

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„Optimierung des Produktionsprozesses
der Niederösterreichischen Nachrichten“

Verfasserin

Claudia Kiebl

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Sozial- und Wirtschaftswissenschaften
(Mag. rer. soc. oec.)

Wien, im November 2008

Studienkennzahl lt. Studienblatt:
Studienrichtung lt. Studienblatt:
Betreuer:

157
Internationale Betriebswirtschaft
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Richard F. Hartl

Gliederung

Abbildungsverzeichnis.....	4
Tabellenverzeichnis.....	4
1. Einleitung.....	6
1.1 Problemstellung.....	6
1.2 Ziel des Projektes.....	7
1.3 Aufbau und Ablauf des Projektes.....	7
2. Grundlagen der Maschinenbelegung.....	8
2.1 Einordnung der Maschinenbelegung.....	8
2.2 Gegenstand der Maschinenbelegung.....	8
2.3 Begriffsbestimmungen.....	9
2.3.1 Auftrag (engl. Job).....	9
2.3.2 Maschine.....	9
2.3.3 Auftragsfreigabezeitpunkt.....	9
2.3.4 Bearbeitungszeit.....	9
2.3.5 Fertigstellungszeitpunkt.....	10
2.3.6 Arten von Reihenfolgen.....	10
2.4 Dimensionen der Maschinenbelegung.....	11
2.4.1 Statisch vs. Dynamisch.....	11
2.4.2 Deterministisch vs. Stochastisch.....	11
2.4.3 Anzahl der Arbeitsgänge und Maschinen.....	11
2.5 Kriterien der Maschinenbelegungsplanung.....	13
2.5.1 Zulässigkeit.....	13
2.5.2 Aktiver Maschinenbelegungsplan.....	13
2.5.3 Unverzögerter Maschinenbelegungsplan.....	13
2.6 Darstellung.....	14
2.6.1 Bearbeitungszeitmatrix t_{im}	14
2.6.2 Maschinenfolgematrix μ_{ih}	15
2.6.3 Maschinenfolgegraph.....	15
2.6.4 Ablaufgraph.....	16
2.6.5 Gantt-Diagramme.....	16
2.7 Zielsetzungen.....	17
2.7.1 Durchlaufzeitbezogene Ziele.....	18
2.7.2 Kapazitätsorientierte Ziele.....	19
2.7.3 Terminorientierte Ziele.....	20
2.7.4 Dilemma der Ablaufplanung.....	21
2.8 Lösungsverfahren.....	22
2.8.1 Exakte Verfahren.....	22
2.8.2 Heuristische Verfahren.....	23
2.9 Rüstzeiten im Rahmen der Maschinenbelegung.....	27
2.9.1 Klassifizierung von Rüstzeiten.....	27
2.9.2 Erfassung von Rüstkosten.....	29
3. Lineare Optimierung.....	30
3.1 Entscheidungsvariablen.....	30
3.2 Zielfunktion.....	31
3.3 Nebenbedingungen.....	31
3.4 Lösungsraum (engl. Feasible area).....	32
3.5 Annahmen.....	32

3.5.1 Proportionalität (engl. proportionality).....	32
3.5.2 Additivität (engl. additivity).....	32
3.5.3 Teilbarkeit (engl. divisibility).....	33
3.5.4 Nichtnegativität (engl. Non-negativity).....	33
3.5.5 Bestimmtheit (engl. Certainty).....	33
4. Das Niederösterreichische Pressehaus.....	34
4.1 Das Unternehmen.....	34
4.2 Bereiche.....	34
4.2.1 Zeitungsverlag.....	34
4.2.2 Druckerei.....	36
4.2.3 Residenzverlag.....	36
5. Modellbildung zur Problembeschreibung.....	37
5.1 Abgrenzung der Problembeschreibung.....	37
5.2 Process Design.....	37
5.3 Daten.....	40
5.3.1 Produktionsplan.....	40
5.3.2 Auflage und Erscheinungstag.....	40
5.3.3 Anzahl der Beilagen.....	42
5.3.4 Produktionsgeschwindigkeiten.....	42
5.3.5 Rüstzeiten.....	43
5.3.6 Druckausfälle und Störungen.....	44
5.3.7 Auslastung der Zeitungsdruck-Maschine.....	44
5.3.8 Einhaltung des Fertigstellungszeitpunktes.....	44
5.4 MILP.....	45
5.4.1 Zielsetzung.....	47
5.5 Ergebnisse.....	48
5.6 Teil 1: Standard Flow Shop mit offener Losweitergabe.....	48
5.6.1 Charakteristika.....	48
5.6.2 Modell.....	49
5.6.3 Ergebnisse.....	51
5.7 Teil 2: Permutations-Flow Shop mit reihenfolge- abhängigen Rüstzeiten und offener Losweitergabe.....	55
5.7.1 Charakteristika.....	55
5.7.2 Modell.....	56
5.7.3 Ergebnisse.....	58
5.8 Teil 3: Flow Shop mit reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten und offener Losweitergabe.....	62
5.8.1 Charakteristika.....	62
5.8.2 Modell.....	62
5.8.3 Ergebnisse.....	65
5.9 Erweiterungen.....	68
5.9.1 Teil 4: 2-Maschinen Permutations-Flow Shop mit offener Losweitergabe.....	68
5.9.2 Beschleunigung des Druckvorganges.....	72
5.9.3 Teil 5: Umstrukturierung des Produktionsplans in 4 geografische Teilbereiche.....	73
6. Zusammenfassung und Ausblick.....	80
6.1 Vergleich der Teile 1, 2 und 3.....	80
6.2 Erweiterungen.....	83
6.3 Ausblick.....	84

ANHANG A: Implementierung.....	86
A.1 Softwaregrundlagen und Hintergründe.....	86
A.2 Formulierung und Implementierung in Xpress.....	86
A.2.1 Parameters.....	87
A.2.2 Declarations.....	87
A.2.3 Initialisations.....	88
A.2.4 Befehle „create“ und „finalize“.....	88
A.2.5 LP-Formulierung.....	88
A.2.6 Outputroutine.....	90
A.3 Source Code, Input- und Output-Datei.....	90
ANHANG B: aktuelle Produktionspläne.....	103
ANHANG C: Ergebnisse.....	105
LITERATURVERZEICHNIS.....	119

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bearbeitungszeitmatrix.....	14
Abbildung 2: Maschinenfolgematrix.....	15
Abbildung 3: Maschinenfolgegraph.....	15
Abbildung 4: Ablaufgraph.....	16
Abbildung 5: maschinenorientiertes Gantt-Diagramm.....	17
Abbildung 6: auftragsorientiertes Gantt-Diagramm.....	17
Abbildung 7: Process Design.....	40
Abbildung 8: Aufteilung in die 4 Bereiche.....	76

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Prioritätsregeln.....	26
Tabelle 2: Auflage und Erscheinung im Einzelhandel.....	41
Tabelle 3: Produktionsgeschwindigkeiten.....	43
Tabelle 4: Systemparameter und Entscheidungsvariablen.....	46
Tabelle 5: Teil 1 (Durchschnittsgeschwindigkeiten).....	54
Tabelle 6: Teil 2 (Durchschnittsgeschwindigkeiten; Ztg. 23-28).....	61
Tabelle 7: Teil 3 (Durchschnittsgeschwindigkeiten; Ztg. 23 - 28).....	67
Tabelle 8: Teil 4 (Durchschnittsgeschwindigkeiten).....	71
Tabelle 9: Differenz Stückzahlen.....	76
Tabelle 10: Ausgangsanordnung und Auflagen der 4 Teilbereiche.....	77
Tabelle 11: Teil 5 (3 Maschinen; Durchschnittsgeschwindigkeiten).....	78
Tabelle 12: Teil 5 (2 Maschinen; Durchschnittsgeschwindigkeiten).....	79
Tabelle 13: Ergebnisvergleich.....	85
Tabelle 14: Beispiel einer Daten-Datei *.dat.....	90
Tabelle 15: Beispiel für eine Output-Datei *.dat.....	91
Tabelle 16: Source Code „Permutations-Flow Shop mit offener Losweitergabe“.....	92
Tabelle 17: Source Code „Permutations-Flow Shop mit reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten und offener Losweitergabe“.....	96

Tabelle 18: Source Code „Flow Shop mit reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten und offener Losweitergabe“.....	99
Tabelle 19: aktueller Produktionsablaufplan mit 3 Maschinen.....	103
Tabelle 20: aktueller Produktionsablaufplan mit 2 Maschinen.....	104
Tabelle 21: Teil 1 (Best Case).....	105
Tabelle 22: Teil 1 (Worst Case).....	106
Tabelle 23: Teil 2 (Best Case; Ztg. 23 – 28).....	107
Tabelle 24: Teil 2 (Worst Case; Ztg. 23 - 28).....	108
Tabelle 25: Teil 2 (Durchschnittsgeschwindigkeiten; Ztg. 1-13).....	109
Tabelle 26: Teil 2 (Durchschnittsgeschwindigkeiten; Ztg. 14-22).....	110
Tabelle 27: Teil 3 (Best Case; Ztg. 23-28).....	111
Tabelle 28: Teil 3 (Worst Case; Ztg. 23-28).....	112
Tabelle 29: Teil 4 (Best Case).....	113
Tabelle 30: Teil 4 (Worst Case).....	114
Tabelle 31: Teil 5 (3 Maschinen; Best Case).....	115
Tabelle 32: Teil 5 (3 Maschinen; Worst Case).....	116
Tabelle 33: Teil 5 (2 Maschinen; Best Case).....	117
Tabelle 34: Teil 5 (2 Maschinen; Worst Case).....	118

1. Einleitung

Produktivität und Effizienz stehen in der industriellen Produktion an erster Stelle.

Jede Maschine soll so viel wie möglich produzieren, jeder Mitarbeiter soll so viel wie möglich leisten. Einen Mitarbeiter zu bezahlen, während er keine Leistung erbringt, weil er zum Beispiel auf Aufträge warten muss, ist nicht im Sinne des Arbeitgebers.

1.1 Problemstellung

Die vorliegende Arbeit zielt darauf ab, den Produktionsprozess der Kauf-Wochenzeitung „NÖN – Niederösterreichische Nachrichten“, welche im Niederösterreichischen Pressehaus gedruckt wird und aus 28 verschiedenen regionalen Ausgaben besteht, zu verbessern. Im operativen Bereich bzw. in der Produktionssteuerung, in der es um die kurzfristige Planung des Tagesgeschäftes geht, spielt die Maschinenbelegung, welche den theoretischen Hintergrund dieser Arbeit bildet, eine große Rolle.

Im Fall der „NÖN“ handelt es sich um eine Erweiterung des Standard-Flowshop-Maschinenbelegungsproblems. Im Standardmodell wie auch in der Erweiterung geht es darum, dass mehrere Arbeitsgänge notwendig sind, um eine Ausgabe zu produzieren, während die Reihenfolge dieser Arbeitsgänge bei jeder Ausgabe gleich ist. Außerdem darf ein Auftrag erst dann auf der nächsten Maschine bearbeitet werden, wenn er auf der vorigen Maschine fertig ist. Dies ist in dieser Arbeit nicht der Fall – es darf bereits früher mit der Bearbeitung auf der nächsten Maschine begonnen werden, eine offene Losweitergabe ist somit erlaubt.

Aus Gründen der Vollständigkeit und der Verständlichkeit sowie der thematischen Abgrenzung, werden neben dem in der Arbeit angewandten erweiterten Flowshop-Problem, auch das Standardmodell und die anderen möglichen Varianten der Maschinenbelegung, nämlich das Jobshop-, das Open Shop- und das Permutations-Flowshop-Problem kurz vorgestellt und erläutert.

1.2 Ziel des Projektes

Um Kosten, insbesondere Personalkosten einzusparen, und die Effizienz der Produktion zu steigern, ist das Ziel dieser Arbeit die Leerzeiten auf der Einsteckmaschine zu minimieren. Im Produktionsprozess stellt die Bearbeitung der Aufträge auf dieser Maschine zeitlich wie auch kostenorientiert den maximalen Aufwand dar, da hier die größte Anzahl an Mitarbeitern benötigt wird. Als sekundäre Zielsetzung soll die Aktualität der Zeitung nicht bzw. nur marginal beeinflusst werden, was bedeutet, dass neben der Minimierung der Leerzeiten der Beginnzeitpunkt jedes Auftrages so spät wie möglich angesetzt werden soll, sodass der Auslieferungszeitpunkt gerade noch eingehalten werden kann.

1.3 Aufbau und Ablauf des Projektes

Als Methode wird in dieser Arbeit ein exaktes Verfahren, nämlich die gemischt ganzzahlige lineare Programmierung, verwendet. Es werden aber auch kurz andere Verfahren vorgestellt. Mit Unterstützung der Software Xpress wird das aufgestellte gemischt ganzzahlige lineare Optimierungsproblem gelöst und die daraus erhaltene Lösung interpretiert und hinsichtlich ihrer Relevanz beurteilt bzw. mit der aktuellen Lösung, dem Produktionsplan des Niederösterreichischen Pressehauses, verglichen. Da in der Implementierung die Richtlinien und Bedingungen des Niederösterreichischen Pressehauses genau eingehalten wurden, werden noch einige Erweiterungen und Veränderungen des Ausgangsmodells besprochen und implementiert, um herauszufinden, ob eine Anpassung bzw. Lockerung der derzeitigen Richtlinien ein verbessertes Ergebnis liefern könnte. Da im Niederösterreichischen Pressehaus bereits eine neue Anlage, als Ersatz von 2 alten Anlagen aufgebaut wird und demnächst in Betrieb genommen wird, ist auch dieser Fall als Erweiterung bzw. Veränderung des eigentlichen Problems in die Arbeit mit aufgenommen.

Die Lösungen aller Varianten und Erweiterungen werden am Ende verglichen und beurteilt.

2. Grundlagen der Maschinenbelegung

2.1 Einordnung der Maschinenbelegung¹

Im Operationsmanagement geht es um die Planung, die Konfigurierung und den Betrieb von Produktionssystemen. Zunächst werden strategische Grundsatzentscheidungen wie zum Beispiel die Standortproblematik getroffen, gefolgt von taktischen Konfigurierungs- und Dimensionsentscheidungen und zuletzt werden die Probleme des operativen Betriebs bzw. der Produktionssteuerung gelöst, zu welchen auch die Maschinenbelegung zählt.

2.2 Gegenstand der Maschinenbelegung^{2,3}

Die Maschinenbelegung (Reihenfolgeplanung, Scheduling) befasst sich grundsätzlich mit der zeitlichen Zuordnung von Jobs (Aufträgen) zu Maschinen (Arbeitsträgern) unter Beachtung vorgegebener Zielsetzungen und Restriktionen. Es geht um die Frage, wann welcher Auftrag auf welcher Maschine produziert werden soll. Wichtig dabei ist, dass im Standardmodell jede Maschine zu jedem Zeitpunkt nur einen Auftrag bearbeiten kann und dass jeder Auftrag nur von genau einer Maschine gleichzeitig bearbeitet werden kann.

Mögliche Beispiele für Restriktionen können vorgegebene Freigabezeitpunkte und/oder vorgegebene Fertigstellungszeitpunkte sein, aus denen sich Zeitfenster ergeben in denen der Auftrag produziert werden kann.

Das Ergebnis der Reihenfolgeplanung ist der Ablaufplan, welcher Anfangszeiten, Produktionsdauern, Fertigstellungszeitpunkte und Verfrühungen bzw. Verspätungen aller zu bearbeitenden Aufträge enthält.

¹ **Hartl, R. F., Dörner, K.:** Operative Planungsprobleme, *Operations Management Vorlesungsskript*, 107 – 120, 2005

² **Kistner, K.P., Steven, M.:** *Produktionsplanung*, 2. Auflage, Physica-Verlag, Heidelberg, 1993

³ **Sipper, D., Bulfin, R.:** *Production: Planning, Control and Integration*, Mcgraw-Hill College, 382 – 455, 1997.

2.3 Begriffsbestimmungen^{4,5}

2.3.1 Auftrag (engl. Job)

Unter einem Auftrag versteht man ein Produkt das aus einem oder mehreren Arbeitsschritten besteht.

$$j = 1 \dots N$$

2.3.2 Maschine

Auf den einzelnen Maschinen werden jene Arbeitsschritte ausgeführt die notwendig sind um ein Produkt zu erzeugen bzw. einen Auftrag abzuschließen. Die Reihenfolge in der ein Auftrag die Maschinen durchläuft kann entweder immer gleich sein oder auch von Auftrag zu Auftrag variieren.

$$m = 1 \dots M$$

2.3.3 Auftragsfreigabezeitpunkt

Der Auftragsfreigabezeitpunkt a_j (engl. release date) oder Bereitstellungszeitpunkt ist jener Zeitpunkt zu dem die Bearbeitung eines Auftrages j frühestens begonnen werden kann.

2.3.4 Bearbeitungszeit

Unter der Bearbeitungszeit t_{jm} (engl. processing time) versteht man die Dauer für die ein bestimmter Auftrag j auf einer bestimmten Maschine m bearbeitet werden muss.

4 Kistner, K.P., Steven, M.: *Produktionsplanung*, 2. Auflage, Physica-Verlag, Heidelberg, 1993

5 Domschke, W., Scholl, A., Voß, S.: *Produktionsplanung – Ablauforganisatorische Aspekte*, Springer, Heidelberg, 1993

2.3.5 *Fertigstellungszeitpunkt*

Der gewünschte Fertigstellungszeitpunkt f_j (engl. due date) ist jener Termin, zu dem ein Auftrag j fertig produziert sein soll.

Wird er überschritten spricht man von einer Verspätung, das bedeutet, dass der Auftrag nicht zeitgerecht fertiggestellt werden konnte. Wird er hingegen eingehalten oder ist der Auftrag sogar früher fertig, spricht man von einer Verfrühung.

2.3.6 *Arten von Reihenfolgen*

2.3.6.1 *Arbeitsgangfolge*

Die verschiedenen Arbeitsgänge eines Auftrages von Bereitstellung bis Fertigstellung sind in einer fest vorgegebenen Reihenfolge zu bearbeiten. Die Arbeitsgangfolge ist in der Regel technologisch determiniert.

2.3.6.2 *Maschinenfolge*

Unter der Maschinenfolge versteht man die zeitliche Reihenfolge, in der die Arbeitsgänge eines Auftrages die Maschinen durchlaufen. Die Maschinenfolgen sind ebenfalls zumeist durch technologische Erfordernisse festgelegt. Dabei unterscheidet man den Fall der Werkstattfertigung (Job-Shop), wobei die Maschinenfolge für jeden Auftrag verschieden ist, und die Reihenfertigung (Flow-Shop) mit gleicher Maschinenfolge für alle Aufträge. Ein Sonderfall der Reihenfertigung sind die Permutationspläne mit der zusätzlichen Restriktion, dass kein Auftrag einen anderen überholen darf.

2.3.6.3 *Auftragsfolge*

Die Auftragsfolge ist die Reihenfolge, in der die einzelnen Aufträge auf einer Maschine bearbeitet werden. Dabei können mehrere Aufträge gleichzeitig um dieselben Maschinen konkurrieren. Die Auftragsfolge ist nicht vorgegeben, sondern Gegenstand der Planung, also eine Entscheidungsvariable der Maschinenbelegungsplanung.

Aus ihr folgt dann der zulässige Ablaufplan.

2.4 Dimensionen der Maschinenbelegung

2.4.1 *Statisch vs. Dynamisch*⁶

Ein Maschinenbelegungsproblem wird als statisch bezeichnet, wenn alle Aufträge zum Zeitpunkt $a_j = 0$ zur Bearbeitung bereit stehen. Demgegenüber nennt man Probleme mit unterschiedlichen Auftragsfreigabezeitpunkten dynamisch.

2.4.2 *Deterministisch vs. Stochastisch*⁶

Von einem deterministischen Problem spricht man, wenn sämtliche Daten (Auftragsfreigabe, Bearbeitungszeiten, Fertigstellungstermine) als bekannt vorausgesetzt werden. Sind hingegen die Ankunftszeitpunkte oder die Bearbeitungszeiten stochastisch (nicht bekannt; unterliegen einer Wahrscheinlichkeitsverteilung) so spricht man von stochastischen Modellen.

2.4.3 *Anzahl der Arbeitsgänge und Maschinen*⁷

2.4.3.1 *Ein Arbeitsgang*

Eine Maschine (Single Machine)

Es gibt nur eine einzige Maschine und alle Aufträge werden auf dieser bearbeitet. Die Maschine kann zu einem Zeitpunkt immer nur einen Auftrag bearbeiten. Wurde ein Auftrag auf dieser Maschine bearbeitet, ist er fertig und der nächste Auftrag kann unter Berücksichtigung etwaiger Rüstzeiten, zur Bearbeitung herangezogen werden.

Identische parallele Maschinen (Parallel Machines)

Auch in diesem Fall bestehen alle Aufträge nur aus einem Arbeitsgang aber es gibt mehrere identische Maschinen, welche gleichzeitig eingesetzt werden können. Ein

⁶ Dudek R., Panwalkar, S., Smith, M.: The Lessons of Flowshop Scheduling Research, *Operations Research* **40** (1), 7 – 13, 1992

⁷ Domschke, W., Scholl, A., Voß, S.: *Produktionsplanung – Ablauforganisatorische Aspekte*, Springer, Heidelberg, 1993

Auftrag ist fertig, wenn er auf einer dieser Maschinen bearbeitet wurde. Die Bearbeitungszeit ist unabhängig davon auf welcher Maschine der Auftrag bearbeitet wurde, da die Maschinen identisch sind und somit die gleichen Fertigungsgeschwindigkeiten aufweisen.

2.4.3.2 Mehrere Arbeitsgänge

Falls Aufträge aus mehreren Arbeitsgängen bestehen, die auf verschiedenen Maschinen zu fertigen sind, gibt es verschiedene Klassen.

Flow Shop

Gibt es mehrere verschiedene Maschinen und jeder Auftrag muss auf jeder Maschine genau einmal bearbeitet werden, spricht man von einem Flowshop-Maschinenbelegungsproblem. Die Reihenfolge der Maschinen ist bei jedem Auftrag gleich, es gilt eine fest vorgegebene Reihenfolge für alle Aufträge. Ein Auftrag kann grundsätzlich erst dann auf der nächsten Maschine bearbeitet werden, wenn er auf der vorigen Maschine fertig ist.

Permutations Flow Shop

Beim Permutation Flow Shop herrscht „Überholverbot“. Das bedeutet, dass die Auftragsfolgen auf allen Maschinen identisch sind. Die Reihenfolge auf Maschine 1 ist dieselbe wie auf allen anderen Maschinen. Es ist also eine geeignete Permutation der n Aufträge zu bestimmen.

Job Shop

Wie beim Flow Shop gibt es beim Job Shop (auch Werkstattfertigung genannt) mehrere Maschinen und auch hier ist die Reihenfolge der Maschinen fest vorgegeben. Der Unterschied besteht darin, dass die Reihenfolge von Auftrag zu Auftrag unterschiedlich sein kann.

Open Shop

In diesem Fall spielt es keine Rolle, in welcher Reihenfolge die einzelnen Arbeitsgänge durchgeführt werden, es gibt weder bestimmte Maschinenreihenfolgen noch Arbeitsgangfolgen. Ein Beispiel dafür ist die Autowerkstatt.

2.5 Kriterien der Maschinenbelegungsplanung⁸

Aus der Struktur von Maschinenbelegungsplänen lassen sich folgende qualitative Kriterien herleiten.

2.5.1 *Zulässigkeit*

Die Zulässigkeit ist eine unabdingbare Mindestanforderung an einen Maschinenbelegungsplan. Sie ist erfüllt, wenn die Maschinenfolgebedingungen und Endtermine eingehalten werden und keine Überlappung von Aufträgen auf einer Maschine bzw. von Bearbeitungen an einem Auftrag vorliegen.

2.5.2 *Aktiver Maschinenbelegungsplan*

Ein aktiver Maschinenbelegungsplan hat zusätzlich die Eigenschaft, dass keine Operation vorgezogen werden kann, ohne dass eine andere zurückgestellt wird.

2.5.3 *Unverzögerter Maschinenbelegungsplan*

Ein unverzögerter Maschinenbelegungsplan zeichnet sich dadurch aus, dass er keine vermeidbaren Leerzeiten enthält.

⁸ Kistner, K.P., Steven, M.: *Produktionsplanung*, 2. Auflage, Physica-Verlag, Heidelberg, 1993

Die genannten Kriterien schränken die Zahl der zu betrachtenden Maschinenbelegungspläne immer weiter ein, das heißt es gelten folgende Teilmengenbeziehungen:

$$\text{unverzögerte Pläne} \subseteq \text{aktive Pläne} \subseteq \text{zulässige Pläne}$$

2.6 Darstellung⁹

Zur Darstellung von Maschinenbelegungsproblemen eignen sich Bearbeitungszeitmatrizen, Maschinenfolgematrizen, Maschinenfolge- und Ablaufgraphen sowie Gantt-Diagramme.

2.6.1 Bearbeitungszeitmatrix t_{im}

Die Bearbeitungszeitmatrix gibt die Bearbeitungszeiten aller Aufträge i auf allen Maschinen m an. Dabei geben die Spalten die jeweilige Maschine an und die Zeilen stehen für die verschiedenen Aufträge. Demnach steht der erste Wert in der Matrix für die Bearbeitungszeit von Auftrag 1 auf Maschine 1. Der erste Wert in der zweiten Spalte steht für die Bearbeitungszeit von Auftrag 1 auf Maschine 2 usw (siehe Abbildung 1).

t_{im}	$i \ m$	1	2	3
	1	3	3	2
	2	3	2	3
	3	3	4	1

Abbildung 1:
Bearbeitungszeitmatrix

⁹ Domschke, W., Scholl, A., Voß, S.: *Produktionsplanung – Ablauforganisatorische Aspekte*, Springer, Heidelberg, 1993

2.6.2 Maschinenfolgematrix μ_{ih}

Die Maschinenfolgematrix (Abbildung 2) gibt an, welcher Arbeitsgang h von jedem Auftrag i auf welcher Maschine bearbeitet wird. Wie in Abbildung 2 zu entnehmen, wird der Auftrag 2 zuerst auf Maschine 2, danach auf Maschine 3 und zuletzt auf Maschine 1 bearbeitet.

μ_{ih}	i \ h	1	2	3
	1	1	2	3
	2	2	3	1
	3	2	1	3

Abbildung 2:
Maschinenfolgematrix

2.6.3 Maschinenfolgegraph

Die Vorgaben hinsichtlich der Arbeitsgang- und der Maschinenfolgen lassen sich in dem in Abbildung 3 angegebenen Maschinenfolgegraphen veranschaulichen. Jede Knotenbezeichnung entspricht der Maschine μ_{ih} , die den Arbeitsgang h des Auftrages i auszuführen hat.

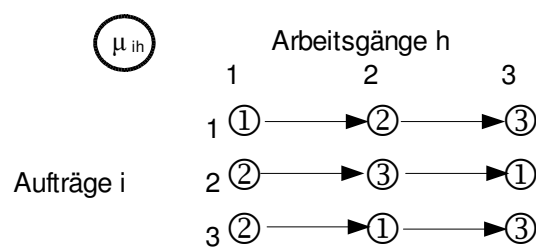


Abbildung 3: Maschinenfolgegraph

2.6.4 Ablaufgraph

Bei der Bestimmung von Auftragsfolgen ist für jede Maschine m festzulegen, in welcher Reihenfolge die einzelnen Aufträge i auf ihr zu bearbeiten sind. Dabei sind innerhalb des Maschinenfolgegraphen jeweils die Knoten mit derselben Maschinenbezeichnung m durch zusätzliche Pfeile, die jeweils genau einen Weg bilden, zu verbinden. Der dadurch entstehende Graph heißt Ablaufgraph. Abbildung 4 zeigt den Ablaufgraphen für obiges Problem, wenn die Aufträge auf der Maschine 1 in der Reihenfolge 1, 3, 2, auf der Maschine 2 in der Reihenfolge 3, 2, 1 und auf der Maschine 3 in der Reihenfolge 2, 1, 3 bearbeitet werden.

Ist der Ablaufgraph zyklensfrei, so repräsentiert er einen zulässigen Ablaufplan.

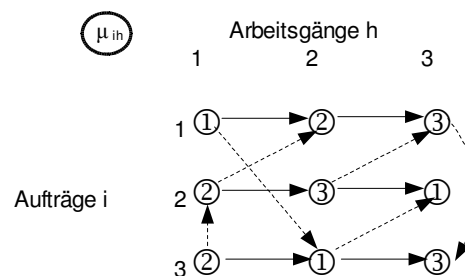


Abbildung 4: Ablaufgraph

2.6.5 Gantt-Diagramme

Bei Gantt-Diagrammen werden die Bearbeitungszeiten über die Abszisse (Zeitachse) sowie die Maschinen bzw. die Aufträge über die Ordinate aufgetragen. Dabei unterscheidet man eine maschinenorientierte und eine auftragsorientierte Darstellung. Beide Varianten der Darstellung sind in Abbildung 5 bzw. Abbildung 6 veranschaulicht. Es sind alle Arbeitsgänge unter Berücksichtigung der Reihenfolgebeziehungen des Ablaufgraphen frühestmöglich eingeplant. Dabei entsprechen die schraffierten Felder den Leerzeiten der Maschinen bzw. den Wartezeiten der Aufträge. Da die Maschinen unterschiedliche Auftragsfolgen aufweisen, handelt es sich hier um einen normalen Ablaufplan, aber nicht um einen Permutationsplan.

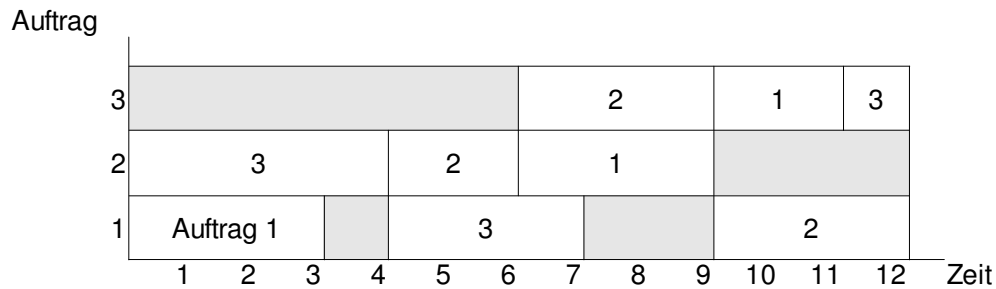


Abbildung 5: maschinenorientiertes Gantt-Diagramm

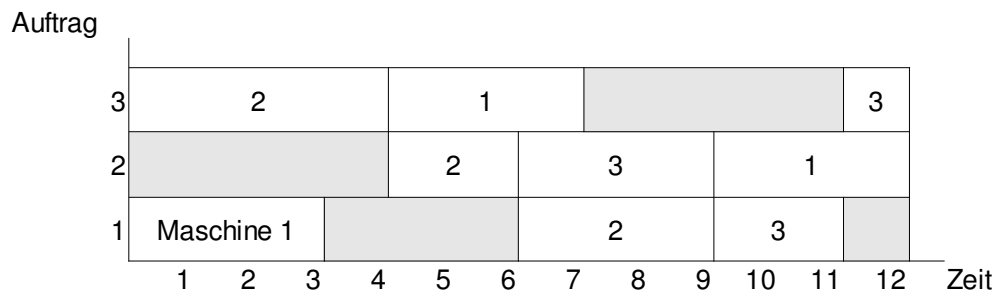


Abbildung 6: auftragsorientiertes Gantt-Diagramm

2.7 Zielsetzungen^{10,11}

Eine weitere Einschränkung der Maschinenbelegungspläne erfolgt aufgrund quantitativer Zielsetzungen, die bei der Aufstellung des Maschinenbelegungsplanes zu beachten sind.

Das Ziel bei der Maschinenbelegung ist es, die n Jobs auf dem m -Maschinen Produktionssystem so anzuordnen, dass ein gewünschter Maßstab der Produktionskosten minimiert wird.

Als Zielsetzung kommen bei der Maschinenbelegung vorwiegend zeitbezogene Zielgrößen in Frage. Es besteht die Möglichkeit eine maximale Zeitdauer zu minimieren (Minimax-Zielsetzung), eine Summe von Zeitgrößen zu minimieren oder die Anzahl von Aufträgen mit einer bestimmten, zeitlich spezifizierten Eigenschaft (z.B. Verspätung) zu minimieren.

¹⁰ Domschke, W., Scholl, A., Voß, S.: *Produktionsplanung – Ablauforganisatorische Aspekte*, Springer, Heidelberg, 1993

¹¹ Hartl, R. F., Dörner, K.: Operative Planungsprobleme, *Operations Management Vorlesungsskript*, 107 – 120, 2005

2.7.1 Durchlaufzeitbezogene Ziele

Bei durchlaufzeitbezogenen Zielen gilt es, die Aufträge so einzuplanen, dass ein Auftrag unmittelbar nach seiner Bereitstellung bearbeitet und fertig gestellt werden kann.

Unter der Durchlaufzeit D_j (engl. flow time) eines Auftrages j versteht man jene Zeitspanne, die von seiner Bereitstellung a_j bis zu seiner Fertigstellung F_j vergeht.

Zu einer Wartezeit W_{ji} des Auftrages j kommt es, wenn der Auftrag vor der Maschine i auf seine Bearbeitung warten muss obwohl er schon bereitgestellt wurde (a_j) bzw. auf der vorhergehenden Maschine fertig bearbeitet wurde. Da Wartezeiten die Durchlaufzeit eines Auftrages verlängern, gilt es auch diese zu minimieren.

2.7.1.1 Minimierung von Durchlaufzeit bzw. Wartezeit

Durchlaufzeit: $D_j = F_j - a_j$

Wartezeit: $W_j = D_j - \sum_{m=1..M} t_{jm}$

Die Minimierung von Durchlaufzeit und Wartezeit sind äquivalente Ziele. Das bedeutet, dass die dazugehörigen Zielfunktionen durch Lineartransformation (Multiplikation und/oder Addition) mittels konstanter Parameter ineinander überführbar sind. Die Verfolgung des einen Zieles führt also auch zu einer Verbesserung des anderen Zieles et vice versa.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten der Zielformulierung, aber da all diese Formulierungen identisch sind, also zum selben Ergebnis führen, ist es egal welche Art der Zielformulierung man wählt. Minimiert man zum Beispiel die Summe der Durchlaufzeiten kommt man zum selben Endergebnis wie bei der Minimierung der mittleren Durchlaufzeit.

Summe der Durchlaufzeiten

$$D := \sum_{j=1..n} D_j \rightarrow \min$$

mittlere Durchlaufzeit

$$D/n \rightarrow \min$$

Summe der Wartezeiten

$$W := \sum_{j=1..n} W_j \rightarrow \min$$

2.7.1.2 Minimierung der maximalen Durchlaufzeit

$$D_{\max} := \max \{D_j \mid j = 1, \dots, n\} \rightarrow \min$$

2.7.2 Kapazitätsorientierte Ziele

Kapazitätsorientierte Ziele orientieren sich an der Auslastung der Maschinen. Man versucht, den Auftrag so zu planen, dass die Maschine nur solange belegt ist, wie unbedingt nötig, um die Maschine so schnell wie möglich für den nächsten Auftrag zur Verfügung zu stellen. Außerdem gilt es Gesamtbearbeitungszeiten zu minimieren.

Die Zykluszeit Z (engl. makespan) beschreibt die Gesamtbearbeitungszeit vom Beginn des ersten Auftrages bis zum Ende des letzten Auftrages.

Zu einer Leerzeit L_i (engl. idle time) auf Maschine i kommt es, wenn i keinen Auftrag bearbeitet, d.h. wenn Maschine m noch nicht mit der Bearbeitung von Auftrag $j+1$ beginnen kann, obwohl Auftrag j auf Maschine m bereits fertiggestellt wurde.

2.7.2.1 Minimierung von Zykluszeit bzw. Leerzeit

$$\text{Zykluszeit} \quad Z := \max \{F_j \mid j = 1, \dots, n\}$$

$$\text{Leerzeit} \quad L_i = Z - \sum_{j=1..n} t_{ji}$$

Auch die Minimierung von Zykluszeit und Leerzeit sind äquivalente Ziele. Demnach führt eine Minimierung der Zykluszeit auch automatisch zu einer minimalen Leerzeit. Und auch die Maximierung der durchschnittlichen Maschinenauslastung ist äquivalent zur Minimierung der Zykluszeit und der Leerzeit.

Minimierung der Zykluszeit

$$Z \rightarrow \min$$

Minimierung der Leerzeit

$$L := \sum_{i=1..m} L_i \rightarrow \min$$

2.7.2.2 Maximierung der durchschnittlichen Kapazitätsauslastung

$$\sum_{j=1..n} \sum_{i=1..m} t_{ji} / m \rightarrow \max$$

2.7.3 Terminorientierte Ziele

Bei terminorientierten Zielen geht es darum, bestimmte Termine einzuhalten und Terminabweichungen (Verspätungen bzw. Verfrühungen) zu vermeiden bzw. zu minimieren.

Allgemein lässt sich die Terminabweichung T_j (engl. lateness) eines Auftrages j als Differenz zwischen tatsächlichem Fertigstellungszeitpunkt F_j und gewünschtem Fertigstellungszeitpunkt f_j ausdrücken.

Ist die Terminabweichung $T_j > 0$, liegt eine Verspätung V_j (engl. tardiness) des Auftrages j vor und es kann möglicher Weise zu Strafkosten kommen.

Wenn hingegen die Terminabweichung $T_j < 0$ ist, handelt es sich um eine Verfrühung (engl. earliness) des Auftrages j und die Kapitalbindung des Unternehmens wird verbessert.

2.7.3.1 Minimierung der maximalen Terminabweichung

$$T_j = F_j - f_j$$

$$T_{\max} := \max\{T_j \mid j = 1, \dots, n\} \rightarrow \min$$

2.7.3.2 Minimierung der maximalen Verspätung

$$V_j = \max\{0, T_j\}$$

$$V_{\max} := \max\{V_j \mid j = 1, \dots, n\} \rightarrow \min$$

2.7.3.3 *Minimierung der Summe aller Verspätungen*

$$V := \sum_{j=1..n} V_j \rightarrow \min$$

2.7.3.4 *Minimierung der Anzahl verspäteter Aufträge*

In diesem Fall werden die Aufträge so eingeplant, dass jene Aufträge die ohnehin zu einer Verspätung führen würden, am Ende eingeplant werden, so dass nicht noch mehr Aufträge nach hinten verschoben werden müssen, und ebenfalls verspätet fertig gestellt werden können.

Ebenfalls bei den terminorientierten Zielen bestehen äquivalente Zielbeziehungen, zum Beispiel wenn man die Summe der Zielgrößen F_j , D_j , T_j oder V_j , oder deren Mittelwert minimiert bzw. maximiert. All diese Ziele sind äquivalent.

2.7.4 *Dilemma der Ablaufplanung*

Neben der bereits besprochenen Äquivalenz von Zielen, gibt es auch den Fall, dass zwischen zwei oder mehreren Zielen keine Zielbeziehung besteht, diese Ziele sind dann zueinander konkurrierend. Dies ist zum Beispiel der Fall zwischen der Minimierung der Durchlaufzeit und der Zykluszeit. Wenn man eine Verbesserung des einen Ziels anstrebt, kommt es automatisch zu einer Verschlechterung des anderen Ziels. Diesen Sachverhalt bezeichnet man als Dilemma der Ablaufplanung.

2.8 Lösungsverfahren

2.8.1 Exakte Verfahren¹²

Exakte Lösungsverfahren liefern immer das optimale Ergebnis, aber dies ist meist mit einem sehr hohen Rechenaufwand verbunden.

Die hier behandelten exakten Verfahren sind verschiedene Arten von Entscheidungsbaumverfahren.¹³

2.8.1.1 Vollständige Enumeration¹⁴

Bei der vollständigen Enumeration werden alle möglichen Anordnungen berechnet. Dies führt zu einem erheblichen Rechenaufwand und ist deshalb nur bei kleinen Problemen effizient anwendbar. Der große Rechenaufwand ergibt sich dadurch, dass bei steigender Komplexität der Rechenaufwand exponentiell ansteigt.

Da bei der vollständigen Enumeration alle Lösungsmöglichkeiten berechnet werden, liefert sie automatisch immer die optimale Lösung für das Problem.

2.8.1.2 Begrenzte Enumeration¹⁴

Die begrenzte Enumeration reduziert im Vergleich zur vollständigen Enumeration den Rechenaufwand. Dies wird dadurch erreicht, dass der Algorithmus zwar beginnt jede einzelne Lösungsvariante zu berechnen, aber vorzeitig abbricht, wenn ein bestimmter Höchstwert überschritten wurde. Dieser Höchstwert kann zum Beispiel das bis zu diesem Zeitpunkt ermittelte Optimum sein, also der Zielfunktionswert der besten bisher bekannten Lösung. Obwohl dieses Verfahren den Rechenaufwand reduziert, ist es trotzdem nicht für sehr große Probleme geeignet. Der Grund dafür ist wieder die exponentielle Entwicklung der Lösungsvarianten.

¹² http://homepage.uibk.ac.at/~c4321003/pdf/papers/HorSchObh2005_SemarbLog.pdf (05.09.2008)

¹³ **Saliger, E.:** *Betriebswirtschaftliche Entscheidungstheorie: Einführung in die Logik individueller und kollektiver Entscheidungen*, Oldenburg 2003

¹⁴ **Stache, U., Zimmermann, W.:** *Operations Research: Quantitative Methoden zur Entscheidungsvorbereitung*, Oldenburg Wissenschaftsverlag, 2001

2.8.1.3 *Branch and Bound*¹⁵

Beim Branch and Bound-Verfahren wird die Menge der möglichen Lösungen geteilt (Branching) und für jede der so entstandenen Teilmengen eine Grenze bestimmt (Bounding). Je nachdem ob es sich um ein Minimierungs- oder Maximierungsproblem handelt, muss der optimale Zielfunktionswert der jeweiligen Teilmenge unter der bestimmten Grenze (bei Minimierung) bzw. über der Grenze (bei Maximierung) liegen. Dasselbe Verfahren wird dann für die einzelnen Teilmengen wieder durchgeführt. Lösungszweige, welche die an sie gestellten Anforderungen an den Zielfunktionswert nicht erfüllen, werden aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen und gar nicht mehr berechnet. Dies verringert im Gegensatz zur begrenzten Enumeration nochmals den Rechenaufwand. Auf diese Weise gelangt man am Ende zur optimalen Lösung für das Problem.

2.8.2 *Heuristische Verfahren*¹⁶

Weil bei exakten Verfahren der Rechenaufwand mit steigender Komplexität des Problems exponentiell zunimmt, können große Probleme nicht mehr wirtschaftlich gelöst werden. Außerdem müssen in der betrieblichen Praxis rasch Lösungen gefunden werden, da es sich um sehr kurzfristige Probleme der Produktionssteuerung handelt. Aus diesem Grund werden in der Reihenfolgeplanung und auch bei Tourenplanungssystemen heuristische Verfahren verwendet. Solche heuristischen Verfahren sind so genannte Näherungsverfahren, welche versuchen eine möglichst gute Annäherung an die optimale Lösung zu finden. Meist werden mehrere heuristische Verfahren kombiniert, um die Lösung zu verbessern und noch näher an die optimale Lösung heran zu kommen.

