

Stoffstrombasiertes Produktionsmanagement für Sägebetriebe

M. Gronalt, T. Greigeritsch

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

48/2008

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Bestellmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Stoffstrombasiertes Produktionsmanagement für Sägebetriebe

Univ. Prof. Mag. Dr. Manfred Gronalt
Universität für Bodenkultur Wien
Department für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften
Institut für Produktionswirtschaft und Logistik (H 734)

Dipl. Ing. (FH) Thomas Greigeritsch
Universität für Bodenkultur Wien
Department für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften
Institut für Produktionswirtschaft und Logistik (H 734)

Wien, November 2008

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT. Sie wurde im Jahr 2000 vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen des Impulsprogramms Nachhaltig Wirtschaften als mehrjährige Forschungs- und Technologieinitiative gestartet. Mit der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT sollen durch Forschung und Technologieentwicklung innovative Technologiesprünge mit hohem Marktpotential initiiert und realisiert werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements und der großen Kooperationsbereitschaft der beteiligten Forschungseinrichtungen und Betriebe konnten bereits richtungsweisende und auch international anerkannte Ergebnisse erzielt werden. Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt über den hohen Erwartungen und ist eine gute Grundlage für erfolgreiche Umsetzungsstrategien. Anfragen bezüglich internationaler Kooperationen bestätigen die in FABRIK DER ZUKUNFT verfolgte Strategie.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse – seien es Grundlagenarbeiten, Konzepte oder Technologieentwicklungen – erfolgreich umzusetzen und zu verbreiten. Dies soll nach Möglichkeit durch konkrete Demonstrationsprojekte unterstützt werden. Deshalb ist es auch ein spezielles Anliegen die aktuellen Ergebnisse der interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Homepage www.FABRIKderZukunft.at und die Schriftenreihe gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

INHALTSVERZEICHNIS

KURZFASSUNG.....	4
ABSTRACT	5
I EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG	6
II MATERIAL UND METHODEN.....	8
2.1 DATENAUFNAHME SIMULATION.....	8
2.2 DATENAUFNAHME EINLASTUNGSPLANUNG	18
III MODELLBILDUNG.....	20
3.1 MATERIAL UND STOFFSTROMMODELLIERUNG.....	20
3.2 SÄGELEITSTAND	32
IV PRODUKTIONSPLANUNG	35
4.1 ENTWICKLUNG EINES MIP-MODELLS FÜR DIE PRODUKTIONSPLANUNG IN SÄGEBETRIEBEN.....	35
4.2 FORMALE BESCHREIBUNG DES OPTIMIERUNGSMODELLS.....	43
4.3 IMPLEMENTIERUNG	49
V VERKNÜPFUNG SCHNITTSTELLEN	53
VI VERSUCHSAUFBAU und ERGEBNISSE – PRODUKTIONSPLANUNG.....	55
6.1 MODELLVALIDIERUNG.....	55
6.2 MODELLVERIFIKATION	59
6.3 NUMERISCHE STUDIE.....	61
VII VERSUCHSAUFBAU und ERGEBNISSE – SIMULATION.....	68
7.1 BELEGUNGSHEURISTIK SORTIERFÄCHER SEITENWARE.....	68
7.2 VERSUCHSREIHEN	72
7.2.1 ERGEBNISSE – VERGLEICH PRODUKTIONSZEITEN.....	73
7.2.2 ERGEBNISSE – AUSLASTUNGEN.....	74
7.2.3 ERGEBNISSE – LEISTUNG und OUTPUT	77
7.2.4 ERGEBNISSE – STILLSTÄNDE SORTIERUNG.....	84
SCHLUSSFOLGERUNG UND AUSBLICK	87
LITERATURVERZEICHNIS	88
ABBILDUNGS- & TABELLENVERZEICHNIS.....	91
ANHANG (PUBLIKATIONEN).....	93

KURZFASSUNG

Sägebetriebe an Produktionsstandorten in hoch industrialisierten Ländern sind mit intensivem Verdrängungswettbewerb konfrontiert. Dieser wird erzeugt durch relative hohe Rohstoffpreise, sowie hohe Arbeits- und Energiekosten. Andererseits versorgen diese Betriebe mit ihren Schnittholz- und Sägenebenprodukten wesentliche Bereiche im Wertschöpfungsnetzwerk Holz.

