



Thema:

Verschnittoptimierung in der Holzindustrie

Studienarbeit

Arbeitsgruppe Wirtschaftsinformatik

Themensteller: Prof. Dr. Hans-Knud Arndt

Betreuer: Prof. Dr. Gerhard Wäscher

Vorgelegt von: Sebastian König

Abgabetermin:

I Inhaltsverzeichnis

I Inhaltsverzeichnis	II
II Abkürzungsverzeichnis	III
III Abbildungsverzeichnis.....	III
IV Tabellenverzeichnis	III
1 Einleitung.....	1
2 Betrachtungsgegenstand der Arbeit	2
2.1 Vorstellung des Unternehmens Nordlam GmbH	2
2.2 Problembeschreibung	4
3 Modellformulierung und Lösungsansatz	7
3.1 Indexmengen, Parameter, Konstanten und Variablen.....	7
3.2 Schnittmuster und zulässige Restlängen	9
3.3 Optimierungsmodell.....	10
3.4 Softwaretechnische Umsetzung des Entscheidungsunterstützungssystems.....	12
4 Durchführung eines Planungsszenarios	19
4.1 Vorstellung der Problemdaten.....	19
4.2 Auswahl eines Planungsauftrages	21
4.3 Auswertung des Planungsergebnisses	22
5 Zusammenfassung und Ausblick	25
Literaturverzeichnis.....	27

II Abkürzungsverzeichnis

AMPL	A Mathematical Programming Language
BSH	Brettschichtholz
DTD	Dokumenttyp-Definition
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
XML	Extensible Markup Language

III Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Darstellung der Modellformulierung in AMPL.....	12
Abb. 2: Eingabemaske der benötigten Pfadangaben.....	15
Abb. 3: Eingabemaske zum Anlegen eines Breitenprofils.....	17
Abb. 4: Restlängeneinteilung für ein gewähltes Breitenprofil.....	17
Abb. 5: Darstellung einer Datendatei in Auszügen.....	20
Abb. 6: Auswahldialog der zu planenden produktgruppenbezogenen Kundenaufträge.....	22
Abb. 7: Zusammenfassende Darstellung der erhaltenen Lösungsvorschläge.....	23
Abb. 8: Detaillierte Darstellung eines Lösungsvorschlags.....	24

IV Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Elemente der verwendeten Datenbank-Views.....	16
Tab. 2: Beispieldatensatz für die Produktgruppe „80x180 - BSH BS11 Sicht“.....	19

1 Einleitung

Zu den klassischen Anwendungsgebieten des Operations Research gehören die Zuschnittprobleme, welche beispielsweise in der Stahl-, Papier- oder Holzindustrie auftreten. Das Ziel der Zuschnittplanung ist, aus einem Ausgangsmaterial die benötigten Stücke so herauszuschneiden, dass entweder die Anzahl der für die Auftragserfüllung benötigten Ausgangsmaterialien oder der als Abfall zu wertende Verschnitt minimiert wird. Dabei muss der Verschnitt nicht automatisch Abfall darstellen, sondern kann im Falle einer entsprechenden Restlänge für weitere Zuschnitte verwendet oder eingelagert werden.¹ Mit der Problematik der Verschnittoptimierung haben sich bereits zahlreiche Autoren wie Wäscher und Gau (1996), Gradisar, Kljajic, Resinovic und Jesenko (1999) sowie Scheithauer und Belov (2002) befasst. Die Verbesserung der Zuschnittplanung ist für die Unternehmenspraxis von großer Bedeutung, weil diese ein hohes Maß an Kosteneinsparpotenzialen aufweist. Die Umsetzung wird jedoch aufgrund von fehlenden Referenzmodellen erschwert, aus denen beliebige Unternehmen deren individuellen Anforderungen ableiten können. Aufgrund dessen besteht bei der Umsetzung die Notwendigkeit die vorhandenen Lösungsverfahren anzupassen bzw. neu zu entwickeln, um die individuellen Anforderungen und speziellen Gegebenheiten eines Unternehmens erfassen zu können.

Die vorliegende Arbeit gliedert sich wie folgt: Im ersten Abschnitt des zweiten Kapitels wird das Unternehmen Nordlam GmbH und dessen Vorgehen bei der Planung von Zuschnitten vorgestellt. Im zweiten Teil werden ausgehend von der Problembeschreibung die Anforderungen an das zu entwickelnde Optimierungssystem abgeleitet, das im dritten Kapitel zunächst mathematisch aufbereitet und anschließend in einer mathematischen Modellierungssprache zur rechnergestützten Lösung überführt wird. An dieser Stelle wird weiterhin eine für das Unternehmen entwickelte graphische Benutzeroberfläche vorgestellt. Das vierte Kapitel beschreibt anhand eines Planungsszenarios das implementierte System sowie die für die Planung durchzuführenden Arbeitsschritte. Das fünfte Kapitel fasst die Arbeit sowie die dadurch erzielten Erfolge zusammen und gibt einen Ausblick auf mögliche Verbesserungen der aufgezeigten Implementierung.

¹ Vgl. Neumann, Morlock (2002), S. 423ff.

2 Betrachtungsgegenstand der Arbeit

2.1 Vorstellung des Unternehmens Nordlam GmbH

Das in Magdeburg ansässige Unternehmen Nordlam GmbH ist in der Holzverarbeitenden Industrie tätig und fertigt seit 2001 die Warengruppen Brettschichtholz (BSH) und Leimholz.² Die international nachgefragten Erzeugnisse finden beispielsweise im Baugewerbe bei der Errichtung von Wohnhäusern, Industriehallen, Dach- und Wandkonstruktionen Anwendung. Da das Unternehmen den Großteil seines Umsatzes durch BSH generiert, wird im weiteren Verlauf der Arbeit auf eine nähere Betrachtung von Leimholz verzichtet.

Für die Herstellung von BSH werden so genannte Brettlamellen benötigt. Als Rohstoff hierfür dienen ausschließlich Nadelhölzer wie nordische Fichten- und Tannenhölzer. Vor Produktionsbeginn werden die Brettlamellen maschinell getrocknet und anschließend einer Sicht- und Festigkeitskontrolle unterzogen, wodurch die Rohware in verschiedene Qualitäts- und Festigkeitsstufen unterteilt wird. Der strukturelle Aufbau von BSH zeichnet sich dabei durch den Einsatz von mindestens drei breitseitig, faserparallel angeordneten Brettlamellen aus, welche miteinander verleimt und unter hohem Druck zusammengefügt werden. Das erstellte Erzeugnis wird als Binder bezeichnet. Um Binder herstellen zu können, die länger als die eingesetzten Brettlamellen sind, werden mehrere Brettlamellen durch eine Keilzinkung miteinander verbunden.³ Standardmäßig werden Längen von 12 m, 13,5 m, 16 m und 24 m gefertigt, wobei Binder mit einer Länge von 24 m die technisch maximal erreichbare Produktionslänge des Werkes darstellen. Die Mindestbreite der Binder beträgt 60 mm und kann in 20 mm-Abständen eine Maximalbreite von 300 mm erreichen. Die Binderhöhen variieren ebenfalls in 20 mm-Schritten, wobei die minimale Höhe 80 mm und die maximale Höhe 1.260 mm beträgt. Weiterhin besteht die Möglichkeit, kundenspezifische Zwischendimensionen durch Hobelmaßnahmen zu fertigen. Die Qualitätseigenschaften von BSH können in drei Stufen differenziert werden: Sicht-, Industrie- und Auswahlqualität. Als Sichtqualität werden Binder bezeichnet, die aus

² Vgl. Nordlam (2007).

³ Vgl. Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. (2007).

hochwertigen gehobelten Decklamellen, d.h. ohne Astlöcher und Fehlerstellen, bestehen und in Bereichen verbaut werden, welche einen Blick auf die eingesetzten Binder erlauben. Unter Industriequalität werden Binder verstanden, die ästhetische Fehlerstellen aufweisen können und beispielsweise für Unterputzkonstruktionen verwendet werden. Die Auswahlqualität stellt eine Zwischenstufe zwischen Sicht- und Industriequalität dar. Ferner wird BSH aufgrund der vielseitigen Einsatz- und Verwendungszwecke in die Festigkeitsstufen BS11, BS14, BS16 und BS18 unterteilt. Mit Hilfe der Angabe von Dimension (Breite, Höhe), Qualität und Festigkeit lassen sich Produktgruppen definieren. Dabei ergibt sich rechnerisch für die Nordlam GmbH eine Angebotsvielfalt von insgesamt 8.580 Standardproduktgruppen. Eine Analyse der Geschäftsvorfälle zwischen den Jahren 2006 und 2007 ergab jedoch, dass 90,7% des generierten Umsatzes auf lediglich 48 verschiedene Produktgruppen entfielen.

