

# Anwendung der Modellierungssoftware AIMMS zur computergestützten Entscheidungsfindung in landwirtschaftlichen Großbetrieben

KARLHEINZ WENDT, HALLE/SAALE

## **Abstract**

*It is a fact that there is a deep disproportion between the variety and the scope of use of the mathematical programming for teaching and science on the one hand and for solving practical problems on the other hand. Modelling languages can help to remedy this situation. Embedded in personal computing applications in combination with other end user tools they make it possible to fulfil decision tasks in an efficient way. Because of the knowledge required such an application must be produced by agricultural management consultants and - to take into account the special requirements of the farm - it must be used by the management consultants in interactive computer-based consultations of farm managers.*

*The software AIMMS is especially suitable for this because of its advantages. In addition to the positive features of all the other modelling languages, AIMMS has possibilities to create clear data presentations on screen and to realise variation calculations based on an interactive dialogue. The article surveys the use of Microsoft Access and AIMMS for a decision task in the field of large farm mechanisation.*

## **1 Einleitung**

EDV-Programme für administrative Aufgaben im unmittelbaren Umfeld der betrieblichen Wertschöpfung sowie zur reinen Informationsversorgung werden in großer Zahl angeboten. Dies gilt jedoch nicht für den Bereich der Planung, der seltener anstehende, im allgemeinen weniger gut strukturierte und insbesondere durch objektiv und subjektiv bedingte betriebliche Gegebenheiten akzentuierte Probleme zum Gegenstand hat. Die Entwicklung von Programmen, die den Entscheidungsprozeß durch Optimierungsrechnungen direkt unterstützen, "rechnet" sich für Softwarefirmen nur für eine recht schmale Palette von Aufgaben, die insbesondere hinsichtlich der Datenarten und Bedingungen so klar strukturiert sind, daß sich sämtliche betriebsspezifischen Belange ausschließlich durch betriebsspezifische Datenwerte erfüllen lassen. Klassische Beispiele sind Futterrationberechnungen und Düngervoranschlagsrechnungen, die - als Einzelprogramme oder in Branchensoftwarepaketen integriert - auf dem Markt angeboten werden.

Der bestehende objektive Bedarf an Computerunterstützung für Entscheidungsaufgaben läßt sich nur durch "Individuelle Datenverarbeitung" (IDV) decken (Rauh, 1990): Der Endbenutzer selbst entwickelt auf Grundlage leistungsfähiger und leicht handhabbarer Endbenutzersysteme einfache, primär auf die Erfüllung der Funktionalität ausgerichtete Applikationen und wendet sie zur Erfüllung seiner eigenen Arbeitsaufgaben an.

Ansätze hierfür sind erkennbar, sie beschränken sich aber zumeist auf die Nutzung von Spreadsheets. Anfang der 80iger Jahre wurde damit begonnen, Modellierungssoftware zur Optimierung zu entwickeln. Mittlerweile ist ein Stand erreicht, daß man einige Modellierungssoftwareprodukte in einer Reihe mit Tabellenkalkulations-, Datenbankverwaltungs-, Graphik- und Textverarbeitungssystemen als Endbenutzersysteme ansehen kann. Damit ist die

Möglichkeit gegeben, IDV-Lösungen zu entwickeln und anzuwenden, die neben bisher üblichen Endbenutzersystemen auch Modellierungssoftware einbeziehen. Obwohl bis auf wenige Ausnahmen Optimierungsansätze nur für landwirtschaftliche Großbetriebe Effektivität versprechen, ist der o. g. Weg der Entwicklung und Anwendung eigener IDV-Applikationen durch den Betrieb selbst kaum gehbar. Denn es werden Kenntnisse und Fähigkeiten verlangt, die auch im landwirtschaftlichen Großbetrieb nicht vorhanden sein dürften, und es fallen Kosten für die Beschaffung der Modellierungssoftware und zur Entwicklung von Applikationen an, die sich durch die Anwendungen im eigenen Betrieb nicht amortisieren lassen. Hier müssen sich sowohl im eigenen Interesse als auch im Interesse ihrer Kunden Beratungsunternehmen zwischenschalten: Das Beratungsunternehmen übernimmt die Entwicklung und Anwendung von IDV-Applikationen, letzteres allerdings in der Rolle als Assistent des betrieblichen Entscheidungsträgers während "interaktiver Beratungssitzungen", bei denen der Entscheidungsträger seine individuellen Gestaltungsvorstellungen und Wertprämissen einbringen können muß. Und genau diese Möglichkeiten gestatten Modelliersprachen: mit ihnen lassen sich im Gegensatz zu herkömmlichen tabellenorientierten Techniken Optimierungsmodelle nicht nur mit wenig Aufwand aufstellen, sondern auch mit wenig Aufwand und sogar "vor Ort" an individuelle Wünsche anpassen.

## **2 Anwendungsfelder der Optimierung in landwirtschaftlichen Großbetrieben**

Das Spektrum der Planungsaufgaben in einem Betrieb (bzw. Unternehmen) ist äußerst vielschichtig und in der Literatur auf die verschiedensten Weisen systematisiert. Entsprechend vielschichtig sind theoretisch die Anwendungsfelder der (mathematischen) Optimierung. Denn hinter jedem Planungsproblem - zumindest hinter solchen mit kardinal skalierbaren Größen - verbirgt sich ein Optimierungsproblem (Wendt, 1994):

- die problemrelevanten Größen lassen sich in Konstante (z. T. mit der Bedeutung von Szenarioparametern) und Variable untergliedern;
- zwischen diesen Größen existieren Konsistenzbedingungen, die den (zulässigen) Entscheidungsspielraum definieren;
- die Erfüllung der problemspezifischen Formalziele wird durch Zielgrößen gemessen, die sich nach gewissen Berechnungsvorschriften aus den Konstanten und Variablen ergeben;
- die Variablen sind so zu bestimmen, daß die Konsistenzbedingungen erfüllt sind und im Sinne der Formalziele bestmögliche Zielgrößenwerte erreicht werden.

