichen Erfolg kommt der Phantasie eine ebenso große Bedeutung zu, wie irgendeiner anderen geistigen Fähigkeit. Der Leser wird den größten Nutzen von der Lektüre dieses Buches dann haben, wenn er mit Aufgeschlossenheit und der Fähigkeit, Analogien zu erkennen, an sie herantritt.

Zusammenfassung

Es wurde gezeigt, daß O.R. aus der Entwicklung von Organisationen hervorging, in denen sich die unternehmerische Funktion in verschiedene Führungsarten und Führungsebenen aufspaltete. Aus der Notwendigkeit eines wissenschaftlichen Studiums von Koordinationsproblemen — jener Probleme, die sich aus der Wechselwirkung zwischen verschiedenen funktionellen Einheiten der Organisation ergaben — und der von der militärischen Führung im letzten Krieg den Wissenschaftlern gegebenen Gelegenheit zur Behandlung solcher Probleme wurde O.R. geboren.

O.R. ist vielleicht noch zu jung, als daß man es schon endgültig definieren könnte. Es wurde jedoch eine provisorische Arbeitsdefinition versucht:

> O.R. ist die Anwendung wissenschaftlicher Methoden, Verfahren und Hilfsmittel auf Probleme, betreffend die Arbeitsweise von Systemen mit dem Ziele, den für diese Arbeitsweise Verantwortlichen optimale Lösungen für diese Probleme zu liefern.

In dem vorliegenden Buch stehen Mensch-Maschine-Systeme in industriellen Organisationen im Vordergrund.

Es wurde gezeigt, daß durch den Einsatz von Teams (mit Mitgliedern aus verschiedenen Wissenszweigen) ein umfangreicher Schatz an wissenschaftlichen Methoden, Verfahren und Hilfsmitteln verfügbar gemacht werden kann. O.R. hat begonnen, eine Methode zu entwickeln, die speziell auf die wirksame Lösung seiner spezifischen Probleme abgestellt ist. Diese Methode läßt sich in folgende Schritte zerlegen:

1. Die Formulierung des Problems.
2. Der Entwurf eines mathematischen Modells für das zu untersuchende System.
3. Die Ableitung einer Lösung aus dem Modell.
4. Die Überprüfung des Modells und der daraus abgeleiteten Lösung.
5. Die Vorsorge für die Überwachung und Anpassung der Lösung.
6. Die praktische Verwirklichung der Lösung.

Obwohl die gemischten Untersuchungsteams über eine große Zahl von Verfahren und Hilfsmittel für spezielle Probleme verfügen, wurden neue Verfahren und Hilfsmittel entwickelt und bereits bekannte modifiziert, um bestimmte, immer wiederkehrende Aufgaben zu lösen, die vor allem die folgenden fünf Problemkreise umfassen: Lagerhaltungsprobleme, Zuteilungsprobleme, Wartezeitprobleme, Ersatzprobleme und Konkurrenzprobleme. Jede dieser Phasen von O.R. wird in den nachfolgenden Kapiteln im einzelnen behandelt.

Über die Grundzüge von O.R. sind in der Fachliteratur bereits zahlreiche Artikel erschienen. Die meisten vor 1954 publizierten Artikel sind in dem ausgezeichneten Literaturverzeichnis in „Operations Research for Management" enthalten[1]).

Wir wollen uns nunmehr Untersuchungen praktischer Fälle zuwenden, die einige der in diesem Kapitel besprochenen wichtigen Eigenschaften von O.R. erklären sollen.

[1]) Siehe Trefethen a. a. O.

KAPITEL 2

O.R. UNTERSUCHUNG EINES SYSTEMS ALS GANZHEIT

Einleitung

Bei der Darlegung des nachstehenden praktischen Falles wird besonderer Nachdruck auf die Wechselbeziehungen zwischen den verschiedenen Phasen eines industriellen Prozesses und auf die Bedeutung dieser Beziehungen für Untersuchungen gelegt, mit deren Hilfe ein Problem der Betriebsführung gelöst werden soll.

Wenige Unternehmer oder Wissenschaftler werden im Prinzip etwas gegen die Betrachtung eines Problems im Rahmen des Systems als Ganzheit einzuwenden haben. Leider besteht jedoch zwischen Prinzip und Praxis ein unglücklicher Zwiespalt. Die Belastungen, die eine Führungskraft gewöhnlich zu tragen hat, machen es ihr im allgemeinen unmöglich, alle Konsequenzen einer Entscheidung zu überprüfen. Aber selbst, wenn es ihre Zeit erlaubt, verfügen Führungskräfte nur in seltenen Fällen über eine systematische Methode, die ihnen die Gewißheit gibt, alle Auswirkungen der vorgeschlagenen Lösung eines Problems geprüft zu haben.

Die in diesem Buch (insbesondere in Teil II, III und IX) besprochenen Untersuchungsmethoden sollen umfassende Lösungen für Probleme der Betriebsführung liefern. Einzelheiten dieser Methoden werden im vorliegenden praktischen Beispiel nicht berücksichtigt, da es lediglich dazu dienen soll, die Betrachtung eines Problems im Rahmen des Systems als Ganzheit in allgemeiner Weise zu veranschaulichen.

Nachstehende Darlegung verfolgt jedoch noch einen weiteren Zweck. Bei der späteren detaillierten Betrachtung von Methoden, Verfahren und Hilfsmitteln ist es günstig, ein Beispiel zu haben, auf das man sich zur Erläuterung beziehen kann. Es werden daher mehr Einzelheiten gebracht, als zur Erklärung der Betrachtung notwendig wären, um bei späteren Ausführungen darauf zurückgreifen zu können.

Aufbau des Unternehmens und des O.R.-Teams

Beginnen wir mit einer Beschreibung des Unternehmens. Es ist vor allem durch die Herstellung einer Werkzeugmaschine bekannt, die zur Erzeugung von Metallwaren verwendet wird. Es handelt sich um den größten Produzenten dieses Maschinentyps auf der ganzen Welt, der mehr als die Hälfte der amerikanischen Produktion solcher Werkzeugmaschinen erzeugt. Außerdem erzeugt das Unternehmen noch verschiedene andere Maschinentypen, die zum Teil mit dem Hauptprodukt in Beziehung stehen, zum Teil auch nicht. Der Verkaufspreis der verschiedenen Modelle des Hauptproduktes liegt zwischen 10.000 und 40.000 Dollar. Zur Zeit der Untersuchung hatte das Unternehmen einen Jahresumsatz von rund 50 Millionen Dollar. Es beschäftigte in seinen beiden Werken ungefähr 3500 Arbeitskräfte. Während des Krieges war der

Beschäftigungsstand höher, lag aber auch zur Zeit der Untersuchung (1952/53) nahe an der der Werkskapazität entsprechenden Höchstgrenze.

Bei der ersten Unterredung teilten die leitenden Kräfte des Unternehmens den Mitgliedern der O.R.-Gruppe des Case-Institutes mit, daß sie in erster Linie daran interessiert seien, zu erfahren, ob sich O.R. in ihrem Betrieb anwenden läßt. Obwohl sie kein bestimmtes Problem nennen wollten, mit dem begonnen werden sollte, beschäftigte sie doch eine Frage sehr. Wir brauchen sie nicht im einzelnen zu behandeln; sie ist bei diesen Ausführungen nur wegen der Gründe wichtig, die die O.R.-Gruppe veranlaßten, sich *nicht* damit zu beschäftigen. Wir können dieses Problem kurz folgendermaßen skizzieren:

Die Produktion an Werkzeugmaschinen war relativ konstant, da ein beträchtlicher Rückstand noch nicht erfüllter Aufträge bestand. Die Werke waren praktisch bis zur Höchstkapazität ausgelastet. Es gingen neue Aufträge ein, deren Umfang jedoch hinter der vollen Kapazitätsauslastung zurückblieb. Dadurch wurde der Auftragsrückstand allmählich abgebaut. Bei gleichbleibender Marktlage würde das Unternehmen ungefähr in einem Jahr alle Rückstände aufgearbeitet haben. Wenn es sein derzeitiges Produktionsvolumen beibehielte, müßte es von da ab auf Lager produzieren. Ein Nebenprodukt des Unternehmens, das in keiner Beziehung zum Hauptprodukt stand, wurde in weit geringerem Umfang hergestellt und die Absatzwerbung hierfür in engen Grenzen gehalten, damit nicht mehr Aufträge einliefen, als erfüllt werden konnten. Durch intensivere Absatzbemühungen könnte man die Umsätze bei diesem Produkt zweifellos erhöhen. Somit ergab sich das Problem, wann die Firma den Ausstoß an Werkzeugmaschinen verringern und den des Nebenproduktes erhöhen sollte, und in welchem Ausmaß diese Einschränkungen und Ausweitungen vorzunehmen wären. Die Betriebsführung stellte sich also die konkrete Frage, wie die miteinander zusammenhängenden Maßnahmen auf dem Gebiet der Produktionsplanung und die Absatzbemühungen optimal gestaltet werden könnten.

Das O.R.-Team ersuchte, die Behandlung dieses Problems noch aufschieben zu dürfen, und zwar aus folgendem Grund: In dem zur Diskussion gestellten Problem wurde von vornherein angenommen, daß die Produktion des Nebenproduktes einzig und allein dann erhöht werden könne, wenn man die Produktion der Werkzeugmaschine einschränkte. Es wurde also stillschweigend vorausgesetzt, daß die Werkzeugmaschinen mit größtmöglicher Produktivität hergestellt wurden oder zumindest keine Möglichkeit bestand, die Produktionskapazität wirksam zu erhöhen. Das O.R.-Team hielt es nicht für ratsam, bei seiner ersten Arbeit in dem Betrieb von einer solchen Annahme auszugehen. Um diese Annahme richtig beurteilen zu können, so meinten die O.R.-Fachleute, müßten sie erst den Betrieb viel besser kennenlernen. Sie kamen daher mit der Betriebsleitung überein, zunächst ein paar Wochen der Orientierung im Betrieb zu widmen. Das O.R.-Team sollte sich mit der Arbeitsweise des Betriebes vertraut machen und selbst ein Problem formulieren, mit dem es die Arbeit beginnen wollte.

Nun wurde ein Arbeitsteam von drei Personen aufgestellt. Es bestand aus zwei Mitgliedern der O.R.-Gruppe des Engineering Administration Department des Case Institutes und einem Betriebsangehörigen. Der Betriebsangehörige war Fachmann für Finanzfragen. Seine Aufgabe im Betrieb war, für den Leiter der Finanzabteilung wunde Punkte in der Finanzgebarung ausfindig zu machen, und in dieser Eigenschaft hatte er mit einer großen

Zahl komplizierter Probleme in allen Phasen des Betriebsgeschehens zu tun. Obwohl O.R. für ihn etwas völlig Neues war, machten ihn seine umfangreiche Erfahrung und seine Beschäftigung mit *Methoden* der Problemlösung zu einem idealen Mitarbeiter des Teams.

Aus praktischen Gründen wurde das Team im Büro des Leiters der Finanzabteilung untergebracht, obwohl es direkt dem geschäftsführenden Vizepräsidenten der Firma unterstand. Der Leiter der Finanzabteilung stellte die Verbindung zum Personal des Betriebes her.

Im Laufe der Untersuchung wechselte die Zusammensetzung des Teams. Einige Zeit lang umfaßte es sogar vier Fachleute des Case-Institutes, mehrere Studenten in höheren Semestern als Hilfspersonal und bis zu neun Betriebsangehörige. Während der ganzen Untersuchung wurden verschiedentlich Beratungen mit anderen Mitgliedern der O.R.-Gruppe des Case-Institutes, mit Fakultätsmitgliedern und mit einer großen Anzahl von Betriebsangehörigen durchgeführt.

Die Periode der Orientierung

Die erste Phase der Untersuchung war — wie bereits gesagt — der Orientierung gewidmet. Zuerst wurden das Hauptwerk und die Verwaltungsbüros besucht. Das Team erbat Einblick in den Organisationsplan des Unternehmens. Da dieses nicht sehr auf Pläne versessen war, stieß der Wunsch auf einige Schwierigkeiten. Als endlich ein Organisationsplan aufgetrieben wurde und das Team Fragen zu stellen begann, stellte sich heraus, daß zwischen dem Plan und dem tatsächlichen Ablauf des Betriebsgeschehens keine sonderliche Übereinstimmung bestand. Das Team mußte nun zu allererst den Arbeitsablauf des Betriebes kennenlernen und weiters feststellen, wie dieser Ablauf gesteuert wurde.