Begonnen wird mit einem Eröffnungsverfahren, um eine möglichst gute Ausgangslösung zu generieren. Dann wird mittels Verbesserungsverfahren die Ausgangslösung Schritt für Schritt dem Optimum angenähert.

Bei einigen einfachen Problemen können heuristische Verfahren sogar als exakte Verfahren eingesetzt werden, wie zum Beispiel bei einigen Ein-Maschinen-Problemen.

15 Domschke, W.: *Logistik: Rundreisen und Touren*, 4. Auflage, Oldenburg, München, 1997

16 http://homepage.uibk.ac.at/~c4321003/pdf/papers/HorSchObh2005_SemarbLog.pdf (05.09.2008)

2.8.2.1 Eröffnungsverfahren

Verfahren des besten Nachfolgers (engl. nearest neighbor)¹⁷

Dabei wird eine Lösung erzeugt, indem die Plätze der Reihenfolge vorwärts schreitend belegt werden. An jeder Stelle der Reihenfolge wird aus der Menge der noch nicht eingeplanten Varianten diejenige ausgesucht, welche einer bestimmten Prioritätsregel am besten genügt. Unterschiedliche Prioritätsregeln werden dabei herangezogen, wie zum Beispiel die Wahl jener Variante, die den geringsten Zuwachs an Leerzeit bewirkt.

Eine bekannte Erscheinung der Nearest-Neighbor-Heuristik ist, dass zu Beginn des Verfahrens günstige Anordnungen entstehen, am Ende aber gehäuft ineffiziente Reihenfolgen auftreten. Um diesen Effekt zu vermeiden, kann man zuerst kleinere Teilreihenfolgen erzeugen und diese dann zu einer Gesamtreihenfolge zusammensetzen. Ausgehend von Teilreihenfolgen, die immer nur aus einer Variante bestehen, werden diejenigen Cluster zusammengefügt, die den Zielfunktionswert am wenigsten erhöhen. Wenn die Teilreihenfolgen eine vorgegebene Länge erreicht haben, ist der erste Verfahrensschritt abgeschlossen und die Gesamtreihenfolge kann zusammengesetzt werden.

Sukzessive Einbeziehung von Stationen¹⁸

Bei diesem Verfahren wird mit einer Ausgangslösung begonnen, und zwar die Einbeziehung der ersten Station bzw. des ersten Auftrages. Nun soll der nächste Auftrag kostenminimal eingefügt werden, das heißt es wird jene Position ausgewählt, bei der der Zielfunktionswert am wenigsten erhöht wird. Ausgehend von dieser Lösung wird der nächste Auftrag kostenminimal eingefügt. Dies wird solange wiederholt, bis alle Aufträge an der besten Stelle eingefügt wurden. Dieses Verfahren liefert normalerweise ein besseres Ergebnis, als das Verfahren des besten Nachfolgers.

¹⁷ <http://www.wiwi.uni-jena.de/Papers/wp-sw0806.pdf> (05.09.2008)

¹⁸ <http://iwis1.uibk.ac.at/pl/dwnld/VL-Folien%20ABWL%20SS%202006.pdf> (05.09.2008)

*Prioritätsregelverfahren in der Ablaufplanung*¹⁹

Beim Prioritätsregelverfahren, engl. List Scheduling, wird in zwei Schritten vorgegangen. Im ersten Schritt werden die Aufträge nach einer vorgegebenen Prioritätsregel sortiert. Dann werden die Aufträge in Sortierreihenfolge auf den betrachteten Maschinen eingeplant.

Die bekanntesten und gebräuchlichsten Entscheidungs- oder Prioritätsregeln sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Jede der einzelnen Prioritätsregeln weist bestimmte Stärken und Schwächen auf, keine ist in der Lage, die unterschiedlichen Ziele gleichzeitig zu erreichen. Daher bietet es sich an, durch Kombination elementarer Prioritätsregeln mehrere Ziele adäquat zu berücksichtigen. Die Verknüpfung kann auf unterschiedliche Weise erfolgen.

Bei additiver Verknüpfung werden die sich nach den einzelnen Regeln ergebenden Zahlenwerte zu einem neuen Kriterium summiert. Dabei können die elementaren Regeln unterschiedlich gewichtet werden.

Entsprechend wird bei multiplikativer Verknüpfung das Produkt der Zahlenwerte gebildet. Zusätzlich ist eine Gewichtung der Kriterien über Exponenten möglich.

Alternative Verknüpfung bedeutet, dass je nach Situation eine andere Regel zur Anwendung kommt. Zum Beispiel kann man im Prinzip der KOZ-Regel vorgehen und die EDD-Regel bei drohenden Terminüberschreitungen anwenden, bis sich die Lage normalisiert hat.

Bei dominanter Verknüpfung steht eine Regel im Vordergrund, weitere werden nur herangezogen, wenn die Hauptregel gegenüber zwei Aufträgen indifferent ist.

Die Auswahl einer geeigneten Verknüpfung ist äußerst sorgfältig vorzunehmen, sonst kann es insbesondere bei additiver oder multiplikativer Verknüpfung zu einer Verstärkung negativer Effekte kommen.

Ein besonderer Vorteil der Prioritätsregeln gegenüber anderen Verfahren zur Maschinenbelegungsplanung besteht darin, dass durch ihre einfache und flexible Handhabung auch die Bewältigung einer dynamischen, d.h. sich im Zeitablauf durch Eintreffen und Abfertigung von Aufträgen ändernden Problemstellung möglich ist.

¹⁹ Domschke, W., Scholl, A., Voß, S.: *Produktionsplanung – Ablauforganisatorische Aspekte*, Springer, Heidelberg, 1993

Ihr größter Nachteil ist die myopische Sichtweise, durch die die Auswirkungen der jeweiligen Entscheidungen auf das zukünftige Entscheidungsfeld vernachlässigt werden.

Tabelle 1: Prioritätsregeln

Regel	Erklärung	Verfolgtes Ziel
Shortest Processing Time (SPT) Kürzeste Operationszeit (KOZ)	Sortierung der Aufträge nach monoton wachsenden Bearbeitungszeiten t_j	Min. mittlere Durchlaufzeit
Longest Processing Time (LPT) Längste Operationszeit (LOZ)	Sortierung der Aufträge nach monoton fallenden Bearbeitungszeiten t_j	Min. Zykluszeit
Shortest Remaining Processing Time (SRPT) Kürzeste Restbearbeitungszeit (KRB)	Sortierung der Aufträge nach monoton wachsenden Restbearbeitungszeiten; insbesondere bei Aufträgen mit mehreren Arbeitsgängen	Min. mittlere Durchlaufzeit
Longest Remaining Processing Time (LRPT) Längste Restbearbeitungszeit (LRB)	Sortierung der Aufträge nach monoton fallenden Restbearbeitungszeiten; insbesondere bei Aufträgen mit mehreren Arbeitsgängen	Min. Zykluszeit
Earliest Due Date (EDD) Lieferterminregel Jacksonregel	Sortierung der Aufträge nach monoton wachsenden gewünschten Fertigstellungsterminen f_j	Min. Verspätung
Earliest Release Date (ERD) First in first out (FIFO) First come first served (FCFS)	Sortierung der Aufträge nach monoton wachsenden Bereitstellungsterminen a_j	-

2.8.2.2 Verbesserungsverfahren²⁰

Vertauschungsverfahren

Nachdem eines der bereits diskutierten Eröffnungsverfahren angewendet wurde, kann nun mittels Verbesserungsverfahren die Lösung noch optimiert werden. Das Vertauschungsverfahren ist ein solches Verbesserungsverfahren. Es werden von der Ausgangslösung die Positionen von jeweils zwei Aufträgen vertauscht, die neue Lösung ermittelt und mit der Lösung vor dem Vertauschen verglichen. Tritt eine Verbesserung der Lösung ein, wird der Tausch beibehalten. Dieses Vorgehen wird für eine bestimmte Zeit bzw. für eine bestimmte Anzahl von Iterationen wiederholt.

²⁰ Domschke, W.: *Logistik: Rundreisen und Touren*, 4. Auflage, Oldenburg, München, 1997

2.9 Rüstzeiten im Rahmen der Maschinenbelegung²¹

Unter Rüstzeit versteht man die Zeit die benötigt wird um die für die Arbeitsoperation benötigten Produktionsfaktoren bereitzustellen, also die Vorbereitungszeit eine Maschine so einzustellen, dass man mit dem nächsten Auftrag beginnen kann.

Dazu zählen die Kapazitäten, wie Personal, Betriebsmittel, Werkzeug, Vorrichtungen etc. und Eingaben in den Fertigungsprozess, wie zum Beispiel Material, Informationen bzw. Informationsträger (dazu zählen Arbeitspläne und Auftragspapiere) sowie Energie. Je nach Art des vorangegangenen Auftrages und jenem Auftrag der als nächstes folgt, kann die Rüstzeit länger oder kürzer sein. Deshalb empfiehlt es sich, jene Aufträge, die ähnliche Anforderungen an die Maschine voraussetzen, hintereinander zu bearbeiten, und erst dann alle Aufträge zu bearbeiten, bei denen die Maschine erheblich umgebaut werden muss. Die Rüstzeiten sollen so gering und somit so kostengünstig wie möglich gehalten werden.

2.9.1 Klassifizierung von Rüstzeiten²²

Rüstzeiten, welche von der Bearbeitungszeit getrennt werden können, wo die Rüstzeiten also genau bekannt sind, können in reihenfolgeunabhängige und reihenfolgeabhängige Rüstzeiten unterteilt werden. Außerdem besteht noch die Möglichkeit, dass die Rüstzeiten nicht von der Bearbeitungszeit getrennt werden können bzw. die Rüstzeiten marginal und unerheblich sind, und deshalb vernachlässigt werden können.

2.9.1.1 Reihenfolgeunabhängige Rüstzeiten (*sequence independent setup times*)

In diesem Fall sind die Rüstzeiten unabhängig vom derzeit bearbeiteten Auftrag und vor allem unabhängig von dem darauf folgenden Auftrag. Deshalb können reihenfolgeunabhängige Rüstzeiten, falls sie vom attached Typ sind, einfach zur Bearbeitungszeit des Auftrages addiert werden, weil sie ohnehin anfallen, egal welcher Auftrag als nächstes bearbeitet wird. Solche Abläufe beinhalten Aktivitäten wie zum Beispiel das Anbringen von Vorrichtungen und Aufsätzen an der Maschine.

²¹ Boysen, N.: *Variantenfließfertigung*, Gabler, 2005

²² Gupta, J., Wang, G., Cheng, E.: A Review of Flowshop Scheduling Research with Setup Times, *Production and Operations Management* 9 (3), 262 - 282, 2003.

Eingebundene Rüstzeiten (engl. non-anticipatory (attached) setup times)

Eingebundene Rüstzeiten sind Rüstzeiten, die direkt in den Auftrag eingebunden sind, das heißt man kann mit dem Rüstvorgang erst dann beginnen, wenn der Auftrag oder mindestens ein Element vom Auftrag bei der Maschine angekommen ist. Da in diesem Fall die Leerzeit der Maschine nach Beendigung des vorigen Auftrages nicht zum Rüsten verwendet werden kann, weil man ohnehin auf das Eintreffen des nächsten Auftrages warten muss, kann man die Rüstzeit direkt zu der Bearbeitungszeit addieren und es entsteht ein Modell, das als Standard Flowshop-Modell formuliert und gelöst werden kann.

Alleinstehende Rüstzeiten (engl. anticipatory (detached) setup times)

Wenn die Rüstzeiten vom Auftrag getrennt werden können, also der Rüstvorgang schon beginnen kann, sobald die Maschine frei wird, spricht man von detached setup times. Hier kann die Leerzeit der Maschine bereits für das Rüsten verwendet werden, und sobald das erste Element des nächsten Auftrages bei der Maschine eintrifft, kann mit der Bearbeitung des Jobs begonnen werden.

2.9.1.2 Reihenfolgeabhängige Rüstzeiten (sequence dependent setup times)

Bei reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten ist die Rüstzeit auftragsabhängig, das heißt dass die Zeit die zum Rüsten benötigt wird davon abhängt, welcher Auftrag gerade bearbeitet wird und welcher Auftrag als nächstes an der Reihe ist.

Dazu gehören Arbeiten, wie zum Beispiel das Einstellen der Vorrichtungen und Aufsätze an der Maschine für den jeweiligen spezifischen Auftrag.

Aufgrund der Beschaffenheit von reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten, können sie nur vom detached Typ sein, da die Informationen über den gerade bearbeitenden Auftrag sowie jene für den nächsten Job erforderlich sind, um die benötigte Rüstzeit feststellen zu können.

2.9.2 Erfassung von Rüstkosten²³

Die Rüstkosten ergeben sich aus der Summe der direkten und der indirekten Rüstkosten.

2.9.2.1 Direkte Rüstkosten

Die direkten Rüstkosten stehen proportional zur Rüstzeit, darunter fallen zum Beispiel Personalkosten und Werkzeug und sie dienen als Bewertung des direkten Faktoreinsatzes beim Rüsten (z.B. zerstörende Werkzeugprüfung).

2.9.2.2 Indirekte Rüstkosten

Indirekte Rüstkosten werden durch den Produktionsstillstand verursacht und dienen als Bewertung der Rüstleerzeiten der Betriebsmittel (Maschinen), aber auch der Arbeitszeit der Einrichter, wenn diese als fixe Kapazitäten betrachtet und im Zeitlohn bezahlt werden.

Die indirekten Rüstkosten ermitteln sich aus der Summe der Maschinenkosten je Zeiteinheit und des Lohnsatzes des Einrichters je Zeiteinheit multipliziert mit der Rüstzeit.

²³ <http://iwis1.uibk.ac.at/pl/dwnld//SBWL%20GK%20WS05%20Folien%20Teil%2001.pdf>
(05.09.2008)

3. Lineare Optimierung^{24,25}

Ein Modell ist ein vereinfachtes Abbild eines realen Systems oder Problems. Im Rahmen quantitativer Methoden werden zur Lösung im wesentlichen Entscheidungs- bzw. Optimierungs- sowie Simulationsmodelle benutzt.

Ein Entscheidungs- bzw. Optimierungsmodell ist eine formale Darstellung eines Entscheidungs- oder Planungsproblems, das in seiner einfachsten Form eine Menge von Alternativen und eine diese bewertende Zielfunktion enthält. Es wird aufgestellt, um mit geeigneten Verfahren optimale oder suboptimale Lösungsvorschläge ermitteln zu können.

Die Modelle der linearen Optimierung (LP – linear programming) bestehen aus einer oder mehreren linearen Zielfunktionen und linearen Nebenbedingungen. Die Variablen dürfen (in der Regel nur nichtnegative) reelle Werte annehmen.

Bei der ganzzahligen linearen Optimierung (ILP – integer linear programming) sind Zielfunktionen und Nebenbedingungen ebenfalls linear. Die Variablen dürfen jedoch nur ganzzahlige oder binäre Werte annehmen.

Das gemischt ganzzahlige bzw. gemischt-binäre Optimierungsproblem (MILP – mixed integer linear programming) ist eine lineare Optimierung mit der zusätzlichen Einschränkung, dass einige der Variablen nur ganzzahlige oder binäre Werte annehmen dürfen.

3.1 Entscheidungsvariablen

Um aus allen möglichen alternativen Lösungen eine optimale Entscheidung für das bestehende Problem treffen zu können, benötigt man so genannte Entscheidungsvariablen. Das sind jene Variablen die variiert werden können, und zwar so, dass sie am Ende eine optimale Lösung des Problems liefern.

24 **Winston W. L.:** *Operations Research – Applications and Algorithms*, 3. Auflage, Duxbury Press, Belmont, 1994

25 **Ellinger, Beuermann, Leisten:** *Operations Research – eine Einführung*, 6. Auflage, Springer, Berlin, 2003

Sie repräsentieren jene Größen, die im realen Prozess kontrolliert werden können und gelten deshalb als wichtige Faktoren die in die Zielfunktion mit einfließen.

3.2 Zielfunktion

Das bestehende Problem soll hinsichtlich eines bestimmten Zieles gelöst werden.

Dieses Ziel der Problemstellung beschreibt die Zielfunktion. Sie enthält Entscheidungsvariablen und Zielfunktions-Koeffizienten, welche technologisch determiniert sind und die Gewichtung der Entscheidungsvariablen beeinflussen. Da es sich um lineare Optimierung handelt, muss die Zielfunktion linear sein und je nach verfolgtem Ziel kann die Zielfunktion maximiert werden, zum Beispiel bei Erlösen und Gewinnen, oder sie kann minimiert werden, zum Beispiel bei Kosten.

3.3 Nebenbedingungen

Um eine reale Lösung zu bekommen, gibt es Nebenbedingungen, welche die Zielfunktion und somit die Entscheidungsvariablen in der Erreichung ihres Zieles einschränken. Die Nebenbedingungen sind ebenfalls linear und technologisch determiniert, indem sie die Lösung zum Beispiel hinsichtlich maximal verfügbarer Produktionsfaktoren, maximalen Produktionszeiten, maximalem Bedarf bzw. minimaler Produktionsmengen etc. einschränken. Eine weitere Einschränkung der Nebenbedingungen ist die Nichtnegativität der Entscheidungsvariablen. Oft ist es sinnvoll, den Entscheidungsvariablen nur positive Werte annehmen zu lassen.

Eine Nebenbedingung ist bindend, wenn sie den Lösungsraum beschränkt. Sie muss in jedem Fall bei der Entscheidung berücksichtigt werden. Eine nicht-bindende Nebenbedingung besitzt noch freie Ressourcen und könnte den Zielfunktionswert aus ihrer Sicht noch verbessern. Redundante Nebenbedingungen können ignoriert werden, da sie entweder nicht nötig sind oder durch eine andere, strengere Nebenbedingung automatisch erfüllt sind.

3.4 Lösungsraum (engl. Feasible area)

Eine mögliche Lösung (engl. Feasible solution), ist jede Lösung, die alle Nebenbedingungen erfüllt und im Gegensatz dazu steht die unmögliche Lösung (engl. Infeasible solution), bei der zumindest eine Nebenbedingung verletzt wurde.

Alle möglichen Lösungen bilden den Lösungsraum, wobei es die optimale Lösung (engl. Optimal solution) aus allen möglichen Lösungen zu finden gilt. Diese ist im Falle einer Maximierung der größte Zielfunktionswert innerhalb der möglichen Fläche und vice versa der kleinste Zielfunktionswert bei einer Minimierung.

3.5 Annahmen

3.5.1 Proportionalität (engl. proportionality)

Weil die Zielfunktion sowie jede Nebenbedingung linear sind, trägt jede Entscheidungsvariable proportional zu ihrer Höhe des Koeffizienten zur Zielfunktion und den Nebenbedingungen bei.

3.5.2 Additivität (engl. additivity)

Der Beitrag zur Zielfunktion, also der Zielfunktionskoeffizient einer Entscheidungsvariable, sowie der Koeffizient der Nebenbedingungen, sind unabhängig von den Werten der anderen Entscheidungsvariablen. Der Wert der Zielfunktion ist also die Summe der Beiträge der einzelnen Entscheidungsvariablen und die linke Seite jeder Nebenbedingung ist die Summe der Beiträge jeder vorkommenden Variable.

3.5.3 Teilbarkeit (engl. divisibility)

Die Annahme der Teilbarkeit der Entscheidungsvariablen gibt an, dass Entscheidungsvariablen jeden beliebigen reellen Wert annehmen können. Ist dies nicht erwünscht, sollen also die Entscheidungsvariablen teilweise oder zur Gänze ganzzahlig sein, spricht man von der so genannten ganzzahligen linearen Optimierung. Oft wird die Eigenschaft der Teilbarkeit der Entscheidungsvariablen weggelassen, da es meist sinnvoll ist ganzzahlige bzw. binäre Werte für die Entscheidungsvariablen zu generieren.

3.5.4 Nichtnegativität (engl. Non-negativity)

Allgemein wird angenommen, dass Entscheidungsvariablen nur nicht-negative Werte annehmen können. Dies ist aber kein bindendes Erfordernis. Man kann, wenn es die Natur des Problems erfordert, auch angeben, dass Entscheidungsvariablen auch negative Werte besitzen dürfen.

3.5.5 Bestimmtheit (engl. Certainty)

Die Annahme der Bestimmtheit besagt, dass alle Parameter, wie zum Beispiel Daten, Zielfunktionskoeffizienten, technologische Koeffizienten, Koeffizienten in Nebenbedingungen usw. mit Sicherheit bekannt sind, also keiner Stochastik unterliegen.

4. Das Niederösterreichische Pressehaus

4.1 Das Unternehmen²⁶

Das Niederösterreichische Pressehaus mit Sitz in der niederösterreichischen Landeshauptstadt St.Pölten ist ein Produktions-, Dienstleistungs- und Handelsunternehmen und wird in der Rechtsform der Gesellschaft mit beschränkter Haftung geführt. Es befindet sich zu 54% im Eigentum des römisch-katholischen Bistums St.Pölten, zu 26% im Eigentum des Pressevereins der Diözese St.Pölten und zu 20% im Eigentum der Raiffeisen-Holding NÖ-Wien. 1874 wurde der katholische Pressverein der Diözese St.Pölten in Krems gegründet und als erste Zeitung der „Pressvereinsbote“ mit einer Auflage von 7.000 Stück gedruckt. Durch weitere Übernahmen und Zeitungsneugründungen baute der Pressverein den Zeitungsring konsequent aus und etablierte eine eigene Druckerei. Im Jahre 1965 bestanden die „Niederösterreichischen Nachrichten“ aus 13 Lokalzeitungen und das Pressehaus sollte noch weiter expandieren. Die „Niederösterreichische Pressehaus Druck- und Verlagsgesellschaft m.b.H.“ wurde 1970 gegründet und heute besteht die Kauf-Wochenzeitung „Niederösterreichische Nachrichten“ aus 28 Lokalausgaben mit einer Gesamtauflage von mehr als 220.000 Stück.

Das Niederösterreichische Pressehaus umfasst neben dem Zeitungsverlag auch noch die Bereiche Buchverlag und Druckerei.

4.2 Bereiche

4.2.1 Zeitungsverlag

Der Zeitungsverlag ist mit seiner Gründung von 1874 das älteste Standbein des Niederösterreichischen Pressehauses und umfasst die Kaufzeitungen NÖN (Niederösterreichische Nachrichten) und BVZ (Burgenländische Volkszeitung) sowie einige Gratiszeitungen (LHZ - Landeshauptstadtzeitung, NÖ Rundschau, Unser Niederösterreich). Zusätzlich erscheinen mehrmals jährlich Extra-Beilagen und

²⁶ <http://www.noep.at> (23.10.2008)

Postwürfe mit Schwerpunktthemen (z.B. Auto, Immobilien, Wellness etc.) sowie Saisonprodukte und Specials wie zum Beispiel der niederösterreichische Ärzteführer oder der Ferienwegweiser.

4.2.1.1 Niederösterreichische Nachrichten

Da es in der vorliegenden Arbeit ausschließlich um die Produktion der NÖN geht, legt dieser Abschnitt sein Hauptaugenmerk darauf.

Die NÖN ist eine Kauf-Wochenzeitung und besteht mittlerweile aus 28 regionalen Ausgaben. Die lachsfarbene Landeszeitung ist fixer Bestandteil der NÖN und befindet sich jede Woche als Beilage in dieser. Da sie bundeslandweite aktuelle Themen behandelt, variiert ihr Inhalt innerhalb der Ausgaben nicht. Auch das österreichische Fernsehmagazin TELE ist jede Woche als Beilage in der NÖN zu finden. Andere Beilagen wie zum Beispiel das dm-Journal, Red Bulletin, NÖN-Eigenbeilagen (Kleinanzeiger, Gebrauchtwagen-Extra etc.) und verschiedene regionale Prospekte können von Ausgabe zu Ausgabe variieren. Auch die Anzahl der Beilagen ist in jeder Ausgabe und Woche unterschiedlich, sie reicht von den zwei fixen Beilagen bis hin zu 6 oder sogar 8 Beilagen.

Da der Redaktionsschluss jeder Ausgabe unmittelbar vor dem Druck stattfindet, kann der Inhalt noch kurz vor Druckbeginn verändert und aktualisiert werden. Diese Eigenschaft macht die NÖN zur aktuellsten Wochenzeitung und erfreut sich bei den Lesern größter Beliebtheit. Der Nachteil dieser hohen Aktualität besteht darin, dass nur wenig Spielraum bei Druckausfällen und Maschinenproblemen besteht. Fehler müssen dann so schnell wie möglich behoben werden und die Produktion der folgenden Ausgaben muss beschleunigt werden um den Produktionsplan weiter einzuhalten. Nur in den seltensten Fällen ist der Erscheinungstermin einer Ausgabe gefährdet, denn meist kommt es nur zu sehr kurzen Wartezeiten, die der Leser gar nicht bemerkt, da die Zeitung direkt nach der Fertigstellung noch pünktlich in den Einzelhandel oder zu den Abonnenten geliefert werden kann. Die unterschiedlichen Ausgaben erscheinen je nach Produktionstag von Montag (z.B. Wr.Neustadt, Krems, St.Pölten etc.) bis Mittwoch (z.B. Tulln, Purkersdorf, Schwechat etc.). Die Zeitung umfasst zwischen mindestens 64 und höchsten 96 Seiten und die Auflage variiert von 2.100 Stück für den Bezirk Purkersdorf bis hin zu 21.450 Stück für den Bezirk Krems.

Mit dem Redaktionsschluss werden die Platten belichtet und in die Druckmaschine eingespannt. Nach dem Druck werden die Beilagen in die Zeitung eingesteckt und die Zeitungen für Abonnenten adressiert. Sofort nach der Fertigstellung erfolgt die Auslieferung an den Einzelhandel und die Abonnenten.

4.2.2 *Druckerei*²⁷

Der Bereich der Druckerei entstand 1915 mit der ersten Zeitungsrotationsmaschine und mit der Inbetriebnahme der Rollenoffset-Maschine im Jahr 1984 erfolgte der Einstieg in den industriellen Akzidenzrollendruck. NP DRUCK ist der Spezialist für die Produktion von Katalogen, Prospekten, Flugblättern, Zeitschriften und Zeitungen in mittleren bis Millionen-Auflagen. Rund 180 verschiedene Zeitungs- und Zeitschriftentitel werden bereits gedruckt. Durch die Leistungen im Bereich NP DRUCK können so gut wie alle individuellen Kundenwünsche erfüllt werden. Nicht nur der eigentliche Druck, sondern auch alle vorbereitenden Arbeiten, wie zum Beispiel grafische Gestaltung, Scannen und Druckplattenherstellung und auch nachfolgende Arbeiten, wie die Adressierung und Verpackung werden auf Wunsch erledigt. Jeder Firmenkunde kann seine Prospekte, Kataloge, Flugblätter etc. bei NP DRUCK in Auftrag geben.

4.2.3 *Residenzverlag*²⁸

Der Residenz Verlag im NÖ Pressehaus ist ein eigener Buchverlag und umfasst die Bereiche Literatur, Sachbuch und Kinderbuch. Er wurde 1956 von Wolfgang Schaffler in Salzburg gegründet und 2004 vom Niederösterreichischen Pressehaus erworben. Residenz steht für anspruchsvolle deutschsprachige und internationale Literatur und für hochwertige Sachbücher in den Bereichen Kultur, Theater und Musik. Außerdem wurden die Schwerpunkte Gesundheit, Freizeit, Wandern, Zeitgeschichte und Unterhaltung, sowie kulinarische Themen und Bildbände in das Programm aufgenommen. Ein besonderes Augenmerk in der Literatur wird auf deutschsprachige und junge Autoren gelegt. Wer ein Manuskript an den Residenz Verlag schickt, kann mit etwas Glück und Begabung schon bald sein eigenes Buch, gedruckt vom Residenz Verlag im Niederösterreichischen Pressehaus, erwerben.

²⁷ <http://www.np-druck.at> (23.10.2008)

²⁸ <http://www.residenzverlag.at> (23.10.2008)

5. Modellbildung zur Problembeschreibung

5.1 Abgrenzung der Problembeschreibung

Im Fall der Produktion der „Niederösterreichischen Nachrichten“ handelt es sich um ein Flow Shop – Maschinenbelegungsproblem mit reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten und offener Losweitergabe²⁹. Da es sich nicht um ein Permutations-Flow Shop handelt, können die Auftragsfolgen auf den einzelnen Maschinen unterschiedlich sein.

Begonnen wird mit einer Erklärung des Standard Flow Shop und dessen Charakteristika, der Modellformulierung^{30,31,32,33} und den wichtigsten Ergebnissen, danach folgt der Permutations-Flow Shop mit reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten und zuletzt wird der Flow Shop mit reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten vorgestellt, jeweils mit offener Losweitergabe. Auf diese Weise kann man die Veränderungen vom Standardmodell bis hin zu dem Modell, wie es bei der Produktion der „NÖN“ der Fall ist, Schritt für Schritt nachvollziehen.

5.2 Process Design

Das Process Design umfasst alle Arbeitsschritte vom Redaktionsschluss bis zur Auslieferung der fertigen Zeitung. Eine grafische Darstellung ist im Anschluss in Abbildung 7 zu finden.

29 **Nieuwenhyse, V., Vandaele, I.:** Analysis of gap times in a two-stage stochastic flowshop with overlapping operations, *IIE Transactions* **38** (9), 777 – 787, 2006.

30 **Stafford, E., Tseng, F.:** Two MILP models for the NxM SDST flowshop sequencing problem, *International Journal of Production Research* **39** (8), 1777 – 1809, 2001.

31 **Hott, D., Selen, W.:** A Mixed-Integer Goal-Programming Formulation of the Standard Flow-Shop Scheduling Problem, *The Journal of the Operational Research Society* **37** (12), 1121 – 1128, 1986.

32 **Sonmez, A., Baykasoglu, A.:** A new dynamic programming formulation of (n x m) flowshop sequencing problems with due dates, *International Journal of Production Research* **36** (8), 2269 – 2283, 1998.

33 **Stafford, E.:** On the Development of a Mixed-Integer Linear Programming Model of the Flowshop Sequencing Problem, *The Journal of the Operational Research Society* **39** (12), 1163 – 1174, 1988.

Zeitpunkt 0:

Redaktionsschluss des jeweiligen Bezirks, das Layout und der Inhalt der gesamten Zeitung sind nun fertig.

Der Redaktionsschluss ist somit der Auftragsfreigabezeitpunkt a_j.

Zeitpunkt 1:

In der Abteilung NÖN-Technik werden die Platten für den Druck erstellt. Dabei werden die Platten belichtet, gestanzt, gebogen und in der richtigen Reihenfolge sortiert.

Dies dauert bei einem Umfang von 64 Seiten ca. 1 Stunde und bei 96 Seiten ca. 1,5 Stunden.

Da bereits vor dem eigentlichen Redaktionsschluss schon einige Seiten komplett fertig sind, können diese Platten schon vorher produziert werden, und somit sinkt die Dauer zum Platten erstellen auf durchschnittlich 30 min nach Redaktionsschluss.

Zeitpunkt 2:

Es kann mit der Einstellung, dem Rüstvorgang der Druckmaschine begonnen werden.

Die alten Platten werden entfernt und die neuen eingespannt. Dafür wird ein Zeitspanne von ca. 30 – 45 Minuten benötigt, je nachdem ob der Umfang der Zeitung verglichen mit dem vorangegangenen Bezirk gleich bleibt oder sich verändert.

Zeitpunkt 3:

Die Druckmaschine ist fertig gerüstet und nun bereit zum Drucken.

Die NÖN wird unabhängig von ihrem Umfang und ihrer Auflage mit einer Druckgeschwindigkeit von 23.000 Stk/Std gedruckt.

Zeitpunkt 4:

Die erste Palette dieser Auflage ist fertig gedruckt und ist somit schon bereit für die Einsteckmaschine in der Abteilung Expedit/Endfertigung.

Zeitpunkt 5:

Die Einsteckmaschine wird eingestellt – dabei werden die Beilagenaufleger je nach Größe und Stärke der Beilage richtig eingestellt und die Paketzettel sortiert. Der Rüstvorgang an der Einsteckmaschine dauert ca. zwischen 5 und 15 Minuten.

Zeitpunkt 6:

Die Einsteckmaschine ist nun bereit und die Beilagen werden in die Zeitung eingelegt. Dabei beträgt die Produktionsgeschwindigkeit ca. 8.500 – 11.000 Exemplare/Stunde je nach Anzahl der Beilagen und Gesamtgewicht der fertigen Zeitung. Mit kurzen Ausfällen und Beilagenänderungen innerhalb einer Bezirksauflage beträgt die Netto-Produktionsgeschwindigkeit somit ca. 6.500 – 9.500 Exemplare/Stunde.

Zeitpunkt 7:

Die Exemplare für den Einzelhandel und der Teil der Abonnements der von der Firma Redmail ausgeliefert wird bleibt unadressiert und wird direkt nach der Bearbeitung bei der Einsteckmaschine in Paketen gebündelt und versand- bzw. abholbereit gemacht. Jene Exemplare, welche als Abonnement per Post versendet werden, werden zur Inkjet-Adressieranlage gebracht wo sie mit der Adresse des Abonnenten versehen werden.

Zeitpunkt 8:

Auf der Inkjet-Adressieranlage werden nun die Postabonnements adressiert und ebenfalls gebündelt und abholbereit gemacht. Die Produktionsgeschwindigkeit beträgt im Normalfall ca. 6.000 Exemplare/Stunde brutto, was ca. 4.500 Exemplare/Stunde netto ergibt. Sind die Zeitungen sehr dick und schwer, das heißt enthalten sie viele Beilagen, müssen sie einzeln von Hand in die Maschine eingelegt werden und dann ergibt sich lediglich eine Produktionsgeschwindigkeit von ca. 1.800 – 2.000 Exemplare/Stunde.

Zeitpunkt 9:

Die Produktion dieses Bezirks ist fertig und bereit von den Auslieferern abgeholt zu werden bzw. per Post versendet zu werden. An dieser Stelle verlässt die Zeitung das Niederösterreichische Pressehaus.

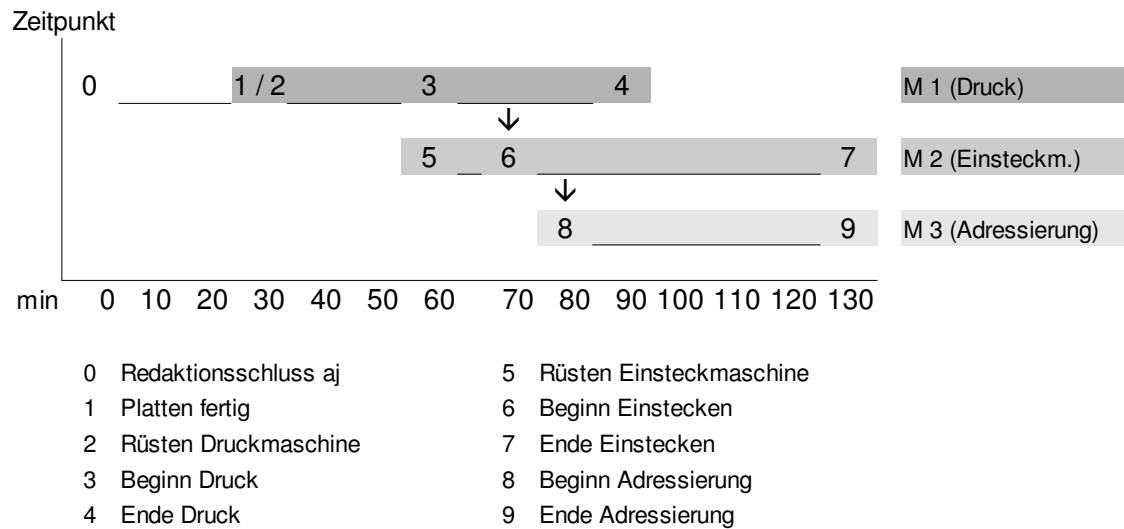


Abbildung 7: Process Design

5.3 Daten

5.3.1 Produktionsplan

Die zeitliche Auflistung der Produktionsschritte von Auftragsfreigabe bis Fertigstellung, also der aktuelle Produktionsplan der NÖN (Tabelle 19), gilt in dieser Form seit der Kalenderwoche 11 im Jahr 2007.

Er beinhaltet die genaue Reihenfolge der Bearbeitung, die jeweiligen Redaktionsschlüsse, Druckzeiten, Bearbeitungszeiten, sowie die Abholzeiten der verschiedenen Auslieferer. Jede Auflage wird von 3 verschiedenen Firmen ausgeliefert - die unadressierten Abonnements werden durch die Firma Redmail verteilt, die Firma Morawa ist für diejenigen Exemplare zuständig, die im Einzelhandel verkauft werden, und der letzte Teil, die adressierten Abonnements, wird per Post versendet. Demnach ergeben sich für jede Auflage 3 verschiedene gewünschte Fertigstellungszeitpunkte.

5.3.2 Auflage und Erscheinungstag

Die produzierte Stückzahl für jeden Bezirk (Tabelle 2) variiert von 2.100 Exemplaren für den Bezirk Purkersdorf bis hin zu 21.450 Exemplaren für den Bezirk Krems.

Insgesamt werden jede Woche 222.800 Stück gedruckt und mit Beilagen versehen, und 70.120 Exemplare werden adressiert.

Bereits am Montag erscheinen die ersten 12 Bezirke im Einzelhandel, Dienstags kann man dann weitere 11 Bezirksauflagen erwerben, und am Mittwoch sind auch die letzten 7 Bezirke im Verkauf erhältlich. Fast genau so schnell bekommen Abonnenten ihre Zeitung, wenn sie von der Firma Redmail ausgeliefert wird. Jene Abonnements, die per Post versendet werden, brauchen meist etwas länger. Nur die ersten 4 Bezirke können auch schon am Montag vom Kunden gelesen werden. Der Teil, der erst am Montag Nachmittag produziert wird, kann auch erst am Dienstag beim Kunden eintreffen. Die meisten Auflagen die per Post versendet werden, kommen am Mittwoch beim Leser an.

Tabelle 2: Auflage und Erscheinung im Einzelhandel

Nr.	Ausgabe	Gesamt- auflage	davon Postabos	davon Redmail	davon Morawa	Erscheinung Einzelhandel
1	Wr. Neustädter Zeitung	12.150	2.660	2.330	7.160	Montag
2	Kremser Zeitung	21.450	6.100	6.110	9.240	
3	St.Pöltner Zeitung	17.050	4.510	5.370	7.170	
4	Pielachtal	4.590	1.500	1.150	1.940	
5	Neunkirchen	9.600	2.700	1.090	5.810	
6	Baden / Bad Vöslau	5.200	950	820	3.430	
7	Amstettner Zeitung	10.500	3.600	2.600	4.300	
8	Haag / St. Valentin	4.150	1.930	580	1.640	
9	Bote von der Ybbs (Ybbstal)	6.950	2.100	1.800	3.050	
10	Erlauftal	9.950	4.330	1.830	3.790	
11	Herzogenburg / Traismauer	5.410	1.200	2.050	2.160	
12	Lilienfelder Zeitung	6.050	2.220	1.080	2.750	
13	Wienerwald	4.200	1.140	1.370	1.690	Dienstag
		117.250	34.940	28.180	54.130	
14	Melker Zeitung	12.750	4.480	2.910	5.360	Dienstag
15	Korneuburg / Stockerau	5.850	1.750	1.210	2.890	
16	Hollabrunn	6.350	1.810	1.830	2.710	
17	Mistelbach	7.800	3.340	1.020	3.440	
18	Gänserndorf	7.300	2.300	1.520	3.480	
19	Horn / Eggenburg	8.400	3.030	2.210	3.160	
20	Zwettler Zeitung	8.600	3.850	2.000	2.750	
21	Waidhofner Zeitung	6.900	2.750	1.530	2.620	
22	Gmünder Zeitung	8.950	2.250	3.340	3.360	
		72.900	25.560	17.570	29.770	
23	Tullner Bezirksnachrichten	11.150	4.400	2.840	3.910	Mittwoch
24	Mödling / Perchtoldsdorf	8.350	2.220	2.250	3.880	
25	Klosterneuburger Nachrichten	3.750	790	770	2.190	
26	Purkersdorf	2.100	440	490	1.170	
27	Brucker Grenzbote	5.000	1.390	920	2.690	
28	Schwechat-Fischamend	2.300	380	190	1.730	
		32.650	9.620	7.460	15.570	
Gesamtsummen		222.800	70.120	53.210	99.470	

5.3.3 Anzahl der Beilagen

Im 1. Halbjahr 2007 gab es 4.110 Beilagenaufträge (inkl. der fixen Beilagen Tele und Landeszeitung). Das bedeutet, dass durchschnittlich 158 Beilagenaufträge pro Woche verarbeitet wurden bzw. die NÖN im Durchschnitt 5,65 Beilagen pro Woche und Ausgabe enthält.

5.3.4 Produktionsgeschwindigkeiten

5.3.4.1 Druckmaschine

Beim Zeitungsdruck beträgt die maximale Druckgeschwindigkeit bei einer Auflage von 64 Seiten 37.500 Exemplare pro Stunde, bei 96 Seiten nur noch 30.000 Stück pro Stunde. Tatsächlich gedruckt wird die NÖN, unabhängig von der Auflagenstärke und Seitenanzahl, immer mit einer Geschwindigkeit von 23.000 Exemplaren pro Stunde, wobei dies nur im besten Fall erreicht wird, da schon kurze Verzögerungen zu einem Nettoergebnis von nur noch 20.000 Stück führen können.

Die Landeszeitung, welche jede Woche als Beilage in jeden Bezirk eingesteckt wird, wird mit einer Geschwindigkeit von 37.500 Stück pro Stunde gedruckt, was dann aufgrund von Störungen und Anlaufzeiten zu einem tatsächlichen Wert von ca. 32.000 Exemplaren führt.

5.3.4.2 Einsteckmaschine

Bei der Einsteckmaschine, wo die Beilagen in die Zeitung eingelegt werden, richten sich die Produktionsgeschwindigkeiten nach Art und Umfang der Beilagen. Bei 3 bis 6 dünnen Beilagen und einer Bündelung von 25 Stück pro Paket sind Produktionsgeschwindigkeiten von ca. 11.000 Stück möglich. Durch die verschiedenen Beilagenmutationen muss zwischendurch öfters kurz umgerüstet werden, was bedeutet, dass tatsächlich ca. 9.500 Stück pro Stunde produziert werden können. Bei sehr dicken Beilagen mit bis zu 240g Einzelgewicht (z.B. Red Bulletin) muss die Maschinengeschwindigkeit zurückgenommen werden auf ca. 8.500 Exemplare pro Stunde, netto ergibt das ca. 6.500 Stück. Grund dafür ist der hohe Zeitungsumfang und

die deshalb benötigte kleinere Paketstruktur von nur mehr 20 bzw. sogar 15 Stück pro Paket.

5.3.4.3 Inkjet-Adressieranlage

Bei einer Zeitung mit nur wenig bzw. dünnen Beilagen wird mit einer Geschwindigkeit von ca. 6.000 Stück pro Stunde produziert. Netto ergibt dies im besten Fall ca. 4.500 Stück. Ist die Zeitung zu dick und schwer, muss sie einzeln mit der Hand aufgelegt werden, was zu einer verminderten Produktionsgeschwindigkeit von ca. 1.800 Exemplaren pro Stunde führt.

