

Zur Nutzung verschiedener PC-Software der linearen Optimierung in der Ausbildung von Diplomagraringenieuren an der Martin-Luther-Universität

S. Hahn, Halle

1. Einleitung

Zur Lösung zahlreicher Entscheidungsprobleme ist das Modell der linearen Optimierung (LO) geeignet, welches die folgenden Bestandteile enthält:

- n Aktivitäten (Maßnahmen) P_j ($j=1,2,\dots,n$) und deren Durchführungsumfänge x_j als Problemvariablen (sog. Spaltenvariablen)
- lineare Zielfunktion(en) inkl. Optimierungsrichtung
 $Z = c^T \cdot x \rightarrow \text{max. oder min.}$
- m Restriktionen in Form eines linearen Ungleichungssystems ($i=1,2,\dots,m$) $A \cdot x \leq b$
(Das Symbol T bedeutet wahlweise \leq , \geq oder $=$ -Zeichen)
- Nichtnegativitätsbedingungen für die Problemvariablen x_j ($j=1,2,\dots,n$), $x_j \geq 0$

2. Explizite und implizite Darstellung von LO-Modellen

Aufbauend auf das im Grundstudium vermittelte Wissen zur mathematischen Optimierung sind die Studenten im Fachstudium zu befähigen, konkrete Entscheidungsprobleme durch Anwendung von LO-Modellen zu lösen.

Zur Abbildung solcher Probleme können LO-Modelle entweder

- explizit oder
- implizit

dargestellt werden.

Charakteristikum der expliziten Darstellung eines O-Modells ist eine Tabelle, die sowohl die konkrete Modellstruktur als auch sämtliche Konstanten des Modells in geschlossener Form wiedergibt.

Das komplette Modell kann auf dem Bildschirm betrachtet und erforderlichenfalls korrigiert werden.

Die explizite Modelldarstellung ist besonders für relativ kleine Modelle (z. B. $m+n \leq 100$) empfehlenswert. Außerdem ist sie sehr geeignet zur Verifikation der Modelle, zum Erlernen vor allem komplizierter Modellierungstechniken und zur Durchführung von Modellexperimenten.

Charakteristikum der impliziten Darstellung von O-Modellen ist folgendes:

- Für das zu lösende originale O-Problem wird zunächst die Modellstruktur sachbezogen in algebraischer Form, u. a. mittels Indextmengen, bei Nutzung einer spezifischen Modellierungssprache, z. B. LPL, dargestellt.
- Die Input-Daten werden extern in Matrizenform bzw. als Mengen vorgegeben oder aus einer Datenbank aufgerufen. Das komplette LO-Modell wird automatisch als MPS-File mittels LPL erzeugt (generiert).

Die **Vorteile** der Anwendung der **impliziten gegenüber der expliziten Modelldarstellung** bestehen in folgendem:

- Die Modellstruktur wird in **komprimierter Form** durch Definition algebraischer Ausdrücke sowie logischer Variabler abgebildet und läßt sich erforderlichenfalls einfach **modifizieren**.
- Die Werte der Modellkonstanten werden **extern** berechnet oder aus einer **Datenbank** entnommen.
- Die **Größe** des **O-Modells** ist beliebig, z. B. $m+n \geq 2000$.

Die zu verwendende Darstellungsform hängt ab von

- den **Fähigkeiten und Fertigkeiten** des **Modellierers**
- der **Problemgröße**
- den verfügbaren **Umgebungsprogrammen** zur **Modelleingabe** und **-generierung** sowie zur Ergebnisaufbereitung
- von der Hardware sowie der PC-Software zur Modellberechnung und Ergebnisaufbereitung.

3. In der Ausbildung eingesetzte PC-Optimierungssoftware

Die LO-Software läßt sich in folgende drei Gruppen gliedern:

- 1.) **integrierte Optimierungs(LO)-Software**,
- 2.) **reine Optimierer**,
- 3.) **Umgebungsprogramme** für die **Optimierer**.

Zu 1.): Integrierte LO-Software umfaßt in einem **geschlossenen System** **Programmmodule** zur

- **Eingabe** des Modells in Tabellenform
- **Modellkorrektur** (Editor)
- **Aufbereitung** der Optimierungsergebnisse.

Die Abarbeitung der **Programmmodule integrierter LO-Software** erfolgt meistens im **Dialog** (Menütechnik).

Die wesentliche **Voraussetzung** für die Anwendung **integrierter LO-Software** ist die Existenz des **kompletten Modells** in **Tabellenschreibweise**, d. h. in **expliziter Darstellungsform**.

Es hat sich gezeigt, daß **Anfänger** am einfachsten durch Nutzung **integrierter LO-Software** Berechnungs-Ergebnisse aus ihren eigenständig formulierten Modellen erzielen.