Das Team beschloß daher, die ganze Firma als ein organisiertes System von Nachrichtenverbindungen zu betrachten, das einen Produktionsprozeß steuert (im Kapitel 4 werden die begrifflichen Grundlagen für eine derartige Untersuchung gebracht). Wo liegt der letzte Ausgangspunkt der Nachrichtenflüsse dieses Systems? Beim Kunden, dem Verbraucher des Produktes. Wie werden die den Bedarf des Kunden betreffenden Nachrichten der Firma übermittelt? Durch das Personal der Verkaufsabteilung. Das Team begann also seine Orientierung in der Verkaufsabteilung. Es informierte sich darüber, wie das Verkaufspersonal potentielle Kunden auswählte, auf welche Weise mit den Kunden Kontakt aufgenommen wurde, welche Tätigkeitsberichte erstellt, wie Aufträge und Absatzprognosen ausgearbeitet wurden usw. Dann wurde geprüft, wie diese Informationen durch die verschiedenen Stellen der Verkaufsabteilung bearbeitet und die ausgewerteten Informationen für die Produktion formuliert und an diese weitergeleitet wurden. Das Team erhielt ferner Einblick in die Art und Weise, wie diese Informationen die Heranbringung von Rohmaterial an die Produktion auslösten und letztlich zur Fertigstellung eines Produktes führten, das an den Kunden geliefert wurde. Im Verlauf von zwei Wochen häuften sich ganze Stöße von Daten und Formularen bei den Mitgliedern des O.R.-Teams an, das mehrere Tage damit verbrachte, das Wesentliche dieses komplexen Prozesses herauszuarbeiten und in einem „Steuerungs- und Materialfluß-Diagramm" festzuhalten (siehe Abb. 2.1). Es ist für unsere Zwecke nicht notwendig, dieses Diagramm im einzelnen zu erläutern, aber es mag vielleicht von Nutzen sein, einen Teil

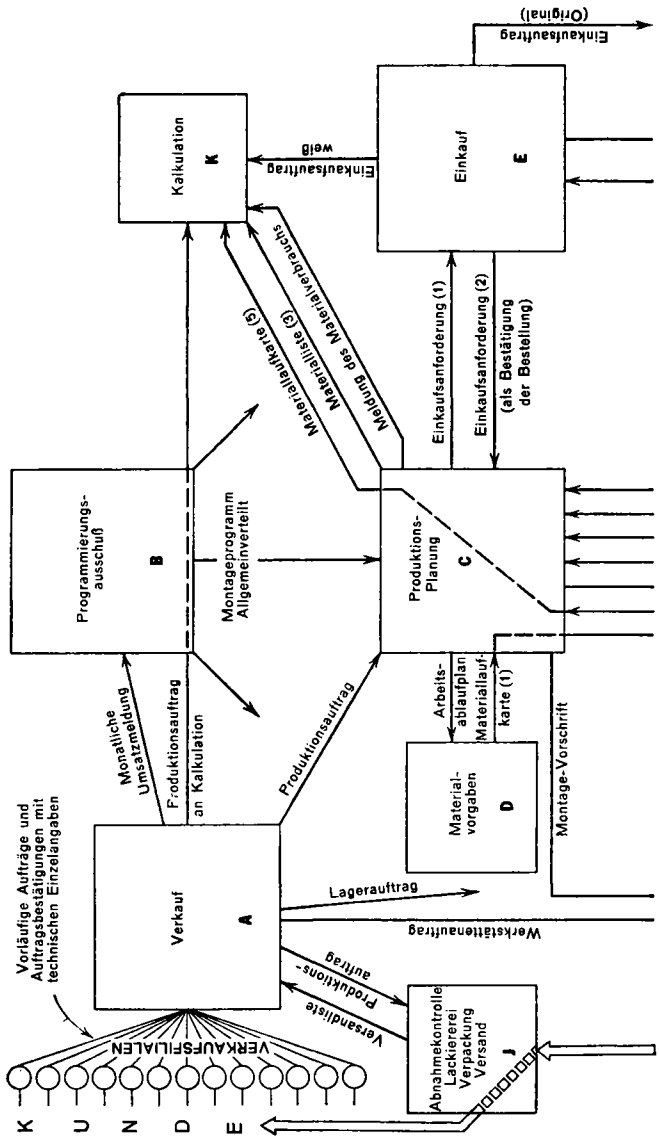
des „Kreislaufs" zu erklären, um klarzumachen, wie sehr ein solcher Plan das Verständnis des Nachrichtenflusses in einem Betrieb erleichtert.

Man betrachte zunächst die folgende verbale Beschreibung eines Teils des Nachrichtenflusses: Die Abteilung Produktionsplanung erhält jeden Monat vom Programmierungsausschuß (monatliche Besprechung des Fertigungsprogramms) ein Montageprogramm, das die Anzahl der Maschinen nach Typen getrennt enthält, die in den folgenden fünf Monaten zum Zusammenbau gelangen sollen. Für jede eingeplante Maschinentype verfügt die Produktionsplanung über eine komplette Stückliste (Liste der erforderlichen Einzelteile). Außerdem besitzt sie eine eigene Materialbedarfskartei, die in Evidenz hält, wieviel Stück von jedem Einzelteil auf Lager, in Fertigung bzw. auswärts in Bestellung sind. Hinsichtlich jedes Einzelteils kann eine der folgenden vier Möglichkeiten zutreffen: 1. Er wird von der Firma selbst erzeugt und befindet sich entweder auf Lager oder in Produktion; 2. er wird von der Firma selbst erzeugt und befindet sich weder auf Lager noch in Produktion; 3. er wird gekauft und ist entweder auf Lager oder in Bestellung; 4. er wird gekauft und ist weder auf Lager noch in Bestellung.

Wir wollen uns hier nur damit beschäftigen, was geschieht, wenn die vierte dieser Möglichkeiten zutrifft. Für jedes eingeplante Maschinenmodell stellt die Abteilung Produktionsplanung eine Liste der Einzelteile zusammen, die im Lager nicht vorhanden sind, d. h. eine Liste der einzukaufenden Einzelteile. Sie wird dem Einkauf zugeleitet, der von jedem Einkaufsauftrag sieben Exemplare anfertigt und die ursprüngliche Liste der Produktionsplanung zum Zeichen dafür, daß die Aufträge ergangen sind, zurücksendet. Die Lager-Karteiblätter der betroffenen Einzelteile erhalten einen diesbezüglichen Vermerk. Das Originalexemplar der Bestellung wird der Lieferfirma zugeschickt. Ein Exemplar ergeht an die Kalkulation, die es später, zusammen mit anderen Unterlagen, zur Bestimmung der Produktionskosten verwendet. Drei Exemplare kommen in die Materialübernahme. Die restlichen zwei Exemplare werden in der Registratur des Einkaufs aufbewahrt, um die Einhaltung des Liefertermins zu überwachen.

Wenn die bestellten Einzelteile in der Materialübernahme einlangen, sendet diese ein Exemplar des Einkaufsauftrages an den Einkauf zurück. Dieser legt sein Exemplar des Einkaufsauftrages ab. Seine Aufgabe ist damit beendet. Die Materialübernahme befördert die Einzelteile zusammen mit den ihr verbliebenen zwei Exemplaren in den Lagerraum. Der Lagerist signiert ein Exemplar und schickt es an die Materialübernahme zurück, deren Tätigkeit damit abgeschlossen und registriert ist. Sobald die Einzelteile ins Lager aufgenommen sind, geht das letzte Exemplar des Einkaufsauftrages vom Lagerraum an die Produktionsplanung. Diese vermerkt nun auf dem Lager-Karteiblatt des betreffenden Einzelteils, daß er verfügbar ist. Damit ist der Kreislauf geschlossen.

Man beachte, wie diese Beschreibung in Abb. 2.1 in einfacher und relativ leicht faßlicher Weise dargestellt ist. Die Kreisläufe, die sich ergeben, wenn eine der anderen Möglichkeiten (hinsichtlich der Verfügbarkeit der Einzelteile) zutrifft, werden gleichfalls auf dieser Skizze gezeigt und auch noch andere Phasen des Produktionsablaufs. Diese Untersuchung des Systems der Steuerung und der Nachrichtenübermittlung wurde nicht nur vom O.R.-Team laufend verwendet, auch die Führungskräfte der Firma fanden sie für organisatorische Besprechung und für die Orientierung neuer Angestellter sehr nützlich.


Kalkulation
K
Einkauf
E
Einkaufsauftrag (Original)
Einkaufsauftrag weiß
Einkaufsanforderung (1)
Einkaufsanforderung (2)
(als Bestätigung der Bestellung)
Materialaufkarte (5)
Materialliste (3)
Meldung des Materialverbrauchs
Programmierungs-ausschuß
B
Montageprogramm Allgemeinverteilt
Produktions-Planung
C
Monatliche Umsatzmeldung
Produktionsauftrag an Kalkulation
Produktionsauftrag
Arbeits-ablaufplan
Materiallauf-karte (1)
Material-vorgaben
D
Montage-Vorschrift
Vorläufige Aufträge und Auftragsbestätigungen mit technischen Einzelangaben
Verkauf
A
Lagerauftrag
Werkstättenauftrag
Produktions-auftrag
Versandliste
Abnahmekontrolle Lackiererei Verpackung Versand
J
VERKAUFSFILIALEN
K U N D E

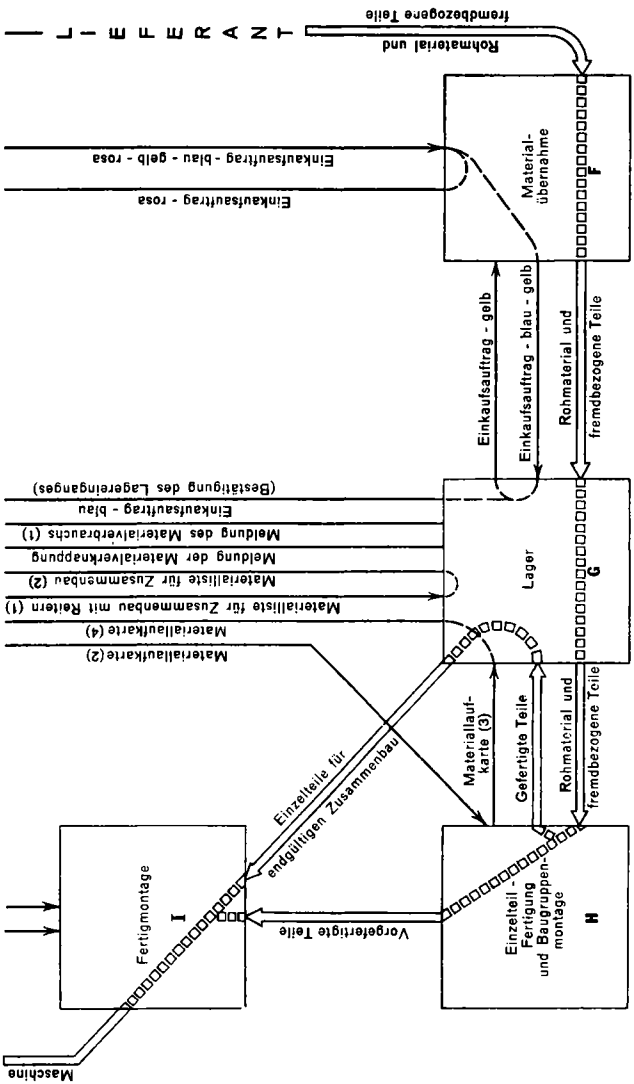


Abb. 2.1. Plan der Steuerung und des Materialflusses.

Beim Sammeln der Unterlagen für die eben besprochene Analyse des Systems stellte das O.R.-Team fest, daß eines der Probleme alle Abteilungen betraf. Das war nicht überraschend, da es sich um das Problem der Lagerhaltung handelte. Man hatte im allgemeinen in dem Betrieb das Gefühl, der Lagerbestand sei zu umfangreich. Einige Führungskräfte wiederum hielten ihn für zu niedrig. Aber jeder beschäftigte sich mit diesem Problem. Das O.R.-Team beschaffte sich die Unterlagen über die am Ende des vorangegangenen Jahres durchgeführte Inventur und stellte zur Erleichterung der Untersuchung Bestandstabellen her (siehe Tabelle 2.1). Die senkrechte Einteilung bezog sich auf die Art des Produktes, die horizontale auf den Bearbeitungsgrad. Der auf jedes Kästchen entfallende Wert des Materialbestandes wurde in Prozenten des (ungefähr) 11 Millionen Dollar betragenden Gesamtwertes des Materialbestandes ausgedrückt.

Die Tabelle 2.1 enthüllte einige bereits bekannte Tatsachen; so zum Beispiel, daß sich 65% des Materialbestandes auf das Hauptprodukt bezogen. Sie unterstrich aber auch etwas weniger Bekanntes: 29% des Bestandes umfaßten in Fertigung befindliche und fertige Teile für die Werkzeugmaschinenproduktion. Auf Grund dieser Tatsache und weil man mit Hilfe eines Lagerhaltungsproblems offenbar direkt in das Betriebsgeschehen vorstoßen konnte, entschloß sich das Team, eine Untersuchung der Lagerhaltung für die Teile der Werkzeugmaschine vorzuschlagen.

TABELLE 2.1

Aufgliederung des Materialbestandes nach Art des Produktes und Bearbeitungsgrad in Prozenten

Produkt	Rohmaterial	Gekaufte Teile	Fertige Einheiten	Fertiggestellte Baugruppen	Fertige Einzelteile	Baugruppen in Fertigung	Einzelteile in Fertigung	Sonstiges	Insgesamt
A[1])	0,4	9,9		3,3	16,8	18,1	12,0	5,0	65,5
B	0,1	0,0+			0,0+		0,2	0,0+	0,3
C	0,1	0,6		0,4	2,1	2,5	1,0	0,2	6,9
D[2])	0,1	0,6		0,0+	2,6	2,5	2,6	0,2	8,6
E								0,2	0,2
F	0,0+	0,4	1,3	0,1	3,1	1,6	0,3	4,8	11,6
G		2,7		0,0+	0,2	0,4	0,2	3,4	6,9
Insgesamt	0,7	14,2	1,3	3,8	24,8	25,1	16,3	13,8	100,0

Das Team besprach sich wieder mit den leitenden Herren der Firma, zeigte und erläuterte das Diagramm der Steuerung und des Materialflusses und schlug das Problem der im Lager befindlichen Teile vor. Der Vorschlag wurde angenommen und das Team wurde „losgelassen".

[1]) Die Werkzeugmaschine.

[2]) Das Nebenprodukt.