Die tatsächlichen Produktionsgeschwindigkeiten sind in Tabelle 3 nochmal zusammengefasst.

Tabelle 3: Produktionsgeschwindigkeiten

	Best Case	Worst Case	Durchschnitt
Druckmaschine	23.000	20.000	21.500
Einsteckmaschine	9.500	6.500	8.000
Adressieranlage	4.500	1.800	3.150

Exemplare/Stunde

5.3.5 Rüstzeiten

Beim Zeitungsdruck kann mit dem Rüsten, also dem Tausch der Platten begonnen werden, sobald die Platten in der NÖN-Technik fertiggestellt sind. Je nachdem ob sich der Umfang, also die Seitenzahl der Zeitung ändert, dauert der Rüstvorgang zwischen 35 min bei gleichbleibender Seitenanzahl und 45 min bei sich ändernder Seitenanzahl.

Der Rüstvorgang bei der Einsteckmaschine ist nicht sehr aufwändig. Das Umstellen der Beilagenaufleger dauert nur ein paar Minuten.

Bei der Inkjet-Adressieranlage gibt es eigentlich keine regelmäßigen Rüstzeiten. Es muss lediglich die Palette von der Einsteckmaschine zur Adressieranlage gebracht werden.

5.3.6 Druckausfälle und Störungen

Ausfälle und Störungen beim Zeitungsdruck liegen von nur 15 Minuten bis hin zu 8 Stunden, was aber nur sehr selten vorkommt. Am Häufigsten treten kürzere Ausfälle von 30 bis 45 Minuten auf. Derart große Probleme, welche zu Ausfällen von einigen Stunden führen, kommen ca. 10 mal im Jahr vor. Kleine Ausfälle von 15 bis 45 Minuten treten fast wöchentlich auf.

Die Ausfälle sind absolut unabhängig von der Auflagenstärke, passieren also willkürlich und absolut zufällig. Die häufigsten Gründe für Störungen sind Bahnrisse, elektrische Störungen und Walzenprobleme.

5.3.7 Auslastung der Zeitungsdruck-Maschine

Im Jahr 2007 betrug die Auslastung der Zeitungsdruck-Maschine ca. 85%. Es werden zum Beispiel neben der Niederösterreichischen Nachrichten und der Landeszeitung noch die Zeitungen BVZ (Burgenländische Volkszeitung), Rundschau und Unser, sowie Postwürfe, Eigenbeilagen und externe Aufträge, wie diverse Prospekte, Wahlzeitungen, etc. auf dieser Maschine gedruckt.

5.3.8 Einhaltung des Fertigstellungszeitpunktes

Im Allgemeinen werden die Auslieferungszeiten eingehalten, da es einen kleinen Puffer zwischen Fertigstellung und Auslieferung gibt, um auch bei Sonderproduktionen wie Kartenkleben oder vermehrtem Beilagenaufkommen noch rechtzeitig ausliefern zu können.

Durch Produktionsverzögerungen technischer Art, wie Maschinenbruch und elektronische Probleme oder organisatorischer Art, wie das Warten auf das Ergebnis eines wichtigen Fußballspieles oder einer Wahl, kann es zu Auslieferungsverzögerungen kommen.

Manchmal kommt es auch bei extremen Beilagengewichten von insgesamt 650g zu zeitlichen Verzögerungen.

Am häufigsten passieren Verspätungen bei den Bezirken Wr.Neustadt, Schwechat und dem Brucker Grenzboten.

Von 12.06.2006 bis 28.02.2008 mussten die Auslieferer an 9 Tagen per SMS bzw. Fax benachrichtigt werden, dass sich die Fertigstellung der Zeitung erheblich verzögert. Dabei handelte es sich um insgesamt 27 Ausgaben.

5.4 MILP

Das aufgestellte Problem zur Lösung des Flow-Shop Maschinenbelegungsproblems bei der Produktion der „Niederösterreichischen Nachrichten“ ist ein gemischt ganzzahliges lineares Optimierungsproblem (MILP).

Es besteht aus linearen Nebenbedingungen und zwei Teilzielen die zu einer Zielfunktion verknüpft werden, nämlich aus der Minimierung der Leerzeit auf Maschine 2 und aus der Maximierung der jeweiligen Startzeitpunkte, mit einer Gewichtung von jeweils 0,5.

Die Entscheidungsvariablen welche die Position des Jobs in der Reihenfolge angeben sowie jene die die Vorgänger- und Nachfolger-Beziehungen abbilden, sind binär, dürfen also nur den Wert 0 oder 1 annehmen.

Anders ist es bei den Entscheidungsvariablen die den Beginn- und Endzeitpunkt der Bearbeitung angeben – sie können reelle Werte annehmen.

Um die Arbeit übersichtlicher zu gestalten sind sämtliche verwendete Systemparameter und Entscheidungsvariablen aller Varianten in Tabelle 4 zusammengefasst.

Je nachdem welche Variante bzw. welcher Teil betrachtet wird, ist in der Tabelle ersichtlich welche Variablen verwendet wurden. Somit müssen nicht bei jeder Variante alle Systemparameter und Entscheidungsvariablen definiert und erklärt werden. Dies erscheint unnötig, da sich oft nur Kleinigkeiten verändern.

Tabelle 4: Systemparameter und Entscheidungsvariablen

LP Notation	Beschreibung	Notation in Mosel
SYSTEMPARAMETER		
N	Anzahl an Jobs bzw. Aufträgen	JOB
M	Maschinenanzahl	MACHINE
$i = 1, \dots, N$	Job-Nummer	i
$j = 1, \dots, N$	Job-Position	j
$m = 1, \dots, M$	Maschinen-Nummer	m
t_{im}	Bearbeitungszeit von Job i auf Maschine m	PROCESSING_TIME(i,m)
d_i	geplanter Fertigstellungstermin von Job i	DUE_DATE(i)
print	Zeit um 1 Palette auf Maschine 1 zu bearbeiten (drucken)	PALLET_PRINT
ins	Zeit um 1 Palette auf Maschine 2 zu bearbeiten (einstecken)	PALLET_INSERT
pal_{im}	Min. aus print (ins) und t_{im}	TIME_1PALLET(i,m)
B11	früheste Beginnzeit von Job auf Position 1 auf Maschine 1 (nur Teil 1)	INIT_BEGIN_TIME
(Zusätzlich in Teil 2 und 3)		
$k = 1, \dots, N$	Job-Nummer (Nachfolger)	k
S_{ikm}	Rüstzeit (Setup-time) von Job k auf Maschine m, wenn k der unmittelbare Nachfolger von i ist	SDST(i,k,m)
F_m	Rüstzeit vom ersten Job auf Maschine m	INIT_SETUP(m)
ENTSCHEIDUNGSVARIABLEN		
$Z_{ij} =$	$\begin{cases} 1, & \text{wenn Job i auf Position j in der Sequenz ist} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$	position(i,j)
B_{jm}	Beginnzeit von Job auf Position j auf Maschine m	begin_time(j,m)
C_{jm}	Fertigstellungszeitpunkt von Job auf Position j auf Maschine m	completion_time(j,m)
X_m	Leerzeit auf Maschine m	
(Zusätzlich in Teil 2)		
$W_{ik} =$	$\begin{cases} 1, & \text{wenn Job i der unmittelbare Vorgänger von Job k ist} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$	vor_nach(i,k)
(Ersatz von Z_{ij} und W_{ik} in Teil 3)		
$Z_{ijm} =$	$\begin{cases} 1, & \text{wenn Job i auf Position j in der Sequenz auf Maschine m ist} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$	position(i,j,m)
$W_{ikm} =$	$\begin{cases} 1, & \text{wenn Job i der unmittelbare Vorgänger von Job k auf Maschine m ist} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$	vor_nach_masch(i,k,m)

5.4.1 Zielsetzung

Um Kosten, insbesondere Personalkosten einzusparen, und die Effizienz der Produktion zu steigern, ist das Ziel dieser Arbeit die Leerzeiten auf der Einsteckmaschine zu minimieren. Im Produktionsprozess stellt die Bearbeitung der Aufträge auf dieser Maschine zeitlich wie auch kostenorientiert den maximalen Aufwand dar, da hier die größte Anzahl an Mitarbeitern benötigt wird. Als sekundäre Zielsetzung soll die Aktualität der Zeitung nicht bzw. nur marginal beeinflusst werden. Das heißt, dass neben der Minimierung der Leerzeiten der Beginnzeitpunkt jedes Auftrages so spät wie möglich angesetzt werden soll, sodass der Auslieferungszeitpunkt gerade noch eingehalten werden kann.

- ➡ Primäres Ziel: Minimiere die Leerzeiten von Maschine 2

$$X_2 \rightarrow \min$$
$$X_2 = C_{N2} - B_{I2} - \sum_{i=1,n} t_{i2}$$

- ➡ Sekundäres Ziel: Maximiere die Beginnzeiten auf allen Maschinen

$$\sum_{m=1,M} \sum_{j=1,N} (B_{jm}) \rightarrow \max$$

Um dieses Ziel ebenfalls zu einem Minimierungsproblem zu machen, und das Modell somit auch hinsichtlich beider Ziele lösen zu können, multipliziert man das Maximierungsproblem mit dem Faktor -1 und erhält so ein zu minimierendes Ziel.

$$(-1) * \sum_{m=1,M} \sum_{j=1,N} (B_{jm}) \rightarrow \min$$

- ➡ Gewichtungparameter $\alpha = 0, \dots, 1$

Um festzulegen welche Gewichtung den beiden Zielen zukommen soll, wird der Gewichtungparameter α benutzt. In dieser Arbeit wird $\alpha = 0,5$ gewählt um beide Ziele gleichermaßen zu berücksichtigen.

- ➡ Zielfunktion:

$$Z = \alpha * [C_{N2} - B_{I2} - \sum_{i=1,n} t_{i2}] + (1-\alpha) * (-1) * \sum_{m=1,M} \sum_{j=1,N} (B_{jm}) \rightarrow \min \quad (1)$$

5.5 Ergebnisse

Die Ergebnisse der implementierten linearen Optimierungsprobleme werden jeweils direkt im zugehörigen Unterkapitel diskutiert und mit dem aktuellen Produktionsablaufplan verglichen. Ein abschließender Vergleich und eine Diskussion aller Ansätze und dessen erzielter Lösungen folgt in Kapitel 6.

Da die Produktionsgeschwindigkeiten im aktuellen Ablaufplan am ehesten den durchschnittlichen Produktionsgeschwindigkeiten entsprechen und weil man die Pläne besser vergleichen kann, wird das Hauptaugenmerk der Ergebnisse auf jenen Plänen liegen, die eben mit diesen durchschnittlichen Produktionsgeschwindigkeiten berechnet wurden. Aber es wird auch beachtet, wie sich der Plan verändert, wenn kleine Ausfälle und Probleme auftreten bzw. wenn alles einwandfrei läuft und man sogar schneller als durchschnittlich fertig ist.

Der aktuellen Ablaufplan mit drei Maschinen befindet sich in Tabelle 19.

5.6 Teil 1: Standard Flow Shop mit offener Losweitergabe

5.6.1 Charakteristika

Ein Standard Flow Shop charakterisiert sich dadurch, dass es m verschiedene Maschinen gibt und jeder der n Aufträge auf jeder Maschine genau einmal bearbeitet werden muss, wobei die Reihenfolge in der ein Job auf den einzelnen Maschinen bearbeitet wird, für alle Jobs gleich ist, also alle Jobs die selbe Auftragsfolge auf allen Maschinen besitzen. Es gilt also eine fest vorgegebene Reihenfolge für alle Aufträge und es gibt aber nur eine einzige Maschine für jeden Arbeitsschritt.

Außerdem kann jede Maschine zu einem Zeitpunkt nur genau ein Auftrag bearbeiten und alle Maschinen sind ab dem Zeitpunkt Null laufend verfügbar. Auch die Jobs sind in Standardmodell alle ab dem Zeitpunkt Null bereit, es gibt also keine Auftragsfreigabezeitpunkte. Obwohl es bei der Produktion der „Niederösterreichischen Nachrichten“ einen Redaktionsschluss gibt, was einem Auftragsfreigabezeitpunkt

entspricht, wird das Modell ohne Auftragsfreigabezeitpunkte gelöst, um in der Lösung sehen zu können, ob man die Redaktionsschlüsse in der Optimierung nicht verschieben sollte um weniger Leerzeiten bzw. Verfrühungen zu bekommen.

Die Bearbeitungszeiten von allen Jobs auf allen Maschinen sind bekannte Werte und die Rüstzeiten im Standardmodell sind reihenfolgeunabhängig, können also als Teil der Bearbeitungszeiten betrachtet werden.

Außerdem ist ein prozessinterner Lagerbestand erlaubt, das heißt dass zwischen zwei aufeinander folgenden Maschinen im Produktionssystem Elemente gelagert werden dürfen und auf ihre Weiterverarbeitung auf der nächsten Maschine warten. Ein Auftrag muss also nicht, wenn er auf der ersten Maschine begonnen wurde, in einem Durchlauf fertig gestellt werden, sondern kann Platz für einen anderen Auftrag machen.

Grundsätzlich kann ein Job erst dann auf der nächsten Maschine bearbeitet werden, wenn er auf der vorigen Maschine fertig ist, d.h. dass ein Job normalerweise nur auf einer Maschine gleichzeitig bearbeitet werden kann. In dieser Arbeit jedoch, ist diese Voraussetzung außer Kraft gesetzt und es ist möglich mit der Bearbeitung eines Jobs bereits auf der nächsten Maschine zu beginnen, obwohl der Auftrag auf der vorigen Maschine noch nicht ganz fertig bearbeitet wurde. Es muss lediglich ein gewisser Mindestbestand auf der vorigen Maschine fertig bearbeitet sein um auf der nächsten Maschine beginnen zu können. In der Literatur nennt man das offene Losweitergabe.

5.6.2 Modell

5.6.2.1 Systemparameter

$N = 13, 9 \text{ und } 6$ Anzahl an Jobs bzw. Aufträgen

$M = 3$ Maschinenanzahl

$i = 1, \dots, N$ Job-Nummer

$j = 1, \dots, N$ Job-Position

$m = 1, \dots, M$ Maschinen-Nummer

t_{im} Bearbeitungszeit von Job i auf Maschine m

d_i geplanter Fertigstellungstermin von Job i

$print$ Zeit um 1 Palette auf Maschine 1 zu bearbeiten (drucken)

ins Zeit um 1 Palette auf Maschine 2 zu bearbeiten (einstecken)

pal_{im} Min. aus print (ins) und tim

$$pal_{i1} = \min \{print, t_{i1}\} \quad (i = 1, \dots, N)$$

$$pal_{i2} = \min \{ins, t_{i2}\} \quad (i = 1, \dots, N)$$

Die beiden obigen Gleichungen geben jene Zeit an, die gebraucht wird, um 1 Palette auf den Maschinen 1 und 2 zu bearbeiten.

Dieser Wert wird benötigt, um genau zu wissen, nach welcher Zeit der Auftrag auf die nächste folgende Maschine wechseln kann.

Da es auch Auflagen von so geringer Stückzahl gibt, dass eine Palette gar nicht voll wird, ergibt sich die Zeit für eine Palette aus dem Minimum von Bearbeitungszeit und Druck- bzw. Einsteckzeit für eine Palette.

5.6.2.2 Entscheidungsvariablen

$$Z_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{wenn Job } i \text{ auf Position } j \text{ in der Sequenz ist} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

B_{jm} Beginnzeit von Job auf Position j auf Maschine m

C_{jm} Fertigstellungszeitpunkt von Job auf Position j auf Maschine m

X_m Leerzeit auf Maschine m

5.6.2.3 Zielfunktion

$$Z = \alpha * [C_{N2} - B_{12} - \sum_{i=1, N} t_{i2}] + (1-\alpha) * (-1) * \sum_{m=1, M} \sum_{j=1, N} (B_{jm}) \rightarrow \min \quad (1)$$

5.6.2.4 Nebenbedingungen

$$\sum_{j=1, N} Z_{ij} = 1 \quad (i = 1, \dots, N) \quad (2)$$

$$\sum_{i=1, N} Z_{ij} = 1 \quad (j = 1, \dots, N) \quad (3)$$

$$C_{jm} = B_{jm} + \sum_{i=1, N} (t_{im} * Z_{ij}) \quad (j = 1, \dots, N) \quad (m = 1, \dots, M) \quad (4)$$

$$B_{1,1} = 0 \quad (5a)$$

$$B_{j,1} \geq C_{j-1,1} \quad (j = 2, \dots, N) \quad (5b)$$

$$B_{1,m} \geq B_{1,m-1} + \sum_{i=1, N} (pal_{i,m-1} * Z_{i1}) \quad (m = 2, \dots, M) \quad (6a)$$

$$B_{jm} \geq \max \{C_{j-1,m}, B_{j,m-1} + \sum_{i=1, N} (pal_{i,m-1} * Z_{ij})\} \quad (j = 2, \dots, N) \quad (m = 2, \dots, M) \quad (6b)$$

$$C_{jm} \leq \sum_{i=1,N} (d_i * Z_{ij}) \quad (j = 1,...,N) \quad (m = 2,...,M) \quad (7)$$

$$Z_{ij} = \{0, 1\}$$

$$B_{jm}, C_{jm} \geq 0$$

Die Entscheidungsvariablen Z_{ij} sind binär, können also nur den Wert 1 oder 0 annehmen und die Entscheidungsvariablen B_{jm} und C_{jm} dürfen keine negativen Werte annehmen, müssen demnach die Voraussetzung der Nichtnegativität erfüllen.

Die Job Assignment Constraints (2) und (3) gewährleisten, dass jeder Job einer Position zugeordnet wird, und dass jeder Position genau ein Job zugeteilt wird.

Der tatsächliche Fertigstellungszeitpunkt aller Positionen auf allen Maschinen ergibt sich aus Gleichung (4), und zwar aus der Summe der Beginnzeit und der Bearbeitungszeit.

Die Gleichungen (5) und (6) repräsentieren die Beziehung der Beginnzeiten. Dabei geht es in den Gleichungen (5a) und (5b) um die Beginnzeiten auf der ersten Maschine und in den Gleichungen (6a) und (6b) werden die Beginnzeiten der Maschinen 2 und 3 definiert.

Da die sekundäre Zielsetzung besagt, dass mit der Bearbeitung der Aufträge so spät wie möglich begonnen werden soll, benötigt man noch die Restriktion, dass maximal nur so spät begonnen wird, dass der geplante Fertigstellungszeitpunkt trotzdem noch eingehalten werden kann. Dies wird in Gleichung (7) berücksichtigt.

5.6.3 Ergebnisse

Die genauen Start- und Endzeiten, sowie die Reihenfolge der einzelnen Aufträge für den Permutations-Flow Shop mit offener Losweitergabe bei durchschnittlichen Produktionszeiten sind in Tabelle 5 zu finden.

Zum aktuellen Produktionsablaufplan ist zu sagen, dass die Produktionsgeschwindigkeiten zwar noch am ehesten den durchschnittlichen Geschwindigkeiten entsprechen, aber trotzdem keine einheitliche Geschwindigkeit herangezogen wurde. Geht man davon aus, wie es auch tatsächlich der Fall ist, dass jede Zeitung mit der selben Geschwindigkeit gedruckt wird, stimmen die aktuellen Produktionsgeschwindigkeiten bei vorgegebener Auflagenstärke nicht mit den berechneten Geschwindigkeiten überein. Zwar sind die Rüstzeiten im aktuellen Plan nicht in der Bearbeitungszeit inkludiert, aber sie wurden berücksichtigt. Für den Druck am Sonntag wird aktuell um 1:45h zu viel Zeit eingeplant als durchschnittlich notwendig wäre. Auch für Montag wird 1:15h mehr Zeit als nötig für den Druck eingeplant. Für die Lösungen der neuen Pläne wurde die Produktionsdauer immer eigens berechnet, deshalb stimmen die neuen Dauern mit den alten nicht komplett überein.

Sollte die Leerzeit auf der dritten Maschine, der Adressieranlage, in den Lösungen größer sein als zuvor, liegt das daran, dass die Produktionsgeschwindigkeiten im aktuellen Plan nicht den tatsächlichen entsprechen. Sie wurden einfach gleich angenommen wie bei Maschine 2, sind in Wirklichkeit aber meist erheblich geringer. Im hier implementierten Modell wurde mit den tatsächlichen, geringeren Produktionszeiten gerechnet, und deshalb kommt es in der neuen Lösung zu einer Vergrößerung der Leerzeiten auf Maschine 3. Auch bei der aktuellen Produktion gab es diese Leerzeiten, doch im Plan wurden sie ignoriert.

Weiters ist zum aktuellen Plan zu sagen, dass in zwei Fällen, nämlich bei der ersten und bei der letzten Zeitung schon in der Planung eine nicht erwünschte Verspätung auftritt. Zur Zeit werden die Zeitungen also entweder viel zu früh oder sogar etwas zu spät fertig. Vergleicht man das mit dem neu errechneten Ablaufplan, ist zu sehen, dass die Verfrühungen in der ersten Produktionsetappe um ganze 4:30h verringert werden konnten und außerdem die Verspätung eliminiert wurde. Auch in den anderen beiden Produktionsetappen am Montag und Dienstag konnten die Verfrühungen erheblich reduziert werden und es gibt keine Verspätungen mehr.

Das zweite verfolgte Ziel war es, die Leerzeit auf der zweiten Maschine, der Einsteckmaschine, zu minimieren, was auch erreicht werden konnte. In der Sonntagsproduktion verringerte sich die Leerzeit zwar nur um einige Minuten, konnte

aber in der zweiten Etappe fast eliminiert werden und im letzten Produktionsblock um ca. 1 Stunde verringert werden.

Da die Vorgaben und Restriktionen bei der Produktion der NÖN ziemlich streng sind, wurde bei der Neuberechnung explizit auf die Angabe von Auftragsfreigabezeitpunkten, die den Redaktionsschlüssen entsprechen, verzichtet. Bei manchen Modellen war die Berechnung mit Auftragsfreigabezeitpunkten schlichtweg unmöglich, weil die Einplanung der Aufträge von Freigabe bis Fertigstellung mit den errechneten Produktionsdauern gar nicht möglich war. Außerdem kann man nun sehen, ob die Redaktionsschlüsse realistisch sind, also ob sie nicht zu früh eingeplant wurden bzw. kann man bei vielen Aufträgen den Redaktionsschluss sogar später ansetzen als es im aktuellen Plan der Fall ist und trotzdem noch rechtzeitig mit der Produktion fertig werden und die gegebenen Ziele erreichen.

Vergleicht man die aktuellen Redaktionsschlüsse der ersten 13 Zeitungen mit den neuen Werten, sieht man, dass das Ergebnis erheblich verbessert wird, wenn man zwar die ersten zwei Aufträge früher als geplant freigibt, die folgenden dafür später.

Im Optimum ist die Reihenfolge also die selbe wie im aktuellen Plan, aber mit den explizit berechneten Produktionsdauern konnte die Leerzeit auf Maschine 2 verringert werden, wie auch auf Maschine 1. Außerdem haben die Verfrühungen erheblich abgenommen und der Redaktionsschluss konnte bei vielen Aufträgen nach hinten verschoben werden, was positiv zur Aktualität der Zeitung beiträgt.

Berechnet man die Lösungen für den Fall, dass bei der Produktion Probleme und Verzögerungen auftreten, verschlechtert sich das Ergebnis erheblich. Die Redaktionsschlüsse von fast allen Zeitungen müssten früher als geplant stattfinden um noch eine rechtzeitige Auslieferung gewährleisten zu können (Tabelle 22).

Funktioniert hingegen alles reibungslos, also die Lösung mit Best-Case-Produktionsgeschwindigkeiten, ergibt sich ein ähnliches Bild wie die durchschnittliche Lösung, nur dass die Redaktionsschlüsse noch später angesetzt werden könnten. Durch die schnellere Abwicklung steigen die Leerzeiten im Best-Case Fall wieder, verglichen mit der Durchschnittslösung (Tabelle 21).

Tabelle 5: Teil I (Durchschnittsgeschwindigkeiten)

Beginn Sonntag				Adressierung M 3 (incl. 0,1)				Einsteck M 2 (incl. 0,12)				Druck M 1 (incl. 0,5)				Fm	neu	bisher		
Nr.	Uhrzeit due date	Earliness	Job Ende													Platten	Red.	Red.		
				Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	00:30	schluss	schluss		
1	1:00	00:00	01:00		01:00	00:56	00:05		00:33	01:39	22:55		23:14	01:04	22:10	00:30	21:40	22:00	00:20	
2	4:30	00:15	04:15	01:14	04:15	02:01	02:14	00:00	03:22	02:49	00:33	00:34	01:18	01:30	23:48	00:30	23:18	23:45	00:27	
3	5:45	00:00	05:45	00:00	05:45	01:31	04:15	00:00	05:37	02:16	03:22	01:19	03:54	01:18	02:37	00:30	02:07	1:45		00:22
4	6:30	00:00	06:30	00:12	06:30	00:34	05:57	00:00	06:18	00:42	05:37	00:56	05:33	00:43	04:50	00:30	04:20	3:15		01:05
5	8:30	00:00	08:30	01:07	08:30	00:57	07:37	00:00	07:37	01:20	06:18	00:00	06:30	00:57	05:33	00:30	05:03	4:15		00:48
6	9:30	00:37	08:53	00:01	08:53	00:23	08:31	00:00	08:24	00:47	07:37	00:23	07:37	00:45	06:53	00:30	06:23	5:30		00:53
7	11:00	00:53	10:07	00:00	10:07	01:14	08:53	00:00	09:50	01:26	08:24	00:02	08:38	01:00	07:39	00:30	07:09	6:45		00:24
8	11:30	00:42	10:48	00:00	10:48	00:42	10:07	00:00	10:28	00:39	09:50	00:23	09:43	00:42	09:01	00:30	08:31	8:00		00:31
9	12:00	00:27	11:33	00:00	11:33	00:45	10:48	00:00	11:27	01:00	10:28	00:00	10:32	00:50	09:43	00:30	09:13	9:00		00:13
10	13:00	00:00	13:00	00:00	13:00	01:28	11:33	00:00	12:49	01:22	11:27	00:10	11:40	00:58	10:42	00:30	10:12	10:15	00:03	
11	14:00	00:00	14:00	00:33	14:00	00:28	13:33	00:24	14:00	00:48	13:13	00:48	13:13	00:46	12:28	00:30	11:58	11:30		00:28
12	15:15	00:00	15:15	00:28	15:15	00:48	14:28	00:22	15:15	00:53	14:22	00:24	14:24	00:47	13:37	00:30	13:07	12:30		00:37
13	16:00	00:00	16:00	00:19	16:00	00:27	15:34	00:07	16:00	00:39	15:22	00:16	15:22	00:42	14:40	00:30	14:10	13:45		00:25
				03:54		12:14		00:53		16:20		05:15		12:02		Summe Leerzeit 09:55				

Beginn Montag				Adressierung M 3 (incl. 0,1)				Einsteck. M 2 (incl. 0,12)				Druck M 1 (incl. 0,5)				Fm	neu	bisher		
Nr.	Uhrzeit	Earliness	Job													Platten	Red.	Red.		
	due date		Ende	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	00:30	schluss	schluss		
14	0:30	00:00	00:31		00:31	01:31	23:00		00:12	01:43	22:29		22:49	01:06	21:44	00:30	21:14	20:15		00:59
15	1:30	00:00	01:30	00:21	01:30	00:39	00:52	00:00	01:03	00:52	00:12	00:38	00:13	00:47	23:27	00:30	22:57	21:45		01:12
16	2:30	00:14	02:16	00:07	02:16	00:40	01:37	00:00	01:58	00:55	01:03	00:05	01:06	00:48	00:18	00:30	23:48	23:00		00:48
17	3:30	00:06	03:24	00:00	03:24	01:09	02:16	00:00	03:03	01:06	01:58	00:07	02:04	00:52	01:13	00:30	00:43	0:15		00:28
18	4:15	00:02	04:13	00:00	04:13	00:49	03:24	00:00	04:05	01:02	03:03	00:14	03:09	00:51	02:18	00:30	01:48	1:30		00:18
19	5:15	00:00	05:16	00:00	05:16	01:03	04:13	00:00	05:15	01:11	04:05	00:11	04:14	00:54	03:20	00:30	02:50	2:45		00:05
20	6:45	00:00	06:46	00:11	06:46	01:19	05:27	00:06	06:32	01:12	05:21	00:22	05:30	00:54	04:36	00:30	04:06	4:00		00:06
21	7:45	00:00	07:46	00:02	07:46	00:58	06:48	00:00	07:31	00:59	06:32	00:17	06:36	00:50	05:47	00:30	05:17	5:15		00:02
22	8:45	00:00	08:45	00:12	08:45	00:48	07:58	00:00	08:45	01:15	07:31	00:10	07:41	00:55	06:46	00:30	06:16	6:30	00:14	
		00:22		00:53		08:56		00:06		10:15		02:04		07:57		Summe Leerzeit 03:04				

Beginn Dienstag				Adressierung M 3 (incl. 0,1)				Einsteck. M 2 (incl. 0,12)				Druck M 1 (incl. 0,5)				Fm	neu Red.	bisher Red.			
Nr.	Uhrzeit due date	Earliness	Job Ende													Platten					
				Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	00:30	schluss	schluss	Früher	Später	
23	20:15	00:00	20:16		20:16	01:29	18:47		19:52	01:31	18:22		18:38	01:02	17:37	00:30	17:07	16:45		00:22	
24	22:00	00:33	21:27	00:24	21:27	00:48	20:40	00:00	21:02	01:10	19:52	00:29	20:01	00:54	19:07	00:30	18:37	18:00			00:37
25	22:00	00:13	21:47	00:00	21:47	00:20	21:27	00:00	21:38	00:36	21:02	00:20	21:02	00:41	20:21	00:30	19:51	19:30			00:21
26	22:00	00:00	22:00	00:00	22:00	00:14	21:47	00:00	22:00	00:23	21:38	00:00	21:38	00:36	21:02	00:30	20:32	20:30			00:02
27	0:00	00:12	23:48	01:17	23:48	00:32	23:17	00:51	23:36	00:45	22:51	00:29	22:51	00:44	22:07	00:30	21:37	21:45			00:08
28	0:00	00:00	00:01	00:00	00:01	00:13	23:48	00:00	00:00	00:25	23:36	00:09	22:36	00:37	23:00	00:30	22:30	22:45	00:15		
				01:41		03:36		00:51		04:50		01:27		04:34		Summe Leerzeit 04:01					

Zielfunktionswerte:	Ztg. 1-13: - 234,7530	Gap: 0 %
	Ztg. 14-22: - 121,5010	0 %
	Ztg. 23-28: - 63,6908	0 %

5.7 Teil 2: Permutations-Flow Shop mit reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten und offener Losweitergabe

5.7.1 Charakteristika

Beim Permutations-Flow Shop herrscht „Überholverbot“. Das bedeutet, dass ein Job, wenn seine Bearbeitung begonnen wurde, auf der nächsten Maschine nicht von einem anderen Auftrag überholt werden darf. Jeder Job behält seine Position in der Sequenz von der ersten Maschine bis zu letzten.

Die Auftragsfolgen auf allen Maschinen sind also identisch. Die Reihenfolge auf Maschine 1 ist dieselbe wie auf allen anderen Maschinen. Es ist also eine geeignete Permutation der n Aufträge zu bestimmen.

Die übrigen Charakteristika des Permutations-Flow Shop sind dieselben wie beim Standard Flow Shop.

Auch diesmal ist eine offene Losweitergabe erlaubt, also die Bearbeitung eines Jobs auf zwei oder mehreren aufeinanderfolgenden Maschinen erlaubt, sobald auf der vorangegangenen Maschine eine gewisse Mindestanzahl bearbeitet wurde.

Grundsätzlich sind die Rüstzeiten beim Permutations-Flow Shop so wie beim Standard Flow Shop reihenfolgeunabhängig. In diesem Fall sind sie aber reihenfolgeabhängig, das bedeutet, dass die Rüstzeiten abhängig sind von der Vorgänger-Nachfolger Beziehung in der Sequenz. Das kommt daher, dass in diesem Abschnitt untersucht wird, ob eine Aufteilung der Bezirke in jeweils drei Sub-Jobs mit unterschiedlichen gewünschten Fertigstellungszeitpunkten ein besseres Ergebnis liefert. Bisher wurden nur die einzelnen Bezirke betrachtet und das Minimum der drei verschiedenen Abholzeitpunkte der verschiedenen Auslieferer-Firmen als gewünschter Fertigstellungstermin für den gesamten Bezirk herangezogen.

5.7.2 Modell

5.7.2.1 Systemparameter

$N = 39, 27$ und 18	Anzahl an Jobs bzw. Aufträgen
$M = 3$	Maschinenanzahl
$i, k = 1, \dots, N$	Job-Nummer
$j = 1, \dots, N$	Job-Position
$m = 1, \dots, M$	Maschinen-Nummer
t_{im}	Bearbeitungszeit von Job i auf Maschine m
d_i	geplanter Fertigstellungstermin von Job i
$print$	Zeit um 1 Palette auf Maschine 1 zu bearbeiten (drucken)
ins	Zeit um 1 Palette auf Maschine 2 zu bearbeiten (einstecken)
pal_{im}	Min. aus $print$ (ins) und t_{im}
S_{ikm}	Rüstzeit (Setup-time) von Job k auf Maschine m, wenn k der unmittelbare Nachfolger von i ist
F_m	Rüstzeit vom ersten Job auf Maschine m

$$pal_{i1} = \min \{print, t_{i1}\} \quad (i = 1, \dots, N)$$

$$pal_{i2} = \min \{ins, t_{i2}\} \quad (i = 1, \dots, N)$$

5.7.2.2 Entscheidungsvariablen

$$Z_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{wenn Job i auf Position j in der Sequenz ist} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

W_{ik}	Job i ist der unmittelbare Vorgänger von Job k
B_{jm}	Beginnzeit von Job auf Position j auf Maschine m
C_{jm}	Fertigstellungszeitpunkt von Job auf Position j auf Maschine m
X_m	Leerzeit auf Maschine m

5.7.2.3 Zielfunktion

$$Z = \alpha * [C_{N2} - B_{12} - \sum_{i=1,n} t_{i2}] + (1-\alpha) * (-1) * \sum_{m=1,M} \sum_{j=1,N} (B_{jm}) \rightarrow \min \quad (1)$$

5.7.2.4 Nebenbedingungen

$$\sum_{j=1,N} Z_{ij} = 1 \quad (i = 1,...,N) \quad (2)$$

$$\sum_{i=1,N} Z_{ij} = 1 \quad (j = 1,...,N) \quad (3)$$

$$\sum_{k=1,N} W_{ik} = 1 - Z_{iN} \quad (i = 1,...,N) \quad (8)$$

$$\sum_{i=1,N} W_{ik} = 1 - Z_{k1} \quad (k = 1,...,N) \quad (9)$$

$$W_{ik} \geq Z_{ij} + Z_{k,j+1} - 1 \quad (i, k = 1,...,N) (j = 1,...,N-1) \quad (10)$$

$$C_{jm} + (W_{ik} + Z_{ij} - 1) * S_{ikm} \leq B_{j+1,m} \quad (m = 1,...,M) (j = 1,...,N-1) (i, k = 1,...,N) \quad (11)$$

$$B_{jm} + \sum_{i=1,N} pal_{im} * Z_{ij} \leq B_{j,m+1} \quad (m = 1,...,M-1) (j = 1,...,N) \quad (12)$$

$$C_{jm} = \sum_{i=1,N} T_{im} * Z_{ij} + B_{jm} \quad (m = 1,...,M) (j = 1,...,N) \quad (4)$$

$$B_{1m} \geq F_m \quad (m = 1,...,M) \quad (13)$$

$$C_{jm} \leq \sum_{i=1,N} d_i * Z_{ij} \quad (m = 1,...,M) (j = 1,...,N) \quad (7)$$

$$Z_{ij} = \{0, 1\}$$

$$B_{jm}, C_{jm} \geq 0$$

Wie im vorigen Abschnitt sind die Entscheidungsvariablen Z_{ij} binär, können also nur den Wert 1 oder 0 annehmen.

Die Entscheidungsvariablen B_{jm} und C_{jm} dürfen keine negativen Werte annehmen, müssen demnach die Voraussetzung der Nichtnegativität erfüllen.

Die Gleichungen (2) bis (4) und Gleichung (7) sind identisch mit dem Permutations-Flowshop mit reihenfolgeunabhängigen Rüstkosten und offener Losweitergabe aus Abschnitt 4.4.3.4.

Die Gleichungen (8), (9) und (10) stehen für die richtigen Reihenfolgebeziehungen zwischen den Vorgänger-Job und Nachfolger-Jobs in der Sequenz. (8) und (9) sind jene Gleichungen, die dafür sorgen, dass jeder Job, außer der letzte einen Nachfolger hat bzw. dass jeder Job, außer der erste einen Vorgänger besitzt.

Die Gleichung (10) besagt, dass sich der Positionswert von Vorgänger i und Nachfolger k um nur 1 unterscheiden darf, i und k also direkt hintereinander bearbeitet werden müssen.

Die Beziehung von zwei aufeinander folgenden Aufträgen auf der selben Maschine wird in Gleichung (11) berücksichtigt. Der nächste Job kann erst dann begonnen werden, wenn der aktuelle Job fertiggestellt wurde und der Rüstvorgang zwischen aktuellem und folgenden Auftrag beendet ist. Daraus ergibt sich die frühest mögliche Beginnzeit für den nächsten Auftrag auf jeder Maschine.

Gleichung (12) stellt die Beziehung eines Auftrages auf zwei aufeinander folgenden Maschinen dar. Die Bearbeitung eines Jobs kann erst dann auf der nächsten Maschine begonnen werden, wenn zumindest die erste Palette dieses Auftrages auf der vorigen Maschine fertiggestellt wurde. Die frühest mögliche Beginnzeit für jeden Auftrag auf der nächsten Maschine wird somit festgelegt.

Die frühest mögliche Beginnzeit für den ersten Job in der Sequenz ergibt sich aus der Rüstzeit für diesen ersten Job. Erst nachdem der Rüstvorgang für den ersten Job abgeschlossen wurde, kann dessen Bearbeitung begonnen werden. Das gilt für alle m Maschinen und ist durch Gleichung (13) sichergestellt.

5.7.3 *Ergebnisse*

In den zwei folgenden Abschnitten wurden die Daten genauer betrachtet und jeder Auftrag in drei Sub-Aufträge unterteilt. Betrachtet man die Summe der Produktionsgeschwindigkeiten jeder drei Sub-Aufträge entspricht das wieder dem eigentlichen Auftrag. Jeder Sub-Auftrag hat jetzt einen eigenen geplanten Fertigstellungszeitpunkt, da unterschiedliche Firmen für die Auslieferung zuständig sind. Aufgrund dieser Aufsplittung der Aufträge entstehen reihenfolgeabhängige Rüstkosten. In Tabelle 6 sieht man den neu berechneten Produktionsablaufplan der Zeitungen 23-28, aufgrund der besseren Vergleichbarkeit wieder mit Durchschnittsgeschwindigkeiten.

Die neuen Redaktionsschlüsse können im Vergleich zum Ist-Plan um bis zu 2,5 Stunden später angesetzt werden und müssen nur zweimal vorverlegt werden. Betrachtet man zum Beispiel nur die Zeitungen 13, 14 und 15 (grün unterlegt), ergeben sich die neuen Redaktionsschlüsse folgendermaßen:

Die Zeitungen 13 – 15 sind tatsächlich nur ein Bezirk, also ein und dieselbe Zeitung mit jeweils nur unterschiedlichen Fertigstellungszeitpunkten. Das heißt, dass die Platten für diese drei Subaufträge nur einmal, nämlich zu Beginn, erstellt werden müssen. Die 30 Minuten für das Erstellen der Platten fallen also nur bei der ersten grün unterlegten Zeitung (hier 15) an. Für die beiden anderen Subaufträge können diese Platten wieder herangezogen werden – es fallen also keine 30 Minuten zur Plattenerstellung mehr an.

Der 30 minütige Rüstvorgang fällt nur dann an, wenn zuvor eine andere Zeitung gedruckt wurde, wenn also in der Tabelle der vorige Auftrag eine andere Farbe hat (hier nur bei den Subaufträgen 15 und 13). Subauftrag 14 bedarf gar keiner Vorbereitungszeit, da die Platten bereits erstellt sind und sich auch schon in der Druckmaschine befinden. Es kann also gleich mit dem Druck begonnen werden.

Auf der Einsteckmaschine konnte die Leerzeit nur um 45 Minuten gesenkt werden, dafür verringerte sich die Leerzeit bei der Druckmaschine von 4:15h auf lediglich nur mehr 30 Minuten. Demnach konnte die gesamte Leerzeit um insgesamt über 4 Stunden gesenkt werden.

Zwar konnte bei der Summe der Verfrühungen nicht verringert werden, aber die Verspätung bei der letzten Zeitung von 15 Minuten konnte eliminiert werden.

Der Gap-Wert von 5,42612 % gibt das Verbesserungspotential der Lösung an.

Eine Lösung ist zwar erst dann optimal, wenn der dazugehörige Gap-Wert 0 % aufweisen würde. Oft sind aber auch Lösungen mit einem geringen positiven Gap-Wert (z.B. 0,5 %) auch schon optimal, Xpress würde nur noch mehr Zeit brauchen um den Optimalitätsbeweis durchführen zu können.

Diese Lösung könnte also unter Umständen nach erheblich langer Rechendauer bzw. mit einem sehr leistungsstarken Rechner noch weiter verbessert werden.

Im Best-Case Fall (Tabelle 23), wenn also die Produktion ohne Vorkommnisse und Probleme erfolgt, kann die Summe der Verfrühungen verglichen mit der Durchschnittslösung noch um weitere 15 Minuten verbessert werden. Die Leerzeiten auf den Maschinen 1 und 2 bleiben unverändert und die Leerzeiten auf der Maschine 3 nehmen um ca. 45 Minuten zu, da die Produktion auf dieser Maschine um 1 Stunde beschleunigt werden konnte.

Kommt es zu Problemen und Verzögerungen, muss man also vom Worst-Case Szenario (Tabelle 24) ausgehen, dann verschlechtert sich am meisten die Summe der Verfrühungen, nämlich auf über 11 Stunden. Weiters muss bereits viel früher mit der Produktion begonnen werden. Vergleicht man die Worst-Case Lösung mit der Durchschnittslösung sieht man, dass man statt um 18:46h bereits um 17:24h mit dem Druck der ersten Zeitung beginnen muss um die gewünschten Fertigstellungstermine einhalten zu können.

Die Tabellen 25 und 26 zeigen die Lösungen der Zeitungen 1 – 13 bzw. 14 – 22 mit Durchschnittsgeschwindigkeiten.

Wie in den Lösungen ersichtlich, muss bei diesem Modell sehr oft gerüstet werden. Um dies zumindest beim Druck zu verhindern, also nur so oft zu Rüsten wie unbedingt nötig, wurde im 3. Teil festgelegt, dass alle 3 Subaufträge einer Zeitung direkt hintereinander gedruckt werden müssen.