Der Weg zum Optimierungsmodell ist vom Prinzip her ein sehr einfacher: es sind lediglich auf der Basis der Konsistenzbedingungen Restriktionen und auf der Basis der Zielgrößen Zielfunktionen explizit zu formulieren und zu implementieren.

Man kann sicher auf Optimierung verzichten, wenn mit problemspezifisch anwendbaren anderen Techniken annähernd gleichwertige Ergebnisse mit geringerem Aufwand erreichbar sind. In bestimmten Fällen ist jedoch Optimierung objektiv vonnöten. Für landwirtschaftliche Großbetriebe dürfte dies für folgende Komplexe von Planungsaufgaben zutreffen:

- 1) Zielstrukturplanung hinsichtlich Produktionsprogramm und Potentialgüterkapazität;
- 2) zielstrukturorientierte Entwicklungsplanung hinsichtlich Produktionsprogramm, Potentialgüterbeschaffung/-aussonderung (Durchführung innerbetrieblicher Sachinvestitionen) und Finanzierung (Kreditaufnahme und zu leistender Kapitaldienst);
- 3) jahresbezogene Planung von Beschaffungs- und Absatzmaßnahmen unter Liquiditätsaspekten;
- 4) unterjährige (rollierende) Ablaufplanungen des AK- und Maschineneinsatzes.



Damit die Optimierung auch wirklich brauchbare Entscheidungshilfen liefern kann, ist es mitentscheidend, bei der Modellierung wegen bestehender Interdependenzen relevante Sachgegenstände und ihre Zeitbezogenheit simultan zu erfassen und diese Sachgegenstände und ihre Beziehungen untereinander in dem Detailliertheitsgrad abzubilden, daß Struktur und Kausalzusammenhänge richtig widergespiegelt werden. Bei der Modellierung dürfen aus dem Drang heraus, aus technischen oder sonstigen subjektiven Gründen zu "aggregieren" und Kausalzusammenhänge unberücksichtigt zu lassen, nicht Modellprämissen geschaffen werden, die für das originäre Problem nicht zutreffen !

Unter diesen Gesichtspunkten läßt sich offensichtlich schlußfolgern, daß Aufgaben aus den obigen Komplexen große Modelle erfordern. Bei 1) reichen zwar statische Modelle aus; diese müssen aber die notwendige sachliche Simultanität und Richtigkeit der Erfassung der Kausalzusammenhänge aufweisen. Und für Aufgaben der anderen Komplexe benötigt man in jedem Fall mehrperiodige Modelle, für die ebenfalls notwendige Anforderungen hinsichtlich Wahrung der sachlichen Simultanität und Erfassung der Kausalzusammenhänge erfüllt sein müssen.

### **3 Entwicklung von IDV-Applikationen zur Unterstützung der Planung - dargestellt am Beispiel der Arbeits- und Maschinenbedarfsplanung**

Das zugrundegelegte Planungsproblem ist in den Aufgabenkomplex 1) aus Abschnitt 2 einzuordnen. Das Beratungsunternehmen XYZ will deshalb eine IDV-Applikation entwickeln, weil die im folgenden genannte Problemstellung bei hinreichend vielen seiner Kunden derzeit und auch zukünftig ansteht.

Ein Betrieb habe sich längerfristig für eine bestimmte Fruchtfolge mit einer Palette von Produktionsverfahren entschieden. Im Rahmen von Investitionsvorplanungen (Kapazitätsplanung) stellt sich die Frage nach dem notwendigen Bestand an eigenen Maschinen und dem Stundenumfang, in dem auf die Anmietung von Maschinen in (kritischen) Zeitspannen orientiert werden sollte. Dies soll unter Kostengesichtspunkten erfolgen, die die variablen Betriebskosten, die Abschreibungen und den Zinsanspruch für eigene Maschinen und die Kosten für das Anmieten nach einem bestimmten Stundensatz berücksichtigen.

Jede der einzelnen von den Produktionsverfahren geforderten Arbeiten läßt sich durch Anwendung verschiedener Arbeitsverfahren mit einer spezifischen Maschinenkonfiguration und demzufolge spezifischem Arbeitszeitbedarf durchführen (z. B. "Getreide-Mähdrusch" mit Mähdreschern unterschiedlicher Arbeitsbreite und "Rüben roden" mit selbstfahrendem Rübenroder oder mit gezogenem Rübenroder plus Schlepper). In Abhängigkeit vom Einsatzumfang der Arbeitsverfahren bestehen Leistungsanforderungen an Maschinen in den einzelnen Zeitspannen, die durch eigene und/oder gemietete Maschinen zu erbringen sind. Erst aus den Leistungen der eigenen Maschinen in den einzelnen Zeitspannen läßt sich - unter Berücksichtigung der verfügbaren Feldarbeitszeit in den Zeitspannen - auf den notwendigen Bestand an eigenen Maschinen und auf die Kosten schließen (Zeit- oder Leistungsabschreibung; s. Brandes/Odening, 1992). Deshalb steht auch die Beantwortung der Fragen danach an, welche Arbeitsverfahren in welchem Umfang in welchen Zeitspannen anzuwenden sind und welchen Umfangsanteil hierbei eigene und gemietete Maschinen zu leisten haben.

Die Entwicklung von IDV-Applikationen umfaßt drei Arbeitsschritte:

- 1) Problemanalyse mit dem Ziel, die entscheidungsunabhängigen und -abhängigen Größen (Konstante, Variable) und die wesentlichen der zwischen ihnen bestehenden Konsistenzbedingungen sowie die Zielgrößen herzuleiten (Abschn. 3.1.);

- 2) Implementierung der Eingabe/Verwaltung der Konstanten mittels eines Datenbankverwaltungssystems (Abschn. 3.2.);
- 3) Implementierung des Optimierungsmodells mittels einer Modelliersprache (Abschn. 3.3.). Die Schritte 2) und 3) basieren inhaltlich unmittelbar auf den Ergebnissen von 1). Bei ihrer Realisierung sind lediglich die Spezifika der jeweils verwendeten Software zu berücksichtigen.

### 3.1 Datenorientierte Problemanalyse

Im folgenden werden die Gedankengänge beschrieben, die zu einem indexorientierten Datenkonzept führen.