Die Planung der Einzelteilproduktion

Man begann die Arbeit damit, die Betriebsangehörigen zu fragen, was sie sich eigentlich unter dem Problem der im Lager befindlichen Einzelteile vorstellten. Die übliche Formulierung war: Welches Minimum an Einzelteilen muß im Lager sein, damit Montage und Lieferungen im gegenwärtigen Ausmaß aufrechterhalten werden können? Das Team war mit dieser Formulierung unzufrieden, weil dabei eine konstante Gewinnspanne vorausgesetzt wird, oder zumindest eine Gewinnspanne, deren Schwankungen in keinem wesentlichen Zusammenhang mit dem Niveau der Lagerhaltung stehen. Wenn der Umfang des Lagers mit den Produktionskosten zusammenhängt, so sollte der Umfang des Lagers nach Ansicht des Teams eigentlich nicht als die kleinste Menge bestimmt werden, die zur Aufrechterhaltung eines gegebenen Absatzvolumens notwendig ist, sondern als jene Menge, die bei gegebenem Absatzvolumen den größten Gewinn ergibt. Diese Überlegung führte das Team zu einer Neuformulierung des Problems. Es ging darum, die Produktion der Einzelteile so zu planen, daß die gesamten Fertigungskosten (einschließlich der Lagerhaltungskosten) ein Minimum werden.

Was wird alles für die Erzeugung eines Einzelteils benötigt? Zunächst einmal Rohmaterialien, deren Kosten sich aus Einkaufspreis und Frachtkosten zusammensetzen. Dann werden die Rohmaterialien ins Lager gebracht, wodurch sich ihre Kosten weiter erhöhen. Im Planungsstadium wird über die Zukunft des Materials entschieden. Diese Planung (Vorbereitung der Produktionsserie auf Büroebene) verursacht gleichfalls Kosten. Dann muß die Produktionsanlage für die Herstellung eingerichtet werden. Das Material wird bearbeitet und muß zwischen den einzelnen Arbeitsgängen warten. Zuletzt kommen die Fertigteile auf Lager und der mit der Herstellung in Zusammenhang stehende Schriftverkehr wird abgeschlossen. Auf Grund einer Voruntersuchung kam das Team zu dem Schluß, daß das Rohmaterial- und das Zwischenlager durch Veränderungen in der Produktionsplanung kaum berührt werden würden. Zur Vereinfachung des Problems wurde im folgenden mit dieser Annahme gearbeitet. Sie wurde im späteren Verlauf auch überprüft, doch darüber soll an anderer Stelle berichtet werden.

Diese summarische Beschreibung der Produktion eines Einzelteils mußte präzisiert werden. Das geschah, indem man die zur Zeit durchgeführte Produktionsplanung der Einzelteile studierte, die einschlägigen Veränderlichen in diesem Prozeß herausfand und festhielt. Die Terminpläne für die Einzelteilproduktion wurden monatlich erstellt (d. h. die *Planungsperiode* erstreckte sich auf einen Monat). Es wurde aber nicht jeder Einzelteil in jedem Monat erzeugt. Von den insgesamt rund 18.000 verschiedenen im Werk erzeugten Einzelteilen wurde monatlich ungefähr ein Drittel (6000) produziert.

Es erwies sich günstig, für die Kostenberechnung einen bestimmten Zeitraum festzulegen. Man wählte dazu den Zeitraum eines Jahres. Das später entwickelte mathematische Modell des Produktionsprozesses ist in dem Sinn allgemein, als der Zeitraum, der der Kostenberechnung zugrunde liegt, beliebig ausgedehnt oder verkürzt werden kann. Das Modell und seine Entwicklung werden im Kapitel 7 besprochen werden. Es enthält drei wichtige Kostenbestandteile:

1. Vorbereitungs- und Abschlußkosten pro Produktionsserie (auf den Einzelteil bezogen sind diese Kosten variabel).

2. Rohmaterialkosten und Bearbeitungskosten pro Einzelteil (auf den Einzelteil bezogen sind diese Kosten fix)[1]).

3. Lagerhaltungskosten, ausgedrückt als Prozentsatz des Wertes des Einzelteils pro Monat.

Da die Bedeutung zumindest einiger dieser Kostenbestandteile durchaus nicht selbstverständlich ist, wollen wir sie der Reihe nach näher betrachten.

Die Kosten der Einzelteilproduktion

Zunächst wollen wir die Kosten für die Vorbereitung und den Abschluß einer Produktionsserie betrachten. Die „Serie" umfaßt alle Einzelteile, die erzeugt werden, nachdem man eine Maschine in einer bestimmten Weise eingerichtet hat. Der Umfang einer Serie kann stark variieren. Mit anderen Worten: die Produktionsserie ist die Anzahl von Einzelteilen, die in kontinuierlicher Folge hergestellt werden. Die Kosten für die Vorbereitung und den Abschluß einer Produktionsserie setzen sich aus vier Hauptkomponenten zusammen:

1. *Vorbereitung auf Büroebene.* Bevor im Werk etwas geschieht, muß die Abteilung Produktionsplanung die Produktion planen und die Normenstelle die notwendigen Zeichnungen und Kontrollformulare anfertigen.

2. *Vorbereitung auf Werksebene.* Dazu gehören jene Kosten, die durch die direkte Umstellung der Maschinen auflaufen, die Kosten für den Ausschuß, der in der ersten Phase der Einrichtung anfällt, sowie die Kosten für die Organisation der Qualitätsüberwachung.

3. *Abschluß auf Werksebene.* Hier ergeben sich Kosten für die Verbringung der fertigen Einzelteile in das Lager und den damit verbundenen Schriftverkehr.

4. *Abschluß auf Büroebene.* Darunter sind die Kosten für die von der Kalkulationsabteilung durchgeführte Analyse zu verstehen.

Offensichtlich ist es nicht leicht, die beim An- und Auslaufen der Produktion auflaufenden Kosten für irgendeinen Einzelteil abzuschätzen. Im vorliegenden Fall war hierfür die Zusammenarbeit mit einer Reihe von Abteilungen erforderlich. Dies wirkte sich sehr gut aus, denn es kam dabei ein wichtiges Problem zum Vorschein. Die Kostenrechnung war nicht geeignet, diese Kosten für jeden Einzelteil anzugeben. Sollte sie nicht darauf eingerichtet werden? Der neue Rechnungsdirektor der Firma hakte bei dieser Frage ein, um seine Bemühungen zu verstärken, das Rechnungswesen aus einer Sammlung historischer Daten in eine Quelle zu Steuerungszwecken verwendbarer Daten umzuwandeln. Die Arbeit des Teams rückte die Notwendigkeit einer nach Funktionsbereichen aufgegliederten Kostenrechnung ins rechte Licht. Das Team leistete hierzu auch insofern einen kleinen praktischen Beitrag, als es zeigte, wie die Regressionsanalyse dazu verwendet werden kann, die festen und die variablen Kosten zu trennen und wie man für die laufende Kontrolle dieser Kosten die Methoden der statistischen Qualitätskontrolle heranziehen kann.

[1]) Diese Kosten sind nicht in irgendeinem absoluten Sinn fix, aber ihre Änderung ist im Vergleich zu den als variable Kosten bezeichneten Kosten sehr gering. Wie wir sehen werden, wurden einige Rohmaterialkosten tatsächlich geändert.

Die Ausarbeitung von Methoden zur Überwachung der in die Berechnung eingehenden Kosten ist für jede O.R.-Untersuchung unerläßlich. Eine einmal gewonnene Lösung bleibt nur so lange wirklich eine Lösung, als die verwendeten Kosten der Wirklichkeit entsprechen. Aber die Kosten verändern sich. Daher muß man ein Verfahren entwickeln, um die durchschnittlichen Kosten konstant zu halten bzw. um Veränderungen rasch festzustellen, damit die Lösung entsprechend angepaßt werden kann. Dies geschieht gewöhnlich mit Hilfe statistischer Methoden.

Die Vorbereitungs- und Abschlußkosten pro Einzelteil wurden dann durch die Untersuchung der hierfür im Durchschnitt aufgewendeten Zeit und deren Kosten in jeder der betroffenen Abteilungen bestimmt. Diese Untersuchung lieferte die in Tabelle 2.2 ausgewiesenen Ergebnisse.

TABELLE 2.2

Kosten für Arbeitskräfte, Pläne und Papier

	in $
Arbeitskräfte:	
Produktionsplanung	0,85
Normenstelle	0,20
Lager	0,38
Pläne	0,10
Papier	0,05
Insgesamt	1,70

Man sieht, daß bei einer Reduzierung der durchschnittlichen Zahl der monatlich aufgelegten Produktionsserien auch die Produktionskosten geringer werden. Das Problem liegt daher, wie bereits hervorgehoben, nicht nur darin, wie man die Lagerhaltung im Verhältnis zum Absatz verringern kann, sondern auch darin, wie man die Kosten für die Produktionsplanung herabsetzen kann. Diese Kosten sind durch Vergrößerung der Produktionsserie zu reduzieren, wobei gleichzeitig die Anzahl der Serien pro Jahr verringert und der Lagerbestand erhöht wird. Wir stehen nun vor dem Problem, diese beiden Faktoren, nämlich die Kosten für die Lagerhaltung einerseits und die Kosten für Vorbereitung und Abschluß der Serie andererseits, gegeneinander abzuwägen. Das ist ein typisches Problem der Betriebsführung, wie wir es im vorigen Kapitel besprochen haben.

Das Ergebnis vorwegnehmend, wollen wir hier vermerken, daß sich die Kosten für die Vorbereitung und den Abschluß der Produktionsserie als sehr bedeutend erwiesen und daß ein richtiges „Ausbalancieren" der beiden Kostenbestandteile bei der Planung der Einzelteileproduktion eine Kostenersparnis von rund 40.000 Dollar ermöglichen würde. Die tatsächlichen Aufwendungen sollten dabei zwar nicht reduziert werden, denn man wollte kein Personal der Abteilung Produktionsplanung entlassen, aber die so gewonnene Zeit könnte für andere Aufgaben verwendet werden, die man bisher aus Personalmangel und aus Mangel an Platz für weiteres Personal nicht in Angriff nehmen konnte. Die Durchführung dieser Arbeiten würde voraussichtlich zu weiteren Kosteneinsparungen führen.

Die auf Seite 36 unter Punkt 2 angeführten Kostenbestandteile beruhen auf einer Kombination von zweierlei Kosten — für das Rohmaterial und dessen Bearbeitung —, die ursprünglich getrennt behandelt wurden. Es erwies sich als günstig, sie zusammenzuziehen, da es sich in beiden Fällen um fixe Kosten pro Einzelteil handelt. Die erste Komponente sind die Kosten des für die Herstellung des Einzelteils verwendeten Rohmaterials. Die zweite sind die durch die Herstellung des Einzelteils auflaufenden Fertigungslohnkosten plus Fertigungsgemeinkosten. Die sowohl in den Kosten für die Vorbereitung und den Abschluß der Produktionsserie als auch in den Material- und Bearbeitungskosten enthaltenen Gemeinkosten waren nicht leicht zu bestimmen oder zuzurechnen. Man gelangte aber zu einem befriedigenden Schätzwert, der diese Kosten als Funktion der aufgewendeten Arbeitsstunden ausdrückte.

Die dritte Kostenart sind die Lagerhaltungskosten. Das Team untersuchte die mit dem Betrieb eines der Lagerhäuser der Firma verbundenen Kosten. Dabei wurden Miete, Beheizung und Beleuchtung, Wachdienst, Löhne, Beaufsichtigung, Belieferung und Abschreibung berücksichtigt. Dazu kamen noch die Kosten für das im Lager investierte Kapital. Diese Kosten zusammen betrugen monatlich rund 1% des im Lager investierten Kapitals. Sicherheitshalber wurde bei einer späteren Untersuchung daneben noch ein „pessimistischerer" Wert von 2% angenommen. Welche Auswirkungen sich daraus ergaben, wird an späterer Stelle berichtet werden.

Die gesamten Gemeinkosten und Lagerhaltungskosten wurden also als Kosten behandelt, die sich proportional zur Anzahl der erzeugten Einzelteile ändern. Diese Kosten haben jedoch Bestandteile, die in gewissen Bereichen des Produktionsvolumens fix bleiben. Aber es stellte sich heraus, daß die Ergebnisse, die man letztlich bei verschiedenen Methoden der Aufteilung dieser Kosten erhielt, nicht wesentlich voneinander abwichen. Man entschied sich daher für den einfachsten Weg einer Zuordnung der Gemeinkosten und Lagerhaltungskosten, nämlich nach aufgewendeten Arbeitsstunden bzw. investierten Dollars.

Die Planungsgleichung

Es wurde ein Modell des Produktionsprozesses entwickelt, in dem die gesamten jährlichen Herstellkosten für jeden Einzelteil als Funktion der Seriengröße (und demnach der Anzahl gleich großer Serien pro Jahr) ausgedrückt werden. Diese Gleichung enthielt vier wichtige Kostenbestandteile: 1. die Rohmaterialkosten, 2. die Fertigungskosten, 3. die Kosten für Zwischenlager und 4. die Lagerhaltungskosten für die fertiggestellten Einzelteile. Infolge der Kürze der Fertigungszeit wurde festgestellt, daß die Zwischenlagerkosten nur einen geringen Bruchteil der Gesamtkosten ausmachten. Sie wurden daher in der Gleichung nicht berücksichtigt und das Interesse konzentrierte sich auf die darüber hinausgehenden jährlichen Herstellkosten. Das Problem besteht darin, für jeden Einzelteil diejenige Seriengröße zu finden, die eine Minimisierung der jährlichen Kosten ermöglicht. Durch Heranziehung eines analytischen Verfahrens, wie es in Kapitel 7 eingehend beschrieben wird, wurde nachstehende Gleichung für die optimale Serien- (oder Los-) Größe gefunden:

$$N_0 = \sqrt{\frac{Lc_1(2-P)}{c_2 P}}$$

Die Symbole in dieser Gleichung haben folgende Bedeutung:

N_0 = die optimale Zahl von Einzelteilen pro Serie;

L = die monatlich erforderlichen Einzelteile;

P = die Lagerhaltungskosten für Fertigteile, in Prozenten des investierten Kapitals;

c_1 = die Kosten für die Vorbereitung und den Abschluß der Produktionsserie;

c_2 = die Herstellgrenzkosten (Rohmaterialkosten und durch den Arbeitsgang direkt verursachte Kosten pro Einzelteil).