In dieser Arbeit wird ein Ansatz zur Steigerung der Materialeffizienz von Sägebetrieben vorgestellt. Jedoch muss festgestellt werden, dass gerade Planungsinstrumente zur systematischen Prozessverbesserung in diesen Betrieben fehlen. Eine durchgehende Entscheidungsunterstützung mit anspruchsvollen Planungsmethoden ist vielfach in der Sägeindustrie nicht vorhanden.

Es wurde daher ein neuer Ansatz entwickelt, der durch das Ausnützen von Planungslücken die Wertschöpfung in Betrieben erhöhen kann und so einen wertvollen Beitrag zur Steigerung der Ressourceneffizienz und der Standortsicherung von Sägebetrieben leistet.

Mit Hilfe der Kombination von Materialflusssimulation und modernen, anspruchsvollen Planungsverfahren zur Auftragseinlastung soll für einen gewählten Planungshorizont die günstigste Rohstoffauswahl und die bestmögliche Erfüllung von Kundenaufträgen ermittelt werden. Dies erfordert die Verwendung von mathematischen Optimierungsmethoden zur Erzeugung von Lösungen, in Form von Planvorgaben für die kurzfristige, tagesfeine Produktionsplanung.

Unter Anwendung der implementierten Heuristiken in der Simulationsumgebung – in Kombination mit den Ergebnissen der Produktionsplanung – können im Vergleich zur Realproduktion des Sägewerks folgende Ergebnisse zusammengefasst werden:

- Deckungsbeitragsoptimierter Einschnitt,
- Minimierung der Durchlaufzeiten,
- erhöhte Ressourcennutzung,
- Minimierung des gebundenen Kapitals bzw. der variablen Kosten und
- Sicherheit bei Umstellung auf ein anderes Produktionsprogramm.

Die Umsetzung dieser und der anderen Heuristiken bringt Vorteile in der Schaffung eines durchgehenden Produktionsplanungssystems und stellt ein Ergebnis für die Produktionsverbesserung unter Bedacht der Aspekte Nachhaltigkeit und Ressourceneinsparung, dar.

SCHLÜSSELWÖRTER: Produktionsplanung, Materialflusssimulation, Optimierung, Sägebetriebe

ABSTRACT

The European sawmilling industry is faced with structural changes. New competitive sites are built up in Eastern Europe and provide additional timber for the regional and international market. Small and medium sized mills suffer from their limited ability and the high risks to participate in international wood trade. New options for value added activities are considered in order to ensure the operation of sawmilling sites.

Although well established and known processing technologies are used, there is an emerging need for an overall planning approach supporting sawmill operation efficiencies. This new approach centers on discrete event material flow simulation and highly sophisticated planning procedures for the short term production planning. While the simulation model is used to find system bottlenecks the planning tasks care for an optimized customer order oriented production and efficient resource scheduling at the shop floor. The combined use of workload planning and cutting pattern selection is a new method for loading the most appropriate product mix into the shop floor of a sawmill.

In timber production a divergent product structure with a number of valuable by-products must be considered. According to the used sawing technology these products incur in different volumes and quality. Currently, production planning approaches have a strong focus in cutting optimization. All these facts were the basis for the development of a data matrix used in a MIP – model. But it is evident that by applying a rather integrated approach which considers inventory management and a detailed resource scheduling of bottlenecks operation costs can be saved. In addition, a systematic linkage between customer orders and production planning decisions are worked out. This will be beneficially when market trends are changing and a new production mix is required. This new mix not only is a combination of main products but also reflects the demand and margin opportunities of by-products.

The planning approaches are supported by a detailed material flow evaluation, using modern computer simulation techniques.

This work presents an analyzing tool for supporting sawmilling industries with respect to the existing technology and production volume. Applying this new planning instrument will lead to a further increased efficiency of mills. This is a necessary requirement for mills with high personal costs in order to ensure the operation of a particular production site and to remain competitive.