Tabelle 6: Teil 2 (Durchschnittsgeschwindigkeiten; Ztg. 23-28)

Di 14:00:00

i	j	due	Earliness	Adressierung M 3 (incl. 0,1)				Einsteck M 2				
				Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Rüsten	Ende	Dauer	Beginn
2	1	20:15	00:00:00		20:15:00	00:00:00	20:15:00		00:07	19:15:26	00:21:18	18:54:08
1	2	23:30	01:29:59	00:16:24	22:00:01	01:28:37	20:31:24	00:00:00	00:00	19:48:26	00:33:00	19:15:26
3	3	22:00	00:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	00:00	20:17:46	00:29:20	19:48:26
6	4	22:00	00:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	00:07	20:54:04	00:29:06	20:24:58
5	5	22:00	00:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	00:00	21:10:57	00:16:53	20:54:04
11	6	22:00	00:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	00:07	21:21:49	00:03:41	21:18:08
12	7	22:00	00:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	00:00	21:30:36	00:08:47	21:21:49
9	8	22:00	00:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	00:07	21:54:14	00:16:26	21:37:48
8	9	22:00	00:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	00:00	22:00:00	00:05:47	21:54:13
7	10	23:30	01:00:16	00:09:53	22:29:44	00:19:51	22:09:53	00:03:57	00:00	22:09:53	00:05:56	22:03:57
4	11	23:30	00:13:11	00:00:00	23:16:49	00:47:05	22:29:44	00:06:39	00:07	22:40:23	00:16:39	22:23:44
10	12	23:30	00:00:00	00:00:00	23:30:00	00:13:11	23:16:49	00:14:40	00:07	23:05:33	00:03:18	23:02:15
15	13	00:00	00:00:00	00:30:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:07	23:32:56	00:20:11	23:12:45
14	14	00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00	23:39:49	00:06:54	23:32:55
18	15	00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:07	00:00:00	00:12:59	23:47:01
17	16	00:45	00:00:00	00:45:00	00:45:00	00:00:00	00:45:00	00:41:15	00:00	00:42:41	00:01:26	00:41:15
16	17	01:30	00:31:17	00:01:41	00:58:43	00:12:02	00:46:41	00:00:00	00:00	00:45:31	00:02:51	00:42:40
13	18	01:30	00:00:00	00:00:00	01:30:00	00:31:17	00:58:43	00:00:00	00:07	01:03:09	00:10:26	00:52:43
				03:14:43	01:42:58		03:32:03	01:06:31	01:04		04:04:58	

Druck M 1				Rüsten	Fm	neu	bisher	Früher		Später
Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn		Platten	Red.	Red.			
	18:54:08	00:07:56	18:46:12	00:30	00:30	17:46:12	16:45			01:01:12
00:05:09	19:11:34	00:12:17	18:59:17	00:00	00:00	18:59:17	16:45			02:14:17
00:00:00	19:22:29	00:10:55	19:11:34	00:00	00:00	19:11:34	16:45			02:26:34
00:00:00	20:03:19	00:10:50	19:52:29	00:30	00:30	18:52:29	18:00			00:52:29
00:00:00	20:09:36	00:06:17	20:03:19	00:00	00:00	20:03:19	18:00			02:03:19
00:00:00	20:40:58	00:01:22	20:39:36	00:30	00:30	19:39:36	20:30	00:50:24		
00:00:00	20:44:14	00:03:16	20:40:58	00:00	00:00	20:40:58	20:30			00:10:58
00:00:00	21:20:21	00:06:07	21:14:14	00:30	00:30	20:14:14	19:30			00:44:14
00:00:00	21:22:29	00:02:09	21:20:20	00:00	00:00	21:20:20	19:30			01:50:20
00:00:00	21:24:41	00:02:12	21:22:29	00:00	00:00	21:22:29	19:30			01:52:29
00:00:00	22:00:53	00:06:12	21:54:41	00:30	00:00	21:24:41	18:00			03:24:41
00:00:00	22:32:07	00:01:14	22:30:53	00:30	00:00	22:00:53	20:30			01:30:53
00:00:00	23:09:37	00:07:30	23:02:07	00:30	00:30	22:02:07	21:45			00:17:07
00:00:00	23:12:11	00:02:34	23:09:37	00:00	00:00	23:09:37	21:45			01:24:37
00:00:00	23:47:02	00:04:50	23:42:12	00:30	00:30	22:42:12	22:45	00:02:48		
00:30:13	00:17:47	00:00:32	00:17:15	00:00	00:00	00:17:15	22:45			01:32:15
00:00:00	00:18:51	00:01:04	00:17:47	00:00	00:00	00:17:47	22:45			01:32:47
00:00:00	00:52:43	00:03:53	00:48:50	00:30	00:00	00:18:50	21:45			02:33:50
00:35:22		01:31:10		04:30						
										Summe
										Leerzeit
										03:24:51

Zielfunktionswert: -219,42700
Gap: 5,42612 %

5.8 Teil 3: Flow Shop mit reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten und offener Losweitergabe

5.8.1 Charakteristika

Dieses Modell ist nun kein Permutations-Flow Shop, die Auftragsfolgen können also von Maschine zu Maschine unterschiedlich sein. Die Arbeitsgangfolgen und Maschinenfolgen bleiben unverändert, da sie technologisch determiniert sind.

Es handelt sich um ein Standard-Flowshop Modell, wobei im Gegensatz zur ersten Variante die Rüstzeiten nun reihenfolgeabhängig sind, das bedeutet, dass sich die tatsächlichen Rüstzeiten erst dann ermitteln lassen, wenn auch der Ablaufplan bekannt ist, da sie abhängig sind von den Vorgänger- und Nachfolger-Jobs. Auch hier gilt wieder die offene Losweitergabe, also die Möglichkeit bereits mit der Bearbeitung des aktuellen Jobs auf der nächsten Maschine zu beginnen, obwohl die Bearbeitung auf der aktuellen Maschine noch nicht abgeschlossen wurde.

Im Falle der Produktion der NÖN bedeutet dies, dass ein Job (Bezirksauflage der NÖN, z.B. St.Pölten) gedruckt wird und bereits nachdem eine Palette fertig gedruckt ist, wird diese sofort auf der Einsteckmaschine weiterverarbeitet. Auch die Adressierung der Abonnements erfolgt zeitgleich mit der Bearbeitung der restlichen Exemplare auf der Einsteckmaschine.

Da auch hier wieder eine Aufteilung der einzelnen Bezirke in drei Sub-Aufträge erfolgt, wird nun, um Rüstkosten bzw. -zeiten zu sparen, vorgeschrieben, dass zumindest auf der ersten Maschine, also der Druckmaschine, immer der ganze Bezirk (alle drei Sub-Jobs) auf einmal gedruckt werden soll. Erst auf den anderen Maschinen, können die Sub-Jobs getrennt werden, da dort die Rüstzeiten nicht mehr so hoch sind.

5.8.2 Modell

5.8.2.1 Systemparameter

$N = 39, 27$ und 18 Anzahl an Jobs bzw. Aufträgen

$M = 3$ Maschinenanzahl

$i, k = 1, \dots, N$ Job-Nummer
 $j = 1, \dots, N$ Job-Position
 $m = 1, \dots, M$ Maschinen-Nummer
 t_{im} Bearbeitungszeit von Job i auf Maschine m
 d_i geplanter Fertigstellungstermin von Job i
 $print$ Zeit um 1 Palette auf Maschine 1 zu bearbeiten (drucken)
 ins Zeit um 1 Palette auf Maschine 2 zu bearbeiten (einstecken)
 pal_{im} Min. aus print (ins) und t_{im}
 S_{ikm} Rüstzeit (Setup-time) von Job i auf Maschine m,
wenn k der unmittelbare Nachfolger von i ist
 F_m Rüstzeit vom ersten Job auf Maschine m

$$\begin{aligned}
 pal_{i1} &= \min \{print, t_{i1}\} & (i = 1, \dots, N) \\
 pal_{i2} &= \min \{ins, t_{i2}\} & (i = 1, \dots, N)
 \end{aligned}$$

5.8.2.2 Entscheidungsvariablen

$$Z_{ijm} = \begin{cases} 1, & \text{wenn Job i auf Position j in der Sequenz auf Maschine m ist} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

W_{ikm} Job i ist der unmittelbare Vorgänger von Job k auf Maschine m
 B_{jm} Beginnzeit von Job auf Position j auf Maschine m
 C_{jm} Fertigstellungszeitpunkt von Job auf Position j auf Maschine m
 X_m Leerzeit auf Maschine m

5.8.2.3 Zielfunktion

$$Z = \alpha * [C_{N2} - B_{12} - \sum_{i=1, n} t_{i2}] + (1-\alpha) * (-1) * \sum_{m=1, M} \sum_{j=1, N} (B_{jm}) \rightarrow \min \quad (1)$$

5.8.2.4 Nebenbedingungen

$$\sum_{j=1, N} Z_{ijm} = 1 \quad (i = 1, \dots, N) \quad (m = 1, \dots, M) \quad (2')$$

$$\sum_{i=1, N} Z_{ijm} = 1 \quad (j = 1, \dots, N) \quad (m = 1, \dots, M) \quad (3')$$

$$\sum_{k=1,N} W_{ikm} = 1 - Z_{iNm} \quad (i = 1, \dots, N) \quad (m = 1, \dots, M) \quad (8')$$

$$\sum_{k=1,N} W_{ikm} = 1 - Z_{k1m} \quad (k = 1, \dots, N) \quad (m = 1, \dots, M) \quad (9')$$

$$W_{ikm} \geq Z_{ijm} + Z_{k,j+1,m} - 1 \quad (i, k = 1, \dots, N) \quad (j = 1, \dots, N-1) \quad (m = 1, \dots, M) \quad (10')$$

$$\sum_{j=1,N} j * Z_{i1,j,1} - \sum_{j=1,N} j * Z_{i2,j,1} \leq 2 \quad (i1, i2 \in \text{Sub-Job } 1 - 3, \dots, 37 - 39) \quad (14)$$

$$C_{jm} + (W_{ikm} + Z_{ijm} - 1) * S_{ikm} \leq B_{j+1,m} \quad (m = 1, \dots, M) \quad (j = 1, \dots, N-1) \quad (i, k = 1, \dots, N) \quad (11')$$

$$B_{jm} + \sum_{x=1,N} pal_{xm} * Z_{xjm} \leq B_{y,m+1} + (2 - Z_{ijm} - Z_{i,y,m+1}) * d_i \quad (12')$$

$(m = 1, \dots, M-1) \quad (i, j = 1, \dots, N) \quad (y = 1, \dots, N)$

$$B_{jm} = C_{jm} - \sum_{l=1,N} T_{lm} * Z_{ijm} \quad (m = 1, \dots, M) \quad (j = 1, \dots, N) \quad (4')$$

$$B_{1m} \geq F_m \quad (m = 1, \dots, M) \quad (13)$$

$$C_{jm} \leq \sum_{i=1,N} d_i * Z_{ijm} \quad (m = 1, \dots, M) \quad (j = 1, \dots, N) \quad (7')$$

$$Z_{ijm} = \{0, 1\}$$

$$B_{jm}, C_{jm} \geq 0$$

Die binäre Entscheidungsvariable aus dem vorigen Abschnitt wurde jetzt um den Index m erweitert und lautet somit Z_{ijm} . Da nun die Reihenfolge der Sequenz auf jeder Maschine anders sein kann, braucht man diesen zusätzlichen Index für alle Maschinen. Unverändert bleiben die Entscheidungsvariablen B_{jm} und C_{jm} und ihre Eigenschaft der Nichtnegativität.

Identisch mit den Abschnitten 4.4.3.4. und 4.4.4.4. ist die Gleichung (13).

Die Gleichungen (2'), (3'), (4') und (7'), sowie Gleichungen (8') - (10') und (11') haben sich verglichen mit Abschnitt 4.4.4.4. nur dahingehend verändert, dass die Entscheidungsvariablen über die Position nun einen Index mehr besitzen, nämlich den für die Maschinenummer m .

Etwas komplexer gestaltet sich Gleichung (12'), welche die Beziehung eines Auftrages auf zwei aufeinander folgenden Maschinen darstellt. Es geht wie in Abschnitt 4.4.4.4. darum, dass ein Job erst dann auf der aktuellen Maschine bearbeitet werden kann, wenn die erste Palette dieses Jobs auf der vorigen Maschine fertiggestellt wurde. Jetzt ist aber zu beachten, dass die Reihenfolge der Jobs auf den einzelnen Maschinen verschieden sein kann, demnach mit dem Positions-Index j nicht mehr auf den selben Job zugegriffen werden kann. Deshalb muss die Formel dahingehend verändert werden, dass man herausfindet, welche Position der zu bearbeitende Auftrag i auf der aktuellen und auf der vorigen Maschine hat, um die frühest möglich Beginnzeit auf der aktuellen Maschine festlegen zu können. Dafür werden in der Gleichung die Hilfs-Indizes x und y verwendet.

Da die Rüstzeiten und auch der damit verbundene Rüstaufwand beim Zeitungsdruck sehr hoch ist, soll gewährleistet sein, dass trotz Aufteilung der einzelnen Bezirksauflagen in jeweils 3 Sub-Aufträge, immer der ganze Bezirk gedruckt werden soll. So soll die Anzahl des aufwändigen und kostspieligen Umrüstens auf ein Minimum beschränkt werden. Dies wird in Gleichung (14) berücksichtigt. Erst auf den Maschinen 2 und 3 können die Teil-Aufträge in der Sequenz getrennt werden.

5.8.3 *Ergebnisse*

Der Unterschied zum vorigen Abschnitt besteht nun darin, dass es sich nicht mehr um ein Permutations-Flow Shop handelt, d.h. dass die Reihenfolge der Aufträge auf allen Maschinen verschieden sein kann.

Da die Rüstzeiten bei der ersten Maschine verglichen mit den Bearbeitungszeiten ziemlich hoch sind, wurde eine weitere Bedingung eingefügt, die besagt, dass ein Bezirk (also alle drei Sub-Aufträge) direkt hintereinander gedruckt werden sollen, um den Rüstaufwand auf dieser Maschine so gering wie möglich zu halten. Dadurch wird genau nur so oft gerüstet, wie verschiedene Zeitungen vorhanden sind. Auf den Maschinen 2 und 3 kann die Reihenfolge dann beliebig verändert werden, je nach gewünschtem Fertigstellungstermin, um die Zielfunktion zu minimieren.

Die Lösung dieses Modells, berechnet mit Durchschnittsproduktionszeiten für die Zeitungen 23 – 28 ist in Tabelle 7 zusammengefasst.

Vergleicht man die Lösung mit dem aktuellen Ablaufplan sieht man, dass die Leerzeiten auf Maschine 1 um fast 1 Stunde verringert werden konnte und auf Maschine 2 wurde die Leerzeit fast eliminiert, lediglich 5 Minuten Leerzeit bleiben bestehen. Die Leerzeit auf Maschine 3 bleibt unverändert aber in Summe konnte die Leerzeit um 2,5 Stunden verringert werden. Durch die Aufsplittung der Zeitungen in Sub-Aufträge konnte zwar die Leerzeit reduziert werden, das primäre Ziel wurde also erreicht, aber die Summe der Verfrühungen nahm um 1:20h zu. Durch die nun entstandenen 18 statt 6 Aufträge war auch der Rechenaufwand ziemlich groß und die erhaltene Lösung weist mit einem Zielfunktionswert von – 195,232 noch immer einen Gap-Wert von 22,3478 % auf. Das bedeutet, dass diese Lösung mit großer Wahrscheinlichkeit noch nicht der optimalen Lösung entspricht, die Werte also vielleicht sogar noch besser sein könnten.

Weiters ist anzumerken, dass durch die gestiegene Komplexität des Modells die Redaktionsschlüsse meist vorverlegt werden müssen, um einen einwandfreien Produktionsablauf gewährleisten zu können.

Die Lösungen der Best-Case bzw. Worst-Case Szenarios finden sie im Anhang in Tabelle 27 bzw. Tabelle 28.

Verglichen mit der Durchschnittslösung können im Best-Case Fall die Leerzeiten auf Maschine 1 noch erheblich gesenkt werden, dafür steigen aber die Verfrühungen um um über 2 Stunden an.

Bei Verzögerungen und längeren Produktionszeiten, also im Worst-Case Fall, verschlechtern sich die Werte der Lösung erheblich. Die Leerzeiten und auch die Verfrühungen nehmen um einige Stunden zu. Außerdem müssen die Redaktionsschlüsse schon ein paar Stunden früher als zuvor angesetzt werden.

Tabelle 7: Teil 3 (Durchschnittsgeschwindigkeiten; Ztg. 23 - 28)

0 = DI 14:00:00				Adressierung M3 (incl. 0,1)				Einsteck M2					
Ztg i			j	due	Earl-	Job	Leer-			Leer-			
M 1	M 2	M 3	Pos.	date	iness	Ende	zeit	Ende	Dauer	Beginn	zeit	Rüsten	Ende
2	1	2	1	20:15	00:00	20:15:00		20:15:00	00:00:00	20:15:00		00:07	18:41:41
1	2	1	2	23:30	01:30	22:00:00	00:16	22:00:00	01:28:36	20:31:24	00:00	00:00	19:02:59
3	9	5	3	22:00	00:00	22:00:00	00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00	00:07	19:26:37
6	11	8	4	22:00	00:00	22:00:00	00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00	00:07	19:37:30
5	8	11	5	22:00	00:00	22:00:00	00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00	00:07	19:50:28
4	5	6	6	22:00	00:00	22:00:00	00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00	00:07	20:14:33
11	3	12	7	22:00	00:00	22:00:00	00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00	00:07	20:51:05
12	12	9	8	22:00	00:00	22:00:00	00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00	00:07	21:07:03
10	4	3	9	22:00	00:00	22:00:00	00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00	00:07	21:30:54
8	6	4	10	23:30	00:33	22:56:58	00:09	22:56:58	00:47:05	22:09:53	00:00	00:00	22:00:00
9	15	14	11	00:00	01:03	22:56:58	00:00	22:56:58	00:00:00	22:56:58	00:03	00:07	22:30:39
7	7	7	12	23:30	00:13	23:16:49	00:00	23:16:49	00:19:51	22:56:58	00:00	00:07	22:43:47
15	14	10	13	23:30	00:00	23:30:00	00:00	23:30:00	00:13:11	23:16:49	00:00	00:07	22:57:52
13	10	17	14	00:45	00:45	00:00:00	00:30	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:02	00:07	23:10:43
14	16	15	15	00:00	00:00	00:00:00	00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00	00:07	23:20:46
18	18	18	16	00:00	00:00	00:00:00	00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00	00:00	23:33:45
16	13	16	17	01:30	00:31	00:58:43	00:46	00:58:43	00:12:02	00:46:41	00:00	00:07	23:51:23
17	17	13	18	01:30	00:00	01:30:00	00:00	01:30:00	00:31:17	00:58:43	00:00	00:07	00:00:00
					04:35			01:42	03:32:02		00:05	01:48	
Summe Leerzeit										05:14			

Einsteck M2		Druck M1				Rüsten	Fm Platten 00:30	neu Red. schluss	bisher Red. schluss	Früher	Später
Dauer	Beginn	Leer- zeit	Ende	Dauer	Beginn						
00:33:00	18:08:41		16:39:34	00:07:56	16:31:38	00:30	00:30	15:31:38	16:45:00	01:13:22	
00:21:18	18:41:41	00:00	16:51:50	00:12:17	16:39:33	00:00	00:00	16:39:33	16:45:00	00:05:27	
00:16:26	19:10:11	00:00	17:02:45	00:10:55	16:51:50	00:00	00:00	16:51:50	16:45:00		00:06:50
00:03:41	19:33:49	00:00	17:43:35	00:10:50	17:32:45	00:30	00:30	16:32:45	19:30:00	02:57:15	
00:05:47	19:44:41	00:00	17:49:52	00:06:17	17:43:35	00:00	00:00	17:43:35	19:30:00	01:46:25	
00:16:53	19:57:40	00:00	17:56:04	00:06:12	17:49:52	00:00	00:00	17:49:52	19:30:00	01:40:08	
00:29:20	20:21:45	00:00	18:27:25	00:01:22	18:26:03	00:30	00:30	17:26:03	20:30:00	03:03:57	
00:08:47	20:58:16	00:00	18:30:42	00:03:16	18:27:26	00:00	00:00	18:27:26	20:30:00	02:02:34	
00:16:39	21:14:15	00:00	18:31:55	00:01:14	18:30:41	00:00	00:00	18:30:41	20:30:00	01:59:19	
00:29:06	21:30:54	00:00	19:04:04	00:02:09	19:01:55	00:30	00:30	18:01:55	18:00:00		00:01:55
00:20:11	22:10:28	00:00	19:10:11	00:06:07	19:04:04	00:00	00:00	19:04:04	18:00:00		01:04:04
00:05:56	22:37:51	02:20	21:32:57	00:02:12	21:30:45	00:00	00:00	21:30:45	18:00:00		03:30:45
00:06:54	22:50:58	00:00	22:10:27	00:07:30	22:02:57	00:30	00:30	21:02:57	21:45:00	00:42:03	
00:03:18	23:07:25	00:25	22:39:27	00:03:53	22:35:34	00:00	00:00	22:35:34	21:45:00		00:50:34
00:02:51	23:17:55	00:00	22:42:01	00:02:34	22:39:27	00:00	00:00	22:39:27	21:45:00		00:54:27
00:12:59	23:20:46	00:00	23:16:51	00:04:50	23:12:01	00:30	00:30	22:12:01	22:45:00	00:32:59	
00:10:26	23:40:57	00:00	23:17:55	00:01:04	23:16:51	00:00	00:00	23:16:51	22:45:00		00:31:51
00:01:26	23:58:34	00:40	23:58:35	00:00:32	23:58:03	00:00	00:00	23:58:03	22:45:00		01:13:03
04:04:58		03:25		01:31:10		03:00					

Zielfunktionswert: -195,232
Gap: 22,3478 %

5.9 Erweiterungen

Da die Restriktionen und Vorgaben beim Produktionsablaufplan der „Niederösterreichischen Nachrichten“ so streng sind, dass man kaum etwas am bestehenden Plan verändern kann, werden nun Szenarien mit etwas weniger strengen Vorgaben betrachtet, um zu sehen ob sich die Lösung bei einer nicht so engen Sichtweise vielleicht noch verbessern ließe.

5.9.1 Teil 4: 2-Maschinen Permutations-Flow Shop mit offener Losweitergabe

Seit August 2008 gibt es die neue Maschine „Proliner“ im Niederösterreichischen Pressehaus – sie ersetzt die Maschinen 2 (Einsteckmaschine) und 3 (Adressieranlage) bei der Zeitungsproduktion.

Dabei handelt es sich um eine Einsteckmaschine, die auch gleichzeitig adressiert und die Pakete selbst versandbereit macht.

Da sich die Verwendung der Maschine noch im Anlaufstadium befindet, gibt es noch keine Vergangenheitsdaten über Ausfälle und perfekte Produktionsgeschwindigkeiten, aber man geht von einer Produktionsgeschwindigkeit von ca. 16.000 Stück pro Stunde aus. Die restlichen Daten und Fakten die den Druck, also die Maschine 1 betreffen, bleiben zur Gänze unverändert.

5.9.1.1 Systemparameter

$N = 13, 9 \text{ und } 6$ Anzahl an Jobs bzw. Aufträgen

$M = 2$ Maschinenanzahl

$i = 1, \dots, N$ Job-Nummer

$j = 1, \dots, N$ Job-Position

$m = 1, \dots, M$ Maschinen-Nummer

t_{im} Bearbeitungszeit von Job i auf Maschine m

d_i geplanter Fertigstellungstermin von Job i

$print$ Zeit um 1 Palette auf Maschine 1 zu bearbeiten (drucken)

ins Bearbeitungszeit auf Maschine 2

pal_{im}Min. aus print und t_{im} bei Maschine 1; t_{im} bei Maschine 2

$$pal_{i1} = \min \{print, t_{i1}\} \quad (i = 1, \dots, N)$$

$$pal_{i2} = t_{i2} \quad (i = 1, \dots, N)$$

5.9.1.2 Entscheidungsvariablen

$$Z_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{wenn Job } i \text{ auf Position } j \text{ in der Sequenz ist} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

B_{jm}Beginnzeit von Job auf Position j auf Maschine m

C_{jm}Fertigstellungszeitpunkt von Job auf Position j auf Maschine m

X_mLeerzeit auf Maschine m

5.9.1.3 Zielfunktion

$$Z = \alpha * [C_{N2} - B_{12} - \sum_{i=1,N} t_{i2}] + (1-\alpha) * (-1) * \sum_{m=1,M} \sum_{j=1,N} (B_{jm}) \rightarrow \min \quad (1)$$

5.9.1.4 Nebenbedingungen

$$\sum_{j=1,N} Z_{ij} = 1 \quad (i = 1, \dots, N) \quad (2)$$

$$\sum_{i=1,N} Z_{ij} = 1 \quad (j = 1, \dots, N) \quad (3)$$

$$C_{jm} = B_{jm} + \sum_{i=1,N} (t_{im} * Z_{ij}) \quad (j = 1, \dots, N) \quad (m = 1, \dots, M) \quad (4)$$

$$B_{1,1} = 0 \quad (5a)$$

$$B_{j,1} \geq C_{j-1,1} \quad (j = 2, \dots, N) \quad (5b)$$

$$B_{1,m} \geq B_{1,m-1} + \sum_{i=1,N} (pal_{i,m-1} * Z_{i1}) \quad (m = 2, \dots, M) \quad (6a)$$

$$B_{jm} \geq \max \{C_{j-1,m}, B_{j,m-1} + \sum_{i=1,N} (pal_{i,m-1} * Z_{ij})\} \quad (j = 2, \dots, N) \quad (m = 2, \dots, M) \quad (6b)$$

$$C_{jm} \leq \sum_{i=1,N} (d_i * Z_{ij}) \quad (j = 1, \dots, N) \quad (m = 2, \dots, M) \quad (7)$$

$$Z_{ij} \in \{0, 1\}$$

$$B_{jm}, C_{jm} \geq 0$$

Die Formulierung ist genau die selbe wie in Punkt 5.4.2 mit der Ausnahme, dass es jetzt nur noch zwei Maschinen gibt und dass in Gleichung $pal_{i2} = t_{i2}$ nur die Bearbeitungszeit

zugewiesen wird, da die Zeit um eine Palette auf der zweiten Maschine zu bearbeiten irrelevant ist, weil die Maschine zwei ohnehin die letzte Maschine ist.

Würde man die Formulierung komplett von Abschnitt 5.4.2 übernehmen, würde sich an der Lösung nichts ändern.

5.9.1.5 Ergebnisse

Da seit August 2008 die Produktion der NÖN durch den Erwerb der neuen Maschine „Proliner“ umgestellt wurde und nun nur noch zwei Maschinen nötig sind um die NÖN zu produzieren, wurde auch dieser Fall in Xpress berechnet um das Ergebnis (siehe Tabelle 8) mit dem aktuellen 2-Maschinen-Ablaufplan (siehe Tabelle 20) zu vergleichen.

In den ersten beiden Produktionsetappen, also Sonntag und Montag, konnten die Verfrühungen komplett beseitigt werden und am Dienstag konnten sie zumindest auf nur noch 1 Stunde gesenkt werden. Außerdem können die Redaktionsschlüsse von Sonntag auf Montag um ca. 40 Minuten bis zu 2:20h verzögert werden. Auch bei den anderen beiden Produktionen können die Redaktionsschlüsse verspätet angesetzt werden. Das Ergebnis hinsichtlich der Leerzeit auf Maschine 2 ist zwar besser als im aktuellen Plan aber trotzdem sind Leerzeiten von 7:15h, 3:45h und 1:55h alles andere als perfekt. Dies liegt daran, dass mit dem Proliner die Produktionsdauern gesunken sind, aber an den Druckgeschwindigkeiten nichts verändert wurde. Außerdem müssten die Abholzeitpunkte näher beisammen liegen, also kompakter gestaltet sein, da das Modell auch darauf abzielt, genau zum geplanten Fertigstellungszeitpunkt fertig zu werden. Um dies einzuhalten, ist die Wahl der Anfangs- und Endzeiten nicht immer optimal im Sinne der Minimierung der Leerzeiten.

Es wird lediglich die gewichtete Summe der beiden Ziele optimiert, und deshalb können unter Berücksichtigung aller Restriktionen, nicht beide Ziele den Zielfunktionswert 0 ergeben. Es gilt den perfekten Trade-off zwischen den beiden Zielen zu finden, der den Zielfunktionswert minimiert. Wie schon erwähnt, könnte die Lösung des Problems noch verbessert werden, wenn die Abholzeitpunkte enger beisammen liegen würden bzw. die Druckgeschwindigkeit an die neuen Bedingungen angepasst würden.

Für den besten und schlechtesten Fall befinden sich die Lösungen im Anhang in den Tabellen 29 und 30.

Tabelle 8: Teil 4 (Durchschnittsgeschwindigkeiten)

Beginn Sonntag												neu Red.	bisher Red.			
Nr.	Uhrzeit due date	Earliness	Einsteck. M 2 (incl. 0,12)				Druck M 1 (incl. 0,5)				Platten 00:30			Früher	Später	
			Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn		schluss	schluss			
1	1:00	00:00		01:00	00:52	00:09		00:28	01:04	23:24	00:30	22:54	22:00		00:54	
2	4:30	00:00	02:04	04:31	01:27	03:04	01:51	03:49	01:30	02:19	00:30	01:49	23:45		02:04	
3	5:45	00:00	00:05	05:46	01:10	04:36	00:02	05:08	01:18	03:51	00:30	03:21	1:45		01:36	
4	6:30	00:00	00:21	06:30	00:24	06:07	00:16	06:07	00:43	05:24	00:30	04:54	3:15		01:39	
5	8:30	00:00	01:18	08:30	00:42	07:48	00:57	08:00	00:57	07:04	00:30	06:34	4:15		02:19	
6	9:30	00:00	00:35	09:30	00:26	09:05	00:17	09:02	00:45	08:17	00:30	07:47	5:30		02:17	
7	11:00	00:00	00:45	11:00	00:46	10:15	00:00	10:01	01:00	09:02	00:30	08:32	6:45		01:47	
8	11:30	00:02	00:07	11:28	00:22	11:07	00:00	10:43	00:42	10:01	00:30	09:31	8:00		01:31	
9	12:00	00:00	00:00	12:00	00:33	11:28	00:00	11:32	00:50	10:43	00:30	10:13	9:00		01:13	
10	13:00	00:00	00:17	13:00	00:44	12:17	00:00	12:30	00:58	11:32	00:30	11:02	10:15		00:47	
11	14:00	00:00	00:34	14:01	00:27	13:34	00:19	13:34	00:46	12:49	00:30	12:19	11:30		00:49	
12	15:15	00:00	00:46	15:16	00:29	14:47	00:28	14:49	00:47	14:02	00:30	13:32	12:30		01:02	
13	16:00	00:00	00:23	16:00	00:22	15:39	00:08	15:39	00:42	14:57	00:30	14:27	13:45		00:42	
													Summe Leerzeit		11:33	
Beginn Montag																
Nr.	Uhrzeit due date	Earliness	Einsteck. M 2 (incl. 0,12)				Druck M 1 (incl. 0,5)				Platten 00:30	neu Red.	bisher Red.	Früher	Später	
			Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn		schluss	schluss			
14	0:30	00:00		00:30	00:54	23:37		23:57	01:06	22:52	00:30	22:22	20:15		02:07	
15	1:30	00:00	00:33	01:31	00:28	01:03	00:21	01:04	00:47	00:18	00:30	23:48	21:45		02:03	
16	2:30	00:00	00:30	02:30	00:30	02:01	00:12	02:03	00:48	01:16	00:30	00:46	23:00		01:46	
17	3:30	00:00	00:25	03:30	00:36	02:55	00:02	02:57	00:52	02:05	00:30	01:35	0:15		01:20	
18	4:15	00:00	00:12	04:15	00:34	03:42	00:00	03:47	00:51	02:57	00:30	02:27	1:30		00:57	
19	5:15	00:00	00:23	05:15	00:38	04:38	00:06	04:46	00:54	03:53	00:30	03:23	2:45		00:38	
20	6:45	00:00	00:52	06:45	00:39	06:07	00:36	06:16	00:54	05:22	00:30	04:52	4:00		00:52	
21	7:45	00:00	00:29	07:45	00:32	07:14	00:13	07:18	00:50	06:29	00:30	05:59	5:15		00:44	
22	8:45	00:00	00:21	08:45	00:40	08:06	00:03	08:16	00:55	07:21	00:30	06:51	6:30		00:21	
													Summe Leerzeit		05:18	
Beginn Dienstag																
Nr.	Uhrzeit due date	Earliness	Einsteck. M 2 (incl. 0,12)				Druck M 1 (incl. 0,5)				Platten 00:30	neu Red.	bisher Red.	Früher	Später	
			Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn		schluss	schluss			
23	20:15	00:00		20:15	00:48	19:28		19:37	01:02	18:36	00:30	18:06	16:45		01:21	
24	22:00	00:33	00:34	21:27	00:38	20:49	00:00	20:30	00:54	19:37	00:30	19:07	18:00		01:07	
25	22:00	00:13	00:00	21:47	00:21	21:27	00:00	21:11	00:41	20:30	00:30	20:00	19:30		00:30	
26	22:00	00:00	00:00	22:00	00:14	21:47	00:00	21:47	00:36	21:11	00:30	20:41	20:30		00:11	
27	0:00	00:14	01:21	23:46	00:25	23:21	00:38	23:09	00:44	22:25	00:30	21:55	21:45		00:10	
28	0:00	00:00	00:00	00:00	00:15	23:46	00:00	23:46	00:37	23:09	00:30	22:39	22:45	00:06		
													Summe Leerzeit		02:33	

Zelfunktionswerte:

Ztg. 1-13: - 162,9580

Gap: 0 %

Ztg. 14-22: - 84,0325

0 %

Ztg. 23-28: - 43,0468

0 %

5.9.2 Beschleunigung des Druckvorganges

Die „Niederösterreichischen Nachrichten“ werden unabhängig von der Seitenanzahl immer mit einer Geschwindigkeit von 23.000 Stück pro Stunde produziert. Dabei kann die Druckmaschine bei einem Umfang von 64 Seiten bis zu 37.500 Exemplare pro Stunde drucken, was beim Druck der Landeszeitung auch gemacht wird. Warum also sollte man nicht auch die Zeitung schneller drucken? Die Ausfallwahrscheinlichkeit wird dadurch weder erhöht noch verringert.

Da die Zeitung meist mehr als 64 Seiten besitzt, beträgt in diesem Fall die maximal mögliche Produktionsgeschwindigkeit 30.000 Exemplare pro Stunde. Berücksichtigt man nun die Anlaufzeit und kleinere Verzögerungen würde man tatsächlich ca. 27.000 Stück pro Stunde produzieren können.

Aber ist es sinnvoll die Druckgeschwindigkeit zu erhöhen um somit den Produktionsablaufplan noch kompakter und effizienter gestalten zu können?

Eine Beschleunigung des Druckvorganges würde hinsichtlich der relevanten Zielsetzungen keine Verbesserung bringen, da sich lediglich die Beginnzeiten auf der ersten Maschine verzögern würden, dies aber keinerlei Auswirkung auf die restliche Bearbeitung haben würde. Aufgrund geringerer Produktionszeiten beim Druck würde nur die Leerzeit bei der Druckmaschine ansteigen, alles andere würde unverändert bleiben. Eine Produktionsbeschleunigung wäre nur dann sinnvoll, wenn sie bei der zweiten Maschine stattfinden würde. Wenn man aber den Umfang der Zeitung bzw. der Beilagen betrachtet, hat es wenig Sinn die Geschwindigkeit bei der Einsteckmaschine zu erhöhen. Die Einsteckmaschine verfügt über zwei Hauptaufleger für die Zeitung selbst und sechs Beilagenauflegeplätze. Demnach könnte man die Produktionsgeschwindigkeit nur dann erhöhen, wenn die Zeitung nicht mehr als drei Beilagen besitzt und jede Beilage und die Zeitung von jeweils zwei Personen eingelegt würde. Außerdem bräuchte man auch am Ende der Maschine, zum Zählen und Bündeln der Pakete, zusätzliches Personal, da die Pakete dann viel schneller aus der Maschine kämen. Ob eine Verdoppelung der Produktionsgeschwindigkeit mit einer Verdoppelung des Personalbedarfs tatsächlich sinnvoll ist, wird in dieser Arbeit nicht beantwortet.

5.9.3 Teil 5: Umstrukturierung des Produktionsplans in 4 geografische Teilbereiche

Wie bereits erwähnt, sind die Restriktionen und Bedingungen zur Produktion der „Niederösterreichischen Nachrichten“ im niederösterreichischen Pressehaus sehr eng bemessen und aufgrund dieser klaren Vorgaben besteht kaum die Möglichkeit den Produktionsablaufplan umzugestalten.

Deshalb wird in diesem Abschnitt ein ganz neuer Produktionsablaufplan erstellt, um zu sehen, ob sich die Lösung unter der Betrachtung der selben Zielsetzungen verbessert oder nicht.

Da die aktuelle Auftragsfolge nur eine leichte Tendenz hinsichtlich geografischer Merkmale zeigt, soll nun versucht werden alle Ausgaben in 4 geografische Teilbereiche zu zerlegen und diese hintereinander unter Optimierung der Zielsetzungen zu produzieren. Es scheint sinnvoll alle Zeitungen innerhalb eines Gebietes direkt hintereinander zu produzieren, da so auch die Auslieferungen gekoppelt werden könnten, und außerdem die Erscheinung jeder Auflage innerhalb einer Region am selben Tag erfolgt und somit kein Bezirk innerhalb eines Gebietes benachteiligt wird weil er länger auf die Zeitung warten muss.

Um die Produktionstage bzw. -zeiten ähnlich wie im Standardmodell beizubehalten, werden zwei der vier Teilbereiche in der Nacht von Sonntag auf Montag von zwei direkt aufeinander folgenden Schichten produziert, der dritte Teilbereich wird von einer Schicht in der Nacht von Montag auf Dienstag bearbeitet und der letzte Teilbereich beginnt mit seiner Bearbeitung am Dienstag Abend, nachdem zuvor von dieser Schicht die „Burgenländische Volkszeitung“ fertiggestellt wurde.

Also erfolgt die Produktion der gesamten NÖN, wie auch im Standardmodell auf drei Etappen und insgesamt vier Schichten. Auch die zu produzierenden Stückzahlen pro Produktionstag sind ähnlich wie im Standardmodell.

Um das Ergebnis mit den anderen Modellen vergleichen zu können, wurde diese Erweiterung mit den Durchschnittsgeschwindigkeiten berechnet, da auch der aktuelle Plan im Niederösterreichischen Pressehaus am nächsten dem Plan mit Durchschnittsgeschwindigkeiten entspricht.

5.9.3.1 Die 4 Teilbereiche

In Abbildung 8 ist die Abgrenzung der vier Teilbereiche sichtbar und in Tabelle 10 ist die neue Ausgangsanordnung der zu produzierenden Zeitungen ersichtlich. Neben den geografischen Merkmalen wurde auch die zu bearbeitende Stückzahl berücksichtigt.

Einen Vergleich der zu produzierenden Stückzahlen ist in Tabelle 9 zu finden.

Im Standardmodell wurden in der ersten Etappe 13 Zeitungen, insgesamt 117.250 Exemplare hergestellt. Im neuen, überarbeiteten Modell werden 15 Zeitungen und insgesamt 118.790 Stück produziert. Das entspricht den Teilbereichen 1 und 2, da in zwei direkt aufeinander folgenden Schichten produziert wird. Am zweiten Tag werden nur 6 Zeitungen, also der 3. Teilbereich, mit einer Gesamtauflage von 59.710 Stück und am dritten Tag werden 44.300 Exemplare der letzten 7 Zeitungen aus Teilbereich 4 gedruckt.

Das zugrunde liegende Modell ist wie in Abschnitt 5.4.2 ein Permutations-Flow Shop mit offener Losweitergabe. Demnach kann die LP-Formulierung aus diesem Abschnitt übernommen werden. Bei den Daten ändert sich die Ausgangsanordnung und die Anzahl der zu bearbeitenden Zeitungen pro Schicht bzw. Etappe muss angepasst werden. Als Bearbeitungszeiten wurden die Durchschnittsgeschwindigkeiten herangezogen. Auf gewünschte Fertigstellungszeitpunkte wurde absichtlich verzichtet, um eine perfekte Neu-Anordnung der Zeitungen zu gewährleisten. Da die Reihenfolge ohnehin komplett verschieden ist verglichen mit dem Ausgangsmodell, soll die Minimierung der Leerzeiten auf der Einsteckmaschine im Vordergrund stehen. Die erhaltene Lösung kann dann an eine gewünschte Uhrzeit angepasst werden, zu der entweder mit dem Druck der ersten Zeitung begonnen werden soll bzw. zu der die letzte Zeitung fertiggestellt sein soll.

5.9.3.2 Ergebnisse

Hier wurde versucht, die Ausgangsstruktur dahingehend zu verändern, dass all jene Auflagen innerhalb einer Schicht bzw. Etappe produziert werden sollen, die geografisch nahe bei einander liegen. Da die erste Produktionsetappe aus zwei Schichten und zwei Produktionssegmenten besteht, wurden zwei mögliche Produktionsmodelle betrachtet.

Einerseits die Aufteilung der beiden Segmente, also zuerst die Produktion des einen Segments, dann erst die Produktion des zweiten Segments. Die zweite Möglichkeit bestand darin, die ersten beiden Segmente (Süd-West NÖ und Süd-Ost NÖ) gemeinsam zu produzieren, also eine Vermischung zu erlauben. Es hat sich herausgestellt, dass die Lösung im zweiten Fall erheblich besser ist, als im ersten. Deshalb besteht die Lösung vielmehr aus drei Sequenzen anstatt aus vier.

3-Maschinen-Problem

Wie in Tabelle 11 zu sehen ist, können die Leerzeiten bei Durchschnittsgeschwindigkeiten auf Maschine 2 komplett vermieden werden, und auch insgesamt betragen die Leerzeiten nur zwischen 1,5 und 3,5 Stunden. Die Schichtdauern sind vergleichbar mit dem Ist-Zustand bzw. der Lösung aus Abschnitt 7.1.1 Permutations-Flow Shop mit offener Losweitergabe, demnach wären nur die Redaktionsschlüsse und Abholzeiten an das neue System anzupassen.

In den Tabellen 31 und 32 sind die Lösungen im Best- bzw. Worst-Case-Fall zusammengefasst.

2-Maschinen-Problem

Bei der kompletten Umstrukturierung in 2-Maschinen-Fall können die Leerzeiten in jeder Etappen bei beiden Maschinen eliminiert werden (siehe Tabelle 12). Die Zykluszeit ist in diesem Fall so gering, dass man die Etappen 2 und 3 sogar zu einer zusammenfassen könnte. Dann würden sich zwei Produktionsschichten von ca. 9 Stunden bzw. 8 Stunden ergeben. Vergleicht man dies mit der aktuellen Produktionsdauer bei zwei Maschinen, könnte man damit zwei ganze Schichten einsparen.