Die Probeserie

Nachdem diese Gleichung entwickelt worden war, besprach sich das Team wieder mit den Führungskräften des Unternehmens. Die mathematischen Grundlagen wurden nicht im einzelnen diskutiert, wohl aber die dahinter stehenden Gedankengänge. Die Besprechung ergab wichtige Resultate bezüglich der Kostendefinition. Die Führungskräfte kamen zu der Auffassung, daß es sich lohnen würde, das Modell auszuprobieren. Die Produktionsplanung schlug vor, die Gleichung für die Seriengröße zuerst auf 23 von ihr ausgewählte Einzelteile anzuwenden. Diese Auswahl erfolgte nicht auf Grund einer echten Stichprobe; es wurden vielmehr jene Einzelteile ausgewählt, die bei der Produktionsplanung schwierige Probleme verursachten.

Sobald die Teile ausgewählt waren, berechnete das Team für jeden Einzelteil die gesamten jährlichen Kosten und die Vorbereitungszeit auf Grund der bisherigen Seriengrößen sowie jene Kosten und Zeiten, die sich für die optimalen Seriengrößen ergeben würden. Es zeigt sich, daß sowohl bei den Kosten als auch bei den Zeiten erstaunlich große Einsparungsmöglichkeiten bestanden. Um sie zu verwirklichen, müßte man allerdings das Lager der fertigen Einzelteile mehr als verdoppeln. Man konnte also durch eine Vergrößerung der Produktionsserien und demnach auch durch eine Vergrößerung des Lagerbestandes an Fertigteilen wesentliche Einsparungen an Zeit und Geld erzielen.

Bei einer weiteren Besprechung mit den Führungskräften einigte man sich auf Grund der bisher erzielten Resultate darauf, eine systematischere Untersuchung einer repräsentativeren Gruppe von Einzelteilen durchzuführen. Hierzu wurde ein Montagestück mit 112 Einzelteilen ausgewählt. Die Untersuchung zielte auf die Frage ab, wie weit die Herstellkosten durch die Größe der Produktionsserie zu beeinflussen sind. Das Ergebnis war, daß die optimale Planung (zum Unterschied von der derzeitigen Planung) die Kosten der Produktion um 3,5% und die Zeit für die Vorbereitung der Serie um 70% verkürzen würde. Die Betriebsleitung betrachtete diese Resultate als genügend eindrucksvoll, um weitere Untersuchungen darüber zu rechtfertigen, was sich bei dem Versuch, diese potentiellen Zeit- und Kosteneinsparungen zu verwirklichen, tatsächlich ergeben würde.

Manche Leser werden vielleicht den Eindruck haben, daß damit die Rolle der Wissenschaft zu Ende war. Tatsächlich stand man aber noch in einem sehr realen Sinn „erst am Beginn" des O.R.-Programms. Die größten Schwierigkeiten des gesamten Problems wurden erst sichtbar, als sich das Interesse darauf konzentrierte, die Produktion mit optimalen Seriengrößen zu verwirklichen. Diese Seite des Problems ist sogar eine typischere Sorge der Betriebsführung als irgendein anderes der von uns erwähnten Probleme.

An diesem Punkt stellte sich das O.R.-Team eine Reihe von Fragen, deren Beantwortung für eine allgemein befriedigende Lösung des Problems der Minimisierung der Kosten der Einzelteilfertigung notwendig war.

1. Welche Informationen sind erforderlich, um die Herstellkosten mit Hilfe der Gleichung für die optimale Seriengröße herabzusetzen und welche Auswirkung würden fehlerhafte Informationen haben?

2. Welche Hilfsmittel werden zusätzlich notwendig sein, bevor man sich der Planungsgleichung bedienen kann?

3. Wie werden die gegenwärtigen Arbeitsverfahren geändert werden müssen, bevor man die Planungsgleichung für die Produktionsplanung heranziehen kann?

4. Kann irgendeiner der Arbeitsgänge, die von den Produktionsmengen abhängen, so verändert werden, daß seine Wirksamkeit nach Einführung der Planungsgleichung noch weiter gesteigert wird?

5. Welche bei der Formulierung des vorgeschlagenen Planungsverfahrens vorausgesetzten Bedingungen unterliegen einer Veränderung und wie soll das Verfahren beim Auftreten solcher Veränderungen modifiziert werden?

Mit Hilfe von detaillierten Unterlagen über die Arbeitsgänge des Systems, die während der Orientierungsperiode gesammelt worden waren, wurden diese allgemeinen Fragen in die nachstehenden spezielleren Fragen umgewandelt:

1. Welche Fehler in den Schätzungen der Kosten werden bei Verwendung der Planungsgleichung zu einer Erhöhung der Herstellkosten führen?

2. Wie kann die erweiterte Lagerhaltung finanziert werden und welche Auswirkungen wird dies auf den Kredit der Firma haben?

3. Wie läßt sich die Umstellung auf größere Produktionsserien bewerkstelligen, ohne daß während der Umstellungsperiode Einzelteile ausgehen?

4. Wie kann ein hoher Ausnutzungsgrad der Produktionsmittel garantiert werden, wenn in jedem Monat weniger, aber umfangreichere Produktionsserien aufgelegt werden?

5. Wieviel zusätzlicher Lagerraum wird erforderlich sein und wie ist er zu erlangen?

6. Wie lassen sich Produktion und Zurichten von angeforderten Ersatzteilen für Reparaturen am besten in das vorgeschlagene Verfahren der Einzelteilfertigung für die Montage einbauen?

7. Läßt sich der Einkauf von Rohmaterial im Hinblick auf die in Aussicht genommenen Veränderungen bei der Produktion der Ersatzteile verbessern?

8. Was kann man tun, um die Veralterung von Bestandteilen, die in größeren Mengen gelagert werden, in möglichst engen Grenzen zu halten?

9. Kann die Planung des Zusammenbaus im Hinblick auf die in Aussicht genommenen Veränderungen bei der Produktion von Einzelteilen verbessert werden?

10. Wie kann das Produktionsplanungsverfahren an die (mit Sicherheit einmal eintretende) Situation angepaßt werden, in der die Nachfrage nicht bekannt und konstant, sondern nur geschätzt und veränderlich sein wird?

11. Wie soll die Produktionsmenge für jede Art von Einzelteilen tatsächlich bestimmt werden?

Bevor wir darauf eingehen, wie diese und ähnliche Fragen beantwortet wurden, wollen wir noch eine Folgerung aus den bis zu diesem Zeitpunkt erzielten Untersuchungsergebnissen hervorheben.

Der Leser wird sich erinnern, daß es bei der ersten Besprechung mit den Führungskräften darum ging, die Produktion des Nebenproduktes zu erhöhen und diejenige der Werkzeugmaschinen herabzusetzen. Durch die erste Phase der Untersuchung wurde gezeigt, daß eine Herabsetzung der Herstellzeit für die Werkzeugmaschinen um ungefähr 150.000 Arbeitsstunden jährlich möglich war. Diese eingesparte Zeit wäre ausreichend, um die gewünschte Produktionserhöhung bei dem Nebenprodukt durchzuführen, ohne das Produktionsniveau bei der Werkzeugmaschine herabzusetzen. Man hatte also eine Antwort auf die ursprüngliche Frage dadurch gefunden, daß man den Betrieb als Ganzes betrachtete.

Nun wollen wir uns der zweiten Phase des Problems zuwenden.

Die Auswirkung von Fehlern auf die erwarteten Kostensenkungen

Bei der Berechnung wirtschaftlicher Seriengrößen müssen die Vorbereitungs- und Produktionskosten geschätzt werden. Diesen Schätzungen wurden die Kosten der Vorgabezeiten für Vorbereitung und Produktion zugrunde gelegt, so daß natürlich mit dem Auftreten von Fehlern zu rechnen ist. Das Ausmaß dieser Fehler konnte nicht genau abgeschätzt werden. Es war daher notwendig, das Problem umgekehrt anzugehen. Man stellte sich folgende Frage: Können die geschätzten Kosten von den tatsächlichen Kosten so weit abweichen, daß das in Aussicht genommene Verfahren — im Lichte der tatsächlichen Kosten besehen — schlechter als das gegenwärtig geübte ist? Eine Analyse zeigte, daß die Schätzungen sowohl der fixen als der variablen Kosten durchschnittlich um 10% unter den tatsächlichen Kosten liegen müßten, wenn sich das vorgeschlagene Verfahren teurer als das derzeit angewendete stellen sollte. Offensichtlich müßte das Unternehmen aber, wenn man bei den Kostenschätzungen so weit danebengriff, mangels Gewinns längst zugrunde gegangen sein. Es bestand also kein Risiko, daß infolge einer fehlerhaften Schätzung dieser beiden Kosten eine Verschlechterung eintritt.

Wie stand es nun mit den Lagerhaltungskosten? Hier wurde der gleiche Weg beschritten. Eine Untersuchung ergab, daß die jährlichen Lagerhaltungskosten 42% des Durchschnittswertes der auf Lager befindlichen Einzelteile übersteigen müßten, bevor das vorgeschlagene Verfahren kostspieliger wurde als das gegenwärtig angewendete. Da das Unternehmen 24% als pessimistischeste Schätzung für diese Kosten angegeben hatte, schien auch von da her keine Gefahr zu erwarten.

Kapitalerfordernisse und Kredit

Eine Erhöhung der Seriengröße und (als Konsequenz hiervon) des Lagerbestandes erfordert zusätzliches Kapital. Dadurch ergaben sich drei Fragen: 1. Welcher Betrag würde zur Finanzierung der erhöhten Lagerhaltung erforderlich sein und zu welchem Zeitpunkt würde er gebraucht werden? 2. Zu welchen Kosten wäre dieses zusätzliche Kapital erhältlich? 3. Wie würden sich die erhöhten Investitionen in das Lager auf den Kredit der Firma auswirken? Das dem Team angehörende Belegschaftsmitglied verfügte über alle Voraussetzungen, um diese Fragen zu klären. Man stellte einen Voranschlag über das erforderliche Kapital auf, wobei man von einer gleichbleibenden Geschäftslage ausging. Die Untersuchung ergab, daß dieses Kapital zu den gleichen Kosten wie bisher erhältlich war. Außerdem kam man auf Grund von Vergleichen mit anderen Firmen und einer Analyse des bei der Kredit-

bewertung angewendeten Verfahrens zu dem Schluß, daß der Firmenkredit durch die in Aussicht genommene Erhöhung des Fremdkapitals kaum beeinträchtigt werden würde.

Es war jedoch zu diesem Zeitpunkt schon ziemlich sicher, daß sich die Geschäftslage nicht auf dem gleichen Niveau halten, sondern ein Rückgang der Nachfrage eintreten würde. Es wurde festgestellt, daß beim Eintritt dieses vorhergesagten Rückganges kein zusätzliches Kapital erforderlich sein würde, das heißt, die Lagerhaltung würde trotz Einführung wirtschaftlicherer Produktionsserien infolge des Umsatzrückganges im wesentlichen auf dem bisherigen Stand bleiben. Normalerweise wäre mit sinkenden Umsätzen ein Rückgang der Lagerhaltung verbunden gewesen.

Die Umstellung der Produktionsserien

Eine Reihe weiterer Probleme ergab sich bei der Ausarbeitung eines Planes für die Umstellung der Fertigung auf größere Produktionsserien. Vor allem mußte ein Weg gefunden werden, um den „Umstellungsschock" zu überwinden. Dieser Schock war deshalb zu erwarten, weil das bereits fast bis zur Kapazitätsgrenze ausgelastete Werk in jedem Monat einen durchschnittlichen Dreimonatsbedarf für 6000 Einzelteiltypen herstellte. Auf Grund der neuen Planung sollte in jedem Monat ein durchschnittlicher Neunmonatsbedarf für 2000 Einzelteiltypen erzeugt werden. Es mußte sich daher bei der Umstellung der Vorrat an den übrigen 4000 Teilen erschöpfen.

Zur Lösung dieses Problems gab es drei verschiedene Möglichkeiten: 1. zusätzliche Arbeitskräfte und Maschinen einzustellen und dadurch die Produktionskapazität zu erhöhen, 2. einige Einzelteile von anderen Firmen erzeugen zu lassen und 3. den Umstellungsschock durch eine allmähliche Umstellung zu mildern, bei der man nur die vorhandenen Mittel ausnützt. Diese drei Möglichkeiten wurden nun geprüft. Die Umsatzprognosen deuteten an, daß ein Geschäftsrückgang zu erwarten war und demnach eine Kapitalausweitung nicht gerechtfertigt wäre. Durch die Weitervergebung von Aufträgen würden sich die Produktionskosten so erhöhen, daß während der Umstellungszeit eindeutig ein Verlust eintreten müßte. Als günstigste Möglichkeit erwies sich demnach die allmähliche Umstellung der Werksanlagen.