Innerhalb des Unternehmens existieren eine Reihe verschiedener Lagerstätten, in denen die Erzeugnisse aufbewahrt werden können. Im Fertigwarenlager werden die aus der Produktion stammenden Standardproduktionslängen zu Paketen zusammengefasst und eingelagert. Im Bereich der Kommissionierung verfügt das Unternehmen über ein Hochregallager, welches die Basis der kundenorientierten Auftragsbearbeitung darstellt. Die Bearbeitung eines Auftrages im Kommissionierbereich umfasst dabei den Zuschnitt einer kundenspezifischen Länge einer nachgefragten Produktgruppe. Beim Zuschnitt anfallende, nicht dem Kundenauftrag zuzuordnende Binderlängen werden als Reststücke bezeichnet und ebenso wie Standardproduktionslängen im Hochregallager eingelagert. Die Waren befinden sich in beweglichen Kassetten, die bei Bedarf automatisch zur Kommissionierstation befördert werden können. Das Lager enthält 990 Kassetten, was einer Lagerkapazität von ungefähr 4.500 m³ Holz entspricht. Aufgrund der Lagerpolitik ist nicht zwangsläufig gewährleistet, dass sich nur Waren einer Produktgruppe in einer Lagerkassette befinden. Vielmehr kann die Notwendigkeit bestehen, für die Bearbeitung der Kundenaufträge einer Produktgruppe mehrere Kassetten aus dem Lager anzufordern, wobei beachtet werden muss, dass bedingt durch bauliche Gegebenheiten maximal drei Kassetten gleichzeitig aus dem Lager entnommen werden können.

Bei der Bearbeitung von eingehenden Kundenaufträgen erfolgt zunächst eine produktgruppenbezogene Analyse des Auftragsvolumens, auf deren Basis entschieden werden muss, ob ein Auftrag entweder aus dem Fertigwarenlager, der Produktion oder der Kommissionierung bzw. jeweils zu Teilen aus den einzelnen Bereichen bedient

werden kann. Der Kundenauftrag kann beispielsweise nur aus dem Fertigwarenlager bedient werden, wenn dieser Standardproduktionslängen umfasst und diese auch verfügbar sind. Werden jedoch Nicht-Standardproduktionslängen nachgefragt oder die nachgefragten Längen sind nicht im Lager vorrätig, so besteht die Möglichkeit, diese Kundenlängen zu produzieren. Voraussetzung dafür ist, dass zum einen freie Kapazitäten innerhalb der Produktion verfügbar sind und dass zum anderen die für die Herstellung benötigten Pressen nach Möglichkeit vollständig ausgelastet werden. Andernfalls wird versucht, den Auftrag durch die Kommissionierung zu befriedigen. Die Kommissionierung bearbeitet weitestgehend Kundenaufträge, bei denen eine Produktion aufgrund von zu geringen nachgefragten Stückzahlen nicht lohnenswert erscheint oder die nachgefragten Binderlängen nicht den produzierten Standarddimensionen bzw. Standardlängen entsprechen.

2.2 Problembeschreibung

Wie bereits erwähnt, fallen durch den kundenorientierten Zuschnitt im Bereich der Kommissionierung Reststücke unterschiedlicher Länge an. Das Unternehmen unterscheidet hierbei in Restlängen, die sich mit hoher Wahrscheinlichkeit noch vermarkten lassen und unverkäuflichen Restlängen, die Abfall darstellen und entsorgt werden müssen. Zu dieser Klasse gehören alle Reststücke mit einer Länge von unter zwei Metern. Mit der Planung, aus welchem Ausgangsmaterialstück die vom Kunden nachgefragte Länge geschnitten wird, ist ein Mitarbeiter betraut. Dieser ist den gesamten Arbeitstag damit beschäftigt, alle Kundennachfragen manuell so zuzuordnen, dass dabei ein möglichst geringer Abfall generiert wird und unnötige Kassettenanforderungen vermieden werden. Die Entscheidungen werden auf Grundlage von persönlichen Erfahrungswerten und Intuition getroffen. Gemessen am gesamten Materialeinsatz werden pro Jahr im Durchschnitt etwa fünf Prozent Abfall erzeugt. Ein Prozent Abfall entspricht einer Größenordnung von derzeit ca. 45.000 Euro. Vergleichbare Mitbewerber dieser Branche beziffern dahingegen den jährlich generierten Abfall auf ca. zwei Prozent. Diese Diskrepanz und die daraus resultierenden Kosteneinsparpotenziale sah das Unternehmen als Anlass, den entstehenden Abfall signifikant zu senken und somit einen Beitrag zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens zu leisten.

Ausgehend von diesen Überlegungen wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Entscheidungsunterstützungssystem für den Kommissionierbereich der Nordlam GmbH

entwickelt und implementiert. Die mathematische Grundlage dieses Systems bildet ein lineares Optimierungsmodell. Bei der Berechnung einer Lösung müssen die folgenden Zielstellungen betrachtet werden:

- Der beim Zuschnitt erzeugte Abfall und die daraus resultierenden Kosten sind zu minimieren.
- Die Anzahl der aus dem Lager zu entnehmenden Kassetten ist zu minimieren.
- Die Verwendung von Standardlängen ist zu vermeiden, stattdessen sind vorrangig bereits eingelagerte Restlängen zu verwenden.
- Die beim Zuschnitt erzeugten Reststücke müssen zur Wiederverwendung geeignet sein, wobei der Wiederverwendungsgrad in Abhängigkeit zur Produktgruppe betrachtet werden muss.

Da sich die angestrebten Planungsziele nur schwer in einem Optimierungsmodell umsetzen lassen, wurde ein Entscheidungsunterstützungssystem entwickelt, welches durch Verwendung des Optimierungsmodells verschiedene Lösungsvorschläge eines Planungsproblems erzeugt. Aus diesen kann der Mitarbeiter die beste Lösung auswählen, wobei die einzelnen Vorschläge versuchen, einen Kompromiss zwischen den genannten Planungszielen zu schaffen. Aufgrund der Komplexität des Modells und der Modellparameter wird dem Mitarbeiter eine graphische Benutzeroberfläche zur Verfügung gestellt, welche die für das Modell erforderliche Dateneingabe und -aufbereitung unterstützt, die generierten Lösungsvarianten visualisiert sowie die bisher manuell durchgeführte Reservierung der für den Zuschnitt ausgewählten Ausgangsmaterialien teilautomatisiert. Durch den somit erreichten höheren Automatisierungsgrad des Planungsvorganges wird erwartet, dass der Arbeitszeitbedarf des Mitarbeiters reduziert werden kann und sich zusätzliche Kosteneinsparungen realisieren lassen.

Besondere Eigenschaften des dieser Arbeit zugrunde liegenden Zuschnittproblems sind unter anderem die unterschiedlichen Längen der Ausgangsmaterialien und die relativ geringen Nachfragehäufigkeiten der verschiedenen Kundennachfragelängen. Gemäß der vorgeschlagenen Typologie von Zuschnitt- und Packproblemen durch Wäscher, Haußner und Schumann (2007) sind diese charakteristisch für das so genannte „Residual Bin-Packing Problem“ bzw. das „Residual Cutting Stock Problem“. Diese Problemklasse erfährt eine Erweiterung um die Betrachtung von vorgelagerten

Transport- bzw. Handlingprozessen sowie die Bildung von Reststücken unter dem Aspekt der Wiederverwendung in nachfolgenden Zuschnittplanungen. Publikationen, die sich mit dieser oder ähnlichen Problemstellungen befassen, wurden bereits von Verfassern wie Scheithauer (1991), Gradisar, Resinovic und Kljajic (1999), Trkman und Gradisar (2007) sowie Cherri, Arenales und Yanasse (2007) betrachtet.

Im folgenden Kapitel werden zunächst die für das Optimierungsmodell benötigten Indexmengen, Konstanten, Variablen und Parameter eingeführt und anschließend das erarbeitete mathematische Modell vorgestellt. Abschließend wird die Umsetzung des Modells in der Modellierungssprache AMPL betrachtet.