Die Konstanten (Indexmengen, indizierte Konstante; s. Punkte (1) - (3)) sind kursiv und die Variablen (s. Punkte (4) - (7)) fett kursiv geschrieben. Für jede Indexmenge ist zusätzlich erklärt, welche Kleinbuchstaben als symbolische Repräsentanten ihrer Elemente fungieren sollen: z. B. durch  $v \in PV$  der Kleinbuchstabe  $v$  als Repräsentant eines Elements der Menge  $PV$  der Produktionsverfahren. Die Punkte (4) - (7) beinhalten weiterhin Konsistenzbedingungen. Diese sind in der Form  $\langle \text{Bedingungsname} \rangle: \langle \text{Bedingungsausdruck} \rangle$  beschrieben und sind ihrer Bedeutung nach die Restriktionen des konzeptuellen Optimierungsmodells.

(1) Den Ausgangspunkt bilden die Produktionsverfahren ( $v \in PV$ ) mit ihren vorgegebenen Anbauflächen ( $Fla_v$ ), die aus agrotechnischer Sicht zu unterscheidenden Zeitspannen ( $z \in Zeit$ ) mit ihrer verfügbaren Feldarbeitszeit ( $FAStd_z$ ) und die insgesamt anfallenden Arbeiten ( $a \in Arbeit$ ).

Es bestehen Arbeitsansprüche derart, daß für die einzelnen Produktionsverfahren Arbeiten in Zeitspannen in einer bestimmten Häufigkeit durchzuführen sind ( $Hfgk_{vaz}$ ).

(2) Für einzelne Arbeiten gelten Anspruchsstufen und damit ineinander verschachtelte maximale Durchführungszeiträume in den Zeitspannen. Diesem Aspekt wird vereinfacht dadurch Rechnung getragen, daß arbeits- und zeitspannenspezifische Feldarbeitsstunden ( $FAStd_{az}$ ) unterhalb der verfügbaren Feldarbeitsstunden der jeweiligen Zeitspanne zu beachten sein können (z. B. für die Arbeit "Getreidemähdrusch" innerhalb der Zeitspanne "SG" und für "Rüben roden" innerhalb "HE").

(3) Die einzelnen Arbeiten erfordern die Durchführung von Arbeitsverfahren ( $t \in TV$ ) mit einer bestimmten Arbeitszeit ( $ZB_t$ ) und Arbeitskräfteanzahl ( $AKAnz_t$ ). Jedes Arbeitsverfahren ist für genau eine Arbeit anwendbar ( $TVAnw_t = \text{Code der Arbeit, für die das Arbeitsverfahren } t \text{ anwendbar ist}$ ) und ist auf eine bestimmte Weise mit Maschinen konfiguriert. Dies läßt sich durch eine Menge *Konfiguration* von Paaren ( $t, m$ ) beschreiben, und die Existenz eines Paares ( $t, m$ ) besagt, daß Arbeitsverfahren  $t$  (ein Stück von) Maschine  $m$  benötigt.

Zur Konfigurierung der Arbeitsverfahren sind Maschinen ( $m \in Maschine$ ) erforderlich, für die Anschaffungspreis ( $AP_m$ ), Restwert ( $RW_m$ ), Nutzungsdauer nach Zeit ( $ND_m$ ), Nutzungsdauer nach Leistung ( $NL_m$ ), variable Betriebskosten ( $BKost_m$ ) und Mietkosten ( $MKost_m$ ) sowie die zur Leistungsbemessung (Arbeitszeit oder -fläche) benötigte Ja-Nein-Eigenschaft, eine Zugmaschine zu sein ( $IstZugma_m$ ), von Relevanz sind.

(4) Aus den Arbeitsansprüchen und Anbauflächen (s. Punkt (1)) ergeben sich Anforderungen, daß eine Arbeit in einer Zeitspanne auf einer bestimmten Fläche durchzuführen ist, und diese Anforderungen sind durch Flächenleistungen von Arbeitsverfahren, die für die jeweilige Arbeit anwendbar sind, in der jeweiligen Zeitspanne zu decken ( $TFla_{tz}, \forall (t, z)$  mit "Arbeitsverfahren  $t$  ist in Zeit  $z$  anwendbar"):



$$\text{TVeinsatz}_{az} : \sum_v \text{Hfgk}_{vaz} \text{Fla}_v = \sum_t \text{TFla}_{tz} \quad , \quad \forall (a,z) \text{ mit} \\ t \mid \text{TVAnw}_t = a \quad \text{"Arbeit } a \text{ fällt in Zeit } z \text{ an"}$$

(5) Die Hektarleistung eines Arbeitsverfahrens in einer Zeitspanne nach Punkt (4) erfordert eine arbeitsverfahrensbezogene Leistung der jeweils einzusetzenden Maschinen, die durch Leistung eigener Maschinen ( $\text{TFlaE}_{tzm}$ ) und Leistung gemieteter Maschinen ( $\text{TFlaM}_{tzm}$ ) erbracht werden:

$$\text{MaEins}_{tzm} : \text{TFla}_{tz} = \text{TFlaE}_{tzm} + \text{TFlaM}_{tzm}$$

Hier durchläuft die Indexkombination (t,z,m) alle Elemente aus  $\text{TV} \times \text{Zeit} \times \text{Maschine}$  mit "Arbeitsverfahren t ist in Zeit z anwendbar"  $\wedge$  "Arbeitsverfahren t benötigt Maschine m".