Diese Entscheidung warf wieder eine Reihe von Fragen auf: 1. Wie sollte die Umstellung durchgeführt werden? 2. Wie lange würde die Umstellung dauern? Zunächst beschloß man, die verschiedenen Modelle der Werkzeugmaschine nach der Wahrscheinlichkeit ihrer Veralterung zu reihen und bei der Umstellung mit denjenigen zu beginnen, deren Veralterung am wenigsten wahrscheinlich war. Ferner konnte man berechnen, welche Kostenersparnis sich bei jedem Einzelteil durch die Umstellung von der gegenwärtigen Praxis auf optimale Produktionsserien ergeben würde und die Einzelteile dann nach diesem Gesichtspunkt reihen. Auf diese Weise erhielt man eine Prioritätsliste für die Umstellung.

Um die monatliche Produktionssteigerung zu bestimmen, die man vom Werk fordern konnte, mußte man Ausmaß und Art der über die normale Produktion hinaus zur Verfügung stehenden Maschinenzeit feststellen. Von der Abteilung Produktionsplanung wurde eine gesonderte Untersuchung durchgeführt, um eine Methode zu entwickeln, auf Grund derer man mit Hilfe einer IBM-Rechenanlage einen Produktionsplan auf die voraussichtliche Maschinenauslastung umrechnen konnte. Da zunächst eine solche Methode

nicht zur Verfügung stand (seither ist sie bereits entwickelt worden), mußte man es dem Planungspersonal überlassen, die zusätzliche Leistung festzusetzen, die man in jedem Monat den Maschinen noch abverlangen konnte. Auf Grund dieser Unterlagen schätzte das O.R.-Team, daß für die vollständige Umstellung auf wirtschaftliche Seriengrößen zwei bis drei Jahre erforderlich sein würden.

Fehlmengen und Lagerraum

Während der im Zusammenhang mit dem Umstellungsproblem durchgeführten Untersuchung wurde klar, daß kein Produktionsplan aufgestellt werden konnte, bei dem die gesamte zur Verfügung stehende Maschinenzeit ausgenützt wurde. Verschiedene Teile der Anlage würden zeitweise ungenutzt sein, weil sie auf die Fertigstellung von Arbeiten an anderen Maschinen warten müßten. Die Planung des Maschineneinsatzes wurde zudem noch dadurch erschwert, daß im Laufe des Monats, nachdem das Arbeitsprogramm bereits ausgegeben worden war, infolge unvorhergesehener Fehlmengen ein Notstand eintreten konnte. Für ausgegangene Teile trafen Nachbestellungen hoher Dringlichkeit ein, die zusätzlich zur normalen Produktion erfüllt werden mußten. Dieses stark ins Gewicht fallende Problem der Fehlmengen beschwerte die Fertigung sehr. Mit Hilfe einer an späterer Stelle geschilderten Untersuchung, die scheinbar mit dem Problem gar nichts zu tun hatte, konnte das O.R.-Team zu einer Verminderung der Bestellungen beitragen, die infolge einer plötzlich auftretenden Verknappung an die Werkstatt ergingen. In dieser Untersuchung wurde das Problem der plötzlich auftretenden Fehlmengen mit dem der Beschaffung zusätzlichen Lagerraumes in Verbindung gebracht.

Ein erhöhter Lagerbestand machte mehr Lagerraum erforderlich. Die Firma wollte unbedingt vermeiden, daß zusätzlicher Lagerraum gemietet werden mußte. Daher wurde zunächst die Lagerung der vorhandenen fertiggestellten Einzelteile geprüft. Dabei zeigte sich, daß man durch eine Verbesserung der Lagerhaltungsmethoden oder eine neue Aufteilung des Lagers nur wenig Lagerraum gewinnen konnte. Es schien, als würde sich daraus ein wesentliches Hindernis für die Durchführung des neuen Produktionsplanes ergeben.

Während sich das O.R.-Team mit dem Problem der Fehlmengen und der Lagerhaltung beschäftigte, wurde ihm auch die Frage gestellt, wie die Produktion von Einzelteilen für Reparaturzwecke geplant werden könnte. Die Einzelteile wurden nämlich nicht nur für den Zusammenbau, sondern auch für Reparaturzwecke benötigt und das Unternehmen „erfreute" sich eines umfangreichen Ersatzteilgeschäftes. Man pflegte daher auf die Zahl der für den Zusammenbau bestimmten Einzelteile einen gewissen Aufschlag zu machen, um möglicherweise vor der nächsten Arbeitsplanung eintreffende Ersatzteilbestellungen befriedigen zu können. Der Aufschlag für die Ersatzteile wurde auf Grund der Erfahrungen in früheren Perioden bestimmt.

Einzelteile für Reparaturzwecke

Das Team untersuchte die Verteilung der Ersatzteilbestellungen bei einigen Einzelteilen und machte dabei zwei wichtige Feststellungen: 1. Die Bestellungen waren unter den Einzelteilen sehr unterschiedlich verteilt. 2. Die Ersatzteilbestellungen schwankten von Monat zu Monat sehr stark.

Nun wurde ein einfaches Verfahren zur Registrierung der Zeitpunkte und Mengen der Nachbestellungen entwickelt. Zunächst wurden die Einzelteile danach eingeteilt, wie wichtig sie für das Funktionieren der Werkzeugmaschine waren. Klasse 1 umfaßte jene Einzelteile, ohne die die Maschine überhaupt nicht funktioniert. Klasse 2 enthielt jene Einzelteile, deren Fehlen die Verwendbarkeit der Maschine zwar beschränkt, sie aber nicht völlig unbrauchbar macht. Klasse 3 bestand aus jenen Einzelteilen, die die Verwendbarkeit der Maschine nicht beeinflussen, obwohl ihr Ausfall dem Bedienungspersonal unter Umständen Schwierigkeiten verursacht. Mit Hilfe des für die Erfüllung der Reparaturaufträge verantwortlichen Personals wurden, von dieser Klassifikation ausgehend, annehmbare Risken für das Auftreten von Engpässen festgelegt. Die Planung der Einzelteile von Klasse 1 (unerläßliche Bestandteile) sollte so erfolgen, daß nur bei 27 von 10.000 Planungsperioden die Gefahr der Nichterfüllbarkeit von Reparaturaufträgen bestand. Bei Klasse 2 wurde das Risiko mit 5 von 100 Planungsperioden festgesetzt, bei Klasse 3 mit 30 von 100. Auf Grund dieser Risken und der Kenntnis der Fertigungsdurchlaufzeit für den Einzelteil konnte man für jede Art von Einzelteil feststellen, bei welchem Lagerstand eine Nachbestellung zu erfolgen hatte. Die Höhe der Nachbestellung wurde so bestimmt, daß man die für den Zusammenbau erforderliche Menge noch um den durchschnittlichen Monatsbedarf für Reparaturzwecke vermehrte. Es war also keine eigene Serie für Ersatzteile aufzulegen, sondern der Ersatzteilbedarf in die normale Produktion für den Zusammenbau einzubauen. Dieses Verfahren wurde bei einer Anzahl von Einzelteilen ausprobiert. Dabei stellte sich heraus, daß die Kostenersparnis zwar nicht groß war, aber ein sehr unangenehmer Prozeß dadurch zu einer Routineangelegenheit wurde, die dem Personal der Abteilung Produktionsplanung viele Belastungen ersparte.

Während dieser Untersuchung wurde dem Team aber mehr und mehr klar, daß der mit den Reparaturaufträgen verbundene Schriftverkehr und die Manipulation des Materials immer nur in sehr losem Zusammenhang mit der Hauptaufgabe, der Produktion der Einzelteile, gestanden war. Das Team schlug daher vor, die Erfüllung von Reparaturaufträgen gesondert zu untersuchen, um festzustellen, ob eine Eingliederung dieses Zweiges in das Hauptgeschäft des Unternehmens wünschenswert war, und wenn ja, wie man dies durchführen konnte.

Der Vorschlag wurde angenommen und ein eigenes, vergrößertes Team für diese Aufgabe gebildet. Zur Ergänzung der schon vorhandenen Mitglieder des O.R.-Teams wurde noch ein Vertreter jeder Stelle herangezogen, die mit diesem Prozeß zu tun hatte. Darüber hinaus zog die Firma noch einen Organisationsfachmann zu Rate. Insgesamt bestand das Team aus etwa zehn Personen.

Zuerst wurde der Nachrichtenfluß bei der Bearbeitung von Reparaturaufträgen untersucht. Es ergab sich, daß zwei verschiedene Möglichkeiten bestanden, je nachdem, ob alle erforderlichen Einzelteile auf Lager waren oder nicht. Der Nachrichtenfluß in jedem dieser beiden Fälle wird in den Abb. 2.2 und 2.3 dargestellt. Diese Untersuchungen legten gewisse Änderungen nahe, auf Grund deren der Nachrichtenfluß so vereinfacht werden konnte, daß weniger Formulare benötigt wurden und überhaupt eine geringere Zahl von Schriftstücken angefertigt werden mußte. Aber diese Möglichkeit war für das O.R.-Team von weniger großem Interesse als zwei andere Punkte:

Erstens zeigte die Untersuchung, daß das Lagerpersonal die Ersatzteile auf Anordnung des Auftragseinganges aus dem Lager nahm und erst hinterher die Produktionsplanung davon in Kenntnis setzte. So konnte es vorkommen, daß durch die Entnahme von Einzelteilen für Reparaturzwecke schon jener Lagerstand angegriffen wurde, der für den Zusammenbau des laufenden Monats benötigt wurde, und daß eine Verknappung eintrat, die erst in dem Moment entdeckt wurde, in dem Einzelteile für den Zusammenbau angefordert wurden.

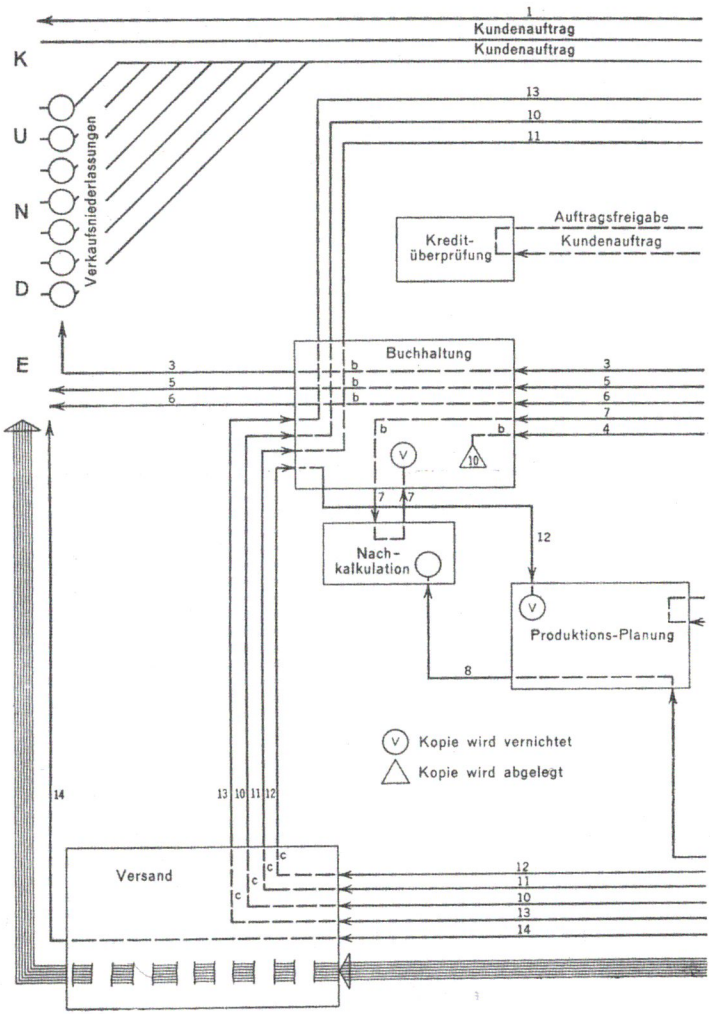
Die Entnahme von Einzelteilen aus dem Lager für Reparaturzwecke oblag praktisch dem Auftragseingang, die der Entnahme für Montagezwecke der Abteilung Produktionsplanung. Diese Kompetenzaufteilung war in erster Linie an den auftretenden Verknappungen schuld. Es lag auf der Hand, daß die Produktionsplanung bei der Entscheidung mitzureden haben sollte, ob ein Reparaturauftrag zu erfüllen sei oder nicht, und daß in Zweifelsfällen die Konsequenzen einer Verzögerung in der Erfüllung eines Reparaturauftrages gegenüber jenen Konsequenzen abgewogen werden mußten, die das Auftreten von Fehlmengen beim Zusammenbau hätte. In der gegenwärtigen Praxis wurde einer Verzögerung bei einem Reparaturauftrag jedenfalls gegenüber der Verknappung von Einzelteilen für den Zusammenbau weitaus höheres Gewicht beigemessen.

Zweitens stellte man bei der Untersuchung fest, daß bei Reparaturaufträgen, bei denen einige Einzelteile nicht verfügbar waren, die vorhandenen Ersatzteile nach Gutdünken des Lageristen auf Wagen verladen und in ein Durchgangslager geschickt werden konnten, um auf die Ankunft der anderen Einzelteile zu warten, die zur Erfüllung des Auftrags benötigt wurden. Dieses Durchgangslager („A"-Lager) nahm beträchtlichen Raum ein. Anstatt der bisher geübten Praxis wäre es möglich, die betreffenden Einzelteile in den von der Produktionsplanung geführten Lagerkarteien für die Auslieferung vorzumerken, sie aber erst dann aus dem Lager zu nehmen, wenn alle sonstigen erforderlichen Einzelteile greifbar sind. Ein solches Verfahren hätte zwei Vorteile:

1. würde es das „A"-Lager verkleinern oder sogar mit der Zeit überflüssig machen, so daß dieser Lagerraum für die Lagerung der fertigen Einzelteile verfügbar wäre,

2. würde es die mit den Ersatzteilen vorzunehmenden Manipulationen vermindern.