Die Zeiten in der Lösungstabelle sind nur Richtwerte, man könnte den Beginn ebenso gut noch weiter nach vor bzw. nach hinten verschieben. Wichtig ist, dass nur der komplette Block später bzw. früher produziert werden kann, um die Optimalität der Lösung beizubehalten.

Die Lösungen zum Best- bzw. Worst-Case-Fall sind in den Tabellen 33 und 34 ersichtlich.



Abbildung 8: Aufteilung in die 4 Bereiche

Tabelle 9: Differenz Stückzahlen

	# Zeitungen	Gesamt- auflage	Davon Postabos	Davon Redmail	Davon Morawa
1. Teil neu	15	118.790	36.110	26.290	56.390
1. Teil alt	13	117.250	34.940	28.180	54.130
Differenz	+ 2	+ 1.540	+ 1.170	- 1.890	+ 2.260
2. Teil neu	6	59.710	19.180	17.240	23.290
2. Teil alt	9	72.900	25.560	17.570	29.770
Differenz	- 3	- 13.190	- 6.380	- 330	- 6.480
3. Teil neu	7	44.300	14.830	9.680	19.790
3. Teil alt	6	32.650	9.620	7.460	15.570
Differenz	+ 1	+ 11.650	+ 5.210	+ 2.220	+ 4.220

Tabelle 10: Ausgangsanordnung und Auflagen der 4 Teilbereiche

Die 4 Teilbereiche						
Bereich	Nr.	Ausgabe	Gesamt- auflage	davon Postabos	davon Redmail	davon Morawa
1. Süd-West NÖ (≈Mostviertel)	1	St.Pöltner Zeitung	17.050	4.510	5.370	7.170
	2	Pielachtal	4.590	1.500	1.150	1.940
	3	Amstettner Zeitung	10.500	3.600	2.600	4.300
	4	Haag / St. Valentin	4.150	1.930	580	1.640
	5	Bote von der Ybbs (Ybbstal)	6.950	2.100	1.800	3.050
	6	Erlauftal	9.950	4.330	1.830	3.790
	7	Lilienfelder Zeitung	6.050	2.220	1.080	2.750
	8	Melker Zeitung	12.750	4.480	2.910	5.360
2. Süd-Ost NÖ (≈Industrieviertel)	9	Wr. Neustädter Zeitung	12.150	2.660	2.330	7.160
	10	Neunkirchen	9.600	2.700	1.090	5.810
	11	Baden / Bad Vöslau	5.200	950	820	3.430
	12	Mödling / Perchtoldsdorf	8.350	2.220	2.250	3.880
	13	Brucker Grenzbote	5.000	1.390	920	2.690
	14	Schwechat-Fischamend	2.300	380	190	1.730
	15	Wienerwald	4.200	1.140	1.370	1.690
			118.790	36.110	26.290	56.390
3. Nord-West NÖ (≈Waldviertel)	16	Kremser Zeitung	21.450	6.100	6.110	9.240
	17	Horn / Eggenburg	8.400	3.030	2.210	3.160
	18	Zwettler Zeitung	8.600	3.850	2.000	2.750
	19	Waidhofner Zeitung	6.900	2.750	1.530	2.620
	20	Gmünder Zeitung	8.950	2.250	3.340	3.360
	21	Herzogenburg / Traismauer	5.410	1.200	2.050	2.160
			59.710	19.180	17.240	23.290
4. Nord-Ost NÖ (≈Weinviertel)	22	Korneuburg / Stockerau	5.850	1.750	1.210	2.890
	23	Hollabrunn	6.350	1.810	1.830	2.710
	24	Mistelbach	7.800	3.340	1.020	3.440
	25	Gänserndorf	7.300	2.300	1.520	3.480
	26	Tullner Bezirksnachrichten	11.150	4.400	2.840	3.910
	27	Klosterneuburger Nachrichten	3.750	790	770	2.190
	28	Purkersdorf	2.100	440	490	1.170
			44.300	14.830	9.680	19.790
Gesamtsumme			222.800	70.120	53.210	99.470

Tabelle 11: Teil 5 (3 Maschinen; Durchschnittsgeschwindigkeiten)

0 = SO 22:30:00

i	j	Bezirk	Job	Adressierung M 3				Einsteck M 2				Druck M 1				Platten	Red.
Ztg.	Pos.		Ende	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	00:30	schluss
4	1	Haag / St. Valentin	00:17:47		00:17:47	00:41:34	23:36:13		00:08:33	00:38:20	23:30:13		23:11:35	00:41:35	22:30:00	00:30	22:00:00
14	2	Schwechat-Fischamend	00:33:00	00:00:00	00:29:49	00:12:02	00:17:47	00:00:00	00:33:00	00:24:27	00:08:33	00:00:00	23:48:00	00:36:25	23:11:35	00:30	22:41:35
5	3	Bote von der Ybbs (Ybbstal)	01:32:20	00:09:11	01:23:48	00:44:48	00:39:00	00:00:00	01:32:20	00:59:20	00:33:00	00:00:00	00:37:24	00:49:24	23:48:00	00:30	23:18:00
2	4	Pielachtal	02:13:58	00:14:32	02:11:42	00:33:22	01:38:20	00:00:00	02:13:58	00:41:38	01:32:20	00:00:00	01:20:13	00:42:49	00:37:24	00:30	00:07:24
7	5	Lilienfelder Zeitung	03:07:02	00:08:15	03:07:02	00:47:05	02:19:57	00:00:00	03:06:32	00:52:35	02:13:57	00:00:00	02:07:05	00:46:53	01:20:12	00:30	00:50:12
12	6	Mödling / Perchtoldsdorf	04:22:21	00:28:14	04:22:21	00:47:05	03:35:16	00:00:00	04:16:22	01:09:50	03:06:32	00:00:00	03:00:24	00:53:18	02:07:06	00:30	01:37:06
11	7	Baden / Bad Vöslau	05:02:34	00:00:01	04:45:16	00:22:54	04:22:22	00:00:00	05:02:34	00:46:12	04:16:22	00:00:00	03:44:55	00:44:31	03:00:24	00:30	02:30:24
6	8	Erlaufthal	06:35:51	00:23:18	06:35:51	01:27:17	05:08:34	00:00:00	06:24:23	01:21:49	05:02:34	00:00:00	04:42:41	00:57:46	03:44:55	00:30	03:14:55
8	9	Melker Zeitung	08:07:13	23:59:59	08:05:58	01:30:08	06:35:50	00:00:00	08:07:13	01:42:50	06:24:23	00:00:00	05:48:16	01:05:35	04:42:41	00:30	04:12:41
1	10	St.Pöltner Zeitung	10:28:18	00:51:38	10:28:18	01:30:42	08:57:36	00:00:00	10:22:18	02:15:05	08:07:13	00:00:00	07:05:50	01:17:35	05:48:15	00:30	05:18:15
3	11	Amstettner Zeitung	11:48:15	00:00:00	11:41:40	01:13:22	10:28:18	00:00:00	11:48:15	01:25:57	10:22:18	00:00:00	08:05:08	00:59:18	07:05:50	00:30	06:35:50
9	12	Wr. Neustädter Zeitung	13:32:35	00:55:27	13:32:35	00:55:28	12:37:07	00:00:00	13:26:34	01:38:19	11:48:15	00:00:00	09:09:03	01:03:54	08:05:09	00:30	07:35:09
13	13	Brucker Grenzbote	14:11:16	00:00:00	14:03:51	00:31:17	13:32:34	00:00:00	14:11:16	00:44:42	13:26:34	00:00:00	09:53:00	00:43:57	09:09:03	00:30	08:39:03
15	14	Wienerwald	14:49:58	00:13:25	14:43:47	00:26:31	14:17:16	00:00:00	14:49:58	00:38:42	14:11:16	00:00:00	10:34:43	00:41:43	09:53:00	00:30	09:23:00
10	15	Neunkirchen	16:09:10	00:12:11	15:52:12	00:56:14	14:55:58	00:00:00	16:09:10	01:19:12	14:49:58	00:00:00	11:31:30	00:56:47	10:34:43	00:30	10:04:43
				03:36:11		12:39:49		00:00:00		16:38:58		00:00:00		13:01:30		Summe Leerzeit 03:36:11	

0 = MO 21:30:00

i		j	Job Ende	Adressierung M 3				Einsteck M 2				Druck M 1				Platten	Red.
Ztg.	Pos.	Bezirk		Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	00:30	schluss
5	1	Gmünder Zeitung	23:29:19		23:08:39	00:47:39	22:21:00		23:29:19	01:14:19	22:15:00		22:24:59	00:54:59	21:30:00	00:30	21:00:00
3	2	Zwettler Zeitung	00:54:43	00:27:56	00:54:43	01:18:08	23:36:35	00:00:00	00:41:02	01:11:42	23:29:20	00:00:00	23:18:59	00:54:00	22:24:59	00:30	21:54:59
2	3	Horn / Eggenburg	01:57:14	00:00:00	01:57:14	01:02:31	00:54:43	00:00:00	01:51:14	01:10:12	00:41:02	00:37:03	00:49:29	00:53:27	23:56:02	00:30	23:26:02
6	4	Herzogenburg / Traismauer	02:39:01	00:00:00	02:24:53	00:27:39	01:57:14	00:00:00	02:39:01	00:47:47	01:51:14	00:00:00	01:34:34	00:45:06	00:49:28	00:30	00:19:28
4	5	Waidhofner Zeitung	03:42:11	00:20:07	03:42:11	00:57:11	02:45:00	00:00:00	03:37:57	00:58:57	02:39:00	00:00:00	02:23:49	00:49:15	01:34:34	00:30	01:04:34
1	6	Kremser Zeitung	06:26:02	00:01:46	05:44:56	02:00:59	03:43:57	00:00:00	06:26:02	02:48:05	03:37:57	00:00:00	03:53:41	01:29:52	02:23:49	00:30	01:53:49
				00:49:49		06:34:07		00:00:00		08:11:02		00:37:03		05:46:39		Summe Leerzeit 01:26:52	

0 = DI 17:30:00

i	j	Bezirk	Job	Adressierung M 3				Einsteck M 2				Druck M 1				Platten	Red.
Ztg.	Pos.		Ende	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	00:30	schluss
5	1	Tullner Bezirksnachrichten	19:49:37		19:49:37	01:28:37	18:21:00		19:45:49	01:30:49	18:15:00		18:31:07	01:01:07	17:30:00	00:30	17:00:00
3	2	Mistelbach	21:00:15	00:02:13	21:00:15	01:08:25	19:51:50	00:00:00	20:51:32	01:05:42	19:45:50	00:00:00	19:22:53	00:51:46	18:31:07	00:30	18:01:07
4	3	Gänserndorf	22:12:25	00:23:33	22:12:25	00:48:37	21:23:48	00:00:00	21:53:29	01:01:57	20:51:32	00:43:39	20:56:54	00:50:22	20:06:32	00:30	19:36:32
1	4	Korneuburg / Stockerau	22:50:33	00:00:00	22:50:33	00:38:08	22:12:25	00:00:00	22:44:34	00:51:05	21:53:29	00:00:00	21:43:14	00:46:20	20:56:54	00:30	20:26:54
7	5	Purkersdorf	23:07:30	00:00:00	23:03:44	00:13:11	22:50:33	00:00:00	23:07:30	00:22:57	22:44:33	00:03:25	22:22:31	00:35:52	21:46:39	00:30	21:16:39
2	6	Hollabrunn	00:02:20	00:09:46	23:52:47	00:39:17	23:13:30	00:00:00	00:02:20	00:54:50	23:07:30	00:00:00	23:10:13	00:47:43	22:22:30	00:30	21:52:30
6	7	Klosterneuburger Nachrichten	00:37:39	00:15:33	00:28:11	00:19:51	00:08:20	00:00:00	00:37:39	00:35:19	00:02:20	00:00:00	23:50:41	00:40:28	23:10:13	00:30	22:40:13
				00:51:05		05:16:06		00:00:00		06:22:39		00:47:04		05:33:38		Summe Leerzeit 01:38:09	

Zielfunktionswerte Ztg. 1-28: 0

Gap: 0 %

Tabelle 12: Teil 5 (2 Maschinen; Durchschnittsgeschwindigkeiten)

0 = SO 22:30:00

i Ztg.	j Pos.	Bezirk	Job Ende	Proliner M2				Druck M 1				Platten 00:30	Red. schluss
				Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn		
13	1	Brucker Grenzbote	03:15:25		03:15:25	00:24:45	02:50:40		23:13:57	00:43:57	22:30:00	00:30	22:00:00
11	2	Baden / Bad Vöslau	03:40:55	00:00:00	03:40:55	00:25:30	03:15:25	00:00:00	23:58:28	00:44:31	23:13:57	00:30	22:43:57
7	3	Lilienfelder Zeitung	04:09:36	00:00:00	04:09:36	00:28:41	03:40:55	00:00:00	00:45:21	00:46:53	23:58:28	00:30	23:28:28
8	4	Melker Zeitung	05:03:25	00:00:00	05:03:25	00:53:49	04:09:36	00:00:00	01:50:56	01:05:35	00:45:21	00:30	00:15:21
10	5	Neunkirchen	05:45:25	00:00:00	05:45:25	00:42:00	05:03:25	00:00:00	02:47:43	00:56:47	01:50:56	00:30	01:20:56
6	6	Erlauftal	06:28:44	00:00:00	06:28:44	00:43:19	05:45:25	00:00:00	03:45:29	00:57:46	02:47:43	00:30	02:17:43
3	7	Amstettner Zeitung	07:14:07	00:00:00	07:14:07	00:45:23	06:28:44	00:00:00	04:44:48	00:59:18	03:45:30	00:30	03:15:30
2	8	Pielachtal	07:37:19	00:00:00	07:37:19	00:23:13	07:14:06	00:00:00	05:27:37	00:42:49	04:44:48	00:30	04:14:48
4	9	Haag / St. Valentin	07:58:53	00:00:00	07:58:53	00:21:34	07:37:19	00:00:00	06:09:11	00:41:35	05:27:36	00:30	04:57:36
12	10	Mödling / Perchtoldsdorf	08:36:12	00:00:00	08:36:12	00:37:19	07:58:53	00:00:00	07:02:29	00:53:18	06:09:11	00:30	05:39:11
15	11	Wienervald	08:57:57	00:00:00	08:57:57	00:21:45	08:36:12	00:00:00	07:44:12	00:41:43	07:02:29	00:30	06:32:29
1	12	St.Pöltner Zeitung	10:07:53	00:00:00	10:07:53	01:09:56	08:57:57	00:00:00	09:01:47	01:17:35	07:44:12	00:30	07:14:12
5	13	Bote von der Ybbs (Ybbstal)	10:39:57	00:00:00	10:39:57	00:32:04	10:07:53	00:00:00	09:51:11	00:49:24	09:01:47	00:30	08:31:47
9	14	Wr. Neustädter Zeitung	11:31:31	00:00:00	11:31:31	00:51:34	10:39:57	00:00:00	10:55:05	01:03:54	09:51:11	00:30	09:21:11
14	15	Schwechat-Fischamend	11:46:09	00:00:00	11:46:09	00:14:38	11:31:31	00:00:00	11:31:31	00:36:25	10:55:06	00:30	10:25:06
				00:00:00	08:55:30			00:00:00	13:01:30			Summe Leerzeit 00:00:00	

0 = MO 21:30:00

i Ztg.	j Pos.	Bezirk	Job Ende	Proliner M2				Druck M 1				Platten 00:30	Red. schluss
				Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn		
4	1	Waidhofner Zeitung	23:57:39		23:57:39	00:31:52	23:25:47		22:19:15	00:49:15	21:30:00	00:30	21:00:00
3	2	Zwettler Zeitung	00:35:54	00:00:00	00:35:54	00:38:15	23:57:39	00:00:00	23:13:15	00:54:00	22:19:15	00:30	21:49:15
5	3	Gmünder Zeitung	01:15:28	00:00:00	01:15:28	00:39:34	00:35:54	00:00:00	00:08:14	00:54:59	23:13:15	00:30	22:43:15
6	4	Herzogenburg / Traismauer	01:41:45	00:00:00	01:41:45	00:26:17	01:15:28	00:00:00	00:53:20	00:45:06	00:08:14	00:30	23:38:14
1	5	Kremser Zeitung	03:08:11	00:00:00	03:08:11	01:26:26	01:41:45	00:00:00	02:23:12	01:29:52	00:53:20	00:30	00:23:20
2	6	Horn / Eggenburg	03:45:41	00:00:00	03:45:41	00:37:30	03:08:11	00:00:00	03:16:38	00:53:27	02:23:11	00:30	01:53:11
				00:00:00	04:19:54			00:00:00	05:46:39			Summe Leerzeit 00:00:00	

0 = DI 17:30:00

i Ztg.	j Pos.	Bezirk	Job Ende	Proliner M2				Druck M 1				Platten 00:30	Red. schluss
				Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn		
6	1	Klosterneuburger Nachrichten	20:22:10		20:22:10	00:20:04	20:02:06		18:10:28	00:40:28	17:30:00	00:30	17:00:00
4	2	Gänserndorf	20:55:33	00:00:00	20:55:33	00:33:23	20:22:10	00:00:00	19:00:50	00:50:22	18:10:28	00:30	17:40:28
3	3	Mistelbach	21:30:48	00:00:00	21:30:48	00:35:15	20:55:33	00:00:00	19:52:36	00:51:46	19:00:50	00:30	18:30:50
7	4	Purkersdorf	21:44:41	00:00:00	21:44:41	00:13:53	21:30:48	00:00:00	20:28:28	00:35:52	19:52:36	00:30	19:22:36
2	5	Hollabrunn	22:14:29	00:00:00	22:14:29	00:29:49	21:44:40	00:00:00	21:16:11	00:47:43	20:28:28	00:30	19:58:28
5	6	Tullner Bezirksnachrichten	23:02:18	00:00:00	23:02:18	00:47:49	22:14:29	00:00:00	22:17:18	01:01:07	21:16:11	00:30	20:46:11
1	7	Korneuburg / Stockerau	23:30:14	00:00:00	23:30:14	00:27:56	23:02:18	00:00:00	23:03:38	00:46:20	22:17:18	00:30	21:47:18
				00:00:00	03:28:09			00:00:00	05:33:38			Summe Leerzeit 00:00:00	

Zelfunktionswerte Ztg. 1-28: 0

Gap: 0 %

6. Zusammenfassung und Ausblick

6.1 Vergleich der Teile 1, 2 und 3

In Tabelle 13 sind noch einmal alle Lösungen im Überblick dargestellt. Die Tabelle enthält die Leerzeiten aller Maschinen, die Summe der Leerzeiten, die Summe der Verfrühungen, sowie den Zielfunktionswert und den dazugehörigen Gap-Wert.

Es ist zu sehen, dass bei den Teilen 2 (Permutations-Flow Shop mit offener Losweitergabe und reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten) und 3 (Flow Shop mit offener Losweitergabe und reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten) die vorhandenen Lösungen noch nicht der optimalen Lösung entsprechen, da die Gap-Werte auch nach Berechnungen von einigen Tagen noch nicht den Wert 0 % aufweisen. Alle anderen Lösungen sind optimal.

Bei Teil 1 (Permutations-Flow Shop mit offener Losweitergabe und reihenfolgeunabhängigen Rüstzeiten) bringt die Berechnung mit Durchschnittswerten verglichen mit dem aktuellen Ablaufplan eine Verminderung der Leerzeit auf Maschine 2 und auch eine Reduktion der Summe der Verfrühungen. Also konnten alle relevanten Werte verbessert werden!

Die Sequenz der Aufträge bleibt zwar unverändert, aber die guten Ergebnisse ergeben sich daraus, dass die Produktion komprimiert wird, indem viele der Redaktionsschlüsse nach hinten verschoben werden, und somit die Zykluszeit verringert wird.

Bei der Berechnung des Worst-Case Szenarios kommt es zu einem erheblichen Anstieg der Summe der Verfrühungen. Dies ist dadurch zu erklären, dass die Produktionsdauern nun größer sind und deshalb schon sehr früh mit der Produktion begonnen werden muss um alle Aufträge zeitgerecht fertig stellen zu können. Die ersten Aufträge in der Sequenz sind also schon viel zu früh fertig und erhöhen somit die Summe der Verfrühungen. Außerdem müsste in diesem Fall die Arbeitsschicht der ersten Produktionsetappe um fünf Stunden früher beginnen als in aktuellen Plan. Bei der zweiten Etappe würde man um 4:15h früher beginnen und in der dritten Schicht um

1:15h, also müsste man die Redaktionsschlüsse vorverlegen, was zu einem Verlust der Aktualität führen würde.

Vergleicht man den Best-Case Fall mit der Durchschnittslösung sieht man, dass die Leerzeiten auf Maschine 2 wieder ansteigen. Und zwar deshalb, weil die Produktionsdauern kürzer sind, und deshalb zwischendurch länger gewartet werden muss. Die Summe der Verfrühungen sinkt, weil im Allgemeinen die Redaktionsschlüsse nach hinten verschoben werden können und somit, wie im Durchschnittsfall, die Zeitung sogar noch an Aktualität gewinnt.

Betrachtet man die Lösungen von Teil 2 (Permutations-Flow Shop mit offener Losweitergabe und reihenfolgeabhängige Rüstzeiten) sieht man, dass sich hier die Reihenfolgen der Aufträge verändern. Bei der Durchschnittslösung muss deshalb neun mal umgerüstet werden, anstatt dem Minimum von nur sechs Rüstvorgängen. Dafür verringert sich die Leerzeit auf Maschine 2 und die meisten Redaktionsschlüsse können später als zur Zeit erfolgen. Bereits der erste Auftrag in der Sequenz kann um eine Stunde später begonnen werden, was zu einer Verringerung der Zykluszeit führt.

Bei den schnellen Produktionszeiten ergibt sich eine Sequenz der Aufträge bei der sogar zehn Mal umgerüstet werden muss, aber wieder sinken die Leerzeit und auch die Summe der Verfrühungen. Außerdem kann die Produktion um 1:15h später als im aktuellen Plan begonnen werden.

Im Worst-Case Fall verringert sich nur die Leerzeit auf Maschine 2 verglichen mit dem aktuellen Plan, alle anderen Werte werden schlechter. Die Summe der Verfrühungen nimmt stark zu und durch die berechnete Sequenz müssen die Maschinen elf Mal gerüstet werden. Zwar können einige Redaktionsschlüsse verspätet angesetzt werden, aber jener des ersten Auftrages in der Sequenz muss vorverlegt werden, und deshalb verlängert sich die Zykluszeit um 21 Minuten, da bereits um 17:24h mit dem Druck begonnen wird anstatt wie im aktuellen Plan erst um 17:45h.

Im 3. Fall (Flow-Shop mit offener Losweitergabe und reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten) verringern sich zwar in jedem Fall die Leerzeiten auf der 2. Maschine, aber

dafür steigt die Summe der Verfrühungen an. Da festgelegt wurde, dass auf Maschine 1 alle drei Sub-Aufträge hintereinander gedruckt werden müssen, kommt es in jeder Variante zu genau sechs Rüstvorgängen auf der Druckmaschine. Bei der Durchschnittslösung wird auf Maschine 2 15 Mal gerüstet und die Zykluszeit wird um 1:15h verlängert, da der erste Auftrag früher begonnen wird als im Ist-Zustand.

Die Best-Case Lösung zeigt, dass auf der 2. Maschine sogar 17 Mal gerüstet werden muss, dafür aber die Zykluszeit um 5 Minuten verringert werden kann und einige Redaktionsschlüsse nach hinten verschoben werden können.

Wie erwartet liefert der Worst-Case Fall die schlechteste Lösung, denn der erste Auftrag in der Reihenfolge muss bereits um zwei Stunden früher begonnen werden, was die Zykluszeit erheblich vergrößert.

Für das 3-Maschinen Problem ergibt sich also, dass sich die besten Lösungen mit der Berechnung des Permutations-Flow Shops mit offener Losweitergabe und reihenfolgeunabhängigen Rüstzeiten ergeben. Eine Aufsplittung der Aufträge in 3 Sub-Aufträge führt demnach zu keiner Verbesserung der Ergebnisse. Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Sequenz wie im aktuellen Ablaufplan beibehalten werden sollte, aber der Plan dahingehend verändert werden sollte, dass die angegebenen Produktionsdauern den tatsächlichen angepasst werden sollten. Auch die Redaktionsschlüsse sollten der erhaltenen Lösung angepasst werden. Sie könnten bei einigen Zeitungen später als in aktuellen Plan erfolgen, und somit würde die Zeitung an Aktualität gewinnen.

Diese Lösung würde die Leerzeiten und die Summe der Verfrühungen minimieren, die Aktualität erhöhen, und somit zu einer allgemeinen Verbesserung des Produktionsprozesses führen!

6.2 Erweiterungen

Mit der Anschaffung der neuen Maschine „Proliner“ konnte man die Maschinen 2 und 3 ersetzen – es entsteht ein 2-Maschinen Permutations-Flow Shop mit offener Losweitergabe. Eine Aufteilung in Sub-Aufträge ist hier nicht mehr sinnvoll, da die neue Maschine in einem Schritt einsteckt, adressiert und die Zeitungen versandbereit macht. Die Abfertigung von jeweils dem ganzen Auftrag ist effizienter. Die Rüstzeiten sind deshalb reihenfolgeunabhängig.

Vergleicht man die Lösungen mit dem aktuellen 2-Maschinen Ablaufplan sieht man, dass die Summe der Verfrühungen extrem reduziert werden kann, in manchen Fällen sogar ganz eliminiert werden kann. Die Zykluszeit kann durch eine Verschiebung der Redaktionsschlüsse bei der ersten Produktionsetappe um fast eine Stunde verringert werden, bei der zweiten Schicht um über zwei Stunden und bei der letzten Etappe um fast 1,5 Stunden.

Die Leerzeiten auf der Maschine 2 können zwar verringert werden, aber sie sind trotzdem noch ziemlich hoch. Die Produktionsgeschwindigkeiten bei der Druckmaschine sind zwar mit 23.000 Exemplaren pro Stunde immer noch schneller als bei „Proliner“ (16.000 Exemplare pro Stunde), aber dies reicht nicht aus um die Leerzeiten zu eliminieren. Würde die Druckmaschine schneller produzieren, könnten die Leerzeiten auf Maschine 2 noch weiter reduziert werden. Ein weiterer Grund für die vorhandenen Leerzeiten auf Maschine 2 ist die Tatsache, dass die Abholzeitpunkte zu weit auseinander liegen. Da man die Aktualität der Zeitung nicht gefährden will und erst so spät wie möglich mit dem Druck beginnt, kommt es auch auf der Druckmaschine zu Leerzeiten. Diese könnten nur dadurch verringert werden, dass man die Abholzeitpunkte komprimiert, sie also bei den ersten Zeitungen später oder bei den letzten Zeitungen früher ansetzt.

Um diesen Problemen zu entgehen und einen optimalen Ablaufplan ohne Leerzeiten und Verfrühungen zu bekommen, wurde ein Szenario erstellt, bei dem die Ausgangsstruktur der Zeitungen komplett geändert wurde. Die Lösungen sollen zeigen, wie man Redaktionsschlüsse und Abholzeitpunkte am besten ansetzen soll, um die gewünschten Maßstäbe zu optimieren. Außerdem wurde die Struktur dahingehend

verändert, dass Zeitungen der selben Region in einer Etappe produziert werden, um eventuell die Auslieferung der Zeitungen zusammenfassen zu können und die Erscheinung innerhalb einer Region am selben Tag gewährleisten zu können.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Leerzeiten auf Maschine 2 ganz eliminiert werden können, wenn man die erhaltenen Redaktionsschlüsse als Auftragsfreigabezeitpunkte und die errechneten Endzeitpunkte als mögliche Abholzeiten annimmt. Im 3-Maschinen Fall ergeben sich ähnliche Schichtdauern wie auch im aktuellen Plan, die Lösung des 2-Maschinen Problems vernichtet nicht nur die Leerzeiten, sondern verringert auch die Zykluszeiten um einige Stunden. Die erste Produktionsetappe würde nur noch von 22:30h bis 11:46h dauern, die zweite Schicht würde nur noch von 21:30h bis 3:45h arbeiten und die dritte Etappe würde um 17:30h beginnen und um 23:30h zu Ende sein. Die würde eine Schicht-Reduktion um 4,25 Stunden, 5 Stunden bzw. 1 Stunde bedeuten.

In diesem Fall könnten die verfolgten Ziele zur Gänze erfüllt werden und außerdem könnte die Arbeitszeit erheblich verringert werden.

6.3 Ausblick

Ob dieser letzte Fall auch tatsächlich realistisch durchsetzbar ist bleibt weitgehend unbeantwortet. Der neue Ablaufplan würde erhebliche Veränderungen nach sich ziehen - von einer Veränderung der Sequenzen, der Redaktionsschlüsse, der Abholzeiten bis hin zu einer Veränderung der Erscheinungstage für manche Zeitungen.

Diese Fragen zu beantworten wäre eine weitere interessante Studie, würde aber den Rahmen dieser Arbeit übersteigen.

Tabelle 13: Ergebnisvergleich

Modell			Leerzeiten				Earliness	ZF	Gap (%)
			M 1	M 2	M 3	Σ			
Ist-3M	1-13		09:00	01:00	01:15	11:15	07:30		
	14-22		06:00	01:15	01:15	08:30	05:00		
	23-28		04:15	01:45	01:45	07:45	03:15		
Teil 1	1-13	Durchschnitt	05:15	00:53	03:54	10:02	02:54	-234,7530	0
		Best	05:01	02:29	06:52	14:22	00:12	-243,9550	0
		Worst	08:56	01:40	00:15	10:51	21:16	-296,7720	0
	14-22	Durchschnitt	02:04	00:06	00:53	03:03	00:22	-121,5010	0
		Best	01:50	00:56	02:54	05:40	00:00	-126,0140	0
		Worst	06:18	02:43	00:00	09:01	16:54	-156,0920	0
	23-28	Durchschnitt	01:27	00:51	01:41	03:59	00:58	-63,6908	0
		Best	01:07	01:00	02:12	04:19	00:45	-65,2878	0
		Worst	02:26	01:03	00:52	04:21	01:50	-59,9369	0
Teil 2	1-13	Durchschnitt	01:49	06:09	09:12	17:10	146:42	-1178,5399	24,6495
	14-22	Durchschnitt	04:38	06:48	07:40	19:06	01:24	-476,6100	20,8718
	23-28	Durchschnitt	00:35	01:06	01:42	03:23	03:14	-219,4270	5,4261
		Best	00:24	01:05	02:37	04:06	03:01	-220,7050	6,3555
		Worst	01:06	01:21	01:57	04:24	11:15	-477,6991	3,7674
Teil 3	23-28	Durchschnitt	00:18	00:00	01:42	02:00	04:35	-196,1850	22,2508
		Best	00:40	00:07	02:37	03:24	07:12	-198,7261	21,9090
		Worst	00:37	00:21	01:12	02:10	8:01	-155,1282	34,0496
Ist-2M	1-13		09:00	07:30		16:30	14:45		
	14-22		06:00	05:30		11:30	09:15		
	23-28		04:15	03:00		07:15	04:30		
Teil 4	1-13	Durchschnitt	04:18	07:15		11:33	00:02	-162,9580	0
		Best	04:34	07:08		11:42	00:01	-163,0570	0
		Worst	03:53	07:13		11:06	00:02	-162,8030	0
	14-22	Durchschnitt	01:33	03:45		05:18	00:00	-84,0325	0
		Best	01:38	03:38		05:16	00:00	-84,0444	0
		Worst	01:17	03:41		04:58	00:00	-84,0105	0
	23-28	Durchschnitt	00:38	01:55		02:33	01:00	-43,0468	0
		Best	00:38	01:52		02:30	00:59	-43,1335	0
		Worst	00:37	01:54		02:31	01:02	-42,9472	0
Teil 5 (3M)	1-13	Durchschnitt	00:00	00:00	03:36	03:36		0,0000	0
		Best	00:00	00:00	04:42	04:42		0	0
		Worst	00:00	00:00	00:00	00:00		0	0
	14-22	Durchschnitt	00:37	00:00	00:49	01:26		0	0
		Best	00:19	00:00	01:19	01:38		0	0
		Worst	01:03	00:00	00:10	01:13		0	0
	23-28	Durchschnitt	00:47	00:00	00:51	01:38		0	0
		Best	00:00	00:00	01:21	01:21		0	0
		Worst	01:33	00:00	00:00	01:33		0	0
Teil 5 (2M)	1-13	Durchschnitt	00:00	00:00		00:00		0	0
		Best	00:00	00:00		00:00		0	0
		Worst	00:00	00:00		00:00		0	0
	14-22	Durchschnitt	00:00	00:00		00:00		0	0
		Best	00:00	00:00		00:00		0	0
		Worst	00:00	00:00		00:00		0	0
	23-28	Durchschnitt	00:00	00:00		00:00		0	0
		Best	00:00	00:00		00:00		0	0
		Worst	00:00	00:00		00:00		0	0

ANHANG A: Implementierung^{34,35}

A.1 Softwaregrundlagen und Hintergründe

Mit Microsoft Windows kann man die Benutzeroberfläche Xpress-IVE (Interactive Visual Environment) benutzen um Mosel Modelle zu lösen. Mosel ist kein Akronym, sondern es bezieht sich auf den Fluss Mosel in Deutschland. Es ist eine fortgeschrittene Modelliersprache und Lösungsumgebung mit welcher Optimierungsprobleme modelliert und rasch und optimal gelöst werden können.

Xpress-IVE ist eine komplette Modellierungs- und Optimierungs-Benutzeroberfläche die wegen der GUI (Graphical User Interface) leicht zu bedienen ist und auch einen integrierten Texteditor besitzt.

Der Lösungsvorgang in Xpress besteht aus zwei Abschnitten. Zuerst beginnt Xpress mit einer LP Relaxation, indem es den Simplex Algorithmus anwendet um eine Ausgangslösung zu generieren. Danach, in der Global Search Phase, wird das Branch & Bound Verfahren angewendet um die Lösung zu verbessern und zu optimieren.

A.2 Formulierung und Implementierung in Xpress

Um das gemischt ganzzahlige lineare Optimierungsproblem im Xpress implementieren zu können, müssen einige wichtige im folgenden Abschnitt erklärte formale Punkte, Reihenfolgen und Regeln eingehalten werden.

Ein Beispiel einer externen Daten-Datei *.dat findet sich in Tabelle 14. Der Quellcode der einzelnen Varianten, angelehnt an die Formulierung der linearen Programmierung aus den Abschnitten 5.4.2 Permutations-Flow Shop mit offener Losweitergabe, 5.4.3 Permutations-Flow Shop mit reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten und offener Losweitergabe und 5.4.4 Flow Shop mit reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten und offener Losweitergabe, befindet sich in Anhang B (Tabellen 16, 17 und 18). Auch ein Beispiel einer externen Output-Datei *.dat ist in Tabelle 15 zu finden.

34 *Xpress MP „Getting Started“*, Dash Optimization Ltd., Release 2007

35 *Xpress Mosel „User Guide“*, Dash Optimization Ltd., Release 2.2

siehe auch: <http://www.dashoptimization.com/>

A.2.1 Parameters

Der Block „Parameters“ wird mit dem Befehl `parameters` begonnen und mit `parameters-end` wieder beendet.

Wie der Name schon sagt, kann man in diesem Bereich alle Parameter, also alle fixen und unveränderbaren Variablen speichern.

Löst man das selbe Mosel Modell öfters mit unterschiedlichen Daten, so ist es von Vorteil, den Namen der externen Datei aus der die Daten eingelesen werden, in diesem Block zu speichern. Erstellt man dann ein Batchfile im Texteditor mit der Dateiendung *.bat, kann man der Reihe nach alle Optimierungsprobleme mit den unterschiedlichen Daten berechnen. Der vordefinierte Parameter für die Input-Datei wird automatisch mit dem Namen der aktuellen *.dat Datei überschrieben und die Berechnung mit den neuen Daten erfolgt automatisch.

Definiert man auf die selbe Weise auch einen Parameter für eine Output-Datei, kann man am Ende in der Outputroutine das Ergebnis in eine externe Datei abspeichern. So gehen die Ergebnisse beim Schließen der Xpress Benutzeroberfläche nicht verloren.

A.2.2 Declarations

Im „Declarations“-Bereich werden alle wichtigen Daten, die Sets sowie die Entscheidungsvariablen definiert und deklariert. Wieder beginnt der Block mit dem Befehl `declarations` und endet mit `declarations-end`.

Die Sets legen die Indizes und deren Größe fest. Dabei handelt es sich um eine Liste in der in dieser Arbeit die Anzahl der Maschinen und der Jobs gespeichert wird.

Danach folgt die Deklaration aller einzulesenden Daten, wobei beachtet werden muss, ob es sich um Integer-Werte oder Gleitkommazahlen handelt und ob es jeweils nur ein Wert oder ein ganzer Array von Werten (Indizes angeben) ist.

Zum Schluss werden noch die Entscheidungsvariablen deklariert.

Um die Übersicht im Modell zu behalten empfiehlt es sich, Sets und Daten in Großbuchstaben zu schreiben und für die Entscheidungsvariablen Kleinbuchstaben zu verwenden. So verliert man in der Formulierung nicht den Überblick wo es sich um Daten handelt und wo um Entscheidungsvariablen.

A.2.3 Initialisations

Diesen Block benötigt man nur dann, wenn man den Variablen nicht bereits im Declarations-Block bzw. danach direkt im Modell Werte zugewiesen hat.

Wieder erfolgt der Aufruf mit `initialisations` und `initialisations-end` und man kann hier die Daten aus der bereits definierten externen Datei einlesen. Dabei ist es wichtig zuerst die Sets einzulesen und dann erst die restlichen Daten, wobei hier die Reihenfolge egal ist.

Man muss deshalb zuerst die Sets einlesen, um zu wissen wieviele Indizes dann beim Einlesen der Daten benötigt werden.

A.2.4 Befehle „create“ und „finalize“

Nach dem Initialisations-Block muss man mit dem Befehl `create` alle Entscheidungsvariablen explizit erstellen lassen und mit `finalize` wird die Größe der eingelesenen Sets fixiert.

Bevor mit der eigentlichen Formulierung begonnen wird, kann man jetzt noch festlegen ob und welche Entscheidungsvariablen binär oder ganzzahlig sein sollen. Dies wird mit den Befehlen `is_binary` und `is_integer` durchgeführt. Alle Entscheidungsvariablen für die nichts festgelegt wurde, können automatisch alle reellen Werte angenommen werden.

Den Zusatz der Nichtnegativität muss man nicht explizit berücksichtigen, das wird von Xpress intern vorausgesetzt.

A.2.5 LP-Formulierung

Sind nun alle Daten, Sets und Entscheidungsvariablen definiert und sämtliche Werte eingelesen, folgt die eigentliche Problem-Formulierung.

Objective

Als erstes wird die Zielfunktion (Z) aufgestellt, dies erfolgt mit dem Befehl `Z:=`. Dabei können auch mehrere Zielfunktionen verknüpft werden. In dieser Arbeit besteht die Zielfunktion aus zwei Komponenten, nämlich der Minimierung der Leerzeit auf Maschine zwei und der Maximierung der Beginnzeiten, was einer Minimierung der Verfrühungen entspricht. Da ein Teil der Zielfunktion minimiert werden soll und einer maximiert werden soll, wird ein Term (in diesem Fall der zweite) mit -1 multipliziert und man erhält ebenfalls ein Minimierungsproblem.

Die Gewichtung beider Zielfunktionen ist jeweils 0,5 und die Verknüpfung ist additiv. Das bedeutet, dass beide Zielfunktionen gleichermaßen relevant sind.

Constraints

Nun werden alle Nebenbedingungen implementiert. Dabei ist es egal ob es sich um Gleichungen oder Ungleichungen handelt. Hier kann es oft passieren, dass man mit falschen Nebenbedingungen das Problem unlösbar (infeasable) oder unbegrenzt (unbounded) macht. Dies wird aber beim Ausführen von Xpress erkannt und man erhält eine Fehlermeldung warum das Problem nicht gelöst werden kann.

Bei sehr umfangreichen Problemen bietet es sich an eine sogenannte Callback-Funktion zu verwenden. In dieser Arbeit wurde angegeben, dass das Programm sobald es eine ganzzahlige Lösung gefunden hat, diese ausgeben soll. Da es bei großen Problemen mit vielen Nebenbedingungen und Entscheidungsvariablen oft passieren kann, dass das System abstürzt bzw. die Verbindung unterbrochen wird oder man zu gar keiner optimalen Lösung kommt, hat man zumindest alle bis dahin berechneten Lösungen, die man bei geringen Abweichungen vom Optimum durchaus verwenden kann.

Minimize, Maximize

Ist nun das gesamte Problem implementiert, muss man noch angeben, ob man die Zielfunktion minimieren oder maximieren will.

Der Befehl lautet `minimize(Z)` bzw. `maximize(Z)`.

A.2.6 Outputroutine

Inhaltlich ist die Formulierung nun abgeschlossen und bereit eine optimale Lösung zu berechnen. Hat man aber keine Callback-Funktion implementiert die jedes Ergebnis ausgibt, sollte man zumindest noch eine Outputroutine schreiben, die alle wichtigen Werte der Entscheidungsvariablen sowie den Zielfunktionswert ausgibt. Zusätzlich kann man, wenn man im „Parameters“-Block eine Output-Datei (OUTFILE) definiert hat, mit den Befehlen `fopen (OUTFILE, F_OUTPUT)` und `fclose(F_OUTPUT)` die Outputroutine auch in die externe Datei schreiben lassen, um die Lösung auch nach Beendigung von Xpress noch verwenden zu können.