3 Modellformulierung und Lösungsansatz

3.1 Indexmengen, Parameter, Konstanten und Variablen

Indexmengen:

- I Indexmenge der vorhandenen Ausgangsmaterialien mit $I = \{1, 2, \dots, n\}$;
- J Indexmenge der von Kunden nachgefragten Längen mit $J = \{1, 2, \dots, m\}$;
- K Indexmenge der Lagerkassetten mit $K = \{1, 2, \dots, o\}$;
- $P(i)$ Indexmenge der zulässigen Schnittmuster, die für das Ausgangsmaterial vom Typ i ($i \in I$) des Optimierungsproblems generiert wurden;
- T Indexmenge der Intervalle, welche die zulässigen Reststücklängen beschreiben mit $T = \{1, 2, \dots, q\}$;

Parameter:

- ALMAX Obergrenze des Verschnitts, der in einem Schnittmuster als maximale Abfalllänge zugelassen wird;
- RLMIN _{t} Untergrenze des Verschnitts im Intervall t ($t \in T$), der in einem Schnittmuster als minimale Reststücklänge zugelassen wird;
- RLMAX _{t} Obergrenze des Verschnitts im Intervall t ($t \in T$), der in einem Schnittmuster als maximale Reststücklänge zugelassen wird;

Dabei gilt:

- $ALMAX < RLMIN_1$,
- $RLMIN_t < RLMAX_t$ $t \in T$.

SNMAX _{i} maximale Anzahl an Ausgangsmaterialien vom Typ i ($i \in I$), die in der Lösung akzeptiert werden;

ZABF prozentuale Angabe des prognostizierten Abfalls bei der Erzeugung eines Reststücks und dessen Verwendung in zukünftigen Zuschnittprozessen;

Konstanten:

- s_i Vorrat an verfügbarem Ausgangsmaterial vom Typ i ($i \in I$);
- d_j Menge der Kundennachfrage vom Typ j ($j \in J$);
- L_i Länge des Ausgangsmaterials i ($i \in I$);
- l_j Länge der Kundennachfrage j ($j \in J$);
- a_{ijp} Häufigkeit, mit der eine Kundennachfragelänge j ($j \in J$) im Schnittmuster p ($p \in P(i)$) im Ausgangsmaterial vom Typ i ($i \in I$) enthalten ist;
- v_{ik} Menge der in Kassette k ($k \in K$) vorhandenen Ausgangsmaterialien vom Typ i ($i \in I$);
- r_{ip} Länge des Verschnitts, wenn das Schnittmuster p ($p \in P(i)$) auf das Ausgangsmaterial vom Typ i ($i \in I$) angewendet wird;
- c^{hand} Handlingkosten, die sich aus den Kosten einer Kassettenanforderung aus dem Kommissionierlager und den Kosten für das Identifizieren und Herausgreifen des benötigten Ausgangsmaterials aus einer Kassette zusammensetzen;
- c^{abf} Abfallkosten je Längeneinheit des Ausgangsmaterials;
- c_{ip}^{mat} Abfallkosten, die durch Anwendung eines Schnittmusters p ($p \in P(i)$) auf ein Ausgangsmaterial vom Typ i ($i \in I$) entstehen,

$$c_{ip}^{\text{mat}} = \begin{cases} c^{\text{abf}} \cdot \left(L_i - \sum_{j \in J} l_j \cdot a_{ijp} \right), & \text{wenn das Schnittmuster } p \\ & \text{ein Abfallstück (vgl. (5))} \\ & \text{enthält,} \\ ZABF \cdot c^{\text{abf}} \cdot \left(L_i - \sum_{j \in J} l_j \cdot a_{ijp} \right), & \text{wenn das Schnittmuster } p \\ & \text{eine zulässige Restlänge} \\ & \text{(vgl. (6)) enthält,} \\ 0, & \text{sonst;} \end{cases}$$

Variablen:

x_{ip} Variable, welche die Häufigkeit der Verwendung des Schnittmusters p ($p \in P(i)$) auf das Ausgangsmaterial vom Typ i ($i \in I$) anzeigt;

y_k binäre Zuordnungsvariable, die anzeigt, ob ein Ausgangsmaterialstück aus der Kassette k ($k \in K$) benötigt wird,

$$y_k = \begin{cases} 1, & \text{wenn mindestens ein Ausgangsmaterialstück aus der Kassette} \\ & \text{k benötigt wird,} \\ 0, & \text{sonst;} \end{cases}$$

3.2 Schnittmuster und zulässige Restlängen

Der Vektor $a_{ip} = (a_{i1p}, a_{i2p}, \dots, a_{iop})$ beschreibt ein Schnittmuster p ($p \in P(i)$) für ein Ausgangsmaterial vom Typ i ($i \in I$), wobei die Bedingungen (1) bis (4) erfüllt sein müssen:

$$\sum_{j \in J} l_j \cdot a_{ijp} + r_{ip} = L_i, \quad , i \in I, p \in P(i); \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J} a_{ijp} \geq 1, \quad , i \in I, p \in P(i); \quad (2)$$

$$a_{ijp} \geq 0 \text{ und ganzzahlig}, \quad , i \in I, j \in J, p \in P(i); \quad (3)$$

$$r_{ip} \geq 0, \quad , i \in I, p \in P(i). \quad (4)$$

Die Länge des Ausgangsmaterials L_i setzt sich aus den durch das Schnittmuster a_{ijp} erzeugten Kundennachfragelängen l_j und einem möglichen Reststück der Länge r_{ip} (vgl. (1)) zusammen. Jene Schnittmuster, bei denen nicht mindestens eine Kundennachfragelänge l_j hergestellt wird, bleiben unberücksichtigt (vgl. (2)). Die Bedingungen (3) und (4) stellen Nichtnegativitätsbedingungen dar. Die Bedingung (3) schränkt a_{ijp} auf den Bereich der ganzen Zahlen ein.

Ein zulässiges Schnittmuster liegt vor, wenn eine der folgenden Voraussetzungen erfüllt ist:

- die Länge L_i des Ausgangsmaterialstücks wird durch die Kundennachfragemengen vollständig ausgenutzt, d.h.

$$r_{ip} = 0 \Leftrightarrow \sum_{j \in J} l_j \cdot a_{ijp} = L_i,$$

- beim Zuschchnitt der Kundennachfragemengen aus einem Ausgangsmaterialstück verbleibt ein Reststück, welches die Anforderungen an ein Abfallstück erfüllt, d.h.

$$0 < r_{ip} = L_i - \sum_{j \in J} l_j \cdot a_{ijp} \leq ALMAX, \quad (5)$$

- der entstehende Verschnitt weist eine Länge innerhalb der Intervallgrenzen t ($t \in T$) auf und stellt somit eine erwünschte Restlänge dar, d.h.

$$RLMIN_t \leq r_{ip} = L_i - \sum_{j \in J} l_j \cdot a_{ijp} \leq RLMAX_t, \quad t \in T. \quad (6)$$

3.3 Optimierungsmodell

Aufgrund der eingeführten Symbole lässt sich das Optimierungsmodell wie folgt beschreiben:

$$\min \left(\sum_{i \in I} \sum_{p \in P(i)} c_{ip}^{\text{mat}} \cdot x_{ip} \right) + \left(c^{\text{hand}} \cdot \sum_{k \in K} y_k \right), \quad (7)$$

$$\sum_{p \in P(i)} x_{ip} \leq SNMAX_i, \quad i \in I; \quad (8)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{p \in P(i)} a_{ijp} \cdot x_{ip} = d_j, \quad j \in J; \quad (9)$$

$$\sum_{p \in P(i)} x_{ip} \leq \sum_{k \in K} v_{ik} \cdot y_k, \quad i \in I; \quad (10)$$

$$x_{ip} \geq 0 \text{ und ganzzahlig}, \quad i \in I, p \in P(i); \quad (11)$$

$$y_k \in \{0,1\}, \quad k \in K. \quad (12)$$

Die Zielfunktion beinhaltet die Kostenbewertung des bei der Planung real anfallenden Abfalls, die Kostenbewertung des prognostizierten Abfalls eines erzeugten Reststücks