Für die Ausbildung an der Landwirtschaftlichen Fakultät in Halle ist im PC-Pool folgende integrierte LO-Software verfügbar:

- KOLIOP (deutsch)
- CAP (deutsch)
- LP (aus QSB*) (englisch), IBM-kompatibel
- LVOPT (deutsch)
- TRP(aus QSB*) (englisch) zur Transportoptimierung

Zu 2.): Reine Optimierer sind solche Softwareprodukte, die ausschließlich **Programmmodule** zur **Lösung** von O-Modellen enthalten.

Folgende an der Landwirtschaftlichen Fakultät verfügbare LO-Softwareprodukte sind **reine Optimierer**:

- XA
- IMPROVE (IBM-kompatible Software in englisch)
- MOPS.

Voraussetzungen für die Nutzung der **reinen Optimierer** sind:

- Das zu lösende O-Modell muß in einer **speziellen Eingabedatei** - dem sog. **MPS-File** - vorliegen. Zur Erstellung dieses MPS-Files sind gesonderte **Umgebungsprogramme** (s. zu 3.) einzusetzen.

- **Modellkorrekturen** sind meistens **nicht** mit dem **Optimierer** auszuführen, sondern müssen mittels eines **externen Modelleditors** im MPS-File oder im Spreadsheet (XLS oder WK1) vorgenommen werden.

- Die **Optimierungsergebnisse** werden softwarespezifisch in einem **SOLUTION-File** wahlfrei auf dem **Bildschirm** oder als **Druckdatei** geliefert.

Zu 3.) In Abhängigkeit vom jeweiligen **Optimierer** sowie von der gewählten **Darstellungsform des LO-Modells** (explizit oder implizit) sind notwendig

(a) **Umgebungsprogramme** zur Dateneingabe und zur Generierung von **expliziten LO-Modellen** sowie zur Aufbereitung der O- Ergebnisse

(b) **Umgebungsprogramme** zur **Dateneingabe** und zur **Generierung** von **impliziten O-Modellen** sowie zur Aufbereitung der O-Ergebnisse

Zu (a): In dem **Datenfile**, das mit dem **Umgebungsprogramm** zu erstellen ist, muß ein **direkter Bezug** auf jedes einzelne Modellelement erfolgen. Das ist möglich entweder durch

- Einsatz von Textprozessoren oder beliebigen Editoren zur Erstellung eines problemspezifischen **MPS-Files** oder

- Anwendung von Tabellenkalkulatoren (z. B. LOTUS, EXCEL) zur Erstellung eines spezifischen Spreadsheets für das O-Problem.

Die Nutzung von Tabellenkalkulatoren schließt zugleich die mögliche **Berechnung** von **Modellkosten** ein.

Gegebenenfalls werden auch die **Berechnungsergebnisse** mit dem betreffenden Tabellenkalkulator als Umgebungsprogramm **aufbereitet**.

Je nachdem, welcher **reine Optimierer** zur Lösung verwendet wird, müssen jeweils in **spezifischen Programmmodulen** und **Steuerprogrammen**, z. B. bei XA im LTS-File (Look To Spreadsheet) und im CLP-File (Commando Line Parameter), **eindeutige Bezüge** zu den **Input- und Output-Files des Optimierers** vom Nutzer vorgegeben werden.

Zu (b): Bei **impliziter Modelldarstellung** liegt die Modellstruktur in algebraischer Form vor; und bezüglich der **Erzeugung des Input-Files** des Optimierers ist ein **Bezug auf Gruppen von Modell-Elementen** erforderlich, was beispielsweise mit Hilfe der Modellierungssprache LPL ausführbar ist: LPL generiert automatisch ein **MPS-File**, worauf die reinen Optimierer XA, MOPS, IMPROVE sowie auch LP (aus QSB*) direkt zugreifen können.

Voraussetzungen und Vorteile bei Anwendung von **Umgebungsprogrammen** (b) sind:
- Die **Struktur** des O-Modells ist **sachbezogen in algebraischer Form** (u. a. mittels **Indexmengen**) zu beschreiben, und die Primärdaten sind **aus externen Dateien** zu übernehmen.

Mittels **LPL** wird das komplette Input-File beliebiger Größe automatisch generiert.

- Zur Implementierung des Modells ist es **nicht** notwendig, das LO-Modell in Tabellenform aufzuschreiben.

- Mittels **LPL** können auch **problemspezifische Module** für die **Aufbereitung der O-Ergebnisse** erstellt werden.

4. Zu den Outputs von LO-Berechnungen

Nach der Berechnung des LO-Modells ist eine sachbezogene Aufbereitung der O-Ergebnisse vorzunehmen und dabei gegebenenfalls die bei verschiedener PC-Software angebotenen

zusätzlichen Aufbereitungsmöglichkeiten, z. B. Sensitivitätsanalysen, zu nutzen. **Standardmäßig** werden bei allen Arten von **PC-Optimierungssoftware** folgende Outputs geliefert:

- **Spaltensektion (Spaltenvariablen)**
 - . Umfang x_j der im optimalen Programm enthaltenen Aktivitäten
 - . Bewertungen ($c_j - z_j$) der Problemvariablen x_j , auch "realer Nutzen" oder "Grenzverlust" genannt. (Aus den Zielfunktionskoeffizienten c_j und den "Grenzverlusten" ergibt sich der "entgangene Nutzen").
- **Zeilensektion (Zeilenvariablen)**
 - . Werte der aktuellen sowie weiterer Zielfunktionen
 - . Zeilenwerte, d. h. Informationen über die Erfüllung der Rechte-Seite-Werte (Restkapazitäten bei \leq bzw. Überschüsse bei \geq -Restriktionen)
 - . Zeilenbewertungen, sog. Dualwerte, welche gegebenenfalls die "Betriebswerte knapper Faktoren" angeben.