A.3 Source Code, Input- und Output-Datei

Tabelle 14: Beispiel einer Daten-Datei *.dat

```
!sets
MACHINE: [1 2 3]
JOB: [1 2 3 4 5 6]

!Due Dates (0=Dienstag 14h)
DUE_DATE: [ 6.25
            8
            8
            8
            10
            10 ]

!Begin time of 1st Job on 1st Machine (B11)
INIT_BEGIN_TIME: [0.0]

!Processing times (Jobs 23-28, Durchschnittsgeschwindigkeiten)
PROCESSING_TIME: [
    1.0186 1.5138 1.4768
    0.8884 1.1638 0.7848
    0.6744 0.5888 0.3308
    0.5977 0.3825 0.2197
    0.7326 0.7450 0.5213
    0.6070 0.4075 0.2006 ]

!Zeit bis 1 Palette fertig gedruckt ist 0.25 + Rüstzeit 0.5
PALLET_PRINT: [0.75]

!Zeit bis 2 Lagen fertig eingesteckt sind
PALLET_INSERT: [0.1]
```

*Tabelle 15: Beispiel für eine Output-Datei *.dat*

```

Sequence:
J: 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6
P: 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6
-----
Idle time at machine 1:
9.5925 - 3.6011 - 4.5187 = 1.4727
-----
Idle time at machine 2:
10 - 4.3511 - 4.8014 = 0.8475
-----
Idle time at machine 3:
10 - 4.7732 - 3.534 = 1.6928
-----
Total idle time:
4.013
-----
Total Earliness:
50.25 - 49.2792 = 0.9708
-----
P = Position      M = Machine
P1 M1: 3.6011 - 4.6197
P1 M2: 4.3511 - 5.8649
P1 M3: 4.7732 - 6.25
Due Date: 6.25
Earliness: 0
-----
P2 M1: 5.1149 - 6.0033
P2 M2: 5.8649 - 7.0287
P2 M3: 6.6647 - 7.4495
Due Date: 8
Earliness: 0.5505
-----
P3 M1: 6.3454 - 7.0198
P3 M2: 7.0287 - 7.6175
P3 M3: 7.4495 - 7.7803
Due Date: 8
Earliness: 0.2197
-----
P4 M1: 7.0198 - 7.6175
P4 M2: 7.6175 - 8
P4 M3: 7.7803 - 8
Due Date: 8
Earliness: 0
-----
P5 M1: 8.1149 - 8.8475
P5 M2: 8.8475 - 9.5925
P5 M3: 9.2781 - 9.7994
Due Date: 10
Earliness: 0.2006
-----
P6 M1: 8.9855 - 9.5925
P6 M2: 9.5925 - 10
P6 M3: 9.7994 - 10
Due Date: 10
Earliness: 0
-----

```

Tabelle 16: Source Code „Permutations-Flow Shop mit offener Losweitergabe“

```

model "1. Teil, Permutations-Flowshop mit offener Losweitergabe"
uses "mmxprs"; !gain access to the Xpress-Optimizer solver

parameters
    FILENAME = "Daten 1.Teil_(23-28)_Durchschnitt-neu.dat"
    OUTFILE = "Result 1.Teil_(23-28)_Durchschnitt-neu.dat"
    OUTFILE2 = "Z_3_Durchschnitt.dat"
end-parameters

declarations
    !SETS
    MACHINE: set of real
    JOB: set of real
    !DATA
    PROCESSING_TIME: array(JOB,MACHINE) of real
    DUE_DATE: array(JOB) of real
    INIT_BEGIN_TIME: real
    PALLET_PRINT: real
    PALLET_INSERT: real
    TIME_1PALLET: dynamic array(JOB, MACHINE) of real
    !DVs
    begin_time: dynamic array(JOB,MACHINE) of mpvar
    completion_time: dynamic array(JOB,MACHINE) of mpvar
    position: dynamic array (JOB,JOB) of mpvar
    end_of_job: dynamic array (JOB) of mpvar
end-declarations

initialisations from FILENAME
    MACHINE JOB
    DUE_DATE INIT_BEGIN_TIME PROCESSING_TIME
    PALLET_PRINT PALLET_INSERT
end-initialisations

!create DV
forall(i,j in JOB) create (position(i,j))
forall(i in JOB, m in MACHINE)do
    create (begin_time(i,m))
    create (completion_time(i,m))
end-do
forall(j in JOB) create (end_of_job(j))

!finalize data sets
finalize(MACHINE)
finalize(JOB)

!position DV is binary
forall(i,j in JOB) do
    position(i,j) is_binary
end-do

!!!!!!OBJECTIVE!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

!1. Min idle time at M2
Z:= 0.5* (((completion_time(getsize(JOB),2) - begin_time(1,2))-
sum(i in JOB, m in MACHINE | m=2) PROCESSING_TIME(i,m)))+
!2. Max begin times at all Machines
0.5* ((-1)*(sum(i in JOB,m in MACHINE) begin_time(i,m)))

```

```

!!!!!!!!!!CONSTRAINTS!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

!each job has exactly 1 position
forall(i in JOB) do
    sum(j in JOB) position(i,j) = 1
end-do

!exactly 1 job in each position
forall(j in JOB) do
    sum(i in JOB) position(i,j) = 1
end-do

!time for 1 Pallet PRINTED at Machine 1
forall(j in JOB, m in MACHINE | m=1) do
    if PALLET_PRINT > PROCESSING_TIME(j,m) then
        TIME_1PALLET(j,m) := PROCESSING_TIME(j,m)
    else TIME_1PALLET(j,m) := PALLET_PRINT
    end-if
end-do

!time for 1 Pallet INSERTED at Machine 2
forall(j in JOB, m in MACHINE | m=2) do
    if PALLET_INSERT > PROCESSING_TIME(j,m) then
        TIME_1PALLET(j,m) := PROCESSING_TIME(j,m)
    else TIME_1PALLET(j,m) := PALLET_INSERT
    end-if
end-do

!Completion times (all jobs, all machines)
forall(j in JOB, m in MACHINE) do
    completion_time(j,m) = begin_time(j,m) + sum(i in JOB)
        PROCESSING_TIME(i,m)*position(i,j)
end-do

!Beginning times of all jobs at machine 1
forall(j in JOB | j>1) do
    begin_time(j,1) >= completion_time(j-1,1)
end-do
begin_time(1,1) >= INIT_BEGIN_TIME

!Beginning time at machine 2 and 3
!Job 1
forall(m in MACHINE | m>1) do
    begin_time(1,m) >= begin_time(1,m-1) + sum(i in JOB)
        TIME_1PALLET(i,m-1)*position(i,1)
end-do
!Jobs 2-13
forall(j in JOB | j>1) do
    forall(m in MACHINE | m>1) do
        begin_time(j,m) >= completion_time(j-1, m)
        begin_time(j,m) >= begin_time(j, m-1) +
            sum(i in JOB) TIME_1PALLET(i,m-1)*position(i,j)
    end-do
end-do

!due-date constraint
forall(j in JOB, m in MACHINE) do
    completion_time(j,m) <= sum(i in JOB) DUE_DATE(i)*position(i,j)
end-do

```

```

!CALLBACK-begin
procedure printsol

declarations
    objval:real
    gap:real
end-declarations

objval:= getparam("XPRS_lpobjval")
gap:=(getparam("XPRS_bestbound")-
getparam("XPRS_lpobjval"))/getparam("XPRS_lpobjval")*100

writeln("Solution value: ", objval)
writeln("Gap: ", gap, "%")

!get Job
writeln("Sequence: ")
write("J: ")
forall(j in JOB) do
    write(j, " - ")
end-do
writeln(" ")

!get Position
write("P: ")
forall(i,j in JOB) do
    if getsol(position(i,j))=1 then
        write(j, " - ")
    end-if
end-do
writeln(" ")
writeln("-----")

forall(m in MACHINE) do
    writeln("Idle time at machine ", m, ": ")
    write(getsol(completion_time(getsize(JOB),m)))
    write(" - ")
    write(getsol(begin_time(1,m)))
    write(" - ")
    write(getsol(sum(i in JOB) PROCESSING_TIME(i,m)))
    write(" = ")
    writeln(getsol(completion_time(getsize(JOB),m))-
getsol(begin_time(1,m))-      getsol(sum(i in JOB)
PROCESSING_TIME(i,m)))
    writeln("-----")
end-do
writeln("Total idle time: ")
writeln(sum(m in MACHINE) (getsol(completion_time(getsize(JOB),m))-
getsol(begin_time(1,m))-getsol(sum(i in JOB) PROCESSING_TIME(i,m))))
writeln("-----")
writeln("Total Earliness: ")
write(sum(j in JOB) (sum(i in JOB) DUE_DATE(i) *
getsol(position(i,j))))
write(" - ")
write(sum(j in JOB) getsol(completion_time(j,3)))
write(" = ")
writeln((sum(j in JOB) (sum(i in JOB) DUE_DATE(i) *
getsol(position(i,j)) - getsol(completion_time(j,3)))))
writeln("-----")

```

```

writeln("P = Position M = Machine")
forall(j in JOB) do
    forall(m in MACHINE) do
        write("P", j, " M", m, ": ")
        writeln(getsol(begin_time(j,m)), " - ",
            getsol(completion_time(j,m)))
    end-do
    write("Due Date: ")
    writeln(sum(i in JOB) DUE_DATE(i)*getsol(position(i,j)))
    write("Earliness: ")
    writeln((sum(i in JOB) DUE_DATE(i)*getsol(position(i,j)))-
        getsol(completion_time(j,m)))
    writeln("-----")
end-do

end-procedure

setcallback(XPRS_CB_INTSOL, "printsol")
!CALLBACK-end

!Minimize OF
minimize(Z)

!!!!!!!OUTPUTROUTINE:!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

!Ergebnis in Output-File speichern
fopen(OUTFILE, F_OUTPUT)
    writeln("Zielfunktionswert: ", getobjval)

    !get Job
    writeln("Sequence: ")
    write("J: ")
    forall(j in JOB) do
        write(j, " - ")
    end-do
    writeln(" ")

    !get Position
    write("P: ")
    forall(i,j in JOB) do
        if getsol(position(i,j))=1 then
            write(j, " - ")
        end-if
    end-do

fclose(F_OUTPUT)

!Z extra speichern für V2 und V3
fopen(OUTFILE2, F_OUTPUT)
    writeln("Z: ", getobjval)
fclose(F_OUTPUT)

end-model

```

Tabelle 17: Source Code „Permutations-Flow Shop mit reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten und offener Losweitergabe“

```

model "2. Teil, Permutations-FS mit SDST u. offener Losweitergabe"
uses "mmxprs"; !gain access to the Xpress-Optimizer solver

parameters
    FILENAME = "Daten_2_Teil_(23-28)_Durchschnitt.dat"
    OUTFILE = "Result_2_Teil_(23-28)_Durchschnitt.dat"
    TOL = 1.0E-4
end-parameters

declarations
    !SETS
    MACHINE: set of real
    JOB: set of real

    !DATA
    PROCESSING_TIME: array(JOB, MACHINE) of real
    SDST: array(JOB, JOB, MACHINE) of real !set-up time of Job b, which
                                           follows Job a, on machine m
    DUE_DATE: array(JOB) of real
    INIT_SETUP: array(MACHINE) of real !set-up time for first job in the
                                       sequence
    PALLET_PRINT: real
    PALLET_INSERT: real
    TIME_1PALLET: dynamic array(JOB, MACHINE) of real !min of 1pallet and
                                                         processing-time
    SOLVAL: real

    !DVs
    position: dynamic array(JOB, JOB) of mpvar
    vor_pos_nach: dynamic array(JOB, JOB) of mpvar
    completion_time: dynamic array(JOB, MACHINE) of mpvar
    begin_time: dynamic array(JOB, MACHINE) of mpvar
end-declarations

initialisations from FILENAME
    MACHINE JOB
    DUE_DATE INIT_SETUP PROCESSING_TIME SDST
    PALLET_PRINT PALLET_INSERT SOLVAL
end-initialisations

!create DV
forall(i, j in JOB) do
    create (position(i, j))
end-do
forall(i in JOB, m in MACHINE) do
    create (completion_time(i, m))
    create (begin_time(i, m))
end-do
forall(i, k in JOB) do
    create (vor_pos_nach(i, k))
end-do

!finalize data sets
finalize(MACHINE)
finalize(JOB)

```

```

!!!!!!!!!!OBJECTIVE!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
Z:= !1. Min Idle time M2
    0.5*((completion_time(getsize(JOB),2) - begin_time(1,2)) -
    sum(i in JOB, m in MACHINE | m=2) PROCESSING_TIME(i,m)) +
    !2. Max begin times at all Machines
    0.5*(-1)*(sum(i in JOB,m in MACHINE) begin_time(i,m))

!!!!!!!!!!CONSTRAINTS!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

setparam("XPRS_MIPABSCUTOFF", SOLVAL + TOL)

!binary DVs
forall(i,j in JOB) do
    position(i,j) is_binary
end-do

!SDST Matrix + Time
forall(i,j in JOB) do
    SDST(i,j,1) := SDST(i,j,1)+0.5
    SDST(i,j,2) := SDST(i,j,2)+0.12
end-do
forall(i in JOB) do
    SDST(i,i,1) := 0.5
    SDST(i,i,2) := 0.12
end-do

!time for 1 Pallet PRINTED at Machine 1
forall(i in JOB, m in MACHINE | m=1) do
    if PALLET_PRINT > PROCESSING_TIME(i,m) then
        TIME_1PALLET(i,m) := PROCESSING_TIME(i,m)
    else TIME_1PALLET(i,m) := PALLET_PRINT
    end-if
end-do

!time for 1 Pallet INSERTED at Machine 2
forall(i in JOB, m in MACHINE | m=2) do
    if PALLET_INSERT > PROCESSING_TIME(i,m) then
        TIME_1PALLET(i,m) := PROCESSING_TIME(i,m)
    else TIME_1PALLET(i,m) := PALLET_INSERT
    end-if
end-do

!each job has exactly 1 position
forall(i in JOB) do
    sum(j in JOB) position(i,j) = 1
end-do

!each position is occupied by exactly 1 job
forall(j in JOB) do
    sum(i in JOB) position(i,j) = 1
end-do

!Reihenfolgebeziehung
forall(i in JOB) do
    sum(k in JOB) vor_pos_nach(i,k) = 1 - position(i,getsize(JOB))
end-do

forall(k in JOB) do
    sum(i in JOB) vor_pos_nach(i,k) = 1 - position(k,1)
end-do

```

```

forall(i,j,k in JOB | j<getsize(JOB)) do
    vor_pos_nach(i,k) >= position(i,j) + position(k,j+1) -1
end-do

!(5a)relationship of completion times of 2 consecutive jobs on same Machine
forall(m in MACHINE) do
    forall(j in JOB | j<getsize(JOB)) do
        forall(i,k in JOB) do
            completion_time(j,m) + (vor_pos_nach(i,k)
            +position(i,j)-1)*SDST(i,k,m) <= begin_time(j+1,m)
        end-do
    end-do
end-do

!(5b)relationship of the same job on 2 consecutive Machines
forall(m in MACHINE | m<getsize(MACHINE)) do
    forall(j in JOB) do
        begin_time(j,m) + sum(i in JOB)
        TIME_1PALLET(i,m)*position(i,j) <= begin_time(j,m+1)
    end-do
end-do

!relationship of begin times and completion times of same job on same machine
forall(m in MACHINE) do
    forall(j in JOB) do
        completion_time(j,m) = sum(i in JOB)
        PROCESSING_TIME(i,m)*position(i,j) + begin_time(j,m)
    end-do
end-do

!first job in the sequence on every machine
forall(m in MACHINE) do
    begin_time(1,m) >= INIT_SETUP(m)
end-do

!due-date constraint
forall(j in JOB, m in MACHINE) do
    completion_time(j,m) <= sum(i in JOB) DUE_DATE(i)*position(i,j)
end-do

!Minimize OF
minimize(Z)

fopen(OUTFILE,F_OUTPUT)
writeln("Zielfunktionswert: ", getobjval)
!Vorgänger - Nachfolger
writeln("Sequence: ")
forall(j,i in JOB) do
    if getsol(position(i,j))=1 then
        writeln("Pos(j) ", j, " Job(i) ", i)
    end-if
end-do
fclose(F_OUTPUT)

end-model

```

Tabelle 18: Source Code „Flow Shop mit reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten und offener Losweitergabe“

```

model "3. Teil, Flowshop mit SDST und offener Losweitergabe"
uses "mmxprs"; !gain access to the Xpress-Optimizer solver

parameters
FILENAME = "Daten_3_Teil_(23-28)_Best.dat"
OUTFILE = "Result_3_Teil_(23-28)_Best.dat"
TOL = 1.0E-4
end-parameters

declarations
!SETS
MACHINE: set of real
JOB: set of real

!DATA
ZTG: integer
PROCESSING_TIME: array(JOB,MACHINE) of real
SDST: array(JOB,JOB,MACHINE) of real !set-up time of Job b, which
                                     follows Job a, on machine m
DUE_DATE: array(JOB) of real
INIT_SETUP: array(MACHINE) of real !set-up time for first job in the
                                     sequence
PALLET_PRINT: real
PALLET_INSERT: real
TIME_1PALLET: dynamic array(JOB, MACHINE) of real !min of 1pallet and
                                                    processing-time
SOLVAL: real

!DVs
position: dynamic array(JOB,JOB,MACHINE) of mpvar
vor_pos_nach: dynamic array(JOB,JOB,MACHINE) of mpvar
completion_time: dynamic array(JOB,MACHINE) of mpvar
begin_time: dynamic array(JOB,MACHINE) of mpvar
end-declarations

initialisations from FILENAME
MACHINE JOB
ZTG DUE_DATE INIT_SETUP PROCESSING_TIME SDST
PALLET_PRINT PALLET_INSERT SOLVAL
end-initialisations

!create DV
forall(i,j in JOB) do
    forall(m in MACHINE) do
        create (position(i,j,m))
    end-do
end-do

forall(j in JOB, m in MACHINE)do
    create (completion_time(j,m))
    create (begin_time(j,m))
end-do

```

```

forall(m in MACHINE) do
    forall(i,k in JOB) do
        create (vor_pos_nach(i,k,m))
    end-do
end-do

!finalize data sets
finalize(MACHINE)
finalize(JOB)

!!!!!!!!!!OBJECTIVE!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

Z:= !1. Min Idle time M2
    0.5*((completion_time(getsize(JOB),2) -begin_time(1,2))
-
    sum(i in JOB, m in MACHINE | m=2) PROCESSING_TIME(i,m) ) +
!2. Max begin times at all Machines
    0.5*(-1)*(sum(j in JOB,m in MACHINE)
begin_time(j,m))

!!!!!!!!!!CONSTRAINTS!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

setparam("XPRS_MITABSCUTOFF", SOLVAL+TOL)

!position DV is binary
forall(i,j in JOB) do
    forall(m in MACHINE) do
        position(i,j,m)is_binary
    end-do
end-do

!SDST Matrix + Time
forall(i,j in JOB) do
    SDST(i,j,1) := SDST(i,j,1)+0.5
    SDST(i,j,2) := SDST(i,j,2)+0.12
end-do

!time for 1 Pallet PRINTED at Machine 1
forall(i in JOB, m in MACHINE | m=1) do
    if PALLET_PRINT > PROCESSING_TIME(i,m) then
        TIME_1PALLET(i,m) := PROCESSING_TIME(i,m)
    else TIME_1PALLET(i,m) := PALLET_PRINT
    end-if
end-do

!time for 1 Pallet INSERTED at Machine 2
forall(i in JOB, m in MACHINE |m=2) do
    if PALLET_INSERT > PROCESSING_TIME(i,m) then
        TIME_1PALLET(i,m) := PROCESSING_TIME(i,m)
    else TIME_1PALLET(i,m) := PALLET_INSERT
    end-if
end-do

!each job has exactly 1 successor
forall(m in MACHINE,i in JOB) do
    sum(j in JOB) position(i,j,m) = 1
end-do

```

```

!each job has exactly 1 predecessor
forall(m in MACHINE, j in JOB) do
    sum(i in JOB) position(i, j, m) = 1
end-do

!Reihenfolgebeziehung
forall(m in MACHINE) do
    forall(i in JOB) do
        sum(k in JOB) vor_pos_nach(i, k, m) =
            1 - position(i, getsize(JOB), m)
    end-do
end-do

forall(m in MACHINE) do
    forall(k in JOB) do
        sum(i in JOB) vor_pos_nach(i, k, m) = 1 - position(k, 1, m)
    end-do
end-do

forall(m in MACHINE) do
    forall(i, j, k in JOB | j < getsize(JOB)) do
        vor_pos_nach(i, k, m) >= position(i, j, m) + position(k, j+1, m) - 1
    end-do
end-do

!Drucke jeden Bezirk ganz
forall(z in 1..ZTG) do
    forall(i1, i2 in (z-1)*3+1..(z-1)*3+3) do
        sum(j in JOB) j*position(i1, j, 1) - sum(j in JOB)
            j*position(i2, j, 1) <= 2
    end-do
end-do

!(5a)relationship of completion times of 2 consecutive jobs on same
Machine
forall(m in MACHINE) do
    forall(j in JOB | j < getsize(JOB)) do
        forall(i, k in JOB) do
            completion_time(j, m) + (vor_pos_nach(i, k, m)
                + position(i, j, m) - 1) * SDST(i, k, m) <= begin_time(j+1, m)
        end-do
    end-do
end-do

!(5b)relationship of completion times of the same job on 2 consecutive
Machines
forall(m in MACHINE | m < getsize(MACHINE)) do
    forall(i, j, y in JOB) do
        begin_time(j, m) + sum(x in JOB)
            TIME_1PALLET(x, m) * position(x, j, m) <= begin_time(y, m+1) +
            (2 - position(i, j, m) - position(i, y, m+1)) * DUE_DATE(i)
    end-do
end-do

```

```

!relationship of begin times and completion times of same job on same
machine
forall(m in MACHINE) do
    forall(j in JOB) do
        begin_time(j,m) = completion_time(j,m) - sum(i in JOB)
        PROCESSING_TIME(i,m)*position(i,j,m)
    end-do
end-do

!first job in the sequence on every machine
forall(m in MACHINE) do
    begin_time(1,m) >= INIT_SETUP(m)
end-do

!due-date constraint
forall(j in JOB, m in MACHINE) do
    completion_time(j,m) <= sum(i in JOB) DUE_DATE(i)*position(i,j,m)
end-do

!Minimize OF
minimize(Z)

! Solution printing to a FILE
fopen(OUTFILE, F_OUTPUT)

    writeln("Zielfunktionswert: ", getobjval)
    !Vorgänger - Nachfolger
    writeln("Sequence: ")
    forall(m in MACHINE)do
        forall(i,j in JOB) do
            if getsol(position(i,j,m))=1 then
                writeln("M ", m, " Job ", i, " Pos ", j)
            end-if
        end-do
        writeln("-----")
    end-do
    writeln("-----")

fclose(F_OUTPUT)

end-model

```

ANHANG B: aktuelle Produktionspläne

Tabelle 19: aktueller Produktionsablaufplan mit 3 Maschinen

Beginn Sonntag

Nr.	Due Date	Earliness	Job Ende	Adressierung M 3				Einsteckm. M 2				Druck M 1				Beginn Rüsten	Redaktions-schluss
				Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn		
1	01:00	-00:15	01:15		01:15	02:00	23:15		01:15	02:00	23:15		23:45	00:45	23:00	22:30	22:00
2	04:30	00:45	03:45	00:00	03:45	02:30	01:15	00:00	03:45	02:30	01:15	01:00	01:45	01:00	00:45	00:15	23:45
3	05:45	00:15	05:30	00:00	05:30	01:45	03:45	00:00	05:30	01:45	03:45	01:00	03:45	01:00	02:45	02:15	01:45
4	06:30	00:15	06:15	00:15	06:15	00:30	05:45	00:00	06:00	00:30	05:30	00:30	04:30	00:15	04:15	03:45	03:15
5	08:30	01:00	07:30	00:00	07:15	01:00	06:15	00:00	07:30	01:30	06:00	00:45	05:45	00:30	05:15	04:45	04:15
6	09:30	01:15	08:15	00:15	08:15	00:45	07:30	00:00	08:15	00:45	07:30	00:45	07:00	00:30	06:30	06:00	05:30
7	11:00	00:45	10:15	00:00	10:15	02:00	08:15	00:00	10:00	01:45	08:15	00:45	08:30	00:45	07:45	07:15	06:45
8	11:30	00:45	10:45	00:00	10:45	00:30	10:15	00:00	10:45	00:45	10:00	00:30	09:15	00:15	09:00	08:30	08:00
9	12:00	00:30	11:30	00:00	11:30	00:45	10:45	00:00	11:30	00:45	10:45	00:45	10:30	00:30	10:00	09:30	09:00
10	13:00	00:30	12:30	00:00	12:30	01:00	11:30	00:00	12:30	01:00	11:30	00:45	11:45	00:30	11:15	10:45	10:15
11	14:00	00:30	13:30	00:15	13:30	00:45	12:45	00:15	13:15	00:30	12:45	00:45	12:45	00:15	12:30	12:00	11:30
12	15:15	00:30	14:45	00:15	14:45	01:00	13:45	00:30	14:45	01:00	13:45	00:45	14:00	00:30	13:30	13:00	12:30
13	16:00	00:30	15:30	00:15	15:30	00:30	15:00	00:15	15:30	00:30	15:00	00:45	15:15	00:30	14:45	14:15	13:45
				07:30	01:15	15:00		01:00	15:15			09:00		07:15		Summe Leerzeit 11:15	

Beginn Montag

Nr.	Due Date	Earliness	Job Ende	Adressierung M 3				Einsteckm. M 2				Druck M 1				Beginn Rüsten	Redaktions-schluss
				Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn		
14	00:30	00:45	23:45		23:45	02:15	21:30		23:45	02:15	21:30		22:00	00:45	21:15	20:45	20:15
15	01:30	00:45	00:45	00:00	00:45	01:00	23:45	00:00	00:45	01:00	23:45	00:45	23:15	00:30	22:45	22:15	21:45
16	02:30	00:45	01:45	00:00	01:45	01:00	00:45	00:00	01:45	01:00	00:45	00:45	00:30	00:30	00:00	23:30	23:00
17	03:30	00:45	02:45	00:00	02:45	01:00	01:45	00:00	02:45	01:00	01:45	00:45	01:45	00:30	01:15	00:45	00:15
18	04:15	00:30	03:45	00:00	03:45	01:00	02:45	00:00	03:45	01:00	02:45	00:45	03:00	00:30	02:30	02:00	01:30
19	05:15	00:30	04:45	00:15	04:45	00:45	04:00	00:15	04:45	00:45	04:00	00:45	04:15	00:30	03:45	03:15	02:45
20	06:45	00:30	06:15	00:30	06:15	01:00	05:15	00:30	06:15	01:00	05:15	00:45	05:30	00:30	05:00	04:30	04:00
21	07:45	00:15	07:30	00:15	07:30	01:00	06:30	00:15	07:30	01:00	06:30	00:45	06:45	00:30	06:15	05:45	05:15
22	08:45	00:15	08:30	00:15	08:30	00:45	07:45	00:15	08:30	00:45	07:45	00:45	08:00	00:30	07:30	07:00	06:30
				05:00	01:15	09:45		01:15	09:45			06:00		04:45		Summe Leerzeit 08:30	

Beginn Dienstag

Nr.	Due Date	Earliness	Job Ende	Adressierung M 3				Einsteckm. M 2				Druck M 1				Beginn Rüsten	Redaktions-schluss
				Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn		
23	20:15	00:30	19:45		19:45	01:30	18:15		19:45	01:30	18:15		18:15	00:30	17:45	17:15	16:45
24	22:00	01:30	20:30	00:00	20:30	00:45	19:45	00:00	20:30	00:45	19:45	00:45	19:30	00:30	19:00	18:30	18:00
25	22:00	00:45	21:15	00:15	21:15	00:30	20:45	00:15	21:15	00:30	20:45	01:00	20:45	00:15	20:30	20:00	19:30
26	22:00	00:00	22:00	00:15	22:00	00:30	21:30	00:15	22:00	00:30	21:30	00:45	21:45	00:15	21:30	21:00	20:30
27	00:00	00:30	23:30	01:00	23:30	00:30	23:00	01:00	23:30	00:30	23:00	01:00	23:00	00:15	22:45	22:15	21:45
28	00:00	-00:15	00:15	00:15	00:15	00:30	23:45	00:15	00:15	00:30	23:45	00:45	00:00	00:15	23:45	23:15	22:45
				03:15	01:45	04:15		01:45	04:15			04:15		02:00		Summe Leerzeit 07:45	

Tabelle 20: aktueller Produktionsablaufplan mit 2 Maschinen

Beginn Sonntag

Nr.	Due Date	Earliness	Job Ende	Proliner M 2				Druck M 1				Beginn Rüsten	Redaktions- schluss
				Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn		
1	01:00	01:00	00:00		00:00	00:45	23:15		23:45	00:45	23:00	22:30	22:00
2	04:30	01:45	02:45	01:15	02:45	01:30	01:15	01:00	01:45	01:00	00:45	00:15	23:45
3	05:45	01:00	04:45	01:00	04:45	01:00	03:45	01:00	03:45	01:00	02:45	02:15	01:45
4	06:30	00:30	06:00	00:45	06:00	00:30	05:30	00:30	04:30	00:15	04:15	03:45	03:15
5	08:30	01:45	06:45	00:00	06:45	00:45	06:00	00:45	05:45	00:30	05:15	04:45	04:15
6	09:30	01:30	08:00	00:45	08:00	00:30	07:30	00:45	07:00	00:30	06:30	06:00	05:30
7	11:00	02:00	09:00	00:15	09:00	00:45	08:15	00:45	08:30	00:45	07:45	07:15	06:45
8	11:30	01:15	10:15	01:00	10:15	00:15	10:00	00:30	09:15	00:15	09:00	08:30	08:00
9	12:00	00:45	11:15	00:30	11:15	00:30	10:45	00:45	10:30	00:30	10:00	09:30	09:00
10	13:00	00:45	12:15	00:15	12:15	00:45	11:30	00:45	11:45	00:30	11:15	10:45	10:15
11	14:00	00:45	13:15	00:30	13:15	00:30	12:45	00:45	12:45	00:15	12:30	12:00	11:30
12	15:15	01:00	14:15	00:30	14:15	00:30	13:45	00:45	14:00	00:30	13:30	13:00	12:30
13	16:00	00:45	15:15	00:45	15:15	00:15	15:00	00:45	15:15	00:30	14:45	14:15	13:45
				14:45		08:30		09:00		07:15		Summe Leerzeit 16:30	

Beginn Montag

Nr.	Due Date	Earliness	Job Ende	Proliner M 2				Druck M 1				Beginn Rüsten	Redaktions- schluss
				Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn		
14	00:30	02:15	22:15		22:15	00:45	21:30		22:00	00:45	21:15	20:45	20:15
15	01:30	01:15	00:15	01:30	00:15	00:30	23:45	00:45	23:15	00:30	22:45	22:15	21:45
16	02:30	01:15	01:15	00:30	01:15	00:30	00:45	00:45	00:30	00:30	00:00	23:30	23:00
17	03:30	01:15	02:15	00:30	02:15	00:30	01:45	00:45	01:45	00:30	01:15	00:45	00:15
18	04:15	01:00	03:15	00:30	03:15	00:30	02:45	00:45	03:00	00:30	02:30	02:00	01:30
19	05:15	00:30	04:45	00:45	04:45	00:45	04:00	00:45	04:15	00:30	03:45	03:15	02:45
20	06:45	00:45	06:00	00:30	06:00	00:45	05:15	00:45	05:30	00:30	05:00	04:30	04:00
21	07:45	00:45	07:00	00:30	07:00	00:30	06:30	00:45	06:45	00:30	06:15	05:45	05:15
22	08:45	00:15	08:30	00:45	08:30	00:45	07:45	00:45	08:00	00:30	07:30	07:00	06:30
				09:15		05:30		06:00		04:45		Summe Leerzeit 11:30	

Beginn Dienstag

Nr.	Due Date	Earliness	Job Ende	Proliner M 2				Druck M 1				Beginn Rüsten	Redaktions- schluss
				Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn		
23	20:15	01:15	19:00		19:00	00:45	18:15		18:15	00:30	17:45	17:15	16:45
24	22:00	01:30	20:30	00:45	20:30	00:45	19:45	00:45	19:30	00:30	19:00	18:30	18:00
25	22:00	01:00	21:00	00:15	21:00	00:15	20:45	01:00	20:45	00:15	20:30	20:00	19:30
26	22:00	00:15	21:45	00:30	21:45	00:15	21:30	00:45	21:45	00:15	21:30	21:00	20:30
27	00:00	00:30	23:30	01:15	23:30	00:30	23:00	01:00	23:00	00:15	22:45	22:15	21:45
28	00:00	00:00	00:00	00:15	00:00	00:15	23:45	00:45	00:00	00:15	23:45	23:15	22:45
				04:30		02:45		04:15		02:00		Summe Leerzeit 07:15	

ANHANG C: Ergebnisse

Tabelle 21: Teil 1 (Best Case)

0 = SO 20h				Adressierung M 3 (incl. 0,1)				Einsteck. M 2 (incl. 0,12)				Druck M 1 (incl. 0,5)				Fm Platten	neu Red. schluss	bisher Red. schluss	Früher	Später	Summe Leerzeit
Nr.	Uhrzeit due date	Earliness	Job Ende	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	00:30					
1	1:00	00:00	01:00		01:01	00:41	00:20		01:01	01:24	23:37		23:53	01:02	22:52	00:30	22:22	22:00		00:22	
2	4:30	00:00	04:30	02:03	04:30	01:27	03:04	00:27	03:51	02:23	01:28	00:50	02:09	01:26	00:43	00:30	00:13	23:45		00:28	
3	5:45	00:00	05:46	00:11	05:46	01:05	04:41	00:00	05:46	01:55	03:51	00:57	04:20	01:15	03:06	00:30	02:36	1:45		00:51	
4	6:30	00:00	06:31	00:20	06:31	00:25	06:06	00:08	06:30	00:37	05:54	00:52	05:54	00:42	05:12	00:30	04:42	3:15		01:27	
5	8:30	00:00	08:31	01:19	08:30	00:41	07:50	00:53	08:31	01:08	07:23	00:44	07:33	00:56	06:38	00:30	06:08	4:15		01:53	
6	9:30	00:00	09:31	00:43	09:31	00:18	09:13	00:01	09:12	00:41	08:32	00:11	08:27	00:44	07:44	00:30	07:14	5:30		01:44	
7	11:00	00:05	10:55	00:31	10:55	00:53	10:02	00:00	10:26	01:14	09:12	00:00	09:25	00:58	08:27	00:30	07:57	6:45		01:12	
8	11:30	00:05	11:25	00:00	11:25	00:31	10:55	00:00	10:59	00:34	10:26	00:09	10:14	00:41	09:34	00:30	09:04	8:00		01:04	
9	12:00	00:02	11:58	00:00	11:58	00:33	11:25	00:00	11:50	00:52	10:59	00:00	11:02	00:49	10:14	00:30	09:44	9:00		00:44	
10	13:00	00:00	13:01	00:00	13:01	01:03	11:58	00:00	13:00	01:11	11:50	00:03	12:01	00:56	11:05	00:30	10:35	10:15		00:20	
11	14:00	00:00	14:00	00:39	14:00	00:21	13:40	00:19	14:00	00:42	13:19	00:34	13:19	00:45	12:35	00:30	12:05	11:30		00:35	
12	15:15	00:00	15:16	00:41	15:16	00:35	14:41	00:30	15:16	00:46	14:30	00:26	14:31	00:46	13:45	00:30	13:15	12:30		00:45	
13	16:00	00:00	16:01	00:25	16:01	00:20	15:41	00:11	16:01	00:34	15:27	00:15	15:27	00:41	14:46	00:30	14:16	13:45		00:31	
				00:12		08:53		02:29		14:01		05:01		11:41		Summe Leerzeit 14:22					

0 = MO 18h				Adressierung M 3 (incl. 0,1)				Einsteck. M 2 (incl. 0,12)				Druck M 1 (incl. 0,5)				Fm Platten	neu Red. schluss	bisher Red. schluss	Früher	Später	Summe Leerzeit
Nr.	Uhrzeit due date	Earliness	Job Ende	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	00:30					
14	0:30	00:00	00:31		00:30	01:05	23:26		00:31	01:28	23:03		23:21	01:04	22:18	00:30	21:48	20:15		01:33	
15	1:30	00:00	01:30	00:32	01:30	00:29	01:02	00:15	01:30	00:45	00:46	00:40	00:47	00:46	00:01	00:30	23:31	21:45		01:46	
16	2:30	00:00	02:31	00:32	02:31	00:29	02:02	00:08	02:25	00:48	01:38	00:06	01:40	00:47	00:53	00:30	00:23	23:00		01:23	
17	3:30	00:00	03:31	00:10	03:31	00:50	02:41	00:00	03:22	00:57	02:25	00:00	02:31	00:51	01:40	00:30	01:10	0:15		00:55	
18	4:15	00:00	04:16	00:09	04:16	00:36	03:40	00:00	04:15	00:54	03:22	00:06	03:26	00:50	02:37	00:30	02:07	1:30		00:37	
19	5:15	00:00	05:16	00:14	05:16	00:46	04:30	00:00	05:16	01:01	04:15	00:04	04:22	00:52	03:30	00:30	03:00	2:45		00:15	
20	6:45	00:00	06:45	00:33	06:45	00:57	05:49	00:27	06:45	01:02	05:43	00:36	05:51	00:53	04:58	00:30	04:28	4:00		00:28	
21	7:45	00:00	07:46	00:19	07:46	00:42	07:04	00:06	07:42	00:51	06:51	00:15	06:54	00:48	06:06	00:30	05:36	5:15		00:21	
22	8:45	00:00	08:46	00:25	08:45	00:35	08:11	00:00	08:46	01:04	07:42	00:03	07:50	00:54	06:57	00:30	06:27	6:30	00:03		
				00:00		06:29		00:56		08:50		01:50		07:45		Summe Leerzeit 05:40					

0 = DI 14h				Adressierung M 3 (incl. 0,1)				Einsteck. M 2 (incl. 0,12)				Druck M 1 (incl. 0,5)				Fm Platten	neu Red. schluss	bisher Red. schluss	Früher	Später	Summe Leerzeit
Nr.	Uhrzeit due date	Earliness	Job Ende	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	00:30					
23	20:15	00:00	20:15		20:15	01:04	18:12		20:09	01:18	18:52		19:06	01:00	18:07	00:30	17:37	16:45		00:52	
24	22:00	00:26	21:34	00:45	21:34	00:35	21:00	00:00	21:09	01:00	20:09	00:18	20:16	00:52	19:24	00:30	18:54	18:00		00:54	
25	22:00	00:10	21:50	00:00	21:50	00:16	21:34	00:00	21:40	00:31	21:09	00:09	21:05	00:40	20:25	00:30	19:55	19:30		00:25	
26	22:00	00:00	22:00	00:00	22:00	00:11	21:50	00:00	22:00	00:21	21:40	00:00	21:40	00:36	21:05	00:30	20:35	20:30		00:05	
27	0:00	00:09	23:51	01:27	23:51	00:24	23:27	01:00	23:39	00:39	23:00	00:37	23:00	00:44	22:17	00:30	21:47	21:45		00:02	
28	0:00	00:00	00:01	00:00	00:01	00:10	23:51	00:00	00:01	00:22	23:39	00:03	23:39	00:36	23:03	00:30	22:33	22:45	00:12		
				00:45		02:40		01:00		04:11		01:07		04:28		Summe Leerzeit 04:19					

Tabelle 22: Teil I (Worst Case)

0 = SO 15h				Adressierung M3 (incl. 0,1)				Einsteck. M2 (incl. 0,12)				Druck M 1 (incl. 0,5)				Fm Platten	neu Red. schluss	bisher Red. schluss	Früher	Später
Nr.	Uhrzeit due date	Earliness	Job Ende	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	00:30				
1	1:00	02:12	22:48													00:30	17:26	22:00	04:34	
2	4:30	04:09	00:21	00:00	00:21	01:34	22:48	00:00	00:06	02:00	22:07	01:51	22:28	01:07	21:22	00:30	20:52	23:45	02:53	
3	5:45	02:48	02:57	00:00	02:57	02:36	00:21	00:00	02:51	02:45	00:06	00:53	00:42	01:22	23:21	00:30	22:51	1:45	02:54	
4	6:30	01:29	05:01	00:00	05:01	02:05	02:57	00:00	04:35	01:45	02:51	01:24	03:07	01:02	02:06	00:30	01:36	3:15	01:39	
5	8:30	02:34	05:56	00:00	05:56	00:55	05:01	00:20	05:45	00:50	04:55	01:05	04:55	00:44	04:12	00:30	03:42	4:15	00:33	
6	9:30	01:59	07:31	00:00	07:31	01:35	05:56	00:04	07:25	01:36	05:49	00:09	06:03	00:59	05:04	00:30	04:34	5:30	00:56	
7	11:00	02:20	08:40	00:00	08:40	01:10	07:31	00:00	08:10	00:46	07:25	00:40	07:25	00:43	06:43	00:30	06:13	6:45	00:32	
8	11:30	02:13	09:17	00:00	09:17	00:37	08:40	00:05	09:11	00:56	08:15	00:05	08:16	00:46	07:30	00:30	07:00	8:00	01:00	
9	12:00	01:29	10:31	00:00	10:31	01:15	09:17	00:00	10:22	01:12	09:11	00:10	09:16	00:51	08:26	00:30	07:56	9:00	01:04	
10	13:00	00:00	13:00	00:00	13:00	02:30	10:31	00:03	12:04	01:40	10:25	00:24	10:40	01:00	09:40	00:30	09:10	10:15	01:05	
11	14:00	00:03	13:57	00:12	13:57	00:45	13:12	00:50	13:51	00:58	12:54	01:29	12:55	00:47	12:09	00:30	11:39	11:30		00:09
12	15:15	00:00	15:15	00:00	15:15	01:19	13:57	00:00	14:54	01:04	13:51	00:11	13:54	00:49	13:06	00:30	12:36	12:30		00:06
13	16:00	00:00	16:00	00:03	16:00	00:43	15:18	00:18	15:58	00:46	15:12	00:35	15:12	00:43	14:29	00:30	13:59	13:45		00:14
				21:16		00:15		01:40		19:44		08:56		12:28		Summe Leerzeit 10:51				
						20:33														
0 = MO 13h				Adressierung M3 (incl. 0,1)				Einsteck. M2 (incl. 0,12)				Druck M 1 (incl. 0,5)				Fm Platten	neu Red. schluss	bisher Red. schluss	Früher	Später
Nr.	Uhrzeit due date	Earliness	Job Ende	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	00:30				
14	0:30	04:06	20:24		20:24	02:35	17:50		19:49	02:05	17:44		18:08	01:09	16:59	00:30	16:29	20:15	03:46	
15	1:30	03:09	22:21	00:00	22:21	01:57	20:24	00:29	21:38	01:20	20:18	01:25	20:27	00:54	19:33	00:30	19:03	21:45	02:42	
16	2:30	02:24	00:06	00:00	00:06	01:46	22:21	00:37	23:39	01:25	22:15	01:03	22:25	00:56	21:30	00:30	21:00	23:00	02:00	
17	3:30	02:21	01:09	00:00	01:09	01:04	00:06	00:21	01:02	01:02	00:00	00:50	00:03	00:48	23:15	00:30	22:45	0:15	01:30	
18	4:15	02:00	02:15	00:00	02:15	01:06	01:09	00:01	02:09	01:06	01:03	00:15	01:07	00:50	00:18	00:30	23:48	1:30	01:42	
19	5:15	01:39	03:36	00:00	03:36	01:22	02:15	00:00	03:23	01:15	02:09	00:17	02:16	00:52	01:24	00:30	00:54	2:45	01:51	
20	6:45	00:56	05:49	00:00	05:49	02:14	03:36	00:07	04:57	01:27	03:30	00:29	03:41	00:56	02:45	00:30	02:15	4:00	01:45	
21	7:45	00:19	07:26	00:00	07:26	01:37	05:49	00:46	06:54	01:11	05:43	01:17	05:49	00:51	04:58	00:30	04:28	5:15	00:47	
22	8:45	00:00	08:45	00:00	08:45	01:20	07:26	00:22	08:45	01:30	07:16	00:42	07:28	00:57	06:31	00:30	06:01	6:30	00:29	
				16:54		00:00		02:43		12:21		06:18		08:13		Summe Leerzeit 09:01				
						15:01														
0 = DI 14h				Adressierung M3 (incl. 0,1)				Einsteck. M2 (incl. 0,12)				Druck M 1 (incl. 0,5)				Fm Platten	neu Red. schluss	bisher Red. schluss	Früher	Später
Nr.	Uhrzeit due date	Earliness	Job Ende	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	00:30				
23	20:15	00:24	19:51		19:51	02:32	17:20		19:04	01:51	17:14		17:32	01:04	16:29	00:30	15:59	16:45		
24	22:00	00:50	21:10	00:00	21:10	01:19	19:51	00:24	20:52	01:25	19:28	01:11	19:38	00:56	18:43	00:30	18:13	18:00		00:13
25	22:00	00:19	21:41	00:00	21:41	00:32	21:10	00:00	21:34	00:42	20:52	00:33	20:52	00:42	20:11	00:30	19:41	19:30		00:11
26	22:00	00:00	22:00	00:00	22:00	00:20	21:41	00:00	22:00	00:27	21:34	00:06	21:34	00:37	20:58	00:30	20:28	20:30	00:02	
27	0:00	00:17	23:43	00:52	23:43	00:52	22:52	00:39	23:32	00:54	22:39	00:20	22:39	00:45	21:54	00:30	21:24	21:45	00:21	
28	0:00	00:00	00:01	00:00	00:00	00:18	23:43	00:00	00:01	00:29	23:32	00:16	23:32	00:37	22:55	00:30	22:25	22:45	00:20	
				01:50		00:52		01:03		05:48		02:26		04:41		Summe Leerzeit 04:21				
						05:53														