bei der Verwendung in späteren Zuschnittplanungen sowie die Handlingkosten, die durch die vorgegebene Bearbeitung des Auftrages entstehen (vgl. (7)). Die Strafkosten auf entstehende Reststücke werden erhoben, da davon auszugehen ist, dass die Restlängen bei der Verwendung in nachfolgenden Zuschnitten nicht mehr vollständig aufgebraucht werden können und somit ein als Abfall klassifizierbares Reststück zurückbleibt. Die Nutzung der für den Zuschnitt verfügbaren Ausgangsmaterialstücke wird durch die Vorratsrestriktionen (vgl. (8)) dahingehend eingeschränkt, dass lediglich die auf Lager befindlichen Materialien verwendet werden können. Der Parameter $SNMAX_i$ wird zunächst durch $SNMAX_i = s_i$ für alle $i \in I$ initialisiert. Nachdem eine Lösung des Problems unter den gegebenen Daten gefunden wurde, ist das in der Lösungsmenge enthaltene längste Ausgangsmaterialstück zu ermitteln und der betreffende Vorrat um eine Mengeneinheit zu verringern. Für alle Ausgangsmaterialstücke, deren Längen größer als die des zuvor ermittelten Ausgangsmaterialstücks sind und die beim Zuschnitt keine Berücksichtigung finden, werden die Vorratsmengen auf Null Mengeneinheiten abgesenkt. Anschließend erfolgt die erneute Ausführung des Modells mit den so geänderten Vorratsmengen $SNMAX_i$. Mit dem beschriebenen Vorgehen wird solange fortgefahren, bis die Lösbarkeit des Optimierungsmodells, bedingt durch die ständige Verschärfung der Vorratsrestriktionen, nicht mehr gegeben ist. Auf diese Weise werden Lösungen erzeugt, bei denen die Verwendung von Standardprodukten minimal ist und vorrangig eingelagerte Kurzlängen verbraucht werden. Bei der Generierung einer zulässigen Lösung gewährleisten die Bedarfsrestriktionen (vgl. (9)), dass sämtliche Kundenbedarfe vollständig befriedigt werden. Des Weiteren werden nur diejenigen Lagerkassetten ausgewählt, die relevante Ausgangsmaterialien für die Zuschnittplanung enthalten und im späteren Verlauf der Auftragsbearbeitung angefordert werden müssen (vgl. (10)). Die Auswahl berücksichtigt notwendigerweise, dass die Anzahl der in den Kassetten enthaltenen Ausgangsmaterialien für den Zuschnitt ausreichend ist. Eine Zuordnung, welches Ausgangsmaterial aus der Kassette entnommen werden muss, wird durch das Modell nicht realisiert. Diese Entscheidung erfolgt in einem der Optimierung nachfolgenden Schritt, indem die Ausgangsmaterialien nach absteigender Lagerungszeit für den Zuschnitt zugeordnet werden. Durch den expliziten Verbrauch von alten Ausgangsmaterialien kann zusätzlich zur Verschnittoptimierung eine Umwälzung der Lagerbestände erreicht werden. Ist die Anzahl der benötigten Kassetten größer als Null, so werden aufgrund der Restriktionen (10) und der Binärbedingungen (12) die

Handlingkosten bei der Berechnung einbezogen. Restriktionen der Art (11) stellen Nichtnegativitätsbedingungen dar, bei denen die Variablen x_{ip} ganzzahlig sein müssen.

3.4 Softwaretechnische Umsetzung des Entscheidungsunterstützungssystems

Das beschriebene Optimierungsmodell wurde in der mathematischen Modellierungssprache AMPL (A Mathematical Programming Language) umgesetzt. Die Modellierung erfolgte in einer durch AMPL definierten Syntax und wurde in einer einfachen Textdatei abgelegt. Die Übergabe der Modellformulierung und der Problemdaten, die zur Berechnung verwendet werden, erfolgt entweder manuell über eine interaktive Kommandozeilenumgebung des AMPL-Programms oder alternativ über die im weiteren Verlauf der Arbeit verwendete Stapelverarbeitung. Für die Verwendung der Stapelverarbeitung wurden bei der Umsetzung des Modells eine Modelldatei, eine Datendatei und eine Steuerdatei erzeugt.

Die Modelldatei enthält die Modellformulierung, d.h. hier wird die Struktur des Optimierungsproblems definiert sowie die verwendeten Parameter und Variablen deklariert. Zur Illustration der Realisierung des Optimierungsmodells in AMPL, zeigt Abbildung 1 einen Ausschnitt aus der Modelldatei, der die Zielfunktion und die Nebenbedingungen darstellt, jedoch die Deklaration der Konstanten, Parameter und Variablen nicht betrachtet. Zur besseren Lesbarkeit wurde die Benennung der Modellbestandteile im Vergleich zur mathematischen Schreibweise in Kapitel 3.3 in einigen Teilen angepasst.

```

MINIMIZE Costs: SUM{sl in StockLength, i in 1..PatternNmb[sl]: Waste[sl,i] < ALMAX}
                (WasteCosts * Waste[sl,i] * X[sl,i]) +
                SUM{sl in StockLength, i in 1..PatternNmb[sl]: Waste[sl,i] >= ALMAX}
                (PABF * WasteCosts * Waste[sl,i] * X[sl,i]) +
                SUM{j in StockPosition}
                (HandlingCosts * Y[j]);

SUBJECT TO SupplyConstrains {sl in StockLength}:
                SUM{i in 1..PatternNmb[sl]} X[sl,i] <= Supply[sl];

SUBJECT TO DemandConstrains {rl in RequiredLength}:
                SUM{sl in StockLength, i in 1..PatternNmb[sl]} CuttingPattern[sl, i, rl] * X[sl,i] = Demand[rl];

SUBJECT TO StockMovementConstrains {sl in StockLength}:
                SUM{i in 1..PatternNmb[sl]} X[sl,i] <= SUM{j in StockPosition} Stock[sl,j] * Y[j];

SUBJECT TO ResidualLengthConstrains {sl in StockLength}:
                SUM{i in 1..PatternNmb[sl]} Weighting[sl,i] * X[sl,i] = 0;

```

Abb. 1: Darstellung der Modellformulierung in AMPL.

In der zweiten Datei, der Datendatei, erfolgt die Instanziierung einer konkreten Problemstellung, die neben den Ausprägungen der in Kapitel 3.1 beschriebenen Konstanten und Parameter auch alle zu einem gegebenen Problem gehörenden generierten Schnittmuster sowie die bei den einzelnen Schnittmustern anfallenden Reststücklängen enthält. Innerhalb des Modells werden Summenfunktionen verwendet, deren Laufindizes von der Anzahl der zu einem Ausgangsmaterial gefundenen Schnittmuster abhängen. Da die Anzahl der erzeugten Schnittmuster je nach Länge des Ausgangsmaterialstücks und der Kundennachfragelängen sehr stark variieren kann, wurde die Umsetzung des Modells um einen zusätzlichen Vektor erweitert, der die Anzahl der erzeugter Schnittmuster beinhaltet. Dadurch werden Iterationen über Bereiche der Matrizen vermieden, die keine relevanten Daten für die Berechnung des Optimierungssystems enthalten und wodurch das Laufzeitverhalten positiv beeinflusst wird. Die in Abbildung 1 vorgestellte Umsetzung des Modells zeigt diese Einschränkung der Laufindizes. Beispielsweise erfolgt die Summenbildung der real anfallenden Abfallkosten im ersten Term der Zielfunktion lediglich über die Anzahl der für eine Ausgangslänge sl erzeugten Schnittmuster. Des Weiteren schränkt der Parameter `ALMAX` den ersten Term der Zielfunktion dahingehend ein, dass nur diejenigen Reststücke mit Abfallkosten belegt werden, die kleiner als die maximale Abfalllänge sind (vgl. Abb. 1: Zeile 1).

Die Steuerdatei enthält die für die Stapelverarbeitung abzuarbeitenden AMPL-Befehle in deren Ausführungsreihenfolge und bindet die Modell- und Datendatei in AMPL ein. Des Weiteren wurde eine Routine implementiert, die für die Initialisierung der Matrix *Weighting* (vgl. Abb. 1) zuständig ist. Diese Matrix beinhaltet Informationen darüber, ob die durch Anwendung eines Schnittmusters i auf eine Ausgangslänge sl generierte Restlänge als zulässig angesehen wird und im Laufe der Zuschnittplanung erzeugt werden darf. Bei der Initialisierung wird für jedes in der Matrix *Waste* enthaltene Reststück überprüft, ob dieses eine Länge innerhalb eines vorgegebenen Intervalls besitzt. Die Intervalle werden durch den Vektor *ClusterSampling* in der Datendatei definiert. Die Erwünschtheit der Intervalle ist in der Matrix *Cluster* angegeben, wobei die Ausprägung Eins für ein unerwünschtes und die Ausprägung Null für ein erwünschtes Intervall von Restlängen steht. Diese Art der Kennzeichnung wird für die einzelnen in der Matrix *Waste* enthaltenen Reststücke übernommen und in die Matrix *Weighting* überführt.