Von diesen beiden Gesichtspunkten her wurde ein neues Verfahren für die Erfüllung von Reparaturaufträgen entworfen. Dank der Bemühungen der Teammitglieder wurden diese Reformen in den verschiedenen Abteilungen, denen diese Mitglieder angehörten, sogleich durchgeführt. Die Auswirkungen waren binnen kurzem zu spüren. Da Einzelheiten noch verbessert werden mußten, wurde ein Unterausschuß bestellt, der das neue Verfahren im einzelnen auszuarbeiten hatte. Wie die Erledigung von Reparaturaufträgen von nun an vor sich ging, zeigen die Abb. 2.4 und 2.5. Durch die Zentralisierung der Lenkung in der Abteilung Produktionsplanung konnte übrigens nicht nur die Gefahr der Verknappung von Einzelteilen vermindert und der Schriftverkehr vereinfacht werden, sondern im Zusammenhang damit auch das Lagerhaltungsproblem für die beim Zusammenbau benötigten Einzelteile leichter gelöst werden.


1
Kundenauftrag
Kundenauftrag
K
U
N
D
E
Verkaufsniederlassungen
13
10
11
Auftragsfreigabe
Kundenauftrag
Kredit-
überprüfung
Buchhaltung
3
5
6
b
b
b
3
5
6
7
4
b
b
V
10
7
7
12
Nach-
kalkulation
V
Produktions-Planung
8
V Kopie wird vernichtet
Kopie wird abgelegt
14
13 10 11 12
Versand
c
c
c
c
12
11
10
13
14

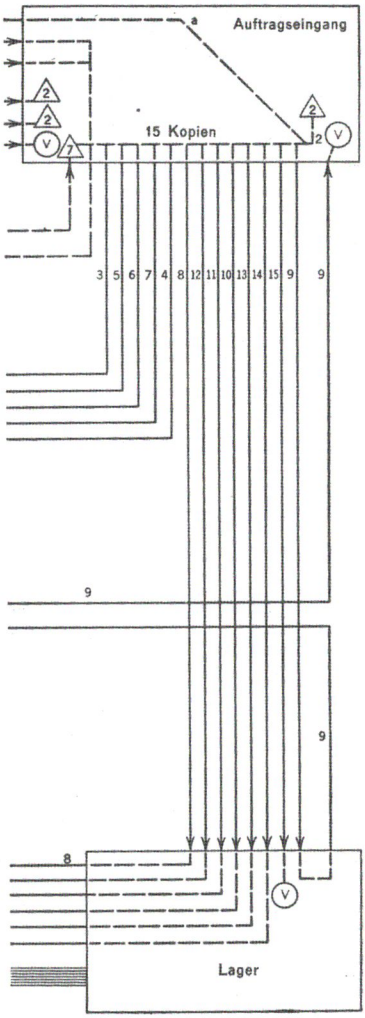
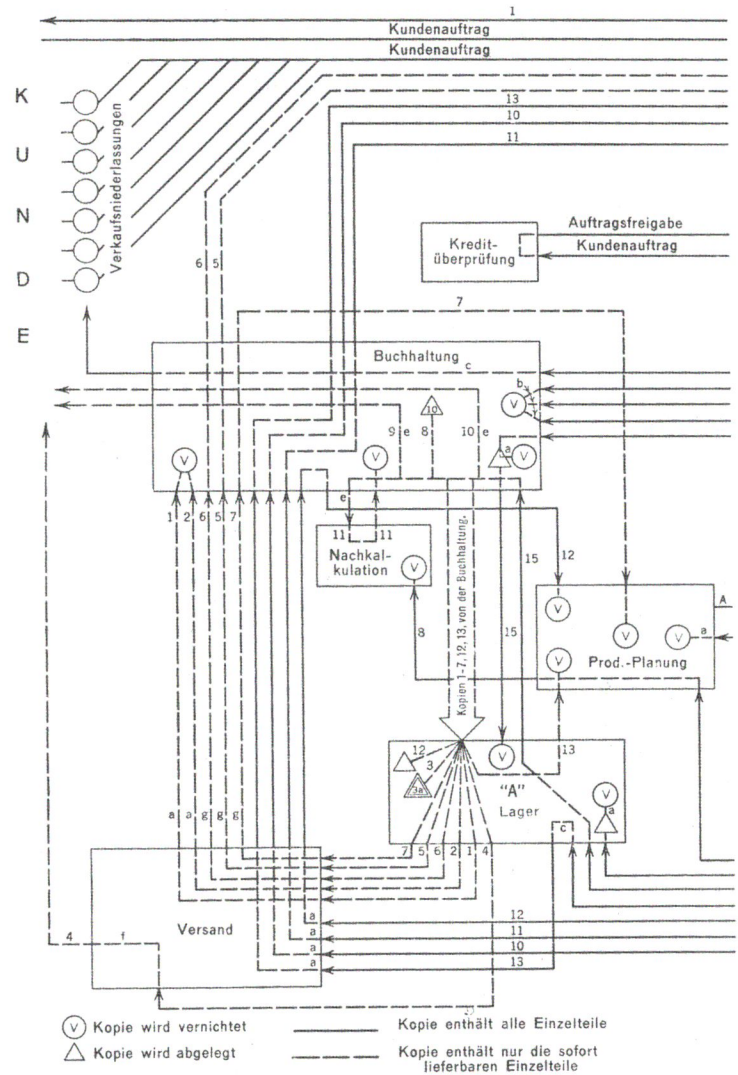


Abb. 2.2. Fluß-Diagramm der Behandlung einer Ersatzteilbestellung in einer Werkzeugmaschinenfabrik im Falle, daß alle bestellten Ersatzteile im Lager sind. Man beachte, daß in erster Linie die Kreditüberprüfungsstelle, in zweiter Linie das Lager die Bearbeitung des Auftrags bestimmen. Karteien der Einzelteile befinden sich im Auftragseingang, im Lager, in der Produktionsplanung und in der Buchhaltung. Das Diagramm wurde auf Grund einer Untersuchung des Weges entworfen, den die numerierten Auftragsformulare im Werk nahmen.

Alle Teile verfügbar.

1. Kopie als Auftragsbestätigung.
2. Kopie für Auftragskartei.
3. Kopie zur Benachrichtung der Verkaufsniederlassung.
4. Kopie für Buchhaltungskartei.
5. Kopie als Original-Rechnung.
6. Kopie als Rechnungs-Duplikat.
7. Kopie für die Nachkalkulation.
8. Kopie zur Feststellung des Materialbedarfs.
9. Kopie für Terminverfolgung.
10. Kopie für Versandabteilung.
11. Kopie als Versandausgangsbestätigung für Auftragskartei.
12. Kopie als Versandausgangsbestätigung für Produktionsplanung.
13. Kopie für Leiter des Auftragseinganges.
14. Kopie als Versandanweisung.
15. Kopie zur Bedarfsanforderung.

a) Aufbewahrt bis Erhalt von Kopie 11.
b) Abgeschickt nach Erhalt von Kopien 10—13.
c) Abgeschickt nach Versand.


Kundenauftrag
Kundenauftrag
K U N D E
Verkaufsniederlassungen
Kredit-überprüfung
Auftragsfreigabe
Kundenauftrag
Buchhaltung
Nachkal-kulation
Prod.-Planung
"A" Lager
Versand
Kopien 1-7, 12, 13 von der Buchhaltung
Kopie wird vernichtet
Kopie wird abgelegt
Kopie enthält alle Einzelteile
Kopie enthält nur die sofort lieferbaren Einzelteile

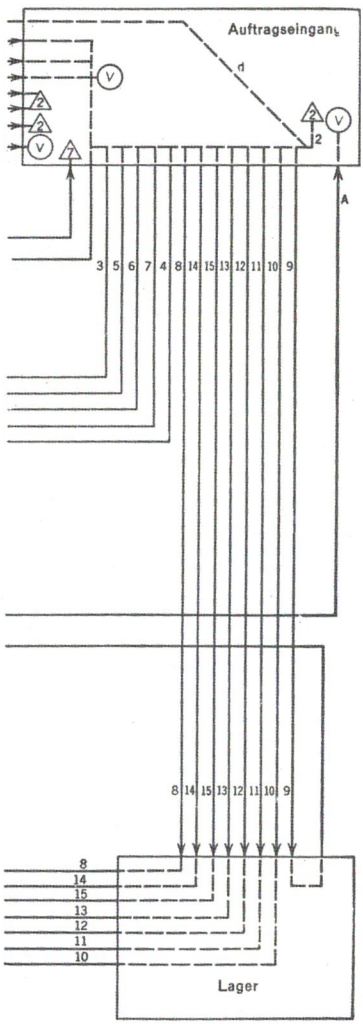


Abb. 2.3. Fluß-Diagramm der Behandlung einer Ersatzteilbestellung in einer Werkzeugmaschinenfabrik im Falle, daß die bestellten Ersatzteile *nicht* alle verfügbar sind. Nach dem Stand vor der O.R.-Untersuchung bestimmt das Lager, wie in Abb. 2.2, die Bearbeitung des Auftrags und verursacht dadurch die im zugehörigen Kapitel beschriebenen Fehler in der Nachrichtenübermittlung. Die im Lager vorhandenen Teile werden hier in das „*A*"-Lager gebracht, bis die fehlenden Teile verfügbar sind.

Nicht alle Teile verfügbar.

Die Legende zu den Nummern der ausgezeichneten Linien ist die gleiche wie auf S. 47. Die Legende zu den Nummern der gebrochenen Linien auf S. 48 lautet wie folgt:

1. Versandanweisung, Kopie für Überprüfung.
2. Versandanweisung, Kopie für Versandabteilung.
3. Versandanweisung, Kopie für das "A"-Lager.
4. Versandanweisung, Kopie für den Kunden.
5. Versandanweisung, Kopie für Buchhaltung.
6. Versandanweisung, Kopie für Auftragskartei.
7. Versandanweisung, Kopie für Produktion.
8. Kopie für Buchhaltungskartei.
9. Kopie als Originalrechnung.
10. Kopie als Rechnungs-Duplikat.
11. Kopie für Nachkalkulation.
12. Kopie zur Bedarfsanforderung.
13. Kopie zur Auftragserteilung.

A. Zusage an Auftragseingang.

a) Abgeschickt, sobald alle Teile verfügbar sind.

b) Zerstört nach Empfang von Nr. 15.

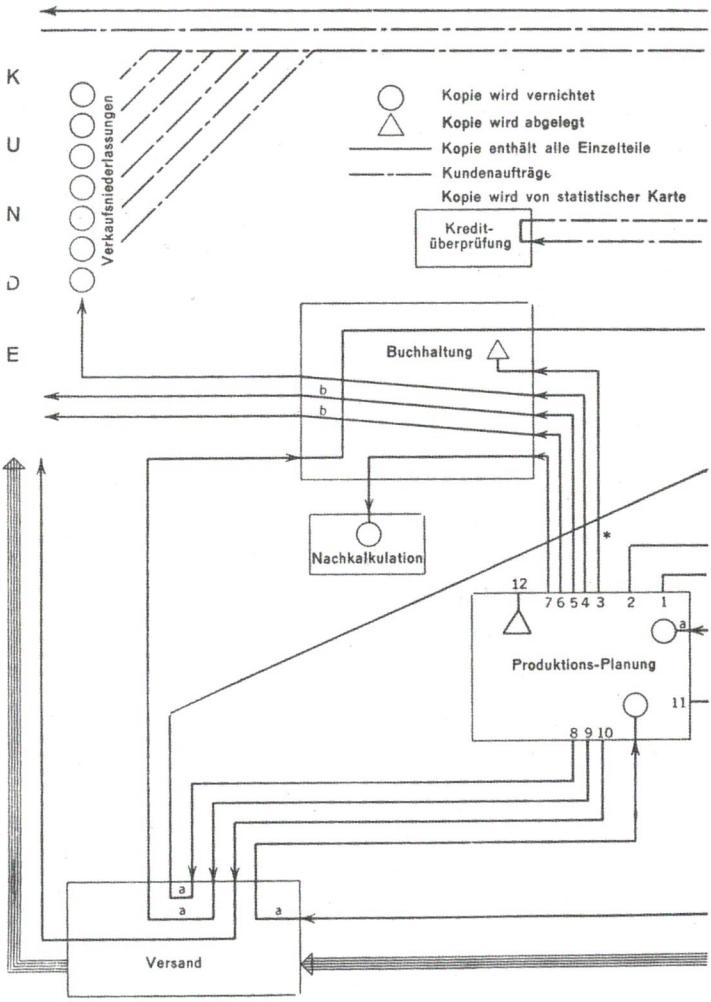
c) Abgeschickt nach Eintreffen der ersten Teile.

d) Abgeschickt nach Empfang von A.

e) Abgeschickt nach Empfang von Nr. 5, 6, 7.

f) Geht mit der Lieferung mit.

g) Jeweils nach Eintreffen fehlender Teile abgeschickt.