(6) Die notwendige Anzahl an eigenen Maschinen ( $\text{MaAnz}_m$ ) hängt ab von den von ihnen abverlangten Leistungen unter Berücksichtigung der verfügbaren Arbeitszeit, in der sie diese Leistungen erbringen können (s. Punkte (1) und (2)):

$$\text{MaBest}_m : \quad \text{MAX}_z \left( \sum_t \text{ZB}_t \text{TFlaE}_{tzm} / \text{FAStd}_z \right) \leq \text{MaAnz}_m, \quad \forall m$$

$$\text{MaBestA}_m : \quad \text{MAX}_{(a,z) \mid \text{FAStdA}_{az} > 0} \left( \sum_t \text{ZB}_t \text{TFlaE}_{tzm} / \text{FAStdA}_{az} \right) \leq \text{MaAnz}_m, \quad \forall m \\ t \mid \text{TVAnw}_t = a$$

(7) Die Berechnung der **Kosten** als Zielgröße des Entscheidungsproblems basiert auf den Arbeitskosten bei Zugrundlegung eines Stundenlohnsatzes ( $\text{AkhKo}$ ), den Kosten für die angemietete Maschinenleistung und den an die Anzahl der eigenen Maschinen gebundenen festen und an die Leistung der eigenen Maschinen gebundenen variablen Kosten. Die festen und variablen Kosten sind endogene Größen, die von der Anzahl der eigenen Maschinen und deren Jahresleistung abhängen.

$$\begin{aligned} \text{Zielfunktion : Kosten} &= \sum_{t,z} \text{AkhKo} \text{ZB}_t \text{AKAnz}_t \text{TFla}_{tz} \quad (\text{Arbeitskräftekosten}) \\ &+ \sum_{z,m} \text{MKost}_m \left( \sum_t \text{ZB}_t \text{TFlaM}_{tzm} \right) \quad (\text{Maschinenmiete}) \\ &+ \sum_m \text{FKost}_m \text{MaAnz}_m \quad (\text{Festkosten eigene Maschinen}) \\ &+ \sum_m \text{VKost}_m \text{EigLeist}_m \quad (\text{var. Kosten eigene Maschinen}) \end{aligned}$$

$$\text{mit } \text{FKost}_m = 0.5 (\text{AP}_m + \text{RW}_m) \text{Zinssatz} / 100 \\ + \text{WENN} (\text{EigLeist}_m \leq \text{ND}_m / \text{NL}_m \text{MaAnz}_m, (\text{AP}_m - \text{RW}_m) / \text{ND}_m)$$

$$\text{VKost}_m = \text{BKost}_m \\ + \text{WENN} (\text{EigLeist}_m > \text{ND}_m / \text{NL}_m \text{MaAnz}_m, (\text{AP}_m - \text{RW}_m) / \text{NL}_m)$$

$$\text{EigLeist}_m = \sum_{t,z} \text{TFlaE}_{tzm} \text{WENN} (\text{IstZugma}_m, \text{ZB}_t, 1)$$

In den Punkten (4) und (5) sind für Variable und Konsistenzbedingungen Einschränkungen des Variationsbereiches der jeweiligen Indexkombinationen angegeben. Diese besagen, daß ausschließlich für die gültigen Indexkombinationen die betreffenden Variablen bzw. Konsistenzbedingungen existent sind. Die oben gewählte inhaltlich orientierte Kriterienbeschreibung steht aber nur stellvertretend für eine mathematisch präzise und auf Konstanten bezugnehmende Schreibweise.

So lassen sich beispielsweise unter Verwendung des Existenzquantors  $\exists$  (es existiert ein) und bezugnehmend auf die Konstanten  $\text{Hfgk}_{vaz}$  (s. Punkt (1)) und  $\text{TVAnw}_t$  (s. Punkt (3)) die Kriterien aus Punkt (4) wie folgt schreiben:

- "Arbeit a fällt in Zeit z an" als " $\exists v \in PV: Hfg_{k_{vaz}} > 0$ " und
  - "Arbeitsverfahren t in Zeit z anwendbar" als " $\exists (a,v) \in Arbeit \times PV: Hfg_{k_{vaz}} > 0 \wedge TVAn_{w_t} = a$ ".
- Und das Kriterium aus Punkt (5) ergibt sich durch eine logische Und-Verknüpfung zweier Teilkriterien und bezieht sich weiterhin auf die Tupelmenge Konfiguration (s. Punkt (3)):
- " $\exists (a,v) \in Arbeit \times PV: Hfg_{k_{vaz}} > 0 \wedge TVAn_{w_t} = a$ "  $\wedge$  "(t,m)  $\in$  Konfiguration".

Für die Anwendung von AIMMS besitzen die so formulierten Kriterien eine fundamentale Bedeutung. Sie sind Bestandteil des in der AIMMS-Sprache formulierten Modells und teilen dem AIMSS-Compiler mit, welche Variablen und Restriktionen für das interne Modell zu generieren sind (s. Abb. 4 aus Abschn. 3.3.).

### 3.2 Dateneingabe und -verwaltung mit ACCESS

Mittels der Entwurfsmethoden von ACCESS werden Tabellen mit den in den Punkten (1) - (3) aus Abschn. 3.1. genannten Konstanten als Felder und die notwendigen Formulare zur Dateneingabe entwickelt. Als Beispiele zeigt Abbildung 1 das Formular zur Eingabe der Maschinendaten und Abbildung 2 das Formular zur Eingabe der Arbeitsverfahren einschließlich der von ihnen benötigten Maschinen.

Maschine	Nr.	Bemerkung	Zugsmach. 7 (a/vsein)	Preis (DM)	Restw. (DM)	MD (a)	NI (Punk. DM/h)	Rest.kost. (DM/h)	Meter (DM/h)
Sch60	111	Allrad-schlepper 60KW	<input checked="" type="checkbox"/>	90000	0	12	10000	15,23	50
Sch100	112	Allrad-schlepper 100KW	<input checked="" type="checkbox"/>	117000	0	12	10000	25,08	65
PM4	211	Aufst.vollschiff 4ft.	<input type="checkbox"/>	42000	0	14	2500	20,00	50
PM8	212	Aufst.vollschiff 8ft.	<input type="checkbox"/>	57000	0	14	4000	20,00	50
GKSb	221	Gerätekomb. Saathet.	<input type="checkbox"/>	31000	0	10	4500	4,00	110
SGmb	231	Schwenkgraber	<input type="checkbox"/>	15000	0	14	4500	6,25	60
ArbOm6	411	Anbaudrillen 6mAB	<input type="checkbox"/>	23000	0	14	3000	3,50	50
ArbOm8	412	Anbaudrillen 8mAB	<input type="checkbox"/>	29000	0	14	4000	3,50	80
EkOm2R	422	Einm.k.drillen 2m	<input type="checkbox"/>	46000	0	8	2250	7,00	140
DvStr	511	Düngerstreuer 18mAB	<input type="checkbox"/>	33000	0	8	8000	1,55	20
PSSpr	611	Ank.-PSSystem 1,5m	<input type="checkbox"/>	30000	0	10	9000	1,50	30
MD5	711	Mäher 5mAB	<input type="checkbox"/>	230000	0	10	2500	58,53	260
MD6	712	Mäher 6mAB	<input type="checkbox"/>	250000	0	10	3000	60,10	300
ZPRodAn	731	Köpfrodaba_2r_schaft.	<input type="checkbox"/>	85000	0	8	600	120,00	100
ZPRodSI	732	Köpfrodaba_6r_schaft.	<input type="checkbox"/>	400000	0	10	1600	140,00	270
	0		<input type="checkbox"/>	0	0	0	0	0,00	0