AMPL ist bei der Lösung von Optimierungsproblemen auf externe einzubindende Solver angewiesen, deren Parameter ebenfalls in der Steuerdatei angegeben werden.⁴ Für das dieser Arbeit zugrunde liegende Problem wurde der kommerzielle ILOG CPLEX Solver in Form einer eingeschränkt nutzbaren Testversion verwendet. Die Modellformulierung und die Problemdata werden durch AMPL in eine für den Solver verarbeitbare Form überführt und an diesen zur Berechnung übergeben. Nach Abschluss eines Optimierungslaufes wird das Ergebnis an AMPL zurückgegeben. Die Steuerdatei enthält Anweisungen, welche die Lösung in eine auf der Extensible Markup Language (XML) basierende Struktur überführt und in einem Textdokument abgelegt. Die durch das World Wide Web Consortium⁵ herausgegebene XML-Spezifikation stellt eine Meta-Auszeichnungssprache dar, mit deren Hilfe eigene Dokumentenklassen definiert werden können. XML wird zur Strukturierung und Beschreibung von Daten verwendet, wobei ein Regelwerk in Form einer Dokumenttyp-Definition (DTD) den strukturellen Aufbau sowie die erlaubten Elemente einer Dokumentenklasse vorgibt. Durch den Einsatz eines Parsers kann die Wohlgeformtheit und Validität der Dokumentinstanzen gegenüber einer DTD geprüft werden.⁶ Das durch die Steuerdatei erzeugte XML-Dokument enthält, sofern das Optimierungssystem lösbar war, die beim Zuschnitt anfallenden Kosten, die Summe der Abfall- und Reststücklängen, die Anzahl und Nummer der benötigten Lagerkassetten sowie einen unter den gegebenen Problemdata optimalen Zuschnittplan. Damit bei der Auswertung der XML-Dokumente im späteren Verlauf entschieden werden kann, ob die Dokumente gemäß den Regeln aufgebaut sind, enthält jedes XML-Dokument neben den Ergebnisdaten der Optimierung eine interne DTD-Deklaration.

Durch die Separierung der Problemdata von der Modellformulierung wird eine höhere Flexibilität erreicht und der Aufruf von AMPL vereinfacht, da auf die Möglichkeit der Stapelverarbeitung zurückgegriffen werden kann. Die Modellformulierung sowie die Steuerdatei können als statisch angesehen werden. Einzig die Datendatei ist für jedes zu lösende Optimierungsproblem neu zu erstellen.

Um das Optimierungssystem zu bedienen und die Abfrage und Aufbereitung der benötigten problembezogenen Daten zu vereinfachen, wurde eine graphische

⁴ Vgl. Fourer et al (2003), S. 6, S. 207f.

⁵ Vgl. Behme, Mintert (2000), S. 478.

⁶ Vgl. Harold (2000), S. 28f; Pardi (2000), S. 38ff, S. 43ff.

Benutzeroberfläche in der Programmierumgebung Borland Developer Studio 2006 entwickelt. Die aus der Optimierung erhaltenen Lösungsvorschläge werden in die Benutzeroberfläche eingelesen und in einer für den Planungsmitarbeiter verständlichen Form dargestellt. Die Benutzeroberfläche benötigt die in Kapitel 3.1 beschriebenen Grunddaten des Modells sowie weitere Informationen bezüglich der Pfadangaben des Optimierungsmodells, der AMPL-Anwendung und der zu verwendenden Datenbank, in welcher die Kundenauftrags- und Lagerbestandsdaten in Tabellen vorgehalten werden. Diese Informationen müssen durch den Planungsmitarbeiter einmalig eingegeben werden. Dazu dient der in Abbildung 2 dargestellte Dialog, der die Angaben bezüglich des Speicherortes des Optimierungsmodells, der AMPL-Anwendung, der Kunden- und Lagerbestandsdaten sowie die Modellgrunddaten übernimmt.

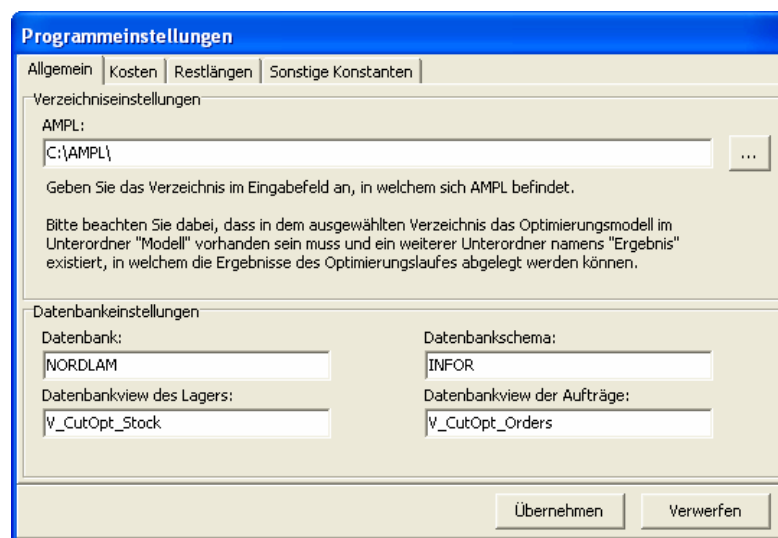


Abb. 2: Eingabemaske der benötigten Pfadangaben.

Das Unternehmen verwendet das relationale Datenbankmanagementsystem Oracle in der Version 9.0i für die Verwaltung und Speicherung der Kundenauftrags- und Lagerbestandsdaten. Aufgrund der vorliegenden Normalform des relationalen Datenbankschemas sind die relevanten Planungsinformationen über eine Vielzahl von Tabellen verteilt. Dies stellt die Konsistenz der Daten sicher, verringert Redundanzen in der Datenhaltung und verbessert die Geschwindigkeit der Datenbankabfragen, erhöht aber im Gegenzug auch die Komplexität der Datenbankabfragen.⁷ Aus diesem Grund wurden zwei logische Sichten (Datenbank-View) auf die Daten erstellt. Als Datenbank-View wird eine virtuelle Tabelle verstanden, die durch eine feste

⁷ Vgl. Elmasri, Navathe (2002), S. 504ff, S. 517ff.

Berechnungsvorschrift aus anderen Tabellen abgeleitet wird und welche die enthaltenen Daten dem Benutzer in einer neuen Form präsentiert.⁸ Die erstellten Datenbank-Views dienen zur Darstellung der für die Planung relevanten Informationen und vereinfachen den Zugriff auf das Datenbankschema. Die in den angelegten Datenbank-Views enthaltenen Informationen können Tabelle 1 entnommen werden. Die durch einen Stern (*) gekennzeichneten Einträge stellen Daten dar, die nicht für den eigentlichen Optimierungsprozess benötigt werden. Erst bei abschließender Zuordnung der aus den Lagerkassetten zu entnehmenden Ausgangsmaterialien und der Reservierung der Ausgangsmaterialien für den Zuschnitt werden diese Daten herangezogen.

Tab. 1: Elemente der verwendeten Datenbank-Views.

Datenbank-View der Kundenaufträge	Datenbank-View des Lagers
Liefertermin	Einlagerungsdatum*
Produktgruppe	Produktgruppe
Binderlänge	Binderlänge
nachgefragte Menge	Vorratsmenge
Kundennummer*	Inventarnummer*
Auftragsnummer*	Kassettennummer

Zusätzlich zur Angabe der Grunddaten des Optimierungsmodells kann eine Einteilung in erwünschte und nicht erwünschte Restlängen vorgenommen werden. Eine explizite Angabe der Gewichtung der Restlängen für jede mögliche Produktgruppe erschien durch die bereits in Kapitel 2.1 angesprochene Vielfalt an Produktgruppen als nicht praktikabel. Aus diesem Grund wurden Klassen gebildet, die eine gröbere Einteilung der Restlängen erlauben. Das Kriterium für die Klassenbildung ist das Breitenprofil. Dieses beschreibt für ein Intervall an Binderbreiten sowie für eine Warengruppe mit einer bestimmten Festigkeit und Qualität die erwünschten und unerwünschten Restlängen. Ferner erfolgt die Angabe der Abfallkosten für die durch ein Breitenprofil abgedeckten Produktgruppen, welche zur Vereinfachung mit den Herstellungskosten gleichgesetzt werden (vgl. Abb. 3). Die im Unternehmen übliche Angabe der Kosten in Euro je Kubikmeter muss für die Verwendung im Modell in Euro je laufenden Millimeter umgerechnet werden. Dies erfolgt bei der Erzeugung der Datendatei. Der Dialog zum Erstellen eines Breitenprofils für das Breitenintervall von 80 mm bis 99 mm, die Warengruppe *BSH*, die Festigkeitsstufe *BS11*, die Qualitätsstufe *SICHT* und die Abfallkosten in Höhe von 320 Euro je Kubikmeter ist in Abbildung 3 dargestellt.