K
U
N
D
E
Verkaufsniederlassungen
Kopie wird vernichtet
Kopie wird abgelegt
Kopie enthält alle Einzelteile
Kundenaufträge
Kopie wird von statistischer Karte
Kredit-
überprüfung
Buchhaltung
b
b
Nachkalkulation
*
12
7 6 5 4 3
2
1
a
Produktions-Planung
11
8 9 10
a
a
a
Versand

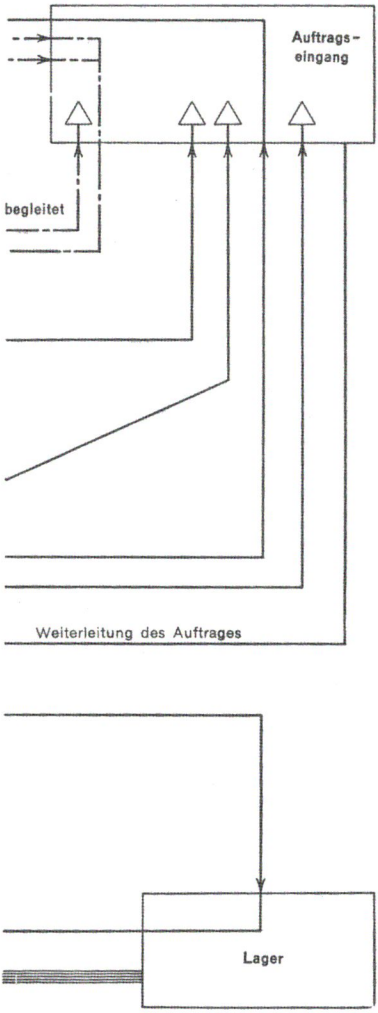
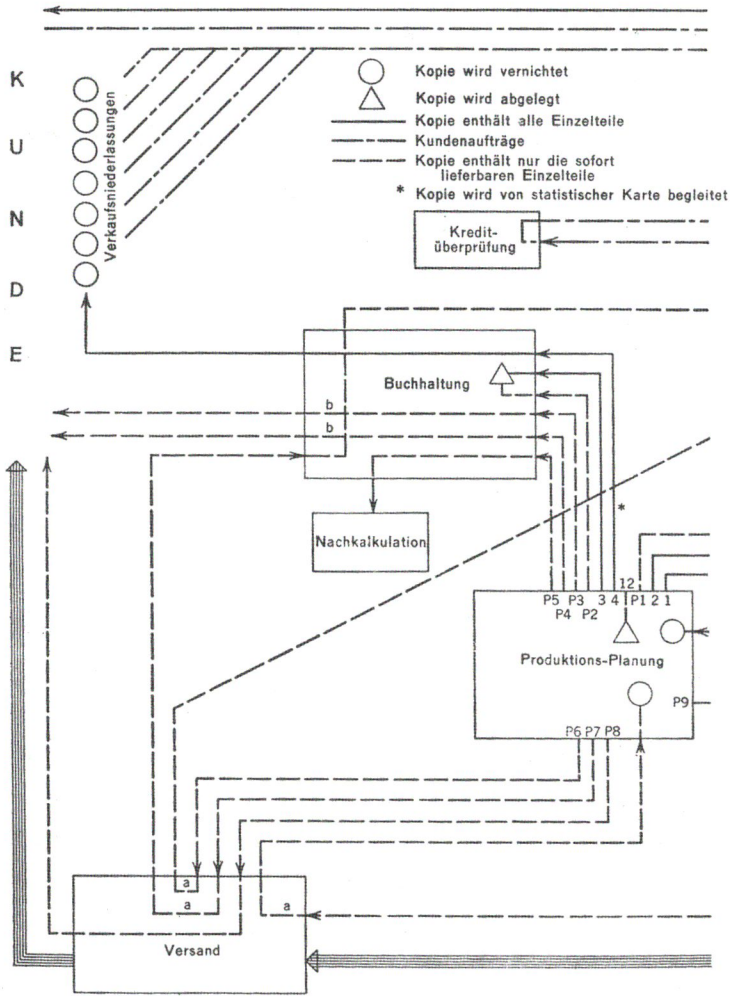


Abb. 2.4. Fluß-Diagramm des Verbesserungsvorschlages zur Behandlung einer Ersatzteilbestellung in einer Werkzeugmaschinenfabrik im Falle, daß alle bestellten Ersatzteile im Lager sind. (Vgl. Abb. 2.2.) In diesem neuen Diagramm bestimmt in erster Linie die Kreditüberprüfungsstelle, in zweiter die Abteilung Produktionsplanung die Bearbeitung des Auftrags. Der Schriftverkehr konnte reduziert werden, die Karteien wurden in der Produktionsplanung konzentriert.

Alle Teile verfügbar.

1. Kopie für Auftragskartei.
2. Kopie als Auftragsbestätigung.
3. Kopie für Buchhaltungskartei.
4. Kopie zur Benachrichtigung der Verkaufsniederlassung.
5. Kopie als Original-Rechnung.
6. Kopie als Rechnungs-Duplikat.
7. Kopie für die Nachkalkulation.
8. Kopie für Leiter des Auftragseinganges.
9. Kopie als Versandausgangsbestätigung an Auftragseingang.
10. Kopie als Versandanweisung.
11. Kopie als Lagerauftrag.
12. Kontroll-Kopie der Produktionsplanung.

a) Abgeschickt nach Versand.
b) Abgeschickt nach Erhalt von Kopie 9.


K
U
N
D
E
Verkaufsniederlassungen
Kopie wird vernichtet
Kopie wird abgelegt
Kopie enthält alle Einzelteile
Kundenaufträge
Kopie enthält nur die sofort lieferbaren Einzelteile
* Kopie wird von statistischer Karte begleitet
Kredit-überprüfung
Buchhaltung
b
b
Nachkalkulation
*
12
P5 P3 3 4 P1 2 1
P4 P2
Produktions-Planung
P9
P6 P7 P8
a
a
a
Versand

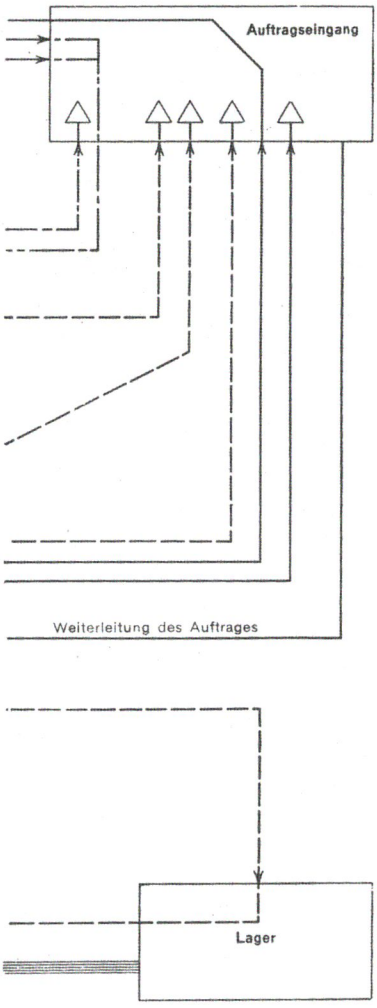


Abb. 2.5. Vorgeschlagene (und durchgeführte) Veränderung des in Abb. 2.3 dargestellten Systems zur Vermeidung der dort auftretenden Fehler. Die Steuerung wird der Abteilung Produktionsplanung übertragen, in der auch die Karteien konzentriert werden; das „A"-Lager wird aufgelassen, der Schriftverkehr reduziert. Das Diagramm wurde auf Grund des Studiums elektrischer Regelkreise entwickelt.

Nicht alle Teile verfügbar.

1. Kopie für Auftragskartei.
2. Kopie als Auftragsbestätigung.
3. Kopie für Buchhaltungskartei.
4. Kopie zur Benachrichtigung der Verkaufsniederlassung.

P1. Kopie für Auftragskartei.
P2. Kopie für Buchhaltungskartei.
P3. Kopie als Original-Rechnung.
P4. Kopie als Rechnungs-Duplikat.
P5. Kopie für die Nachkalkulation.
P6. Kopie für Leiter des Auftragseinganges.
P7. Kopie als Versandausgangsbestätigung an Auftragseingang.
P8. Kopie als Versandanweisung.
P9. Kopie als Lagerauftrag.

12. Kontroll-Kopie der Produktionsplanung.
    a) Abgeschickt nach Versand.
    b) Abgeschickt nach Erhalt von Nr. 9.

Nun wollen wir zu unserem zentralen Thema, der Entwicklung des Produktionsplanes für die zu Montagezwecken verwendeten Einzelteile, zurückkehren.

Einkauf und Lagerhaltung des Rohmaterials

Um die Auswirkungen der Umstellung auf den Betriebsablauf abzuschätzen, mußte zunächst festgestellt werden, ob und in welcher Weise der Einkauf des Rohmaterials davon berührt würde. Offensichtlich konnten bei größeren Produktionsserien weniger häufige, dafür aber umfangreichere Rohmaterialkäufe getätigt werden. Es wurde untersucht, ob sich durch die größeren Einkaufsmengen Preisvorteile erzielen ließen. Das Ergebnis war negativ. Bei den meisten Rohmaterialien kamen Mengenrabatte nicht in Frage, weil die Firma ein relativ unbedeutender Verbraucher in diesen Sparten war. Hingegen entdeckte man, daß man durch größere Einkäufe bei manchen Materialien die Frachtkosten beträchtlich verringern konnte. So zum Beispiel mietete die Firma Lastwagen für den Transport großer Gußteile. Bei nur unwesentlich höheren Kosten konnte eine weitaus größere Anzahl solcher Gußteile befördert werden.

Das wichtigste Ergebnis der Untersuchung über die Auswirkung der Einführung wirtschaftlicher Produktionsserien auf die Rohmaterialien war die Feststellung, daß bei unveränderten Einkaufsmengen das Lager an Rohmaterialien wesentlich verringert werden konnte. Dies würde sich durch die umfangreicheren und weniger häufigen Entnahmen aus dem Rohmateriallager ergeben. Es konnte gezeigt werden, daß sich der durchschnittliche Lagerstand bei halbjährlichen Bestellungen um 55% verringern würde. Bei jährlichen Bestellungen betrug die durchschnittliche Verminderung 36%. Diese Verringerung hatte insofern eine erfreuliche Nebenwirkung, als der Lagerraum für das Rohmaterial verkleinert und der frei gewordene Raum nötigenfalls für die Lagerung von Fertigteilen verwendet werden konnte.

Veralterung

Die Metallteile, um die es in dieser Untersuchung geht, können durch die Lagerung nicht verderben, sie können jedoch infolge Änderung der Konstruktion veralten. Obwohl diese Möglichkeit in der betreffenden Firma nicht sehr akut war, zeigte sich die Abteilung Produktionsplanung doch besorgt, daß dieses Problem bei vergrößertem Lager gefährlicher werden könnte. Durch eine Untersuchung wurde festgestellt, daß die durchschnittliche Vorbereitungszeit, die zur Durchführung einer Konstruktionsänderung benötigt wurde, mehr als neun Monate — also mehr als die vorgeschlagene Laufzeit der neuen Produktionsserien — betrug. Es wurde daher dem Konstruktionsbüro vorgeschrieben, die Produktionsplanung darüber auf dem laufenden zu halten, wenn mit einer Arbeit begonnen wurde, die möglicherweise eines Tages auf die Konstruktion eines Einzelteils einen Einfluß haben würde. Auf der Lager-Karteikarte dieses Einzelteils konnte dann ein Hinweis angebracht werden, daß man für Produktionsserien, die den Bedarf von drei Monaten überschritten, eine eigene Bewilligung einholen mußte.

Die Planung des Zusammenbaus

Es war üblich, in jedem Monat von jedem Modell der Werkzeugmaschine eine bestimmte Stückzahl zu montieren. Das bedeutete, daß in jedem Monat

von jeder Einzelteiltype (mit Ausnahme der nur bei Spezialanfragen erforderlichen) mehrere Stück benötigt wurden. Es wäre natürlich möglich gewesen, jedes Modell nur alle zwei oder drei Monate zu montieren. Eine solche Umstellung hätte ihrerseits wieder den Rhythmus der Entnahme von Einzelteilen aus dem Lager verändert. Die Untersuchung zeigte, daß dadurch bei Einzelteilen, die nur für ein einziges Modell gebraucht wurden, die durchschnittlichen Lagerbestände (und daher auch die gesamten Produktionskosten) verringert würden. Solche Senkungen wären aber nur bei einem kleinen Prozentsatz der Einzelteile durchführbar gewesen, weil es wenig Einzelteile gibt, die nur bei einem einzigen Modell verwendet werden. Um dieser geringen Kostenersparnis willen hätte die Planung des Zusammenbaus und der Einzelteilfertigung wesentlich komplizierter gestaltet werden müssen. Die Kosten, die diese Erschwerung mit sich gebracht hätte, wurden abgeschätzt und mit den möglichen Einsparungen an Lagerhaltungskosten verglichen. Dies führte zu dem Entschluß, keine Änderung der Planung und der Arbeitsgänge des Zusammenbaus zu empfehlen.

Planung für schwankenden Bedarf

Bisher betraf die Untersuchung den Fall, daß der Bedarf an für den Zusammenbau benötigten Teilen bekannt ist. Es war nur natürlich, daß das Unternehmen die Frage stellte, wie die Berechnung wirtschaftlicherer Produktionsserien bei zumindest teilweise unbekanntem Bedarf durchgeführt werden kann. Die Gleichung für die wirtschaftlichste Seriengröße ließ sich diesen Bedingungen anpassen, vorausgesetzt, daß eine unverzerrte und verläßliche Schätzung der zukünftigen Umsätze erhältlich war. Man versuchte herauszubekommen, ob die in einer 30- oder 90tägigen Periode getätigten Maschinenumsätze in irgendeinem Zusammenhang mit amtlichen Indexzahlen standen, die die Entwicklung bei Rohmaterialien und verwandten Produkten sowie die allgemeinen wirtschaftlichen Verhältnisse widerspiegelten. Obwohl solche Zusammenhänge festgestellt wurden, ließen sich darauf doch keine verläßlichen kurzfristigen Voraussagen über die Umsatzentwicklung aufbauen.