KEY WORDS: Production and Inventory Systems; Decision Support Systems; Enterprise Resource Planning Systems; Sawmill simulation

I EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG

Die europäische Holzwirtschaft unterlag vor allem in den letzten Jahrzehnten einem bedeutenden Konzentrationsprozess, der den Wettbewerb, gerade in der Sparte der Sägeindustrie, verschärfte und zum großen Teil auf technische Entwicklungen zurückzuführen war. Darüber hinaus bieten neue und vor allem wettbewerbsfähige Standorte in Osteuropa zusätzliches Holz für den regionalen und auch internationalen Markt an. Kleine and mittelgroße Sägebetriebe leiden unter ihren beschränkten Möglichkeiten und den hohen Risiken, die eine Teilnahme am internationalen Holzmarkt mit sich bringt. In vielen Sägen wird eine hochspezialisierte Sägetechnik zur Schnittholzproduktion eingesetzt, eine durchgehende Entscheidungsunterstützung mit anspruchsvollen Planungsmethoden ist vielfach jedoch nicht vorhanden. In dieser Arbeit wird ein Ansatz vorgestellt, der Planungslücken in Betrieben ausnützt, um die Wertschöpfung an Produktionsstandorten zu erhöhen und den optimalen Einsatz der vorhandenen Ressourcen zu gewährleisten.

Charakteristisch für Sägebetriebe ist, dass im laufenden Betrieb, abhängig vom gewählten Schnittmuster, zwangsweise Nebenprodukte in unterschiedlicher Qualität und in unterschiedlichem Volumen anfallen. Eine simultane mehrperiodische Produktionsprogrammplanung für alle erzeugten Produkte kann bisher nicht genutzte Möglichkeiten aufzeigen. Insbesondere durch die simultane Berücksichtigung des Sortiments am Rundholzlager, der Nachfrage im Planungshorizont und den einzusetzenden Schnittmustervorlagen können Ergebnisverbesserungen in Hinblick auf alle Produktionsschritte erzielt werden. Nicht nur der betriebswirtschaftliche Aspekt steht hierbei im Vordergrund, sondern auch der Einsatz benötigter Energien und Hilfsmittel, wie Strom, Wasser etc. zeigt als Konsequenz der am Ort erwähnten Verfahren Einsparungspotential.

Der folgende Bericht gliedert sich in die Kapitel Material und Methoden, Modellbildung, Produktionsplanung, Verknüpfung – Schnittstellen, Ergebnisse und Schlussfolgerung bzw. Ausblick. Die zwei Themen Simulationsmodell und Produktionsplanung bilden den Kern dieser Arbeit. Ausgehend von der Datenaufnahme für die anschließende Umsetzung der Problemstellungen, wird – darauf aufbauend – auf die Entwicklung der Simulation eingegangen. Auf die genaue Abbildung des untersuchten Werkes in der Material- und Stoffstrommodellierung folgt die Vorstellung des Modells der Produktionsplanung. Auf den Aufbau und die formale Beschreibung wird hierbei besonderes Augenmerk gelegt.

Aufgrund des engen und doch sehr komplexen Zusammenspiels der Simulation und des Planungsansatzes werden deren Schnittstellen, sowie deren Verknüpfung miteinander, dargestellt.

Das Kapitel Ergebnisse zeigt einerseits die Gültigkeit des Modells für reale Problemstellungen in folge der Modellvalidierung, andererseits geht es auf Resultate der numerischen Studien und der Simulation ein. Im Zuge der Schlussfolgerung soll ein Ausblick auf weiterführende Untersuchungen und Potentiale in diesem Kontext gegeben werden.

Beitrag zum Gesamtziel der Programmlinie:

Bisher sind keine durchgängigen Konzepte für Sägebetriebe bekannt, die eine Integration der einzelnen angeführten Teilaspekte oder eine Konzeption eines unternehmensweiten Planungs- und Informationssystems für das Ziel des **Nachhaltigen Wirtschaftens** bisher umfassend ange-dacht haben.