Tabelle 23: Teil 2 (Best Case; Ztg. 23 – 28)

0 = DI 14:00:00				Adressierung M3 (incl. 0,1)					Einsteck M2				
i	j	due	Earliness	Job	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Rüsten	Ende	Dauer	Beginn
Ztg.	Pos.	date		Ende									
2	1	20:15	00:00:00	20:15:00		20:15:00	00:00:00	20:15:00		00:07	19:38:01	00:17:56	19:20:05
1	2	23:30	01:30:00	22:00:00	00:41:32	22:00:00	01:03:28	20:56:32	00:00:00	00:00	20:05:48	00:27:47	19:38:01
3	3	22:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	00:00	20:30:30	00:24:42	20:05:48
9	4	22:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	00:07	20:51:32	00:13:50	20:37:42
8	5	22:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	00:00	20:56:24	00:04:52	20:51:32
12	6	22:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	00:07	21:10:59	00:07:23	21:03:36
11	7	22:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:01	00:00	21:14:06	00:03:06	21:11:00
5	8	22:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	00:07	21:35:30	00:14:13	21:21:17
6	9	22:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	00:00	22:00:00	00:24:30	21:35:30
4	10	23:30	00:26:00	23:04:00	00:29:36	23:04:00	00:34:24	22:29:36	00:00:00	00:00	22:37:37	00:14:01	22:23:36
7	11	23:30	00:10:40	23:19:20	00:00:00	23:19:20	00:15:20	23:04:00	00:10:53	00:07	23:00:41	00:04:59	22:55:42
10	12	23:30	00:00:00	23:30:00	00:00:00	23:30:00	00:10:40	23:19:20	00:00:01	00:07	23:10:41	00:02:47	23:07:54
15	13	00:00	00:00:00	00:00:00	00:30:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:07	23:34:51	00:16:59	23:17:52
14	14	00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:01	00:00	23:40:41	00:05:49	23:34:52
17	15	00:45	00:45:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:07	23:49:04	00:01:12	23:47:52
18	16	00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00	00:00:00	00:10:56	23:49:04
13	17	01:30	00:09:52	01:20:08	00:56:48	01:20:08	00:23:20	00:56:48	00:43:36	00:07	00:59:35	00:08:47	00:50:48
16	18	01:30	00:00:00	01:30:00	00:00:00	01:30:00	00:09:52	01:20:08	00:10:57	00:07	01:20:08	00:02:24	01:17:44
			03:01:32		02:37:56		02:37:04		01:05:29	01:12		03:26:13	

Druck M 1						Fm	neu	bisher		
Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Rüsten	Platten	00:30	Red.	Red.	Früher	Später
	19:05:56	00:07:25	18:58:31	00:30	00:30	17:58:31	16:45:00			01:13:31
00:00:00	19:17:25	00:11:29	19:05:56	00:00	00:00	19:05:56	16:45:00			02:20:56
00:00:00	19:27:36	00:10:12	19:17:24	00:00	00:00	19:17:24	16:45:00			02:32:24
00:00:00	20:03:19	00:05:43	19:57:36	00:30	00:30	18:57:36	19:30:00	00:32:24		
00:00:00	20:05:20	00:02:01	20:03:19	00:00	00:00	20:03:19	19:30:00			00:33:19
00:00:00	20:38:23	00:03:03	20:35:20	00:30	00:30	19:35:20	20:30:00	00:54:40		
00:00:00	20:39:40	00:01:17	20:38:23	00:00	00:00	20:38:23	20:30:00			00:08:23
00:00:00	21:15:32	00:05:52	21:09:40	00:30	00:30	20:09:40	18:00:00			02:09:40
00:00:00	21:25:39	00:10:07	21:15:32	00:00	00:00	21:15:32	18:00:00			03:15:32
00:00:00	21:31:26	00:05:47	21:25:39	00:00	00:00	21:25:39	18:00:00			03:25:39
00:00:00	22:03:30	00:02:04	22:01:26	00:30	00:00	21:31:26	19:30:00			02:01:26
00:00:00	22:34:39	00:01:09	22:33:30	00:30	00:00	22:03:30	20:30:00			01:33:30
00:00:00	23:11:40	00:07:01	23:04:39	00:30	00:30	22:04:39	21:45:00			00:19:39
00:00:00	23:14:04	00:02:24	23:11:40	00:00	00:00	23:11:40	21:45:00			01:26:40
00:00:00	23:44:34	00:00:30	23:44:04	00:30	00:30	22:44:04	22:45:00	00:00:56		
00:00:00	23:49:05	00:04:31	23:44:34	00:00	00:00	23:44:34	22:45:00			00:59:34
00:24:02	00:46:45	00:03:38	00:43:07	00:30	00:00	00:13:07	21:45:00			02:28:07
00:00:00	01:17:44	00:00:59	01:16:45	00:30	00:00	00:46:45	22:45:00			02:01:45
00:24:02		01:25:12		05:00						
									Summe	
									Leerzeit	04:07:27

Tabelle 24: Teil 2 (Worst Case; Ztg. 23 - 28)

0 = DI 04:00:00					Adressierung M3 (incl. 0,1)				Einsteck M2				
i	j	due	Earliness	Job	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Rüsten	Ende	Dauer	Beginn
Ztg.	Pos.	date		Ende									
1	1	23:30	03:15:00	20:15:00		20:15:00	02:31:28	17:43:32		00:07	18:18:09	00:40:37	17:37:32
6	2	22:00	01:45:00	20:15:00	00:00:00	20:15:00	00:00:00	20:15:00	00:03:49	00:07	19:04:59	00:35:49	18:29:10
3	3	22:00	01:45:00	20:15:00	00:00:00	20:15:00	00:00:00	20:15:00	00:00:00	00:07	19:48:17	00:36:06	19:12:11
2	4	20:15	00:00:00	20:15:00	00:00:00	20:15:00	00:00:00	20:15:00	00:00:00	00:00	20:14:30	00:26:13	19:48:17
4	5	23:30	01:30:00	22:00:00	00:26:12	22:00:00	01:18:48	20:41:12	00:00:00	00:07	20:42:11	00:20:30	20:21:41
5	6	22:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	00:00	21:02:57	00:20:46	20:42:11
12	7	22:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	00:07	21:20:57	00:10:48	21:10:09
11	8	22:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	00:00	21:25:28	00:04:31	21:20:57
8	9	22:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:01	00:07	21:39:47	00:07:06	21:32:41
9	10	22:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00:00	00:00	22:00:00	00:20:13	21:39:47
7	11	23:30	00:19:28	23:10:32	00:39:24	23:10:32	00:31:08	22:39:24	00:11:28	00:00	22:18:46	00:07:18	22:11:28
14	12	00:00	00:49:28	23:10:32	00:00:00	23:10:32	00:00:00	23:10:32	00:00:00	00:07	22:34:27	00:08:30	22:25:57
15	13	00:00	00:49:28	23:10:32	00:00:00	23:10:32	00:00:00	23:10:32	00:00:00	00:00	22:59:17	00:24:50	22:34:27
10	14	23:30	00:00:00	23:30:00	00:00:00	23:30:00	00:19:28	23:10:32	00:00:00	00:07	23:10:32	00:04:04	23:06:28
17	15	00:45	00:45:00	00:00:00	00:30:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:24:33	00:07	23:44:02	00:01:45	23:42:17
18	16	00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00	00:00:00	00:15:58	23:44:02
13	17	01:30	00:17:28	01:12:32	00:21:24	01:12:32	00:51:08	00:21:24	00:08:12	00:07	00:28:14	00:12:50	00:15:24
16	18	01:30	00:00:00	01:30:00	00:00:00	01:30:00	00:17:28	01:12:32	00:33:35	00:07	01:12:31	00:03:30	01:09:01
			11:15:52		01:57:00		05:49:28		01:21:38	01:19		05:01:24	

Druck M 1						Fm	neu	bisher		
Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Rüsten	Platten	00:30	Red. schluss	Red. schluss	Früher	Später
	17:37:32	00:13:12	17:24:20	00:30	00:30	16:24:20	16:45:00	00:20:40		
00:10:00	18:29:10	00:11:38	18:17:32	00:30	00:30	17:47:32	18:00:00	00:12:28		
00:01:17	19:12:11	00:11:44	19:00:27	00:30	00:00	19:00:27	16:45:00		02:15:27	
00:21:16	19:41:58	00:08:31	19:33:27	00:00	00:00	19:33:27	16:45:00		02:48:27	
00:00:01	20:18:39	00:06:40	20:11:59	00:30	00:00	20:11:59	18:00:00		02:11:59	
00:00:00	20:25:23	00:06:45	20:18:38	00:00	00:00	20:18:38	18:00:00		02:18:38	
00:00:00	20:58:54	00:03:31	20:55:23	00:30	00:30	20:25:23	20:30:00	00:04:37		
00:00:00	21:00:22	00:01:28	20:58:54	00:00	00:00	20:58:54	20:30:00		00:28:54	
00:00:00	21:32:41	00:02:19	21:30:22	00:30	00:30	21:00:22	19:30:00		01:30:22	
00:00:32	21:39:47	00:06:34	21:33:13	00:00	00:00	21:33:13	19:30:00		02:03:13	
00:11:03	21:53:12	00:02:22	21:50:50	00:00	00:00	21:50:50	19:30:00		02:20:50	
00:00:00	22:25:58	00:02:46	22:23:12	00:30	00:30	21:53:12	21:45:00		00:08:12	
00:00:07	22:34:09	00:08:04	22:26:05	00:00	00:00	22:26:05	21:45:00		00:41:05	
00:00:00	23:05:28	00:01:19	23:04:09	00:30	00:00	23:04:09	20:30:00		02:34:09	
00:00:00	23:36:02	00:00:34	23:35:28	00:30	00:30	23:05:28	22:45:00		00:20:28	
00:00:01	23:41:14	00:05:11	23:36:03	00:00	00:00	23:36:03	22:45:00		00:51:03	
00:00:00	00:15:24	00:04:10	00:11:14	00:30	00:00	00:11:14	21:45:00		02:26:14	
00:22:29	01:09:01	00:01:08	01:07:53	00:30	00:00	01:07:53	22:45:00		02:22:53	
01:06:46		01:37:56		05:30						
									Summe Leerzeit	04:25:24

Tabelle 25: Teil 2 (Durchschnittsgeschwindigkeiten; Ztg. 1-13)

0 = SO 10:00:00			Adressierung M3 (incl. 0,1)							Einsteck M2				Druck M1					Fm	neu	bisher				
i	j	Due	Earl-	Job	Leer-	Ende	Dauer	Beginn	Leer-	Rüsten	Ende	Dauer	Beginn	Leer-	Ende	Dauer	Beginn	Rüsten	Platten	00:30	schluss	schluss	Früher	Später	
Ztg.	Pos.	date	iness	Ende	zeit				zeit					zeit											
4	1	05:30	06:49	22:40:56		22:40:56	02:00:59	20:39:57		00:07	17:37:20	00:45:45	16:51:35		16:47:41	00:17:01	16:30:40	00:30	00:30	15:30:40	23:45:00	08:14:20			
1	2	01:00	01:23	23:36:24	00:00	23:36:24	00:55:28	22:40:56	00:00	00:07	18:04:29	00:19:57	17:44:32	00:00	17:25:07	00:07:25	17:17:42	00:30	00:30	16:17:42	22:00:00	05:42:18			
7	3	07:00	05:52	01:07:06	00:00	01:07:06	01:30:42	23:36:24	00:00	00:07	18:45:31	00:33:50	18:11:41	00:00	18:07:42	00:12:35	17:55:07	00:30	00:30	16:55:07	1:45:00	08:49:53			
3	4	01:30	00:22	01:07:06	00:00	01:07:06	00:00:00	01:07:06	00:00	00:07	19:46:24	00:53:42	18:52:42	00:00	18:57:41	00:19:59	18:37:42	00:30	00:00	18:07:42	22:00:00	03:52:18			
6	5	04:30	03:22	01:07:06	00:00	01:07:06	00:00:00	01:07:06	00:00	00:07	21:02:54	01:09:18	19:53:36	00:10	20:04:23	00:25:47	19:38:36	00:30	00:00	19:08:36	23:45:00	04:36:24			
11	6	06:30	05:22	01:07:06	00:00	01:07:06	00:00:00	01:07:06	00:00	00:07	21:18:44	00:08:38	21:10:06	00:01	20:39:34	00:03:13	20:36:21	00:30	00:30	19:36:21	3:15:00	07:38:39			
9	7	05:45	04:37	01:07:06	00:00	01:07:06	00:00:00	01:07:06	00:00	00:07	22:19:43	00:53:47	21:25:56	00:00	21:29:34	00:20:01	21:09:33	00:30	00:00	20:39:33	1:45:00	05:05:27			
5	8	05:00	03:52	01:07:06	00:00	01:07:06	00:00:00	01:07:06	00:00	00:07	23:12:45	00:45:50	22:26:55	00:00	22:16:37	00:17:03	21:59:34	00:30	00:00	21:29:34	23:45:00	02:15:26			
16	9	17:00	15:30	01:30:00	00:00	01:30:00	00:22:54	01:07:06	00:00	00:07	23:27:04	00:07:08	23:19:56	00:00	22:49:16	00:02:39	22:46:37	00:30	00:30	21:46:37	5:30:00	07:43:23			
15	10	09:30	08:00	01:30:00	00:00	01:30:00	00:00:00	01:30:00	00:00	00:07	00:17:51	00:43:35	23:34:16	00:00	23:35:29	00:16:13	23:19:16	00:30	00:30	22:19:16	4:15:00	05:55:44			
8	11	05:45	04:15	01:30:00	00:00	01:30:00	00:00:00	01:30:00	00:00	00:07	01:05:20	00:40:17	00:25:03	00:04	00:25:02	00:14:59	00:10:03	00:30	00:00	23:40:03	1:45:00	02:04:57			
2	12	01:30	00:00	01:30:00	00:00	01:30:00	00:00:00	01:30:00	00:00	00:07	01:30:00	00:17:29	01:12:31	00:08	01:10:23	00:06:30	01:03:53	00:30	00:00	00:33:53	22:00:00		02:33:53		
37	13	17:00	11:28	05:31:38	03:35	05:31:38	00:26:31	05:05:07	02:29	00:07	04:15:00	00:08:33	04:06:27	00:00	01:43:35	00:03:11	01:40:24	00:30	00:30	00:40:24	13:45:00	13:04:36			
18	14	09:30	03:58	05:31:38	00:00	05:31:38	00:00:00	05:31:38	00:00	00:07	04:47:56	00:25:44	04:22:12	00:00	02:23:08	00:09:34	02:13:34	00:30	00:00	01:43:34	5:30:00	03:46:26			
20	15	11:00	05:28	05:31:38	00:00	05:31:38	00:00:00	05:31:38	00:00	00:07	05:14:37	00:19:30	04:55:07	00:00	03:00:24	00:07:15	02:53:09	00:30	00:30	01:53:09	6:45:00	04:51:51			
19	16	17:00	10:15	06:45:00	00:00	06:45:00	01:13:22	05:31:38	00:00	00:00	05:41:37	00:27:00	05:14:37	00:00	03:10:27	00:10:03	03:00:24	00:00	00:00	03:00:24	6:45:00	03:44:36			
27	17	12:00	05:15	06:45:00	00:00	06:45:00	00:00:00	06:45:00	00:00	00:07	06:11:42	00:22:53	05:48:49	00:00	03:48:57	00:08:31	03:40:26	00:30	00:30	02:40:26	9:00:00	06:19:34			
23	18	11:30	04:45	06:45:00	00:00	06:45:00	00:00:00	06:45:00	00:00	00:07	06:23:15	00:04:21	06:18:54	00:00	04:20:34	00:01:37	04:18:57	00:30	00:30	03:18:57	8:00:00	04:41:03			
12	19	06:45	00:00	06:45:00	00:00	06:45:00	00:00:00	06:45:00	00:00	00:07	06:45:00	00:14:33	06:30:27	00:00	04:55:59	00:05:25	04:50:34	00:30	00:00	04:20:34	3:15:00		01:05:34		
21	20	11:00	02:30	08:30:00	01:45	08:30:00	00:00:00	08:30:00	00:42	00:07	08:06:45	00:32:15	07:34:30	00:00	05:37:59	00:12:00	05:25:59	00:30	00:00	04:55:59	6:45:00	01:49:01			
14	21	08:30	00:00	08:30:00	00:00	08:30:00	00:00:00	08:30:00	00:00	00:07	08:22:08	00:08:11	08:13:57	00:00	06:11:02	00:03:03	06:07:59	00:30	00:00	05:37:59	4:15:00		01:22:59		
34	22	17:00	07:30	09:30:00	00:12	09:30:00	00:47:05	08:42:55	00:00	00:07	08:45:58	00:16:39	08:29:19	00:00	06:47:14	00:06:12	06:41:02	00:30	00:30	05:41:02	12:30:00	06:48:58			
35	23	15:15	05:45	09:30:00	00:00	09:30:00	00:00:00	09:30:00	00:00	00:00	08:54:04	00:08:06	08:45:58	00:00	06:50:15	00:03:01	06:47:14	00:00	00:00	06:47:14	12:30:00	05:42:46			
32	24	14:00	04:30	09:30:00	00:00	09:30:00	00:00:00	09:30:00	00:00	00:07	09:16:39	00:15:23	09:01:16	00:00	07:25:57	00:05:43	07:20:14	00:30	00:30	06:20:14	11:30:00	05:09:46			
17	25	09:30	00:00	09:30:00	00:00	09:30:00	00:00:00	09:30:00	00:00	00:07	09:30:00	00:06:09	09:23:51	00:00	07:58:14	00:02:17	07:55:57	00:30	00:00	07:25:57	5:30:00		01:55:57		
30	26	13:00	02:26	10:33:46	01:03	10:33:46	00:00:00	10:33:46	00:14	00:07	10:20:35	00:28:26	09:52:09	00:00	08:38:50	00:10:35	08:28:15	00:30	00:30	07:28:15	10:15:00	02:46:45			
13	27	17:00	05:30	11:30:00	00:00	11:30:00	00:56:14	10:33:46	00:00	00:07	10:48:01	00:20:15	10:27:46	00:00	09:16:21	00:07:32	09:08:49	00:30	00:00	08:38:49	4:15:00		04:23:49		
26	28	12:00	00:30	11:30:00	00:00	11:30:00	00:00:00	11:30:00	00:01	00:07	11:10:30	00:13:30	10:57:00	00:00	09:51:22	00:05:01	09:46:21	00:30	00:00	09:16:21	9:00:00		00:16:21		
24	29	11:30	00:00	11:30:00	00:00	11:30:00	00:00:00	11:30:00	00:00	00:07	11:30:00	00:12:18	11:17:42	00:00	10:25:58	00:04:35	10:21:23	00:30	00:00	09:51:23	8:00:00		01:51:23		
10	30	17:00	04:27	12:32:20	00:28	12:32:20	00:33:22	11:58:58	00:02	00:07	11:51:19	00:11:15	11:40:04	00:00	11:00:08	00:04:11	10:55:57	00:30	00:00	10:25:57	3:15:00		07:10:57		
36	31	15:45	03:12	12:32:20	00:00	12:32:20	00:00:00	12:32:20	00:00	00:07	12:19:09	00:20:38	11:58:31	00:00	11:37:49	00:07:40	11:30:09	00:30	00:00	11:00:09	12:30:00	01:29:51			
31	32	17:00	04:00	12:59:59	00:00	12:59:59	00:27:39	12:32:20	00:00	00:07	12:35:20	00:09:00	12:26:20	00:00	12:11:10	00:03:21	12:07:49	00:30	00:00	11:37:49	11:30:00		00:07:49		
29	33	13:00	00:00	13:00:00	00:00	13:00:00	00:00:00	13:00:00	00:03	00:07	13:00:00	00:13:44	12:46:16	00:00	12:46:16	00:05:06	12:41:10	00:30	00:00	12:11:10	10:15:00		01:56:10		
25	34	17:00	02:08	14:51:10	01:06	14:51:10	00:44:48	14:06:22	00:53	00:07	14:16:07	00:15:45	14:00:22	00:07	13:29:16	00:05:52	13:23:24	00:30	00:00	12:53:24	9:00:00		03:53:24		
38	35	16:00	01:08	14:51:10	00:00	14:51:10	00:00:00	14:51:10	00:04	00:07	14:37:58	00:10:17	14:27:41	00:00	14:03:04	00:03:49	13:59:15	00:30	00:00	13:29:15	13:45:00	00:15:45			
28	36	17:00	00:41	16:18:27	00:00	16:18:27	01:27:17	14:51:10	00:00	00:07	15:17:39	00:32:29	14:45:10	00:00	14:45:10	00:12:05	14:33:05	00:30	00:00	14:03:05	10:15:00		03:48:05		
33	37	18:00	01:41	16:18:26	00:00	16:18:26	00:00:00	16:18:26	00:24	00:07	16:05:14	00:16:12	15:49:02	00:15	15:37:03	00:06:02	15:31:01	00:30	00:00	15:01:01	11:30:00		03:31:01		
22	38	17:00	00:00	17:00:00	00:00	17:00:00	00:00:00	16:18:26	00:00	00:07	16:26:55	00:14:29	16:12:26	00:00	16:12:26	00:05:23	16:07:03	00:30	00:00	15:37:03	8:00:00		07:37:03		
39	39	18:00	00:00	18:00:00	01:00	18:00:00	00:00:00	18:00:00	01:13	00:07	18:00:00	00:12:41	17:47:19	01:00	17:47:19	00:04:43	17:42:36	00:30	00:00	17:12:36	13:45:00		03:27:36		
			146:42		09:12		12:07:55		06:09	04:26		14:39:32		01:49		05:27:12		18:30							Summe Leerzeit 17:11:31

Tabelle 26: Teil 2 (Durchschnittsgeschwindigkeiten; Ztg. 14-22)

0 = MO 18:00:00			Adressierung M 3 (incl. 0,1)							Einsteck M 2							Druck M 1							Fm	neu	bisher		
i	j	due	Earl-	Job	Leer-	Ende	Dauer	Beginn	Leer-	Rüsten	Ende	Dauer	Beginn	Leer-	Ende	Dauer	Beginn	Rüsten	Platten	00:30	schluss	schluss	Früher	Später				
Ztg.	Pos.	date	iness	Ende	zeit				zeit					zeit														
2	1	00:30	00:00	00:29:52		00:29:52	00:00:00	00:29:52		00:07	21:58:17	00:21:50	21:36:27		20:33:16	00:08:07	20:25:09	00:30	00:30	19:25:09	20:15:00		00:49:51					
3	2	00:45	00:15	00:29:52	00:00	00:29:52	00:00:00	00:29:52	00:00	00:00	22:38:29	00:40:12	21:58:17	00:00	20:48:14	00:14:57	20:33:17	00:00	00:00	20:33:17	20:15:00			00:18:17				
8	3	02:30	02:00	00:29:52	00:00	00:29:52	00:00:00	00:29:52	00:00	00:07	22:59:25	00:13:44	22:45:41	00:00	21:23:20	00:05:06	21:18:14	00:30	00:30	20:48:14	23:00:00	02:11:46						
11	4	03:30	03:00	00:29:52	00:00	00:29:52	00:00:00	00:29:52	00:00	00:07	23:14:16	00:07:39	23:06:37	00:00	21:56:11	00:02:51	21:53:20	00:30	00:30	21:23:20	0:15:00	02:51:40						
9	5	05:00	04:30	00:29:52	00:00	00:29:52	00:00:00	00:29:52	00:00	00:07	23:41:48	00:20:20	23:21:28	00:00	22:33:45	00:07:34	22:26:11	00:30	00:00	22:26:11	23:00:00	00:33:49						
5	6	01:30	01:00	00:29:52	00:00	00:29:52	00:00:00	00:29:52	00:00	00:07	23:58:04	00:09:05	23:48:59	00:00	23:07:08	00:03:23	23:03:45	00:30	00:30	22:33:45	21:45:00		00:48:45					
14	7	04:15	03:45	00:29:52	00:00	00:29:52	00:00:00	00:29:52	00:00	00:07	00:16:40	00:11:24	00:05:16	00:00	23:41:22	00:04:15	23:37:07	00:30	00:30	23:07:07	1:30:00	02:22:53						
1	8	02:00	00:00	02:00:00	00:00	02:00:00	01:30:08	00:29:52	00:00	00:07	00:57:28	00:33:36	00:23:52	00:00	00:23:52	00:12:30	00:11:22	00:30	00:00	00:11:22	20:15:00		03:56:22					
6	9	05:00	00:00	05:00:00	03:00	05:00:00	00:00:00	05:00:00	01:56	00:07	03:22:44	00:21:41	03:01:03	01:25	02:27:22	00:08:04	02:19:18	00:30	00:00	02:19:18	21:45:00		04:34:18					
20	10	06:45	01:30	05:15:00	00:15	05:15:00	00:00:00	05:15:00	00:00	00:07	03:44:55	00:15:00	03:29:55	00:00	03:02:57	00:05:35	02:57:22	00:30	00:30	02:27:22	4:00:00	01:32:38						
15	11	06:00	00:45	05:15:00	00:00	05:15:00	00:00:00	05:15:00	00:00	00:07	04:18:13	00:26:06	03:52:07	00:00	03:42:39	00:09:43	03:32:56	00:30	00:00	03:32:56	1:30:00		02:02:56					
12	12	06:00	00:45	05:15:00	00:00	05:15:00	00:00:00	05:15:00	00:00	00:07	04:51:13	00:25:48	04:25:25	00:00	04:22:15	00:09:36	04:12:39	00:30	00:00	04:12:39	0:15:00		03:57:39					
17	13	05:15	00:00	05:15:00	00:00	05:15:00	00:00:00	05:15:00	00:00	00:07	05:15:00	00:16:35	04:58:25	00:00	04:58:25	00:06:10	04:52:15	00:30	00:30	04:22:15	2:45:00		01:37:15					
18	14	09:00	01:15	07:45:00	02:30	07:45:00	00:00:00	07:45:00	00:49	00:00	06:28:25	00:23:42	06:04:43	00:20	05:27:20	00:08:49	05:18:31	00:00	00:00	05:18:31	2:45:00		02:33:31					
27	15	09:00	01:15	07:45:00	00:00	07:45:00	00:00:00	07:45:00	00:00	00:07	07:00:49	00:25:12	06:35:37	00:00	06:06:44	00:09:23	05:57:21	00:30	00:30	05:27:21	6:30:00	01:02:39						
26	16	08:45	01:00	07:45:00	00:00	07:45:00	00:00:00	07:45:00	00:00	00:00	07:25:52	00:25:03	07:00:49	00:00	06:16:02	00:09:19	06:06:43	00:00	00:00	06:06:43	6:30:00	00:23:17						
23	17	07:45	00:00	07:45:00	00:00	07:45:00	00:00:00	07:45:00	00:00	00:07	07:44:33	00:11:29	07:33:04	00:00	06:50:18	00:04:16	06:46:02	00:30	00:30	06:16:02	5:15:00		01:01:02					
7	18	17:00	08:00	09:00:00	00:35	09:00:00	00:39:17	08:20:43	00:00	00:07	08:05:20	00:13:35	07:51:45	00:00	07:25:22	00:05:03	07:20:19	00:30	00:00	07:20:19	23:00:00		08:20:19					
21	19	09:00	00:00	09:00:00	00:00	09:00:00	00:00:00	09:00:00	00:00	00:07	08:33:09	00:20:38	08:12:31	00:00	08:03:02	00:07:40	07:55:22	00:30	00:00	07:55:22	4:00:00		03:55:22					
24	20	09:00	00:00	09:00:00	00:00	09:00:00	00:00:00	09:00:00	00:00	00:07	09:00:00	00:19:39	08:40:21	00:00	08:40:21	00:07:19	08:33:02	00:30	00:00	08:33:02	5:15:00		03:18:02					
10	21	17:00	05:32	11:27:46	01:19	11:27:46	01:08:25	10:19:21	01:06	00:07	10:38:24	00:25:03	10:13:21	00:53	10:13:21	00:09:19	10:04:02	00:30	00:00	10:04:02	0:15:00		09:49:02					
25	22	17:00	04:44	12:15:25	00:00	12:15:25	00:47:39	11:27:46	00:36	00:07	11:38:39	00:16:53	11:21:46	00:32	11:21:46	00:06:17	11:15:29	00:30	00:00	11:15:29	6:30:00		04:45:29					
13	23	17:00	03:55	13:04:03	00:00	13:04:03	00:48:37	12:15:26	00:23	00:07	12:26:41	00:17:15	12:09:26	00:11	12:09:25	00:06:25	12:03:00	00:30	00:00	12:03:00	1:30:00		10:33:00					
4	24	17:00	03:17	13:42:10	00:00	13:42:10	00:38:08	13:04:02	00:24	00:07	13:11:10	00:13:08	12:58:02	00:11	12:55:26	00:04:53	12:50:33	00:30	00:00	12:50:33	21:45:00		15:05:33					
19	25	17:00	01:59	15:00:18	00:00	15:00:18	01:18:08	13:42:10	00:17	00:07	14:05:03	00:28:53	13:36:10	00:00	13:36:11	00:10:45	13:25:26	00:30	00:00	13:25:26	4:00:00		09:25:26					
16	26	17:00	00:57	16:02:49	00:00	16:02:49	01:02:31	15:00:18	00:42	00:07	15:17:02	00:22:44	14:54:18	00:39	14:54:18	00:08:27	14:45:51	00:30	00:00	14:45:51	2:45:00		12:00:51					
22	27	17:00	00:00	17:00:00	00:00	17:00:00	00:57:11	16:02:49	00:32	00:07	16:17:27	00:20:38	15:56:49	00:24	15:56:49	00:07:40	15:49:09	00:30	00:00	15:49:09	5:15:00		10:34:09					
			49:24		07:40		08:50:04		06:48	02:52		09:06:52		04:38		03:23:26		12:00					Summe					
																						Leerzeit	19:06:57					

Tabelle 27: Teil 3 (Best Case; Ztg. 23-28)

0 = DI 14:00:00						Adressierung M3 (incl. 0,1)						Einsteck M2		
Ztg i			j	due	Earl-	Job	Leer-				Leer-			
M1	M2	M3	Pos.	date	iness	Ende	zeit	Ende	Dauer	Beginn	zeit	Rüsten	Ende	
1	1	2	1	20:15	00:00	20:15:00		20:15:00	00:00:00	20:15:00		00:07	18:59:18	
3	2	1	2	23:30	01:30	22:00:00	00:41	22:00:00	01:03:28	20:56:32	00:00	00:00	19:17:15	
2	6	11	3	22:00	00:00	22:00:00	00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00	00:07	19:48:57	
5	3	18	4	00:00	02:00	22:00:00	00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00	00:07	20:20:51	
4	5	5	5	22:00	00:00	22:00:00	00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00	00:07	20:42:16	
6	8	3	6	22:00	00:00	22:00:00	00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00	00:07	20:54:19	
17	12	9	7	22:00	00:00	22:00:00	00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00	00:07	21:08:54	
16	9	12	8	22:00	00:00	22:00:00	00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00	00:07	21:29:57	
18	11	6	9	22:00	00:00	22:00:00	00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00	00:07	21:40:14	
8	18	8	10	22:00	00:00	22:00:00	00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00	00:07	21:58:22	
9	4	4	11	23:30	00:26	23:04:00	00:29	23:04:00	00:34:24	22:29:36	00:00	00:07	22:19:35	
7	13	7	12	23:30	00:10	23:19:20	00:00	23:19:20	00:15:20	23:04:00	00:00	00:07	22:35:34	
10	17	15	13	00:00	00:40	23:19:20	00:00	23:19:20	00:00:00	23:19:20	00:00	00:07	22:43:58	
12	7	10	14	23:30	00:00	23:30:00	00:00	23:30:00	00:10:40	23:19:20	00:00	00:07	22:56:09	
11	10	17	15	00:45	00:54	23:50:08	00:20	23:50:08	00:00:00	23:50:08	00:00	00:07	23:06:08	
14	15	16	16	01:30	01:30	00:00:00	00:00	00:00:00	00:09:52	23:50:08	00:00	00:07	23:30:19	
15	16	14	17	00:00	00:00	00:00:00	00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:07	00:07	23:47:00	
13	14	13	18	01:30	00:00	01:30:00	01:06	01:30:00	00:23:20	01:06:40	00:00	00:07	00:00:01	
					07:12		02:37		02:37:04		00:07	02:02		
Summe Leerzeit										03:26				

Einsteck M 2		Druck M 1				Rüsten	Fm Platten	neu	bisher	Früher		Später
Dauer	Beginn	Leer-zeit	Ende	Dauer	Beginn			Red. schluss	Red. schluss			
00:27:47	18:31:31		18:02:09	00:11:29	17:50:40	00:30	00:30	16:50:40	16:45:00			00:05:40
00:17:56	18:59:19	00:00	18:12:21	00:10:12	18:02:09	00:00	00:00	18:02:09	16:45:00			01:17:09
00:24:30	19:24:27	00:00	18:19:46	00:07:25	18:12:21	00:00	00:00	18:12:21	16:45:00			01:27:21
00:24:42	19:56:09	00:00	18:55:37	00:05:52	18:49:45	00:30	00:30	17:49:45	18:00:00	00:10:15		
00:14:13	20:28:03	00:00	19:01:25	00:05:47	18:55:38	00:00	00:00	18:55:38	18:00:00			00:55:38
00:04:52	20:49:27	00:00	19:11:32	00:10:07	19:01:25	00:00	00:00	19:01:25	18:00:00			01:01:25
00:07:23	21:01:31	00:00	19:42:02	00:00:30	19:41:32	00:30	00:30	18:41:32	22:45:00	04:03:28		
00:13:50	21:16:07	00:00	19:43:01	00:00:59	19:42:02	00:00	00:00	19:42:02	22:45:00	03:02:58		
00:03:06	21:37:08	00:00	19:47:33	00:04:31	19:43:02	00:00	00:00	19:43:02	22:45:00	03:01:58		
00:10:56	21:47:26	00:00	20:19:33	00:02:01	20:17:32	00:30	00:30	19:17:32	19:30:00	00:12:28		
00:14:01	22:05:34	00:00	20:25:16	00:05:43	20:19:33	00:00	00:00	20:19:33	19:30:00			00:49:33
00:08:47	22:26:47	00:00	20:27:20	00:02:04	20:25:16	00:00	00:00	20:25:16	19:30:00			00:55:16
00:01:12	22:42:46	00:00	20:58:28	00:01:09	20:57:19	00:30	00:30	19:57:19	20:30:00	00:32:41		
00:04:59	22:51:10	00:00	21:01:31	00:03:03	20:58:28	00:00	00:00	20:58:28	20:30:00			00:28:28
00:02:47	23:03:21	00:34	21:37:09	00:01:17	21:35:52	00:00	00:00	21:35:52	20:30:00			01:05:52
00:16:59	23:13:20	00:06	22:16:08	00:02:24	22:13:44	00:30	00:30	21:13:44	21:45:00	00:31:16		
00:02:24	23:44:36	00:00	22:23:09	00:07:01	22:16:08	00:00	00:00	22:16:08	21:45:00			00:31:08
00:05:49	23:54:12	00:00	22:26:48	00:03:38	22:23:10	00:00	00:00	22:23:10	21:45:00			00:38:10
03:26:13		00:40		01:25:12		03:00						

Tabelle 28: Teil 3 (Worst Case; Ztg. 23-28)

0 = DI 14:00:00													Adressierung M3 (incl. 0,1)				Einsteck M2		
Ztg i			j	due	Earl-	Job	Leer-				Leer-						Leer-	Rüsten	Ende
M1	M2	M3	Pos.	date	iness	Ende	zeit	Ende	Dauer	Beginn	zeit	Rüsten	Ende						
3	2	1	1	23:30	03:15	20:15:00		20:15:00	02:31:28	17:43:32		00:07	17:37:32						
2	1	2	2	20:15	00:00	20:15:00	00:00	20:15:00	00:00:00	20:15:00	00:00	00:00	18:18:09						
1	3	4	3	23:30	01:30	22:00:00	00:26	22:00:00	01:18:48	20:41:12	00:04	00:00	18:59:04						
7	6	9	4	22:00	00:00	22:00:00	00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00	00:07	19:42:06						
8	4	12	5	22:00	00:00	22:00:00	00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00	00:00	20:02:34						
9	12	8	6	22:00	00:00	22:00:00	00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00	00:07	20:20:35						
11	16	6	7	22:00	00:00	22:00:00	00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00	00:07	20:31:18						
12	7	3	8	22:00	00:00	22:00:00	00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00	00:07	20:45:46						
10	9	11	9	22:00	00:00	22:00:00	00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00	00:00	21:06:00						
13	11	5	10	22:00	00:00	22:00:00	00:00	22:00:00	00:00:00	22:00:00	00:00	00:07	21:17:43						
14	5	7	11	23:30	00:19	23:10:32	00:39	23:10:32	00:31:08	22:39:24	00:00	00:07	21:45:41						
15	8	10	12	23:30	00:00	23:30:00	00:00	23:30:00	00:19:28	23:10:32	00:00	00:07	22:00:00						
5	18	18	13	00:00	00:23	23:36:24	00:06	23:36:24	00:00:00	23:36:24	00:16	00:07	22:39:56						
6	10	16	14	01:30	01:36	23:53:52	00:00	23:53:52	00:17:28	23:36:24	00:00	00:07	22:51:12						
4	14	14	15	00:00	00:06	23:53:52	00:00	23:53:52	00:00:00	23:53:52	00:00	00:07	23:06:53						
18	17	15	16	00:00	00:06	23:53:52	00:00	23:53:52	00:00:00	23:53:52	00:00	00:07	23:15:50						
17	15	13	17	01:30	00:45	00:45:00	00:00	00:45:00	00:51:08	23:53:52	00:00	00:07	23:47:52						
16	13	17	18	00:45	00:00	00:45:00	00:00	00:45:00	00:00:00	00:45:00	00:00	00:00	00:00:42						
					08:01			01:12			05:49:28			00:21	01:33				

Einsteck M2		Druck M1				Rüsten	Fm Platten 00:30	neu Red. schluss	bisher Red. schluss		
Dauer	Beginn	Leer- zeit	Ende	Dauer	Beginn					Früher	Später
00:26:13	17:11:19		15:53:37	00:11:44	15:41:53	00:30	00:30	14:41:53	16:45:00	02:03:07	
00:40:37	17:37:32	00:00	16:02:08	00:08:31	15:53:37	00:00	00:00	15:53:37	16:45:00	00:51:23	
00:36:05	18:22:59	00:00	16:15:20	00:13:12	16:02:08	00:00	00:00	16:02:08	16:45:00	00:42:52	
00:35:49	19:06:17	00:00	16:47:42	00:02:22	16:45:20	00:30	00:30	15:45:20	18:00:00	02:14:40	
00:20:29	19:42:05	00:00	16:50:01	00:02:19	16:47:42	00:00	00:00	16:47:42	18:00:00	01:12:18	
00:10:48	20:09:47	00:00	16:56:35	00:06:34	16:50:01	00:00	00:00	16:50:01	18:00:00	01:09:59	
00:03:31	20:27:47	00:00	17:28:03	00:01:28	17:26:35	00:30	00:30	16:26:35	19:30:00	03:03:25	
00:07:17	20:38:29	00:00	17:31:34	00:03:31	17:28:03	00:00	00:00	17:28:03	19:30:00	02:01:57	
00:20:13	20:45:47	00:00	17:32:53	00:01:19	17:31:34	00:00	00:00	17:31:34	19:30:00	01:58:26	
00:04:31	21:13:12	00:00	18:07:03	00:04:10	18:02:53	00:30	00:30	17:02:53	20:30:00	03:27:07	
00:20:46	21:24:55	00:00	18:09:49	00:02:46	18:07:03	00:00	00:00	18:07:03	20:30:00	02:22:57	
00:07:07	21:52:53	00:00	18:17:53	00:08:04	18:09:49	00:00	00:00	18:09:49	20:30:00	02:20:11	
00:15:58	22:23:58	00:00	18:54:38	00:06:45	18:47:53	00:30	00:30	17:47:53	21:45:00	03:57:07	
00:04:04	22:47:08	00:00	19:06:16	00:11:38	18:54:38	00:00	00:00	18:54:38	21:45:00	02:50:22	
00:08:29	22:58:24	00:29	19:42:06	00:06:40	19:35:26	00:00	00:00	19:35:26	21:45:00	02:09:34	
00:01:45	23:14:05	00:08	20:26:04	00:05:11	20:20:53	00:30	00:30	19:20:53	22:45:00	03:24:07	
00:24:50	23:23:02	00:00	20:26:38	00:00:34	20:26:04	00:00	00:00	20:26:04	22:45:00	02:18:56	
00:12:50	23:47:52	00:00	20:27:46	00:01:08	20:26:38	00:00	00:00	20:26:38	22:45:00	02:18:22	
05:01:22		00:37			01:37:56	03:00					
										Summe Leerzeit	02:11:36

Tabelle 29: Teil 4 (Best Case)