⁸ Vgl. Heuer, Saake (2000), S. 528; Rautenstrauch, Schulze (2003), S. 156.

Abb. 3: Eingabemaske zum Anlegen eines Breitenprofils.

Im Anschluss an die Erstellung des neuen Breitenprofils kann der Planungsmitarbeiter die gewünschte Restlängeneinteilung vornehmen, indem das zu bearbeitende Breitenprofil aus einer Drop-Down-Liste ausgewählt wird. Der Planungsmitarbeiter kann eine beliebige Anzahl an Längenintervallen in einer Tabellenstruktur definieren und durch Aktivieren einer Auswahlbox ein Längenintervall als unerwünscht ausweisen. Eine mögliche Festlegung der Reststücklängen wird in Abbildung 4 für das Breitenprofil „BSH BS11 SICHT 80-99“ gezeigt. Dieses Breitenprofil enthält drei Längenintervalle, wobei nur die Reststücke mit einer Länge im Bereich zwischen 8.000 mm und 19.999 mm als zulässig akzeptiert werden.

untere Intervallgrenze [mm]	obere Intervallgrenze [mm]	ausschließen
2000	8000	<input checked="" type="checkbox"/>
8000	20000	<input type="checkbox"/>
20000	24000	<input checked="" type="checkbox"/>
24000		

Abb. 4: Restlängeneinteilung für ein gewähltes Breitenprofil.

Neben den vom Planungsmitarbeiter angelegten Breitenprofilen existiert ein Standardprofil, das Reststücklängen im Intervall von 2.000 mm und 7.999 mm als unerwünscht klassifiziert und die Abfallkosten auf 325 Euro je Kubikmeter festlegt. Dieses Breitenprofil kommt immer dann zum Einsatz, wenn für die Optimierung Produktgruppen vorgemerkt sind, die durch kein angelegtes Breitenprofil abgedeckt werden.

Nachdem die erforderlichen Modell- und Programmeinstellungen vorgenommen wurden, kann mit der Optimierung der Kundenaufträge begonnen werden. Die durch den Planungsmitarbeiter vorzunehmenden Schritte werden in Kapitel 4 anhand eines Beispieldatensatzes vorgestellt.

4 Durchführung eines Planungsszenarios

4.1 Vorstellung der Problem Daten

Im Folgenden werden anhand eines real aufgetretenen Planungsproblems die für den Planungsmitarbeiter durchzuführenden Schritte bei der Zuschnittplanung von Kundenaufträgen mit Hilfe der implementierten graphischen Benutzeroberfläche demonstriert. Die in Tabelle 2 dargestellten Kundenbedarfe spiegeln einen Kundenauftrag vom 16. Januar 2008 wider. Dieser beinhaltete 14 Binder der Produktgruppe „80x180 - BSH BS11 Sicht“ mit vier unterschiedlichen Längen. Die zum Planungszeitpunkt verfügbaren Lagerbestände bezüglich Binderlängen, Anzahl und Verteilung auf die einzelnen Lagerkassetten wurden ebenfalls angegeben. Insgesamt standen 21 Ausgangsmaterialstücke mit 14 unterschiedlichen Längen zur Verfügung, die über drei Kassetten verteilt gelagert wurden. Neben den in Tabelle 2 aufgeführten Ausgangsmaterialien waren weitere Binder der Produktgruppe im Lager vorhanden, die jedoch eine geringere Länge als die kürzeste Kundennachfragelänge aufwiesen und somit nicht für den Zuschnitt verwendet werden konnten.

Tab. 2: Beispieldatensatz für die Produktgruppe „80x180 - BSH BS11 Sicht“.

Kundenbedarf	Lagerbestand	Kassettennummer
4x 8.600 mm	1x 24.060 mm	849
2x 7.900 mm	2x 24.060 mm	163
2x 6.700 mm	1x 19.052 mm	163
6x 5.300 mm	1x 16.060 mm	849
	1x 15.802 mm	849
	1x 15.802 mm	163
	1x 12.044 mm	163
	4x 11.402 mm	849
	1x 11.136 mm	163
	1x 9.900 mm	163
	1x 7.736 mm	163
	2x 7.544 mm	849
	1x 7.042 mm	748
	1x 6.382 mm	163
	1x 6.220 mm	163
	1x 5.428 mm	748

In diesem Fallbeispiel wird davon ausgegangen, dass für die angegebene Produktgruppe ein Breitenprofil angelegt wurde, das Verschnittlängen unter 2.000 mm als Abfall klassifiziert, Verschnittlängen zwischen 8.000 mm und 19.999 mm als Reststücke akzeptiert sowie die Kosten des Abfalls auf 320 Euro je Kubikmeter festlegt. Die

Handlingkosten werden auf sechs Euro je Kassettenbewegung festgesetzt. Die aus den Problemdaten erzeugte Datendatei ist in Abbildung 5 dargestellt.

```

param ALMAX := 2000;
param ZABF := 0.05;
param HandlingCosts := 6;
param WasteCosts := 0.004608;
set RequiredLength := 8600 7900 6700 5300;
param Demand := 8600 4 7900 2 6700 2 5300 6;

set StockLength := 24060 19052 16060 15802 12044 11402 11136 9900 7736 7544 7042 6382 6220 5428;
param Supply := 24060 3 19052 1 16060 1 15802 2 12044 1 11402 4 11136 1
                9900 1 7736 1 7544 2 7042 1 6382 1 6220 1 5428 1;

param CuttingPattern:
                8600    7900    6700    5300 :=
24060  1    2    0    1    0
24060  2    2    0    0    1
24060  3    2    0    0    0
24060  4    1    1    1    0
24060  5    1    1    0    1
[...]
6382  1    0    0    0    1
6220  1    0    0    0    1
5428  1    0    0    0    1;

param Waste:
                1    2    3    4    5    [...]    34    35 :=
24060 136    1536    6844    836    2236    [...]    13444    18752
[...]
6382 1074    0    0    0    0    [...]    0    0
6220  912    0    0    0    0    [...]    0    0
5428  120    0    0    0    0    [...]    0    0;

param PatternNmb := 24060 35 19052 18 16060 13 15802 11 12044 6 11402 5 11136 5
                  9900 4 7736 2 7544 2 7042 2 6382 1 6220 1 5428 1;

set StockPosition := 849 748 163;
param Stock:
                849    748    163 :=
24060  1    0    2
[...]
6382  0    0    1
6220  0    0    1
5428  0    1    0;

set ClusterSampling := 2000 8000 20000 24000;
param Cluster := 2000 1 8000 0 20000 1 24000 0;

```

Abb. 5: Darstellung einer Datendatei in Auszügen.

Der Parameter *WasteCosts* enthält die Abfallkosten in Euro je laufenden Millimeter, die aus den im Breitenprofil festgelegten Herstellungskosten von 320 Euro je Kubikmeter errechnet werden. Bei Reststücken, die während des Zuschnitts erzeugt werden, wird davon ausgegangen, dass bei deren Verwendung in zukünftigen Zuschnitten etwa fünf

Prozent Abfall, bezogen auf die Reststücklänge, entstehen werden. Dies wird durch den Parameter *ZABF* zum Ausdruck gebracht. Auf Grundlage der im Beispiel gegebenen Kundennachfrage- und Ausgangsmateriallängen werden die möglichen Schnittmuster generiert und in der Matrix *CuttingPattern* abgelegt. Die Matrix *Waste* übergibt die bei der Verwendung eines Schnittmusters anfallenden Reststücklängen für ein Ausgangsmaterial sowie das entsprechende Schnittmuster. Damit die in Kapitel 3.4 erwähnte Einschränkung beim Durchlaufen der Summenfunktionen vorgenommen werden kann, enthält die Matrix *PatternNmb* die Anzahl aller zu einem Ausgangsmaterial gefundenen Schnittmuster. Die Matrix *Stock* enthält die Lagerkassetten sowie die in jeder Kassette vorhandene Anzahl an Ausgangsmaterialien. Abschließend werden die durch ein Breitenprofil festgelegten wieder verwendbaren Reststückintervalle durch die Matrix *Cluster* festgelegt.