Vor der Koreakrise hatte jede Verkaufsniederlage 30- und 90tägige Voraussagen geliefert. Es wurde festgestellt, daß die 90tägigen Voraussagen verläßlicher, gleichzeitig aber stärker „verzerrt" waren. Sie neigten dazu, die Umsätze zu hoch zu schätzen. Durch Anbringen einer Korrektur für diese Überschätzung wurde eine unverzerrte Voraussage erzielt, die gegenüber den tatsächlich im Laufe der 90 Tage getätigten Umsätzen eine durchschnittliche Abweichung von rund 18% aufwies.

Die Untersuchung der Marktentwicklung

Die Bemühungen, eine zuverlässigere Prognose der künftigen Umsätze auf Grund des aus Unterlagen über frühere Perioden herausgerechneten Trends zu erhalten, waren vergeblich. Die so erzielten Schätzungen waren nur halb so zuverlässig wie die Voraussagen des Verkaufsperonals. Sie waren jedoch unverzerrt. Man stellte fest, daß die zukünftigen Umsätze regellos um die Trendgerade streuten. Daraus ergab sich eine Anregung für eine Methode zur Vorhersage von Veränderungen des Trends.

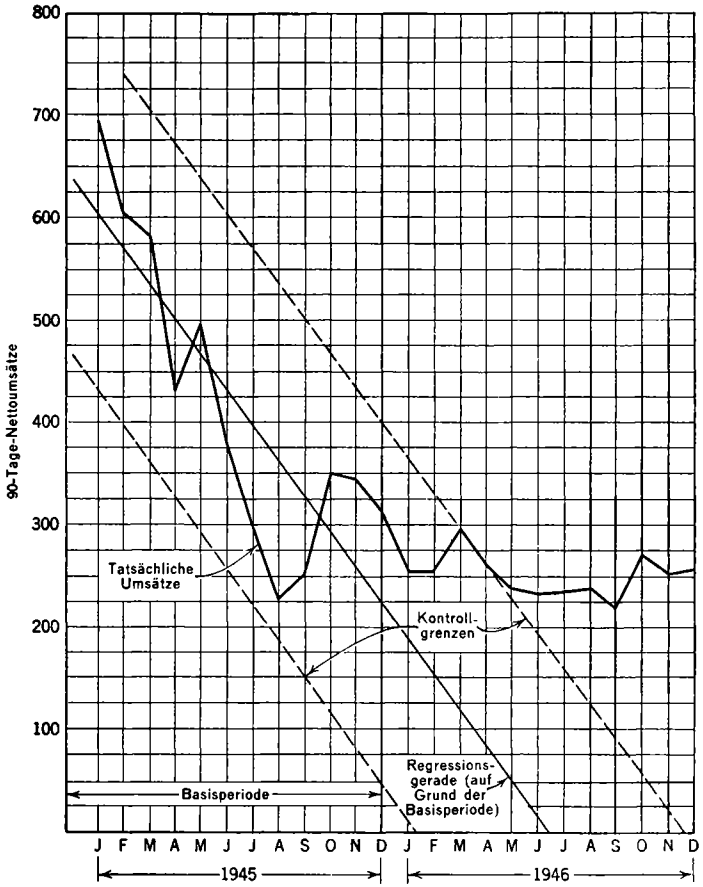


Abb. 2.6. Die Darstellung von Trendlinien.

Für zwölf aufeinanderfolgende Monate wurden jeweils die Umsätze in der letzten 90-Tage-Periode eingetragen und der Trend nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt. Sodann wurde die Standardabweichung der zwölf Werte von der Trendgeraden berechnet und im Abstand der doppelten Standardabweichung oberhalb und unterhalb der Trendgeraden je eine Gerade gezogen. Sodann wurden die Trendgerade und die Grenzgeraden extrapoliert und in jedem kommenden Monat die Umsätze der letzten 90 Tage eingetragen.

Wenn ein Umsatz außerhalb der Grenzen fiel, wurde eine Änderung des Trends vorausgesagt und ein neuer Trend und neue Grenzen auf Grund jener Punkte errechnet, die dem neuen Trend zu folgen schienen. Wenn weniger als

sechs Punkte verfügbar waren, berechnete man den neuen Trend und die Grenzen in jedem Monat neu, bis sechs Trendpunkte vorlagen. Dann wurde wieder das oben beschriebene Verfahren angewendet, so lange, bis ein Punkt außerhalb der neuen Grenzen zu liegen kam. (vgl. Abb. 2.6).

Diese Methode wurde rückwirkend sieben Jahre hindurch angewendet. Man konnte feststellen, daß jede Änderung des Trends richtig „vorausgesagt" wurde, noch ehe dies auf andere Weise möglich war. Andrerseits wurden keine Änderungen vorhergesagt, die nicht tatsächlich eintrafen.

Ein Mitglied der Verkaufsabteilung schlug eine Modifizierung vor, bei der sowohl die Voraussagen als die tatsächlichen Umsätze berücksichtigt und die Grenzen in Prozenten des Trends ausgedrückt wurden. Die Trendgerade wurde in der bereits beschriebenen Weise eingetragen. Sodann wurden die (bezüglich der systematischen Überschätzung korrigierten) Voraussagen für zwölf Perioden eingetragen und die Abweichung jeder Voraussage von der Trendgeraden bestimmt. Diese Abweichungen wurden in Prozenten des

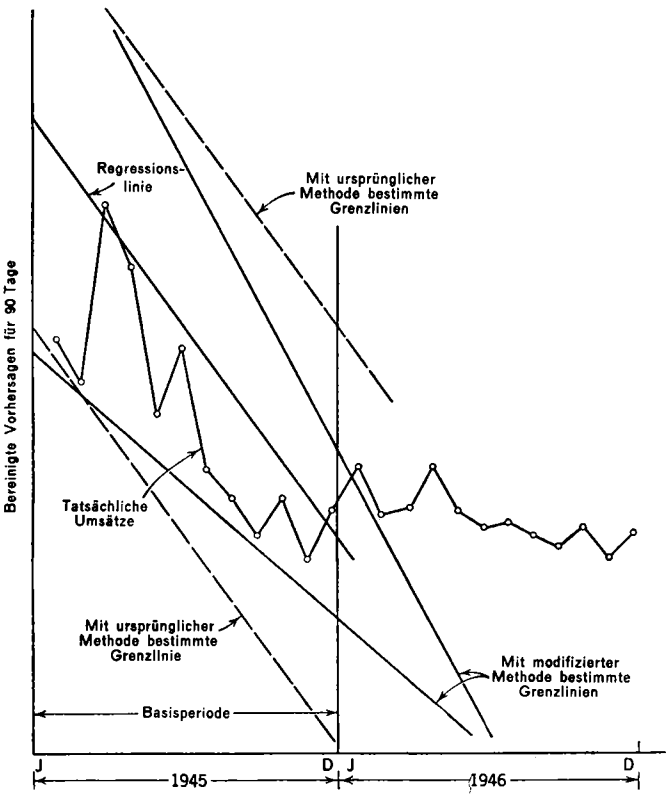


Abb. 2.7. Die Darstellung von Grenzlinien für den Trend.

zugehörigen Wertes der Trendgeraden ausgedrückt und die Standardabweichung dieser Prozentsätze berechnet. Dann wurden im Abstand von drei Standardabweichungen von der Trendgeraden Grenzen eingezeichnet. Diese Grenzen liefen mit der Trendgeraden nicht parallel, da ihr Abstand von der Trendgeraden nicht konstant war, sondern einen konstanten Prozentsatz ausmachte. Sie näherten sich daher der Trendgeraden, wenn sich diese dem Nullpunkt näherte und entfernten sich von ihr, wenn diese anstieg (vgl. Abb. 2.7). Der Trend und die Grenzen wurden in die Zukunft extrapoliert und die bereinigte Voraussage für die darauffolgenden 90 Tage eingetragen. Wenn eine Voraussage außerhalb der Grenzen lag, wurde eine Änderung des Trends vorausgesagt und dieser neu bestimmt. Durch diese Methode konnte man Änderungen des Trends (in jedem Fall richtig) zwei bis fünf Monate früher voraussagen, als mit der zuerst beschriebenen Methode.

Die zuerst beschriebene Methode wurde inzwischen mit gleich gutem Erfolg auf ein anderes Absatzgebiet des Unternehmens angewendet (wobei gleitende Zwölfmonatsdurchschnitte verwendet wurden). In beiden Fällen bewährte sich die Methode sowohl im laufenden Gebrauch als in der rückwirkenden Anwendung.

Langfristige Voraussagen

Bei einer Untersuchung langfristiger Voraussagen wurde eine wertvolle Beziehung zwischen einer der amtlichen Indexzahlen und den Jahresumsätzen des Unternehmens aufgedeckt. Die Frage war die, ob man den Jahresumsatz in seine beiden Komponenten, Verkäufe zur Ersetzung vorhandener Maschinen und Erstverkäufe, unterteilen konnte. Man vermutete, daß die zur Ersetzung vorhandener Maschinen dienenden Verkäufe stabiler sind als Neuverkäufe und daß man daher auf Grund einer Voraussage dieser Verkäufe eine verläßlichere Schätzung des Mindestumsatzes im nächsten Jahr gewinnen würde.

Die Ersetzung von Maschinen

Die Aufzeichnungen über die Umsätze gaben keinen Aufschluß darüber, ob ein Maschinenkauf zum Zweck der Ersetzung einer vorhandenen Maschine getätigt worden war oder nicht. Das O.R.-Team schlug vor, im Rahmen einer Stichprobenuntersuchung durch Befragung von Kunden einen Überblick darüber zu gewinnen, welcher Prozentsatz der im Verlauf mehrerer Jahre verkauften Maschinen zur Ersetzung alter Maschinen diente. Die Unternehmensleitung hegte Zweifel, ob sich der Aufwand für eine solche Untersuchung lohnen würde. Sie ersuchten das Team, die gewünschte Information, wenn möglich, auf irgendeine Art aus den vorhandenen Unterlagen zu entnehmen.

Das Team stellte sich zunächst die Frage: Warum wird eine Maschine ersetzt? Die in Frage stehende Maschine wird nicht vollständig funktionsunfähig; sie geht nicht aus wie eine Glühlampe. Ihre Leistungsfähigkeit nimmt ab und diese Abnahme der Leistungsfähigkeit kann nur durch die Erneuerung einzelner Bestandteile hinausgeschoben oder verhindert werden. Aber das Ausmaß der Reparaturen nimmt im Laufe der Zeit ständig zu. Die Maschine wird ersetzt, sobald sich ihr Besitzer davon überzeugt, daß die dauernden

Reparaturen teurer kommen als der Kauf einer neuen Maschine. Daraus würde folgen, daß ein Rückgang der Reparaturen als Anzeichen für eine bevorstehende Ersetzung der Maschine dienen könnte. Dieser Schluß gab einen Hinweis, wie man auf indirektem Weg den Rhythmus der Ersetzung von Maschinen herausfinden könnte.

Das Team machte eine Zufallsstichprobe der Ersatzteilbestellungen in den Jahren 1940, 1944 und 1948–1952. In einem Jahr waren bis zu 92.000 solcher Bestellungen eingegangen. Den ausgewählten Bestellungen wurden folgende Informationen entnommen:

1. Kaufjahr der Maschine, für die die Ersatzteile bestellt wurden.
2. Wert der Ersatzteilbestellung in Dollar.
3. Jahr, in dem die Bestellung einlangte.

Ersatzteilbestellungen wurden für jedes Jahr nach dem Kaufjahr der Maschine (1) gruppiert. Sodann wurden für jede Gruppe die Dollarwerte aufaddiert und in einen „Dollaraufwand pro Maschine" (bezogen auf die Gesamtzahl der in dem Jahr verkauften Maschinen) umgerechnet. Die so erhaltenen Werte wurden daraufhin sukzessive aufaddiert und eingezeichnet, wobei für jedes der untersuchten Jahre eine eigene Zeichnung angelegt wurde. Jede Zeichnung zeigte einen bestimmten Jahrgang von Maschinen, bei dem die Reparaturaufträge abzusinken begannen. Auf jeder der sieben Zeichnungen wurde die Zahl der Jahre festgestellt, die zwischen dem Jahr, auf dem die Stichprobe basierte, und dem Jahr, in dem die Reparaturaufträge abzunehmen begannen, verstrichen waren. Dabei erzielte man die in Tabelle 2.3 verzeichneten Ergebnisse.

TABELLE 2.3

Jahr des Reparatur-auftrages	Seit Beginn der absinkenden Reparaturaufträge verstrichene Jahre
1952	17
1951	20
1950	17
1949	19
1948	15
1944	16
1940	22

Diese Ergebnisse hatten keinen großen Aussagewert, bis man erkannte, daß nicht der von der Anschaffung der Maschine bis zum Absinken der Reparaturaufträge verstrichene Zeitraum von Bedeutung war, sondern das Ausmaß, in dem die Maschinen während dieser Zeit eingesetzt worden waren. Es konnte festgestellt werden, daß der vom Federal Reserve Board berechnete Produktionsindex für dauerhafte Güter wertvolle Schlüsse auf den Einsatz von Werkzeugmaschinen zuließ. Statt der vom Kaufjahr der Maschine bis zum Absinken der Reparaturaufträge verstrichenen Jahre wurde die über