Abb. 1 - Formular zur Eingabe der Maschinendaten

Die Formulare dienen zweierlei Zweck: Zum einen zur Eingabe von Stammdaten durch den Berater (z. B. einer Standardpalette von Maschinen und Arbeitsverfahren) und zum anderen zur Eingabe betriebsspezifischer Daten und zur Modifizierung von Stammdaten bei Beratungssitzungen (s. Abschn. 4.).

Bei der Anwendung der Applikation muß ein Datentransfer von der Datenbank zum Optimierungsmodell stattfinden. Dieser wird dadurch realisiert, daß mittels eines Makros die Tabellen in Textdateien exportiert werden und das AIMMS-Modell Include-Anweisungen für diese Textdateien enthält (s. Abb. 4 in Abschn. 3.3.), die der AIMMS-Compiler ausführt.

Dieses Makro einschließlich der zugehörigen Exportformate ist ebenfalls zu programmieren. Die Entwicklung eines Menüformulars mit Schaltflächen zum Öffnen der Formulare für die

einzelnen Dateneingabefunktionen und zur Ausführung des Datenexport-Makros schließt die Entwurfsarbeiten ab.

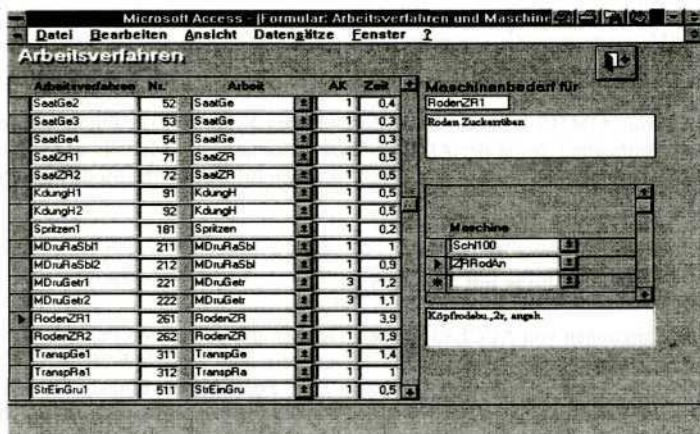


Abb. 2 - Formular zur Eingabe der Arbeitsverfahren

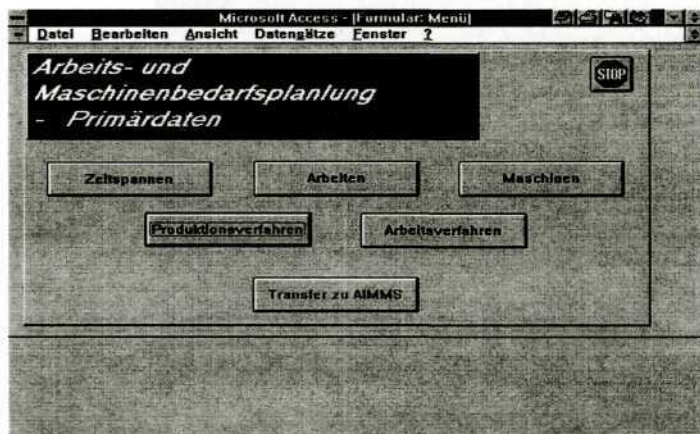


Abb. 3 - Menüformular

### 3.3 Implementierung des AIMMS-Modells

Die Implementierung der Konsistenzbedingungen und der Zielfunktion aus den Punkten (4) - (7) von Abschnitt 3.1. machen folgende drei Modifikationen erforderlich:

- 1) Es sind jeder Arbeit (a) eine laufende Nummer ( $ANr_a$ ) zuzuordnen, der in Abschn. 3.1. verwendete Test " $TVAn_w=a$ " als " $TVAn_w=ANr_a$ " zu implementieren und beim Export der



ACCESS-Tabellen der Wert des Feldes "TVAnw" der Arbeitsverfahren-Tabelle von dem Code der betreffenden Arbeit in deren Nummer umzuwandeln .

2) Die spezifische Nicht-Linearität der Kostenfunktion (s. Abschn. 3.1., Punkt (7)) muß beseitigt werden, und zwar dadurch, daß man die sich auf eigene Maschinen beziehenden Variablen in zwei Exemplaren (Leistung über und Leistung unter der Abschreibungsschwelle) implementiert und zusätzliche Restriktionen einbaut. Das macht aber mit AIMMS wenig Mühe, insbesondere wenn man dies durch Bezugnahme auf eine Indexmenge  $LeistNiv = \{uAS, oAS\}$  bewerkstelligt. Und von dieser Aufspaltung merkt auch der Anwender nichts, da sie nach der Optimierungsrechnung durch diverse Berechnungsoperationen wieder aufgehoben wird.

3) Die MAX-Operatoren der Konsistenzbedingungen aus Punkt (6) von Abschnitt 3.1. müssen eliminiert werden. Auch das läßt sich sehr leicht dadurch erreichen, daß man die Operatoren einfach wegläßt und die Restriktionsindizes um den Zeitbezug erweitert: aus den Restriktionen  $MaBest_m$  und  $MaBestA_m$  werden  $MaBest_{mz}$  und  $MaBestA_{maz}$ .