4.2 Auswahl eines Planungsauftrages

Der Planungsmitarbeiter kann sich die zu planenden und zu optimierenden Kundenaufträge über einen Auswahldialog für einen Tag bzw. einen bestimmten Zeitraum anzeigen lassen. Um das betrachtete Fallbeispiel auszuwählen, muss in dem in Abbildung 6 gezeigten Dialogfenster der 16. Januar 2008 als Liefertermin eingetragen werden. Mit der Schaltfläche „Aufträge suchen“ werden die zu einem Liefertermin hinterlegten Kundenauftragsdaten aus der Unternehmensdatenbank abgefragt und in der Listenansicht dargestellt. Die zu planenden Kundenaufträge fasst die Liste produktgruppenbezogen zusammen und sortiert diese absteigend nach der Anzahl der nachgefragten Stückzahlen. Nachdem sich der Planungsmitarbeiter einen Überblick über die Art und den Umfang der zu bearbeitenden Kundenaufträge verschafft hat, kann dieser entscheiden, welche Kundenaufträge bei der Planungsdurchführung einbezogen werden. Standardmäßig sind alle ermittelten Kundenaufträge für die Optimierung vorgemerkt.

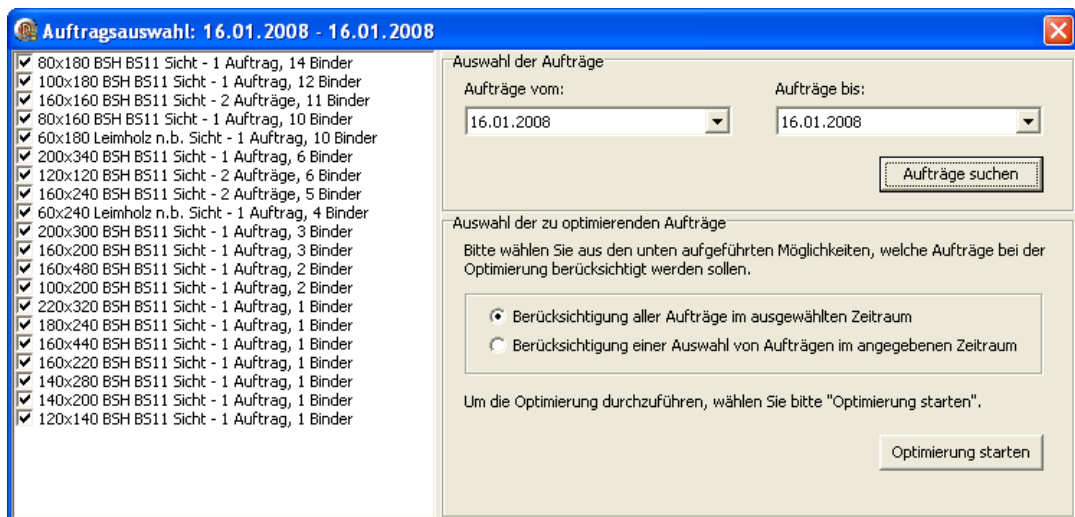


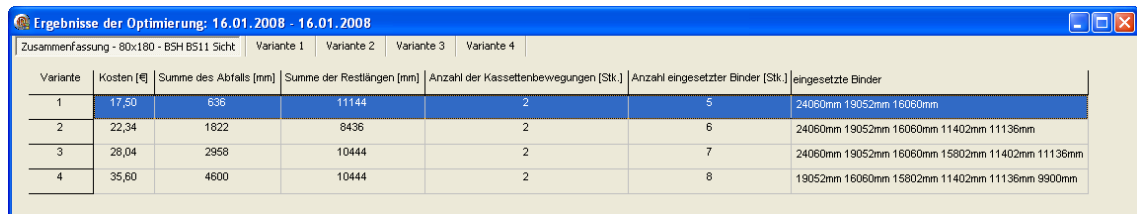
Abb. 6: Auswahldialog der zu planenden produktgruppenbezogenen Kundenaufträge.

Für das betrachtete Fallbeispiel wird lediglich die Optimierung der Produktgruppe „80x180 - BSH BS11 Sicht“ vorgenommen. Die Schaltfläche „Optimierung starten“ schließt das Dialogfenster und übergibt die Auswahl an den Optimierungsprozess. Dazu werden die relevanten Kundenauftrags- und Lagerbestandsdaten aus der Datenbank abgefragt und sämtliche Schnittmuster sowie die entstehenden Restlängen berechnet. Aus diesen Daten wird die Datendatei gebildet (vgl. Abb. 5), die im nächsten Schritt durch die Steuerdatei zusammen mit der Modellformulierung an AMPL übergeben wird. Nach der Durchführung eines Optimierungslaufes werden die Ergebnisse in einem XML-Dokument gesichert. Die Benutzeroberfläche liest das XML-Dokument ein, extrahiert die Ergebnisse und zeigt diese in einer graphisch aufbereiteten Form dem Planungsmitarbeiter an.

4.3 Auswertung des Planungsergebnisses

Nachdem der Planungsmitarbeiter die in Kapitel 4.2 ausgewählte Produktgruppe „80x180 - BSH BS11 Sicht“ zur Lösung an den Optimierungsprozess übergeben hat, erhält dieser die in Abbildung 7 gezeigten Lösungsvorschläge. In der zusammenfassenden Darstellung werden Angaben über die beim Zuschnitt anfallenden Kosten, die Summe der erzeugten Abfall- und Reststücklängen, die Anzahl der aus dem Lager anzufordernden Kassetten und die Anzahl der benötigten Ausgangsmaterialien sowie die beim Zuschnitt verwendeten Ausgangsmateriallängen der einzelnen Vorschläge aufgelistet. Die Lösungsvorschläge sind nach aufsteigender Kostenbewertung sortiert. Für das ausgewählte Planungsbeispiel werden dem

Planungsmitarbeiter vier Lösungsvorschläge angezeigt, aus denen einer für die Bearbeitung des Auftrages ausgewählt werden muss.



Variante	Kosten [€]	Summe des Abfalls [mm]	Summe der Restlängen [mm]	Anzahl der Kassettenbewegungen [Stk.]	Anzahl eingesetzter Binder [Stk.]	eingesetzte Binder
1	17,50	636	11144	2	5	24060mm 19052mm 16060mm
2	22,34	1822	8436	2	6	24060mm 19052mm 16060mm 11402mm 11136mm
3	28,04	2958	10444	2	7	24060mm 19052mm 16060mm 15802mm 11402mm 11136mm
4	35,60	4600	10444	2	8	19052mm 16060mm 15802mm 11402mm 11136mm 9900mm

Abb. 7: Zusammenfassende Darstellung der erhaltenen Lösungsvorschläge.

Der kostengünstigste Zuschnittplan für das Fallbeispiel ermöglicht die Auftragsbearbeitung mit Gesamtkosten von 17,50 Euro. Grundsätzlich würde der Planungsmitarbeiter diesen Lösungsvorschlag auswählen, wobei jedoch die geringen Kosten dem vorrangigen Verbrauch von Standardlängen und der Erzeugung von weiteren einzulagernden Reststücken gegenüber stehen. Deshalb sind die übrigen Lösungsvorschläge dahingehend zu untersuchen, ob diese trotz einer höheren Kostenbewertung unter Umständen besser für den Zuschnitt geeignet wären, da beispielsweise mehrere Reststücke aufgebraucht und somit wertvoller Lagerplatz zur Einlagerung von Standardlängen frei werden würde.

Um den Entscheidungsfindungsprozess zu unterstützen, können für jeden Lösungsvorschlag detaillierte Informationen angezeigt werden (vgl. Abb. 8). Die Detailansicht enthält neben den in der Zusammenfassung aufgeführten Angaben des Planungsproblems eine Aufschlüsselung der Gesamtbearbeitungskosten in Abfall- und Handlingkosten sowie den konkreten Zuschnittplan des Lösungsvorschlages. Die Tabelle in Abbildung 8 veranschaulicht die für den Zuschnitt zu verwendenden Schnittmuster und gibt Auskunft über die Häufigkeit deren Anwendung. Weiterhin werden die Inventarnummern der in den angeforderten Lagerkassetten enthaltenen Ausgangsmaterialien angegeben, wobei die Inventarnummern nach absteigendem Einlagerungsdatum sortiert sind. Die Zeilenbeschriftung der Tabelle repräsentiert das Ausgangsmaterial, aus denen die in den Spaltenüberschriften aufgeführten Kundennachfragelängen erzeugt werden. So werden beispielsweise durch die zweimalige Anwendung des ersten Schnittmusters aus je einer Ausgangsmateriallänge von 24.060 mm zwei 8.600 mm und ein 6.700 mm Binder erzeugt, wobei je ein Abfallstück von 136 mm zurück bleibt (vgl. Abb. 8: blau markierte Zeile).