Mit der PC-Software **XA** und **LP (QSB*)** werden standardmäßig in den Outputs zusätzlich noch Informationen zur **Stabilitätsanalyse (Marginal Analysis und Cost Analysis)** angeboten.

Durch **Nutzung entsprechender Umgebungsprogramme** zur **Aufbereitung** der O-Ergebnisse können die Ergebnisinformationen nutzergerecht bereitgestellt werden.

Außerdem wurden von WEIGELT (1990) und von BÖTTGER (1991) spezielle **REPORT-Programme** zur Aufbereitung von O-Ergebnissen entwickelt, die auf Standardergebnisinformationen der reinen Optimierer **XA**, **MOPS** oder **IMPROVE** zurückgreifen und vor allem für praxisorientierte **Variantenvergleiche** empfehlenswert sind.

5. Schlussfolgerungen aus den Erfahrungen beim Einsatz von PC-Software zur linearen Optimierung

- (1.) Voraussetzung für die Nutzung von PC-Optimierungssoftware ist die Vermittlung von **mathematischen Grundlagen** zur linearen Optimierung im **Grund- und im Fachstudium**, zu den Darstellungsformen (**explizit und implizit**) von O-Modellen sowie insbesondere zu Modellierungsprinzipien, damit die Studenten fähig sind, **eigenständig Modelle** zur Abbildung originaler Optimierungsprobleme aufzustellen.
- (2.) Für **Anfänger** bezüglich der Nutzung von LO-Software hat sich der Einstieg mit **integrierter O-Software** (in Menütechnik) als **effektiv** erwiesen, wofür das komplette LO-Modell in **Tabellenform** zu erstellen ist. Zunächst sollte die Modellgröße relativ klein ($m+n \leq 50$) sein. Die Studierenden sollten unterschiedliche Modellierungsprinzipien und Modellberechnungen an überschaubaren Problemen vergleichend **bei Nutzung verschiedener O-Softwareprodukte**, z. B. KOLIOP, CAP und LP (aus QSB*), ausprobieren.
- (3.) Die Verwendung von Tabellenkalkulatoren als spezielle Umgebungssoftware (z. B. EXCEL oder LOTUS) für die reinen Optimierer zur Eingabe des Modells in Tabellenform sowie zur Ermittlung der Werte einzelner Modellkonstanten festigt bei den Studenten die Fähigkeiten und Fertigkeiten im Umgang mit Standardsoftwareprodukten.
- (4.) Es hat sich als günstig erwiesen, den Studenten **Einweisungen in verschiedene LO-Softwareprodukte** - inkl. Umgebungsprogramme - im Rahmen von Übungen im PC-Pool unter Verwendung eines Overhead-Displays anzubieten. Dabei sollten die Studenten auch auf die notwendigen konkreten **Arbeitsschritte zur Anwendung der mathematischen Optimierung** hingewiesen werden, insbesondere auf die Modellierungs-

prinzipien und -techniken. Es ist dem Lernprozeß dienlich, den Studenten geeignete **gedruckte Lehr- und Übungsbeispiele** sowie kurze **Nutzeranweisungen** zur Handhabung der verschiedenen LO-Software zur Verfügung zu stellen.

- (5.) Für **größere praxisrelevante Optimierungs-Probleme** ist die Verwendung der **impliziten** Modelldarstellung zur Implementierung des Modells effektiv. Da bisher den Studenten im Grundstudium keine entsprechenden Kenntnisse zu algebraischen Ausdrucksweisen und Indextmengen vermittelt wurden, erfordert die Anwendung der **impliziten LO-Modelldarstellung** in Verbindung mit **LPL** eine entsprechende Einarbeitungszeit und intensives Selbststudium. Aufgrund der Notwendigkeit, die Studenten zu befähigen, auch "große" LO-Modelle der Praxis zu beurteilen und zu bearbeiten, sind künftig Übungen mit **implizit dargestellten Modellen** verstärkt in das Ausbildungsangebot aufzunehmen.
- (6.) Die Nutzung von O-Software verlangt von den Studenten eine besonders **aktive Mitarbeit** und **eigenständiges Denken**. Die Durchführung von **Modellexperimenten mittels Variantenberechnungen** - gleichsam durch "Probieren am PC" - fordert von den Studenten, Wissen und Fähigkeiten aus verschiedenen Fachgebieten aktiv zu kombinieren, wodurch die interdisziplinäre Wissensaneignung unterstützt wird.