Abbildung 4 zeigt einen Modellausschnitt mit den genannten Modifikationen. Die weitgehende Übereinstimmung mit den Formeln aus Abschnitt 3.1. ist das äußere Merkmal dafür, daß bei der Implementierung inhaltlich alles beim alten blieb.

Darüberhinaus sind in das AIMMS-Modell Parameter und Restriktionen einzubauen, um bestimmte Szenarien bei einer "interaktiven Beratungssitzung" durchspielen zu können. Im Fallbeispiel etwa soll die Möglichkeit gegeben werden, für Maschinen (Ist- oder Soll-) Anzahlen vorzugeben und Anmietmöglichkeiten zu verbieten (s. Abschn. 4). Die Berücksichtigung vorgegebener Bestandszahlen wird durch folgende Restriktion modelliert:

$$\text{SetBestand}_m : \sum_{n \in \text{LeistNiv}} \text{MaAnzN}_{mn} = \text{Istbest}_m, \quad \forall m \mid \text{Frei} > 0 \wedge \text{IstAnz}_m \geq 0,$$

wobei der Parameter  $\text{Frei}$  zunächst 0 und  $\text{Istbest}_m = -1$  für alle  $m$  im AIMMS-Programm gesetzt werden und bei den Variantenrechnungen geändert werden können (s. Abschn. 4).

Die wesentlichen Vorzüge von AIMMS gegenüber anderen Modellersystemen bestehen in den spezifischen Möglichkeiten zur Präsentation von Ergebnissen und zu einer äußerst effizienten Variantenrechnung. Hierzu enthält AIMMS einen PAGE-Editor zum interaktiven Design von Seiten, die z. B. Tabellen, Balkendiagramme und Texte enthalten können, aber auch Schaltflächen zum Wechsel auf andere Seiten sowie die ganz wichtige Schaltfläche zur Veranlassung der Optimierungsrechnung. Um Variantenrechnungen durchzuführen, kann man Daten direkt auf den Präsentationsseiten ändern und die Optimierung durch Anklicken der Optimierungs-Schaltfläche neu starten. Unterstützt werden Variantenrechnungen weiterhin dadurch, daß sich über ein CASE-Menü Modellvarianten speichern, wieder öffnen und löschen lassen.

Der Entwurf solcher Seiten ist ebenfalls Gegenstand der Implementierung. Ihm ist sogar besondere Aufmerksamkeit zu schenken, da bei "interaktiven Beratungssitzungen" im wesentlichen nur über die verschiedenen Seiten mit dem Modell "gearbeitet" wird. Beim Design der Seiten kann man aber nur die Größen verwenden, die zuvor im AIMMS-Modell definiert sind. Das sind zunächst alle Problemkonstanten und -variablen. Will man weiterhin Größen in die Präsentation einbeziehen, die für den Landwirt relevant zu sein scheinen, sind diese im AIMMS-Modell nach dem Textteil für das Optimierungsmodell als PARAMETER zu deklarieren und ihre Berechnung formelmäßig zu beschreiben. Im Beispiel sind dies u. a. die Maschinenanzahlen, die bei Optimierung nach Leistungsniveaus untergliedert sind, und die Maschinenleistung (s. Abb. 4, Parameter  $MaLeist(m)$ ) sowie die Maschinenkosten und die Hektarkosten der Anbauverfahren in Abhängigkeit von den Maschinen- und AK-Kosten (s. Abschn. 4).



```

SET: PV, TV, Arbeit, Zeit, Maschine;
INDEX: v IN PV, a IN Arbeit, z IN Zeit, t IN TV, m IN Maschine;
SET: LeistNiv := {uAS, oAS }; INDEX: n IN LeistNiv;
PARAMETER: Fla(v), Hfgk(v,a,z), TVAnw(t), ANr(a), ... ;
VARIABLE: TFla((t,z) | EXIST((a,v), TVAnw(t)=ANr(a) AND Hfgk(v,a,z)>0))
          ->[0,inf),
          TFlaE((t,z,m,n) | ...) ->[0,inf),
          TFlaM((t,z,m) | ...) ->[0,inf),
          MaAnzN(m,n) ->{0..20},
          ...
          Kosten ;
CONSTRAINT:
  TvEinsatz((a,z) | EXIST(v,Hfgk(v,a,z)>0)) ..
    SUM[v, Hfgk(v,a,z)*Fla(v)] = SUM[t | TVAnw(t)=ANr(a), TFla(t,z)],
  MaEins((t,z,m) | ...) ..
    TFla(t,z) = SUM[n, TFlaE(t,z,m,n)] + TFlaM(t,z,m),
    ...
  Zielfunktion.. Kosten = ... ;
MODEL: MaschPlan ;
MINIMIZE: Kosten ;
SUBJECT TO: all ;
METHOD: mip;
...
$INCLUDE maschine.dat
...
PARAMETER: MaAnz(m), MaLeist(m);
MaAnz(m) := SUM[n, MaAnzN(m,n)];
FOR (m | MaAnz(m)>0) DO
  MaLeist(m)
    := WENN(IstZugma(m), ZB(t), 1) * SUM[(t,z,n), TFlaE(t,z,m,n)] / MaAnz(m)
ENDFOR;
...

```

Abb. 4 - Optimierungsmodell in AIMMS-Notation (Ausschnitt)

#### 4 Fallbeispiel einer interaktiven Beratungssitzung

Ein Betrieb bewirtschaftet derzeit 1200 ha mit zwei sechsfeldrigen Fruchtfolgen und einer Feldgröße von jeweils 100 ha: Fruchtfolge 1 mit WWe - ZRu - WWe - WGe - WRa - Stl (Stilllegung als Grünbrache) und Fruchtfolge 2 mit WWe - SGe - SBl (Sonnenblumen) - Stl - WGe - WRa. Er hat sich entschlossen, die ihm gebotene Möglichkeit zu nutzen, in zwei Jahren zusätzlich 300 ha einschließlich einer 50 ha entsprechenden Rübenquote zu pachten und diese Fläche mit der Fruchtfolge WWe - ZRu - WWe - WGe - SBl - Stl zu bewirtschaften. Unter den derzeitigen Bedingungen ist er mit seinem Maschinenbestand gut zurechtgekommen. Bis auf die Rübenerte wurden für sämtliche Arbeiten eigene Maschinen eingesetzt, und Analysen ergaben, daß die Maschinen auch genügend ausgelastet waren. Ihn interessiert, welche Maschineninvestitionen die Betriebsausdehnung erfordern würde.