Ergebnisse der Optimierung: 16.01.2008 - 16.01.2008

Zusammenfassung - 80x180 - BSH B511 Sicht Variante 1 Variante 2 Variante 3 Variante 4

Kosten des Abfalls:	5,50 €	Abfälle:	636 mm	Restlängen:	11144 mm
Kosten der Kassettenbewegung:	12,00 €		0,59 %	Kassettenbewegungen:	2 Stk.
Gesamtkosten:	17,50 €			benötigte Binder:	5 Stk.

Schnittmuster

	8600	7900	6700	5300	Restlänge [mm]	Anzahl der Verwendung	Inventarnummer	Kassettennummer
24060	2	0	1	0	136	2	1000646886 1000652542 1000652442	163 849 163
24060	0	1	0	3	228	1	1000646886 1000652542 1000652442	163 849 163
19052	0	1	0	0	11144	1	1573062	163
16060	0	0	0	3	136	1	1000655164	849

Reservierung durchführen

Abb. 8: Detaillierte Darstellung eines Lösungsvorschlags.

Nachdem der Planungsmitarbeiter eine Lösungsvariante ausgewählt hat, müssen die im Programm getroffenen Entscheidungen in die Unternehmensdatenbank übernommen werden, d.h. die für den Zuschnitt verwendeten Ausgangsmaterialien sind für den Kundenauftrag zu reservieren. Erst in diesem Schritt erfolgt die Festlegung, welche Ausgangsmaterialien aus den angeforderten Lagerkassetten entnommen werden. Mit der Schaltfläche „Reservierung durchführen“ löst der Planungsmitarbeiter die Reservierung der gewählten Ausgangsmaterialien aus und die erforderlichen Datensätze werden in die Unternehmensdatenbank eingefügt. Damit gilt das Planungsproblem als abgeschlossen und wird bei der Auswahl der Planungsaufträge nicht mehr angezeigt.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit wurde der Kommissionierbereich der Nordlam GmbH, einem Magdeburger Unternehmen der Holzverarbeitenden Industrie, betrachtet. Hierbei stand die Planung des Zuschnittprozesses im Vordergrund, mit dem sich ein Mitarbeiter ganztägig beschäftigte und Entscheidungen aufgrund von persönlichen Erfahrungswerten und Intuition traf. Im Vergleich zu Konkurrenzunternehmen der Branche weist die Nordlam GmbH im jährlichen Durchschnitt eine größere Menge an generiertem Abfall auf. Das Unternehmen sah die Notwendigkeit, die beim Zuschnitt entstehenden Abfallkosten zu verringern und dadurch die Wirtschaftlichkeit der Nordlam GmbH zu erhöhen. Im Verlauf dieser Arbeit wurde ein rechnergestütztes Entscheidungsunterstützungssystem für den Kommissionierbereich entwickelt und erfolgreich implementiert. Die Grundlage des Systems bildet ein speziell auf das Unternehmen und dessen Anforderungen abgestimmtes lineares Optimierungsmodell, das iterativ aufgerufen wird und verschiedene Lösungsvorschläge zu einem gegebenen Planungsproblem berechnet. Das Entscheidungsunterstützungssystem versucht auf Basis der erhaltenen Lösungsvorschläge, den Planungsmitarbeiter bei der Kompromissfindung zu unterstützen. Für die Umsetzung des Optimierungsmodells wurde die mathematische Modellierungssprache AMPL verwendet und durch eine graphische Benutzeroberfläche mittels der Programmierumgebung Borland Developer Studio 2006 ergänzt.

Das vorgestellte Entscheidungsunterstützungssystem befindet sich derzeit in der Erprobungsphase. Bereits jetzt kann festgestellt werden, dass sich die Arbeitszeit des Mitarbeiters für die Zuschnittplanung von ca. acht auf ca. drei Stunden je Werktag verkürzen lässt. Eine Aussage über die Reduzierung der Abfallkosten ist derzeit aufgrund der kurzen Einsatzzeit noch nicht möglich. Von einer Senkung der Abfallkosten ist jedoch auszugehen.

Als Ansatzpunkt für die Verbesserungen des Entscheidungsunterstützungssystems kann die Generierung der Schnittmuster angesehen werden. Da alle möglichen Schnittmuster für ein Problem generiert und an das Modell übergeben werden, aber nur ein Bruchteil der erzeugten Schnittmuster für die Zuschnittplanung Berücksichtigung findet, wäre eine Eingrenzung der Schnittmusteranzahl mit einer Verbesserung der Rechenzeit verbunden. So trat zudem während der Implementierungs- und Testphase einmalig ein

Problemdatensatz auf, bei dem ungefähr 14,9 Millionen verschiedene Schnittmuster generiert wurden, bevor der Computer mangels freier Speicherressourcen die Berechnung einstellte und das Programm beendet werden musste. Tritt ein solcher Fall erneut auf, so muss der Planungsmitarbeiter die Zuschnittplanung wie bisher manuell vornehmen. Ein möglicher Ansatz, das im Verlauf dieser Arbeit entwickelte Optimierungsmodell zu modifizieren und damit die beschriebene Schwachstelle zu beheben, besteht im Einsatz des so genannten Spaltengenerierungsverfahrens.⁹ Dieses Verfahren gewährleistet, dass lediglich diejenigen Schnittmuster erzeugt werden, die auch im Laufe der Zuschnittplanung Verwendung finden.

⁹ Vgl. Alves (2005), S. 25ff.

Literaturverzeichnis

- Alves, C.M.M. (2005): Cutting and Packing: Problems, Models and Exact Algorithms. PhD-Thesis, Universidade do Minho, Portugal.
- Behme, H.; Mintert, S. (2000): XML in der Praxis. Addison-Wesley Verlag: München.
- Cherri, A.; Arenales, M.; Yanasse, H. (2007): The Unidimensional Cutting Stock Problem with Useable Leftover – A Heuristic Approach. Working Paper No. 90, Serie Computacao Universidade de Sao Paulo.
- Elmasri, R.; Navathe, S.B. (2002): Grundlagen von Datenbanksystemen. Pearson-Studium: München.
- Fourer, R.; Gay, D.M.; Kernighan, B.W. (2003): AMPL – A Modelling Language For Mathematical Programming. Thomson, Brooks, Cole: Pacific Grove.
- Gradisar, M.; Resinovic, G.; Kljajic, M. (1999): A Hybrid Approach for Optimization of One-Dimensional Cutting. In: *European Journal of Operational Research* 119, 719-728.
- Gradisar, M.; Kljajic, M.; Resinovic, G.; Jesenko, J. (1999): A Sequential Heuristic Procedure for One-Dimensional Cutting. In: *European Journal of Operational Research* 114, 557-568.
- Harold, E.R. (2000): Die XML Bibel. MITP: Bonn.
- Heuer, A.; Saake, G. (2000): Datenbanken: Konzepte und Sprachen. MITP: Bonn.
- Neumann, K.; Morlock, M. (2002): Operations Research, 2. Auflage. Hanser Verlag: München.
- Pardi, W.J. (2000): XML in Action. Microsoft Press Deutschland: Unterschleißheim.
- Rautenstrauch, C.; Schulze, T. (2003): Informatik für Wirtschaftswissenschaftler und Wirtschaftsinformatiker. Springer Verlag: Berlin, Heidelberg, New York.
- Scheithauer, G. (1991): A Note on Handling Residual Length. In: *Optimization* 22, 461-466.
- Scheithauer, G.; Belov, G. (2002): A Cutting Plane Algorithm for the One-Dimensional Cutting Stock Problem With Multiple Stock Lengths. In: *European Journal of Operational Research* 141, 274-294.

Trkman, P.; Gradisar, M. (2007): One-Dimensional Cutting Stock Optimization in Consecutive Time Periods. In: *European Journal of Operations Research* 179, 291-301.

Wäscher, G.; Gau, T. (1996): Heuristics for the Integer One-Dimensional Cutting Stock Problem: A Computational Study. In: *OR Spektrum* 18, 131-144.

Wäscher, G.; Haußner, H.; Schumann, H. (2007): An Improved Typology of Cutting and Packing Problems. In: *European Journal of Operational Research* 183, 1109-1130.

Nordlam GmbH (2007): Internetpräsenz der Nordlam GmbH.

<http://www.nordlam.com> (16. Dezember 2007, 17:14 Uhr).

Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. (2007): Internetpräsenz der

Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V.. <http://www.brettschichtholz.de> (18. Dezember 2007, 20:34 Uhr).