0 = SO 20h												Fm	neu	bisher		
Nr.	Uhrzeit due date	Earliness	Einsteck. M2 (incl. 0,1)				Druck M1 (incl. 0,5)				Platten	00:30	Red. schluss	Red. schluss	Früher	Später
			Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn						
1	1:00	00:00		01:01	00:52	00:09		00:26	01:02	23:24	00:30	00:30	22:54	22:00		00:54
2	4:30	00:00	02:03	04:31	01:27	03:04	01:53	03:45	01:26	02:19	00:30	00:30	01:49	23:45		02:04
3	5:45	00:00	00:05	05:46	01:10	04:36	00:06	05:06	01:15	03:51	00:30	00:30	03:21	1:45		01:36
4	6:30	00:00	00:21	06:31	00:24	06:07	00:19	06:07	00:42	05:25	00:30	00:30	04:55	3:15		01:40
5	8:30	00:00	01:17	08:30	00:42	07:48	00:57	08:00	00:56	07:04	00:30	00:30	06:34	4:15		02:19
6	9:30	00:00	00:35	09:31	00:26	09:05	00:21	09:05	00:44	08:21	00:30	00:30	07:51	5:30		02:21
7	11:00	00:00	00:44	11:01	00:46	10:15	00:00	10:03	00:58	09:05	00:30	00:30	08:35	6:45		01:50
8	11:30	00:01	00:06	11:29	00:22	11:07	00:00	10:44	00:41	10:03	00:30	00:30	09:33	8:00		01:33
9	12:00	00:00	23:59	12:01	00:33	11:28	23:59	11:32	00:49	10:43	00:30	00:30	10:13	9:00		01:13
10	13:00	00:00	00:16	13:01	00:44	12:17	00:00	12:28	00:56	11:32	00:30	00:30	11:02	10:15		00:47
11	14:00	00:00	00:33	14:01	00:27	13:34	00:22	13:35	00:45	12:50	00:30	00:30	12:20	11:30		00:50
12	15:15	00:00	00:46	15:16	00:29	14:47	00:27	14:48	00:46	14:02	00:30	00:30	13:32	12:30		01:02
13	16:00	00:00	00:23	16:01	00:22	15:39	00:10	15:39	00:41	14:58	00:30	00:30	14:28	13:45		00:43
												Summe Leerzeit				
														11:42		
0 = MO 18h												Fm	neu	bisher		
Nr.	Uhrzeit due date	Earliness	Einsteck. M2 (incl. 0,1)				Druck M1 (incl. 0,5)				Platten	00:30	Red. schluss	Red. schluss	Früher	Später
			Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn						
14	0:30	00:00		00:31	00:54	23:37		23:56	01:04	22:52	00:30	00:30	22:22	20:15		02:07
15	1:30	00:00	00:32	01:31	00:28	01:03	00:22	01:04	00:46	00:18	00:30	00:30	23:48	21:45		02:03
16	2:30	00:00	00:30	02:31	00:30	02:01	00:12	02:03	00:47	01:16	00:30	00:30	00:46	23:00		01:46
17	3:30	00:00	00:24	03:31	00:36	02:55	00:04	02:58	00:51	02:07	00:30	00:30	01:37	0:15		01:22
18	4:15	00:00	00:11	04:16	00:34	03:42	23:59	03:47	00:50	02:57	00:30	00:30	02:27	1:30		00:57
19	5:15	00:00	00:22	05:16	00:38	04:38	00:06	04:45	00:52	03:53	00:30	00:30	03:23	2:45		00:38
20	6:45	00:00	00:51	06:46	00:39	06:07	00:37	06:15	00:53	05:22	00:30	00:30	04:52	4:00		00:52
21	7:45	00:00	00:28	07:46	00:32	07:14	00:14	07:17	00:48	06:29	00:30	00:30	05:59	5:15		00:44
22	8:45	00:00	00:20	08:46	00:40	08:06	00:04	08:15	00:54	07:21	00:30	00:30	06:51	6:30		00:21
												Summe Leerzeit				
														05:16		
0 = DI 14h												Fm	neu	bisher		
Nr.	Uhrzeit due date	Earliness	Einsteck. M2 (incl. 0,1)				Druck M1 (incl. 0,5)				Platten	00:30	Red. schluss	Red. schluss	Früher	Später
			Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn						
23	20:15	00:00		20:16	00:48	19:28		19:40	01:00	18:40	00:30	00:30	18:10	16:45		01:25
24	22:00	00:33	00:33	21:27	00:38	20:49	00:00	20:32	00:52	19:40	00:30	00:30	19:10	18:00		01:10
25	22:00	00:12	00:00	21:48	00:21	21:27	23:59	21:11	00:40	20:31	00:30	00:30	20:01	19:30		00:31
26	22:00	00:00	23:59	22:01	00:14	21:47	00:00	21:47	00:36	21:11	00:30	00:30	20:41	20:30		00:11
27	0:00	00:14	01:20	23:46	00:25	23:21	00:40	23:11	00:44	22:27	00:30	00:30	21:57	21:45		00:12
28	0:00	00:00	00:00	00:01	00:15	23:46	23:59	23:46	00:36	23:10	00:30	00:30	22:40	22:45	00:05	
												Summe Leerzeit				
														02:30		

Zielfunktionswerte: Ztg. 1-13: - 163,0570
 Ztg. 14-22: - 84,0444
 Ztg. 23-28: - 43,1335
 Gap: 0 %
 0 %
 0 %

Tabelle 30: Teil 4 (Worst Case)

So 20:00:00																
Nr.	Uhrzeit due date	Earliness	Einsteck M2 (incl. 0,12)				Druck M 1 (incl. 0,5)				Fm Platten	neu Red.	bisher Red.			
			Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	00:30	schluss	schluss	Früher	Später	
1	1:00	00:00:00		01:00:00	00:51:34	00:08:26		00:29:53	01:06:27	23:23:26	00:30	22:53:26	22:00		00:53:26	
2	4:30	00:00:00	02:03:34	04:30:00	01:26:26	03:03:34	01:45:50	03:50:04	01:34:21	02:15:43	00:30	01:45:43	23:45		02:00:43	
3	5:45	00:00:00	00:05:04	05:45:00	01:09:56	04:35:04	00:00:00	05:11:13	01:21:09	03:50:04	00:30	03:20:04	1:45		01:35:04	
4	6:30	00:00:00	00:21:47	06:30:00	00:23:13	06:06:47	00:11:48	06:06:47	00:43:46	05:23:01	00:30	04:53:01	3:15		01:38:01	
5	8:30	00:00:00	01:18:00	08:30:00	00:42:00	07:48:00	00:56:13	08:01:48	00:58:48	07:03:00	00:30	06:33:00	4:15		02:18:00	
6	9:30	00:00:00	00:34:30	09:30:00	00:25:30	09:04:30	00:09:29	08:56:53	00:45:36	08:11:17	00:30	07:41:17	5:30		02:11:17	
7	11:00	00:00:00	00:44:37	11:00:00	00:45:23	10:14:37	00:00:00	09:58:23	01:01:30	08:56:53	00:30	08:26:53	6:45		01:41:53	
8	11:30	00:02:04	00:06:22	11:27:56	00:21:34	11:06:22	00:00:00	10:40:50	00:42:27	09:58:23	00:30	09:28:23	8:00		01:28:23	
9	12:00	00:00:00	00:00:00	12:00:00	00:32:04	11:27:56	00:00:00	11:31:41	00:50:51	10:40:50	00:30	10:10:50	9:00		01:10:50	
10	13:00	00:00:00	00:16:41	13:00:00	00:43:19	12:16:41	00:00:00	12:31:32	00:59:51	11:31:41	00:30	11:01:41	10:15		00:46:41	
11	14:00	00:00:00	00:33:43	14:00:00	00:26:17	13:33:43	00:17:11	13:34:57	00:46:14	12:48:43	00:30	12:18:43	11:30		00:48:43	
12	15:15	00:00:00	00:46:19	15:15:00	00:28:41	14:46:19	00:26:22	14:49:28	00:48:09	14:01:19	00:30	13:31:19	12:30		01:01:19	
13	16:00	00:00:00	00:23:15	16:00:00	00:21:45	15:38:15	00:06:11	15:38:15	00:42:36	14:55:39	00:30	14:25:39	13:45		00:40:39	
			00:02:04	07:13:52		08:37:42	03:53:04			12:21:45					Summe Leerzeit	11:06:56
Mo 18:00:00																
Nr.	Uhrzeit due date	Earliness	Einsteck M2 (incl. 0,12)				Druck M 1 (incl. 0,5)				Fm Platten	neu Red.	bisher Red.			
			Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	00:30	schluss	schluss	Früher	Später	
14	0:30	00:00:00		00:30:00	00:53:49	23:36:11		23:59:26	01:08:15	22:51:11	00:30	22:21:11	20:15		02:06:11	
15	1:30	00:00:00	00:32:04	01:30:00	00:27:56	01:02:04	00:17:38	01:04:37	00:47:33	00:17:04	00:30	23:47:04	21:45		02:02:04	
16	2:30	00:00:00	00:30:11	02:30:00	00:29:49	02:00:11	00:09:33	02:03:13	00:49:03	01:14:10	00:30	00:44:10	23:00		01:44:10	
17	3:30	00:00:00	00:24:45	03:30:00	00:35:15	02:54:45	00:00:00	02:56:37	00:53:24	02:03:13	00:30	01:33:13	0:15		01:18:13	
18	4:15	00:00:00	00:11:37	04:15:00	00:33:23	03:41:37	00:00:00	03:48:31	00:51:54	02:56:37	00:30	02:26:37	1:30		00:56:37	
19	5:15	00:00:00	00:22:30	05:15:00	00:37:30	04:37:30	00:03:59	04:47:42	00:55:12	03:52:30	00:30	03:22:30	2:45		00:37:30	
20	6:45	00:00:00	00:51:45	06:45:00	00:38:15	06:06:45	00:34:03	06:17:33	00:55:48	05:21:45	00:30	04:51:45	4:00		00:51:45	
21	7:45	00:00:01	00:28:07	07:44:59	00:31:52	07:13:07	00:10:34	07:18:49	00:50:42	06:28:07	00:30	05:58:07	5:15		00:43:07	
22	8:45	00:00:00	00:20:27	08:45:00	00:39:34	08:05:26	00:01:37	08:17:17	00:56:51	07:20:26	00:30	06:50:26	6:30		00:20:26	
			00:00:01	03:41:26		05:27:23	01:17:24			08:08:42					Summe Leerzeit	04:58:50
Di 14:00:00																
Nr.	Uhrzeit due date	Earliness	Einsteck M2 (incl. 0,12)				Druck M 1 (incl. 0,5)				Fm Platten	neu Red.	bisher Red.			
			Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	00:30	schluss	schluss	Früher	Später	
23	20:15	00:00:00		20:15:00	00:47:49	19:27:11		19:33:31	01:03:27	18:30:04	00:30	18:00:04	16:45		01:15:04	
24	22:00	00:33:56	00:33:45	21:26:04	00:37:19	20:48:45	00:00:00	20:28:34	00:55:03	19:33:31	00:30	19:03:31	18:00		01:03:31	
25	22:00	00:13:53	00:00:00	21:46:07	00:20:04	21:26:03	00:00:00	21:09:49	00:41:15	20:28:34	00:30	19:58:34	19:30		00:28:34	
26	22:00	00:00:00	00:00:00	22:00:00	00:13:53	21:46:07	00:00:00	21:46:07	00:36:18	21:09:49	00:30	20:39:49	20:30		00:09:49	
27	0:00	00:14:38	01:20:37	23:45:22	00:24:45	23:20:37	00:37:21	23:08:28	00:45:00	22:23:28	00:30	21:53:28	21:45		00:08:28	
28	0:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:14:38	23:45:22	00:00:00	23:45:22	00:36:54	23:08:28	00:30	22:38:28	22:45	00:06:32		
			01:02:27	01:54:22		02:38:28	00:37:21			04:37:57					Summe Leerzeit	02:31:43

Zielfunktionswerte: Ztg. 1-13: - 162,8030

Ztg. 14-22: - 84,0105

Ztg. 23-28: - 42,9472

Gap: 0 %

0 %

0 %

Tabelle 31: Teil 5 (3 Maschinen; Best Case)

0 = SO 22:30:00

i Ztg.	j Pos.	Bezirk	Job Ende	Adressierung M3				Einsteck M2				Druck M1				Platten 00:30	Red. schluss
				Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn		
3	1	Bote von der Ybbs (Ybbstal)	00:28:31		00:13:48	00:52:48	23:21:00		00:28:31	01:13:31	23:15:00		23:27:23	00:57:23	22:30:00	00:30	22:00:00
9	2	Melker Zeitung	01:52:27	00:20:43	01:14:47	00:40:16	00:34:31	00:00	01:52:27	01:23:56	00:28:31	00:00	00:29:05	01:01:42	23:27:23	00:30	22:57:23
15	3	Neunkirchen	02:26:11	00:43:40	02:18:27	00:20:00	01:58:27	00:00	02:26:11	00:33:44	01:52:27	00:00	01:10:02	00:40:57	00:29:05	00:30	23:59:05
14	4	Wienerwald	03:04:58	00:13:44	02:55:31	00:23:20	02:32:11	00:00	03:04:58	00:38:47	02:26:11	00:00	01:53:06	00:43:03	01:10:03	00:30	00:40:03
1	5	Haag / St. Valentin	04:59:50	00:15:26	04:15:53	01:04:56	03:10:57	00:00	04:59:50	01:54:53	03:04:57	00:00	03:07:34	01:14:29	01:53:05	00:30	01:23:05
8	6	Erlauftal	06:27:34	00:49:57	06:10:22	01:04:32	05:05:50	00:00	06:27:34	01:27:44	04:59:50	00:00	04:10:49	01:03:15	03:07:34	00:30	02:37:34
6	7	Mödling / Perchtoldsdorf	07:37:37	00:23:12	07:36:06	01:02:32	06:33:34	00:00	07:37:37	01:10:03	06:27:34	00:00	05:06:46	00:55:57	04:10:49	00:30	03:40:49
11	8	Armstettner Zeitung	08:17:39	00:07:30	08:01:04	00:17:28	07:43:36	00:00	08:17:39	00:40:03	07:37:36	00:00	05:50:21	00:43:34	05:06:47	00:30	04:36:47
4	9	Pielachtal	08:54:11	00:22:35	08:54:11	00:30:32	08:23:39	00:00	08:51:03	00:33:24	08:17:39	00:00	06:31:10	00:40:49	05:50:21	00:30	05:20:21
10	10	St.Pöltner Zeitung	10:04:53	00:29:54	10:04:53	00:40:48	09:24:05	00:00	09:58:54	01:07:50	08:51:04	00:00	07:26:13	00:55:03	06:31:10	00:30	06:01:10
2	11	Schw echat-Fischamend	10:35:05	00:00:00	10:29:41	00:24:48	10:04:53	00:00	10:35:05	00:33:12	09:58:53	00:00	08:08:12	00:41:59	07:26:13	00:30	06:56:13
7	12	Baden / Bad Vöslau	11:26:30	00:22:25	11:26:30	00:34:24	10:52:06	00:00	11:20:29	00:45:24	10:35:05	00:00	08:53:58	00:45:47	08:08:11	00:30	07:38:11
13	13	Brucker Grenzbote	11:59:16	00:00:00	11:49:49	00:23:20	11:26:29	00:00	11:59:16	00:38:47	11:20:29	00:00	09:37:01	00:43:03	08:53:58	00:30	08:23:58
5	14	Lilienfelder Zeitung	12:50:22	00:15:27	12:38:04	00:32:48	12:05:16	00:00	12:50:22	00:51:06	11:59:16	00:00	10:25:09	00:48:08	09:37:01	00:30	09:07:01
12	15	Wr. Neustädter Zeitung	13:50:18	00:18:18	13:30:46	00:34:24	12:56:22	00:00	13:50:18	00:59:56	12:50:22	00:00	11:16:56	00:51:47	10:25:09	00:30	09:55:09
				04:42:51			09:26:56	00:00			14:35:20	00:00			12:46:56	Summe Leerzeit 04:42:51	

0 = MO 21:30:00

i Ztg.	j Pos.	Bezirk	Job Ende	Adressierung M3				Einsteck M2				Druck M1				Platten 00:30	Red. schluss
				Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn		
5	1	Waidhofner Zeitung	23:18:44		22:55:48	00:34:48	22:21:00		23:18:44	01:03:44	22:15:00		22:23:21	00:53:21	21:30:00	00:30	21:00:00
3	2	Horn / Eggenburg	00:35:33	00:43:37	00:35:33	00:56:08	23:39:25	00:00	00:20:15	01:01:31	23:18:44	00:00:00	23:15:47	00:52:26	22:23:21	00:30	21:53:21
4	3	Herzogenburg / Traismauer	01:17:01	00:00:00	01:17:01	00:41:28	00:35:33	00:00	01:11:02	00:50:47	00:20:15	00:19:28	00:23:15	00:48:00	23:35:15	00:30	23:05:15
6	4	Kremser Zeitung	01:52:23	00:00:00	01:37:49	00:20:48	01:17:01	00:00	01:52:23	00:41:22	01:11:01	00:00:00	01:07:22	00:44:07	00:23:15	00:30	23:53:15
2	5	Zw ettler Zeitung	02:52:39	00:20:35	02:43:36	00:45:12	01:58:24	00:00	02:52:39	01:00:15	01:52:24	00:00:00	01:59:16	00:51:55	01:07:21	00:30	00:37:21
1	6	Gmünder Zeitung	05:15:19	00:15:03	04:24:47	01:26:08	02:58:39	00:00	05:15:19	02:22:40	02:52:39	00:00:00	03:25:13	01:25:57	01:59:16	00:30	01:29:16
				01:19:15			04:44:32	00:00			07:00:19	00:19:28			05:35:46	Summe Leerzeit 01:38:43	

0 = DI 17:30:00

i Ztg.	j Pos.	Bezirk	Job Ende	Adressierung M3				Einsteck M2				Druck M1				Platten 00:30	Red. schluss
				Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn		
6	1	Hollabrunn	19:04:03		18:54:30	00:15:20	18:39:10		19:04:03	00:30:53	18:33:10		18:09:47	00:39:47	17:30:00	00:30	17:00:00
3	2	Gänserndorf	20:00:31	00:15:33	19:59:23	00:49:20	19:10:03	00:00	20:00:31	00:56:28	19:04:03	00:00	19:00:08	00:50:21	18:09:47	00:30	17:39:47
1	3	Tullner Bezirksnachrichten	21:09:02	00:41:31	21:09:02	00:28:08	20:40:54	00:00	20:44:40	00:44:09	20:00:31	00:00	19:45:23	00:45:15	19:00:08	00:30	18:30:08
2	4	Mistelbach	21:37:58	00:00:00	21:37:58	00:28:56	21:09:02	00:00	21:31:57	00:47:18	20:44:39	00:00	20:31:57	00:46:34	19:45:23	00:30	19:15:23
7	5	Klosterneuburger Nachrichten	21:52:26	00:00:00	21:48:38	00:10:40	21:37:58	00:00	21:52:26	00:20:28	21:31:58	00:00	21:07:26	00:35:29	20:31:57	00:30	20:01:57
5	6	Purkersdorf	23:10:03	00:09:48	23:01:54	01:03:28	21:58:26	00:00	23:10:03	01:17:37	21:52:26	00:00	22:06:31	00:59:05	21:07:26	00:30	20:37:26
4	7	Korneuburg / Stockerau	00:03:21	00:14:09	23:51:31	00:35:28	23:16:03	00:00	00:03:21	00:53:18	23:10:03	00:00	22:55:34	00:49:03	22:06:31	00:30	21:36:31
				01:21:01			03:51:20	00:00			05:30:11	00:00			05:25:34	Summe Leerzeit 01:21:01	

Zelfunktionswerte Ztg. 1-28: 0

Gap: 0 %

Tabelle 32: Teil 5 (3 Maschinen; Worst Case)

0 = SO 22:30:00

i Ztg.	j Pos.	Bezirk	Job Ende	Adressierung M 3				Einsteck M 2				Druck M 1				Platten 00:30	Red. schluss
				Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn		
6	1	Mödling / Perchtoldsdorf	01:50:08		01:50:08	02:29:08	23:21:00		00:54:03	01:39:03	23:15:00		23:29:51	00:59:51	22:30:00	00:30	22:00:00
11	2	Amstettner Zeitung	02:26:36	00:00:00	02:26:36	00:36:28	01:50:08	00:00:00	01:49:15	00:55:12	00:54:03	00:00:00	00:15:27	00:45:36	23:29:51	00:30	22:59:51
7	3	Baden / Bad Vöslau	03:45:24	00:00:00	03:45:24	01:18:48	02:26:36	00:00:00	02:52:18	01:03:03	01:49:15	00:00:00	01:03:36	00:48:09	00:15:27	00:30	23:45:27
5	4	Lilienfelder Zeitung	05:00:12	00:00:00	05:00:12	01:14:48	03:45:24	00:00:00	04:03:39	01:11:21	02:52:18	00:00:00	01:54:27	00:50:51	01:03:36	00:30	00:33:36
9	5	Melker Zeitung	06:33:40	00:00:00	06:33:40	01:33:28	05:00:12	00:00:00	06:03:00	01:59:21	04:03:39	00:00:00	03:00:54	01:06:27	01:54:27	00:30	01:24:27
3	6	Bote von der Ybbs (Ybbstal)	08:38:28	00:00:00	08:38:28	02:04:48	06:33:40	00:00:00	07:47:07	01:44:07	06:03:00	00:00:00	04:02:24	01:01:30	03:00:54	00:30	02:30:54
2	7	Schw echat-Fischamend	09:33:16	00:00:00	09:33:16	00:54:48	08:38:28	00:00:00	08:36:41	00:49:34	07:47:07	00:00:00	04:46:10	00:43:46	04:02:24	00:30	03:32:24
13	8	Brucker Grenzbote	10:24:24	00:00:00	10:24:24	00:51:08	09:33:16	00:00:00	09:30:03	00:53:21	08:36:42	00:00:00	05:31:10	00:45:00	04:46:10	00:30	04:16:10
4	9	Pielachtal	11:33:32	00:00:00	11:33:32	01:09:08	10:24:24	00:00:00	10:15:34	00:45:31	09:30:03	00:00:00	06:13:37	00:42:27	05:31:10	00:30	05:01:10
10	10	St.Pöltner Zeitung	13:08:20	00:00:00	13:08:20	01:34:48	11:33:32	00:00:00	11:51:22	01:35:49	10:15:33	00:00:00	07:12:25	00:58:48	06:13:37	00:30	05:43:37
15	11	Neunkirchen	13:51:08	00:00:00	13:51:08	00:42:48	13:08:20	00:00:00	12:37:20	00:45:58	11:51:22	00:00:00	07:55:01	00:42:36	07:12:25	00:30	06:42:25
12	12	Wr. Neustädter Zeitung	15:09:56	00:00:00	15:09:56	01:18:48	13:51:08	00:00:00	14:01:38	01:24:17	12:37:21	00:00:00	08:50:04	00:55:03	07:55:01	00:30	07:25:01
14	13	Wienerwald	16:01:04	00:00:00	16:01:04	00:51:08	15:09:56	00:00:00	14:54:58	00:53:21	14:01:37	00:00:00	09:35:04	00:45:00	08:50:04	00:30	08:20:04
8	14	Erlaufthal	18:35:12	00:00:00	18:35:12	02:34:08	16:01:04	00:00:00	16:59:51	02:04:53	14:54:58	00:00:00	10:43:19	01:08:15	09:35:04	00:30	09:05:04
1	15	Haag / St. Valentin	21:10:20	00:00:00	21:10:20	02:35:08	18:35:12	00:00:00	19:44:27	02:44:35	16:59:52	00:00:00	12:04:28	01:21:09	10:43:19	00:30	10:13:19
				00:00:00		21:49:20		00:00:00		20:29:26		00:00:00		13:34:28			Summe Leerzeit 00:00:00

0 = MO 21:30:00

i Ztg.	j Pos.	Bezirk	Job Ende	Adressierung M 3				Einsteck M 2				Druck M 1				Platten 00:30	Red. schluss
				Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn		
5	1	Waidhofner Zeitung	23:44:49		23:40:48	01:19:48	22:21:00		23:44:49	01:29:49	22:15:00		22:26:51	00:56:51	21:30:00	00:30	21:00:00
3	2	Horn / Eggenburg	02:03:57	00:10:01	02:03:57	02:13:08	23:50:49	00:00:00	01:11:24	01:26:35	23:44:49	00:00:00	23:22:39	00:55:48	22:26:51	00:30	21:56:51
4	3	Herzogenburg / Traismauer	03:40:25	00:00:00	03:40:25	01:36:28	02:03:57	00:00:00	02:22:17	01:10:53	01:11:24	01:03:45	01:17:06	00:50:42	00:26:24	00:30	23:56:24
6	4	Kremser Zeitung	04:25:13	00:00:00	04:25:13	00:44:48	03:40:25	00:00:00	03:19:25	00:57:08	02:22:17	00:00:00	02:03:20	00:46:14	01:17:06	00:30	00:47:06
2	5	Zw ettler Zeitung	06:11:01	00:00:00	06:11:01	01:45:48	04:25:13	00:00:00	04:44:10	01:24:44	03:19:26	00:00:00	02:58:32	00:55:12	02:03:20	00:30	01:33:20
1	6	Gmünder Zeitung	09:39:09	00:00:00	09:39:09	03:28:08	06:11:01	00:00:00	08:09:22	03:25:12	04:44:10	00:00:00	04:32:53	01:34:21	02:58:32	00:30	02:28:32
				00:10:01		11:08:08		00:00:00		09:54:21		01:03:45		05:59:08			Summe Leerzeit 01:13:46

0 = DI 17:30:00

i Ztg.	j Pos.	Bezirk	Job Ende	Adressierung M 3				Einsteck M 2				Druck M 1				Platten 00:30	Red. schluss
				Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn		
5	1	Purkersdorf	20:52:28		20:52:28	02:31:28	18:21:00		20:05:07	01:50:07	18:15:00		18:33:27	01:03:27	17:30:00	00:30	17:00:00
3	2	Gänserndorf	22:48:36	00:00:00	22:48:36	01:56:08	20:52:28	00:00:00	21:24:19	01:19:12	20:05:07	00:00:00	19:26:51	00:53:24	18:33:27	00:30	18:03:27
1	3	Tullner Bezirksnachrichten	23:51:44	00:00:00	23:51:44	01:03:08	22:48:36	00:00:00	22:25:31	01:01:12	21:24:19	01:12:28	21:26:52	00:47:33	20:39:19	00:30	20:09:19
2	4	Mistelbach	00:56:52	00:00:00	00:56:52	01:05:08	23:51:44	00:00:00	23:31:20	01:05:49	22:25:31	00:00:00	22:15:55	00:49:03	21:26:52	00:30	20:56:52
7	5	Klosterneuburger Nachrichten	01:16:20	00:00:00	01:16:20	00:19:28	00:56:52	00:00:00	23:57:55	00:26:35	23:31:20	00:21:16	23:13:29	00:36:18	22:37:11	00:30	22:07:11
6	6	Hollabrunn	01:47:28	00:00:00	01:47:28	00:31:08	01:16:20	00:00:00	00:39:44	00:41:49	23:57:55	00:00:00	23:54:44	00:41:15	23:13:29	00:30	22:43:29
4	7	Korneuburg / Stockerau	03:08:56	00:00:00	03:08:56	01:21:28	01:47:28	00:00:00	01:54:19	01:14:35	00:39:44	00:00:00	00:46:38	00:51:54	23:54:44	00:30	23:24:44
				00:00:00		08:47:56		00:00:00		07:39:19		01:33:44		05:42:54			Summe Leerzeit 01:33:44

Tabelle 33: Teil 5 (2 Maschinen; Best Case)

0 = SO 22:30:00

i Ztg.	j Pos.	Bezirk	Job Ende	Proliner M 2				Druck M 1				Platten 00:30	Red. schluss
				Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn		
14	1	Wienerwald	02:57:39		02:57:39	00:24:45	02:32:54		23:13:03	00:43:03	22:30:00	00:30	22:00:00
9	2	Melker Zeitung	03:49:13	00:00:00	03:49:13	00:51:34	02:57:39	00:00:00	00:14:45	01:01:42	23:13:03	00:30	22:43:03
10	3	St.Pöltner Zeitung	04:31:12	00:00:00	04:31:12	00:42:00	03:49:12	00:00:00	01:09:48	00:55:03	00:14:45	00:30	23:44:45
12	4	Wr. Neustädter Zeitung	05:08:31	00:00:00	05:08:31	00:37:19	04:31:12	00:00:00	02:01:34	00:51:47	01:09:47	00:30	00:39:47
5	5	Lilienfelder Zeitung	05:40:35	00:00:00	05:40:35	00:32:04	05:08:31	00:00:00	02:49:42	00:48:08	02:01:34	00:30	01:31:34
6	6	Mödling / Perchtoldsdorf	06:23:54	00:00:00	06:23:54	00:43:19	05:40:35	00:00:00	03:45:39	00:55:57	02:49:42	00:30	02:19:42
7	7	Baden / Bad Vöslau	06:52:35	00:00:00	06:52:35	00:28:41	06:23:54	00:00:00	04:31:26	00:45:47	03:45:39	00:30	03:15:39
8	8	Erlauftal	07:46:24	00:00:00	07:46:24	00:53:49	06:52:35	00:00:00	05:34:41	01:03:15	04:31:26	00:30	04:01:26
3	9	Bote von der Ybbs (Ybbstal)	08:31:47	00:00:00	08:31:47	00:45:23	07:46:24	00:00:00	06:32:05	00:57:23	05:34:42	00:30	05:04:42
11	10	Amstettner Zeitung	08:57:17	00:00:00	08:57:17	00:25:30	08:31:47	00:00:00	07:15:39	00:43:34	06:32:05	00:30	06:02:05
15	11	Neunkirchen	09:19:02	00:00:00	09:19:02	00:21:45	08:57:17	00:00:00	07:56:36	00:40:57	07:15:39	00:30	06:45:39
13	12	Brucker Grenzbote	09:43:47	00:00:00	09:43:47	00:24:45	09:19:02	00:00:00	08:39:39	00:43:03	07:56:36	00:30	07:26:36
1	13	Haag / St. Valentin	10:53:43	00:00:00	10:53:43	01:09:56	09:43:47	00:00:00	09:54:08	01:14:29	08:39:39	00:30	08:09:39
2	14	Schwechat-Fischamend	11:16:56	00:00:00	11:16:56	00:23:13	10:53:43	00:00:00	10:36:07	00:41:59	09:54:08	00:30	09:24:08
4	15	Pielachtal	11:38:30	00:00:00	11:38:30	00:21:34	11:16:56	00:00:00	11:16:55	00:40:49	10:36:06	00:30	10:06:06
				00:00:00		09:05:37		00:00:00		12:46:56		Summe Leerzeit 00:00:00	

0 = MO 21:30:00

i Ztg.	j Pos.	Bezirk	Job Ende	Proliner M 2				Druck M 1				Platten 00:30	Red. schluss
				Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn		
4	1	Herzogenburg / Traismauer	23:48:48		23:48:48	00:31:53	23:16:55		22:18:00	00:48:00	21:30:00	00:30	21:00:00
3	2	Horn / Eggenburg	00:27:03	00:00:00	00:27:03	00:38:15	23:48:48	00:00:00	23:10:26	00:52:26	22:18:00	00:30	21:48:00
5	3	Waidhofner Zeitung	01:06:37	00:00:00	01:06:37	00:39:34	00:27:03	00:00:00	00:03:47	00:53:21	23:10:26	00:30	22:40:26
6	4	Kremser Zeitung	01:32:53	00:00:00	01:32:53	00:26:17	01:06:36	00:00:00	00:47:54	00:44:07	00:03:47	00:30	23:33:47
1	5	Gmünder Zeitung	02:59:20	00:00:00	02:59:20	01:26:26	01:32:54	00:00:00	02:13:51	01:25:57	00:47:54	00:30	00:17:54
2	6	Zwettler Zeitung	03:36:50	00:00:00	03:36:50	00:37:30	02:59:20	00:00:00	03:05:46	00:51:55	02:13:51	00:30	01:43:51
				00:00:00		04:19:55		00:00:00		05:35:46		Summe Leerzeit 00:00:00	

0 = DI 17:30:00

i Ztg.	j Pos.	Bezirk	Job Ende	Proliner M 2				Druck M 1				Platten 00:30	Red. schluss
				Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn		
6	1	Hollabrunn	20:15:10		20:15:10	00:20:04	19:55:06		18:09:47	00:39:47	17:30:00	00:30	17:00:00
4	2	Korneuburg / Stockerau	20:48:33	00:00:00	20:48:33	00:33:23	20:15:10	00:00:00	18:58:50	00:49:03	18:09:47	00:30	17:39:47
3	3	Gänserndorf	21:23:48	00:00:00	21:23:48	00:35:15	20:48:33	00:00:00	19:49:10	00:50:21	18:58:49	00:30	18:28:49
7	4	Klosterneuburger Nachrichten	21:37:41	00:00:00	21:37:41	00:13:53	21:23:48	00:00:00	20:24:39	00:35:29	19:49:10	00:30	19:19:10
2	5	Mistelbach	22:07:29	00:00:00	22:07:29	00:29:49	21:37:40	00:00:00	21:11:13	00:46:34	20:24:39	00:30	19:54:39
5	6	Purkersdorf	22:55:18	00:00:00	22:55:18	00:47:49	22:07:29	00:00:00	22:10:18	00:59:05	21:11:13	00:30	20:41:13
1	7	Tullner Bezirksnachrichten	23:23:14	00:00:00	23:23:14	00:27:56	22:55:18	00:00:00	22:55:33	00:45:15	22:10:18	00:30	21:40:18
				00:00:00		03:28:09		00:00:00		05:25:34		Summe Leerzeit 00:00:00	

Zielfunktionswerte Ztg. 1-28: 0

Gap: 0 %

Tabelle 34: Teil 5 (2 Maschinen; Worst Case)

0 = SO 22:30:00

i Ztg.	j Pos.	Bezirk	Job Ende	Proliner M 2				Druck M 1				Platten 00:30	Red. schluss
				Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn		
3	1	Bote von der Ybbs (Ybbstal)	04:14:22		04:14:22	00:45:23	03:28:59		23:31:30	01:01:30	22:30:00	00:30	22:00:00
11	2	Amstettner Zeitung	04:39:52	00:00:00	04:39:52	00:25:30	04:14:22	00:00:00	00:17:06	00:45:36	23:31:30	00:30	23:01:30
10	3	St.Pöltner Zeitung	05:21:52	00:00:00	05:21:52	00:42:00	04:39:52	00:00:00	01:15:54	00:58:48	00:17:06	00:30	23:47:06
2	4	Schw echat-Fischamend	05:45:05	00:00:00	05:45:05	00:23:13	05:21:52	00:00:00	01:59:40	00:43:46	01:15:54	00:30	00:45:54
8	5	Erlauftal	06:38:54	00:00:00	06:38:54	00:53:49	05:45:05	00:00:00	03:07:55	01:08:15	01:59:40	00:30	01:29:40
7	6	Baden / Bad Vöslau	07:07:35	00:00:00	07:07:35	00:28:41	06:38:54	00:00:00	03:56:04	00:48:09	03:07:55	00:30	02:37:55
6	7	Mödling / Perchtoldsdorf	07:50:54	00:00:00	07:50:54	00:43:19	07:07:35	00:00:00	04:55:55	00:59:51	03:56:04	00:30	03:26:04
5	8	Lilienfelder Zeitung	08:22:58	00:00:00	08:22:58	00:32:04	07:50:54	00:00:00	05:46:46	00:50:51	04:55:55	00:30	04:25:55
4	9	Pielachtal	08:44:31	00:00:00	08:44:31	00:21:34	08:22:57	00:00:00	06:29:13	00:42:27	05:46:46	00:30	05:16:46
14	10	Wienerwald	09:09:16	00:00:00	09:09:16	00:24:45	08:44:31	00:00:00	07:14:13	00:45:00	06:29:13	00:30	05:59:13
12	11	Wr. Neustädter Zeitung	09:46:35	00:00:00	09:46:35	00:37:19	09:09:16	00:00:00	08:09:16	00:55:03	07:14:13	00:30	06:44:13
15	12	Neunkirchen	10:08:20	00:00:00	10:08:20	00:21:45	09:46:35	00:00:00	08:51:52	00:42:36	08:09:16	00:30	07:39:16
13	13	Brucker Grenzbote	10:33:05	00:00:00	10:33:05	00:24:45	10:08:20	00:00:00	09:36:52	00:45:00	08:51:52	00:30	08:21:52
1	14	Haag / St. Valentin	11:43:01	00:00:00	11:43:01	01:09:56	10:33:05	00:00:00	10:58:01	01:21:09	09:36:52	00:30	09:06:52
9	15	Melker Zeitung	12:34:35	00:00:00	12:34:35	00:51:34	11:43:01	00:00:00	12:04:28	01:06:27	10:58:01	00:30	10:28:01
				00:00:00		09:05:37		00:00:00		13:34:28		Summe Leerzeit	00:00:00

0 = MO 21:30:00

i Ztg.	j Pos.	Bezirk	Job Ende	Proliner M 2				Druck M 1				Platten 00:30	Red. schluss
				Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn		
4	1	Herzogenburg / Traismauer	00:08:24		00:08:24	00:31:53	23:36:31		22:20:42	00:50:42	21:30:00	00:30	21:00:00
3	2	Horn / Eggenburg	00:46:39	00:00:00	00:46:39	00:38:15	00:08:24	00:00:00	23:16:30	00:55:48	22:20:42	00:30	21:50:42
5	3	Waidhofner Zeitung	01:26:13	00:00:00	01:26:13	00:39:34	00:46:39	00:00:00	00:13:21	00:56:51	23:16:30	00:30	22:46:30
6	4	Kremser Zeitung	01:52:29	00:00:00	01:52:29	00:26:17	01:26:12	00:00:00	00:59:35	00:46:14	00:13:21	00:30	23:43:21
1	5	Gmünder Zeitung	03:18:56	00:00:00	03:18:56	01:26:26	01:52:30	00:00:00	02:33:56	01:34:21	00:59:35	00:30	00:29:35
2	6	Zw ettlter Zeitung	03:56:26	00:00:00	03:56:26	00:37:30	03:18:56	00:00:00	03:29:08	00:55:12	02:33:56	00:30	02:03:56
				00:00:00		04:19:55		00:00:00		05:59:08		Summe Leerzeit	00:00:00

0 = DI 17:30:00

i Ztg.	j Pos.	Bezirk	Job Ende	Proliner M 2				Druck M 1				Platten 00:30	Red. schluss
				Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn	Leerzeit	Ende	Dauer	Beginn		
6	1	Hollabrunn	20:30:13		20:30:13	00:20:04	20:10:09		18:11:15	00:41:15	17:30:00	00:30	17:00:00
4	2	Korneuburg / Stockerau	21:03:36	00:00:00	21:03:36	00:33:23	20:30:13	00:00:00	19:03:09	00:51:54	18:11:15	00:30	17:41:15
3	3	Gänserndorf	21:38:51	00:00:00	21:38:51	00:35:15	21:03:36	00:00:00	19:56:33	00:53:24	19:03:09	00:30	18:33:09
7	4	Klosterneuburger Nachrichten	21:52:44	00:00:00	21:52:44	00:13:53	21:38:51	00:00:00	20:32:51	00:36:18	19:56:33	00:30	19:26:33
2	5	Mistelbach	22:22:32	00:00:00	22:22:32	00:29:49	21:52:43	00:00:00	21:21:54	00:49:03	20:32:51	00:30	20:02:51
5	6	Purkersdorf	23:10:21	00:00:00	23:10:21	00:47:49	22:22:32	00:00:00	22:25:21	01:03:27	21:21:54	00:30	20:51:54
1	7	Tullner Bezirksnachrichten	23:38:17	00:00:00	23:38:17	00:27:56	23:10:21	00:00:00	23:12:54	00:47:33	22:25:21	00:30	21:55:21
				00:00:00		03:28:09		00:00:00		05:42:54		Summe Leerzeit	00:00:00

Zelfunktionswerte Ztg. 1-28: 0 Gap: 0 %

LITERATURVERZEICHNIS

Boysen, N.: *Variantenfließfertigung*, Gabler, 2005

Domschke, W.: *Logistik: Rundreisen und Touren*, 4. Auflage, Oldenburg, München, 1997

Domschke, W., Scholl, A., Voß, S.: *Produktionsplanung – Ablauforganisatorische Aspekte*, Springer, Heidelberg, 1993

Dudek R., Panwalkar, S., Smith, M.: The Lessons of Flowshop Scheduling Research, *Operations Research* **40** (1), 7 – 13, 1992

Ellinger, Beuermann, Leisten: *Operations Research – eine Einführung*, 6. Auflage, Springer, Berlin, 2003

Gupta, J., Wang, G., Cheng, E.: A Review of Flowshop Scheduling Research with Setup Times, *Production and Operations Management* **9** (3), 262 - 282, 2003.

Hartl, R. F., Dörner, K.: Operative Planungsprobleme, *Operations Management Vorlesungsskript*, 107 – 120, 2005

Hott, D., Selen, W.: A Mixed-Integer Goal-Programming Formulation of the Standard Flow-Shop Scheduling Problem, *The Journal of the Operational Research Society* **37** (12), 1121 – 1128, 1986.

Kistner, K.P., Steven, M.: *Produktionsplanung*, 2. Auflage, Physica-Verlag, Heidelberg, 1993

Nieuwenhyse, V., Vandaele, I.: Analysis of gap times in a two-stage stochastic flowshop with overlapping operations, *IIE Transactions* **38** (9), 777 – 787, 2006.

Saliger, E.: *Betriebswirtschaftliche Entscheidungstheorie: Einführung in die Logik individueller und kollektiver Entscheidungen*, Oldenburg 2003

Sipper, D., Bulfin, R.: *Production: Planning, Control and Integration*, McGraw-Hill College, 382 – 455, 1997.

Sonmez, A., Baykasoglu, A.: A new dynamic programming formulation of $(n \times m)$ flowshop sequencing problems with due dates, *International Journal of Production Research* **36** (8), 2269 – 2283, 1998.

Stache, U., Zimmermann, W.: *Operations Research: Quantitative Methoden zur Entscheidungsvorbereitung*, Oldenburg Wissenschaftsverlag, 2001

Stafford, E.: On the Development of a Mixed-Integer Linear Programming Model of the Flowshop Sequencing Problem, *The Journal of the Operational Research Society* **39** (12), 1163 – 1174, 1988.

Stafford, E., Tseng, F.: Two MILP models for the $N \times M$ SDST flowshop sequencing problem, *International Journal of Production Research* **39** (8), 1777 – 1809, 2001.

Winston W. L.: *Operations Research – Applications and Algorithms*, 3. Auflage, Duxbury Press, Belmont, 1994

Xpress MP „Getting Started“, Dash Optimization Ltd., Release 2007

Xpress-Mosel „User Guide“, Dash Optimization Ltd., Release 2.2.

<http://www.dashoptimization.com/>

<http://www.wiwi.uni-jena.de/Papers/wp-sw0806.pdf> (05.09.2008)

http://homepage.uibk.ac.at/~c4321003/pdf/papers/HorSchObh2005_SemarbLog.pdf (05.09.2008)

<http://iwis1.uibk.ac.at/pl/dwnld//VL-Folien%20ABWL%20SS%202006.pdf> (05.09.2008)

<http://iwis1.uibk.ac.at/pl/dwnld//SBWL%20GK%20WS05%20Folien%20Teil%2001.pdf> (05.09.2008)

<http://www.residenzverlag.at> (23.10.2008)

<http://www.noep.at> (23.10.2008)

<http://www.np-druck.at> (23.10.2008)

CURRICULUM VITAE

Schulbildung:

1989 – 1993 Volksschule Ober-Grafendorf
1993 – 1997 Hauptschule Ober-Grafendorf
1997 – 2002 Bundeshandelsakademie
seit 2002 Studium der Internationalen Betriebswirtschaft an der Universität Wien
März 2007 mündliche Diplomprüfung im Bereich „Logistikmanagement“

Berufliche Tätigkeiten:

1998 – 2006 diverse Ferialarbeiten
2003 – 2006 geringfügig beschäftigt als Büroangestellte
bei der Firma STYX Naturcosmetics GmbH
2007 – 2008 fallweise beschäftigt als Expedit-Mitarbeiterin
im Niederösterreichischen Pressehaus

Sprachkenntnisse:

Deutsch (Muttersprache)
Englisch (fortgeschritten)
Französisch (fortgeschritten)
Italienisch (Maturaniveau)