Nachdem mittels der ACCESS-Formulare die betriebsspezifischen Anforderungen eingearbeitet und der Datenexport veranlaßt wurde, will der Landwirt - um Vertrauen zum Modell zu gewinnen - zunächst wissen, was die Optimierung liefert, wenn der Ist-Maschinenbestand und die derzeit laufenden Produktionsverfahren zugrundegelegt werden. Abbildung 5 - mit dem Maschinenbestand in den Spalten "MaAnz" und "Istbest" der linken Tabelle und den Anbau-

flächen in der Spalte "Fla" der rechten Tabelle - und die weiteren Informationen, die er nach Anklicken der anderen Schaltflächen zu sehen bekommt, zeigen ihm, daß die Optimierung Ergebnisse liefert, die in der Nähe seiner Analysen liegen.

AIMMS Faculty

Project Page Model Case Object Window

Case: 1200 ist

**Arbeits- und Maschinenbedarfsplanung - Ergebnisübersicht**  
**Maschinenbedarf - einseitig:**

	MaAnz	AG	MaLeist		MaKost		Istbest	Miebar
			Eigen	Fremd	MaKost	Istbest		
SchM9	2	523	535	2505.50	27.58	3	1	
SchM90	2	833	939	2036.00	41.38	2	1	
PH	2	173				1	1	
PH	2	298	500	1070.00	38.81	2	1	
GRub	1	456	900	250.00	12.19	1	1	
SGRub	1	321	180	526.00	10.42	1	1	
AnbDm6	1	214	500	295.00	12.19	1	1	
AnbDm9	1	286				1	1	
ELDmZn	1	291	100	90.00	82.00	1	1	
DuSt	2	1000	1300	1300.00	8.83	2	1	
PSDp	2	900	100	440.00	5.92	2	1	
MS	3	255	300	1020.00	19.10	3	1	
MDS		300				3	1	
ZPFlodAn		75				1	1	
ZPFlodR		160				1	1	
					190.00	910.00	1	1

3 Anzahl SchM9 [St]

**Anbauverfahren:**

	Fla	ArbKost	FlAnz
VVe	200.00	567	25.00
VVe	200.00	567	16.67
SGe	100.00	832	8.33
ZFu	100.00	995	8.33
SB	100.00	404	8.33
VFla	200.00	494	16.67
Stl	200.00	59	16.67

200 Anbau VVe [ha]  
 (einh. Fläche [St]) = 1200

**AK-Masch.kosten [DM/ha] = 483.41**  
**Deck.beitrag m. MK [DM/ha] = 826.75**  
**Deck.beitrag o. MK [DM/ha] = 1304**  
**Abb.bedarf [St/ha] = 5.04**

**RECHNEN**

Anbau Arbeitsauftr. Maschinen Arbeitsauftr.

Rechnen mit festem Maschinenbestand? (1=ja, 0=nein)

Abb. 5 - Optimierungsergebnisse  
 bisherige Produktionsstruktur; IST-Maschinenbestand

Jetzt stellt er die Frage, wie er mit dem vorhandenen Maschinenbestand bei der vorgesehenen Betriebserweiterung zurechtkommen würde. Der Berater trägt deshalb in der Spalte "Fla" der rechten Tabelle die neuen Anbauflächen ein und klickt auf "RECHNEN". Nach wenigen Sekunden liefert AIMMS Ergebnisse (Abb. 6), die zu erwarten waren: eine höhere Auslastung aller Maschinen bis hin zur Notwendigkeit des Anmietens (große Schlepper, Schwergrubber), die zu geringeren (kalkulatorischen) Maschinenkosten (Spalte "MaKost" der linken Tabelle) und Kosten der Produktionsverfahren (Spalte "ArbKost" der rechten Tabelle) führt.

Bevor er aber selbst weiter probiert, durch explizite Veränderung des Maschinenbestandes eine Verbesserung etwa des DB3 ("Deck.beitrag m. MK [DM/ha]" aus dem fett umrahmten Kästchen) zu erreichen, will er es erst einmal AIMMS überlassen, einen optimalen Maschinenbestand auszurechnen. Hierzu ist lediglich im Kästchen unter der linken Tabelle "0" einzutragen, wodurch der Parameter Frei gesetzt wird (s. Abschn., 3.3.), und auf "RECHNEN" zu klicken.

Abbildung 7 zeigt in der Spalte "MaAnz" der linken Tabelle den errechneten optimalen Maschinenbestand. Bei einigen Maschinen (kleiner Schlepper, Pflanzenschutzmittelspritze) liegt die errechnete optimale Anzahl unter der IST-Anzahl bei einer entsprechend höheren Maschinenleistung gegenüber Abbildung 6. Aus verschiedenen Gründen verwirft der Landwirt diese Vorschläge. Anders ist es beim Schwergrubber (SGRub) und bei dem selbstfahrenden Rübenroder (ZRRodSf), bei denen die errechnete Anzahl über der IST-Anzahl liegt, und bei den Anbaudrillmaschinen, bei denen anstatt der vorhanden mit 6m Arbeitsbreite (AnbDm6) eine mit 9m Arbeitsbreite (AnbDm9) als optimal ausgewiesen wird. Nach einigen Überlegungen, in die er auch Finanzierungsaspekte einbezieht, entschließt er sich, auf den Kauf eines Rübenroders zu orientieren und ansonsten alles beim alten zu belassen. Zur Kontrolle will er sich die erwarteten Konsequenzen von AIMMS bestätigen lassen: Der Berater trägt in der Spalte "Istbest" für den Rübenroder (ZRRodSf) und im Kästchen unter der linken Tabelle "1" ein und klickt auf "RECHNEN".



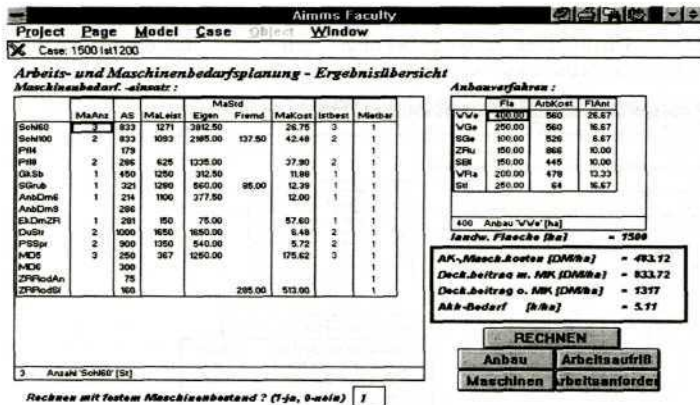


Abb. 6 - Optimierungsergebnisse  
 neue Produktionsstruktur; IST-Maschinenbestand

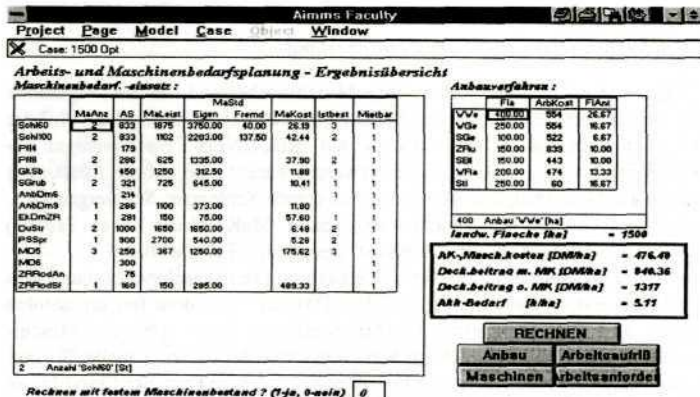


Abb. 7 - Optimierungsergebnisse  
 neue Produktionsstruktur; berechneter Maschinenbestand

Das Ergebnis seiner Festlegungen zeigt Abbildung 8. Bezugnehmend auf die in dem fett umrahmten Kästchen enthaltenen Deckungsbeiträge und Kosten aus Abbildung 5 (alte Produktionsstruktur und IST-Maschinenbestand) und Abbildung 8 (neue Produktionsstruktur und SOLL-Maschinenbestand) und die Tatsache, daß die Betriebserweiterung in jedem Jahr 120 TDM kostet, führt der Landwirt jetzt manuell einige Kalkulationen durch und stellt fest, daß die Entscheidung über die Betriebserweiterung vollkommen richtig war.

AIMMS Faculty

Project Page Model Case Object Window

Case: 1500 Soll

### Arbeits- und Maschinenbedarfsplanung - Ergebnisübersicht

**Maschinenbedarf - Ansatz:**

	MaAnz	AS	MaLeist		MaKost	Istbest	Mietbar
			Eigen	Fremd			
SchMD	3	833	1271	392,50	26,78	3	1
SchMD0	2	833	933	276,00	42,48	2	1
PHR							
PHR	2	286	625	1336,00	37,30	2	1
GA5b	1	450	1250	312,00	11,89	1	1
SGrub	1	321	1280	560,00	95,00	1	1
AnsDm3	1	214	1800	377,50	12,36	1	1
AnsDm3					12,00	1	1
AnsDm3							
AnsDm3							
EXDmZP	1	281	350	75,00	57,60	1	1
DuSte	2	1000	1650	1650,00	6,48	2	1
PS5pr	2	900	1350	540,00	5,72	2	1
MD6	3	250	367	1250,00	175,62	3	1
MD6							
ZPProdAn							
ZPProdSt	1	800	850	285,00	483,33	1	1

3 Ansatz 'SchMD' [Bt]

**Rechnen mit festem Maschinenbestand ? (1=Ja, 0=Nein)**  1

**Anbauverfahren:**

	Fla	Arbeitsk	Flkwa
VVe	400,00	560	26,67
vGe	250,00	560	16,67
SGe	100,00	526	6,67
ZPa	150,00	842	10,00
SEI	150,00	445	10,00
vPa	200,00	478	13,33
SEI	250,00	64	16,67

400 Anbau vVe [ha]

**landw. Fläche [ha] = 7500**

**AK-Masch.kosten [DM/ha] = 490,75**

**Deck.beitrag m. AK [DM/ha] = 836,09**

**Deck.beitrag o. AK [DM/ha] = 1377**

**AK-Bedarf [Bt/ha] = 5,17**

**RECHNEN**

Anbau    Arbeitsanfor.

Maschinen    Arbeitsanfor.

Abb. 8 - Optimierungsergebnisse  
neue Produktionsstruktur; SOLL-Maschinenbestand

## 8 Literatur

- BISSCHOP J. UND ENTRIKEN R. (1993): "AIMMS - the Modelling System" (Manual zum Programm), Paragon Decision Technology B.V., 2001 DG Haarlem (NL)
- BRANDES W. und ODENING M.(1992): "Investition, Finanzierung und Wachstum in der Landwirtschaft", Ulmer Verlag, Stuttgart
- GARDARIN G. UND VALDURIEZ P. (1989): "Relational Databases and Knowledge Bases", Addison-Wesley, Reading (Mass.)
- RAUH O. (1990): "Informationsmanagement im Industriebetrieb", Verlag Neue Wirtschafts-Briefe, Herne/Berlin
- WENDT K. (1994): "Datenmodellierung, Nutzung von Datenbanken und von Modellersprachen zur Entscheidungsunterstützung", In: Berichte der Gesellschaft für Informatik der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft, Band 6, GIL
- WENDT K. (1995): "Referenzmodelle landwirtschaftlicher Entscheidungsaufgaben und ihre Implementierung mittels Standardsoftwaresystemen", In: Berichte der Gesellschaft für Informatik der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft, Band 7, GIL