In Österreich sind zurzeit mehr als 1000 Sägewerke mit einer Einschnittsleistung von ca. 25 Mio. fm in Betrieb. Mit diesem Projekt wurde für einen bedeutenden Sektor der österreichischen Wirtschaft ein weiteres Element zur Umsetzung nachhaltiger Technologieentwicklung mit dem Instrument der Prozessinnovation umgesetzt. Es wurden explizit die Interdependenzen zwischen vorhandener eingesetzter Sägetechnologie, der Notwendigkeit neue Technologien zu entwickeln und den ökonomischen Rahmenbedingungen bearbeitet. Mit dem als **techno-ökonomische Prozessoptimierung** bezeichneten Ansatz wird die österreichischen Forschungs- und Entwicklungskompetenz im Bereich „Nachhaltige Technologieentwicklung“ gestärkt. Ein effizienter Ressourceneinsatz führt zu Kosteneinsparungen und Wettbewerbsvorteilen der Betriebe und gleichzeitig zu einer Entlastung der Umwelt. In dem umgesetzten Projekt standen gerade diese Nutzenerwartungen im Zentrum der Forschungsanstrengungen.

II MATERIAL UND METHODEN

Die Erfassung der relevanten Daten beeinflusst den späteren Modellaufbau maßgebend, da die Genauigkeit der Datenaufnahme mit dem Detaillierungsgrad eines Simulationsmodells einhergeht. Aufgrund der teilweise sehr komplexen Steuerungen und logistischen Abläufen im Sägewerk des Industriepartners entschied man sich für einen sehr hohen Detaillierungsgrad, um die innerbetriebliche Logik möglichst realgetreu darstellen zu können.

Das Arbeitspaket gliederte sich in 2 Teilbereiche, die Datenerhebung für die ereignisgesteuerte Computersimulation und für die sog. Einlastungsplanung, mit dem Ziel der techno-ökonomischen Optimierung. Vor allem die Erhebung sämtlicher Maschinen- bzw. Ressourcenkennzahlen erforderte allumfassende Betrachtung des Referenzwerkes.

2.1 DATENAUFNAHME SIMULATION

Die **Datenaufnahme** der Simulation orientierte sich am Materialfluss im Sägebetrieb und teilt sich in die folgenden Abschnitte auf. Die Simulation bildet einerseits den Materialfluss ab, andererseits müssen aber innerhalb dieser, Regeln für die Auftragsbearbeitung definiert werden. Als Inputgrößen dienen Zeiten und Auftragsparameter.

1. Allgemeine Daten,
2. Rundholzanlieferung,
3. Rundholzsortierung,
4. Auftragswahl,
5. Sägelinienaufgabe,
6. Sägelinie,
7. Schnittholzsortierung,
8. Paketierung,
9. Trocknung,
10. Fremdaufgabe,
11. Hobelung,
12. Lager und
13. Versand.

Zur Erhebung dieser Daten war die Zusammenarbeit mit dem Industriepartner besonders eng und dementsprechend zeitintensiv.

Allgemeine Daten:

Der allgemeine Datensatz ist für alle weiteren Produktionsabschnitte von Bedeutung und bildet daher das Gerüst für die gesamte Simulationsumgebung. Daten, wie die Schichtzeiten sind maßgebend für sämtliche Maschinenbelegungen. Auch für die Abbildung der Transportwege war die Erfassung aller Entfernungen von entscheidender Bedeutung. Nicht nur die internen Transportwege in den einzelnen Produktionsabschnitten, sondern auch die der Staplereinheiten wurden erhoben und ausgewertet. Das gesamte interne logistische Netzwerk konnte so im Modell hinterlegt werden.

Rundholzanlieferung:

Die Rundholzanlieferung stellt den Ausgangspunkt für die Produktion dar. Es wurden sämtliche Anlieferungen der vergangenen Jahre statistisch ausgewertet, um eine Verteilungsfunktion für die Rohstoffqualität, den Durchmesser des Rundholzes, die Länge und der Abholzigkeit zu bestimmen. Für die Datenanalyse fand hierbei der so genannte Input Analyzer der Simulationssoftware ARENA Anwendung. In Abbildung 1 ist eine typische Zopfdurchmesserverteilung¹ über ein Jahr veranschaulicht. *Formel (2.1)* zeigt die zugehörige Verteilungsfunktion.

$$10.5 + 24 * \text{BETA}(1.85, 1.42) \quad (2.1)$$

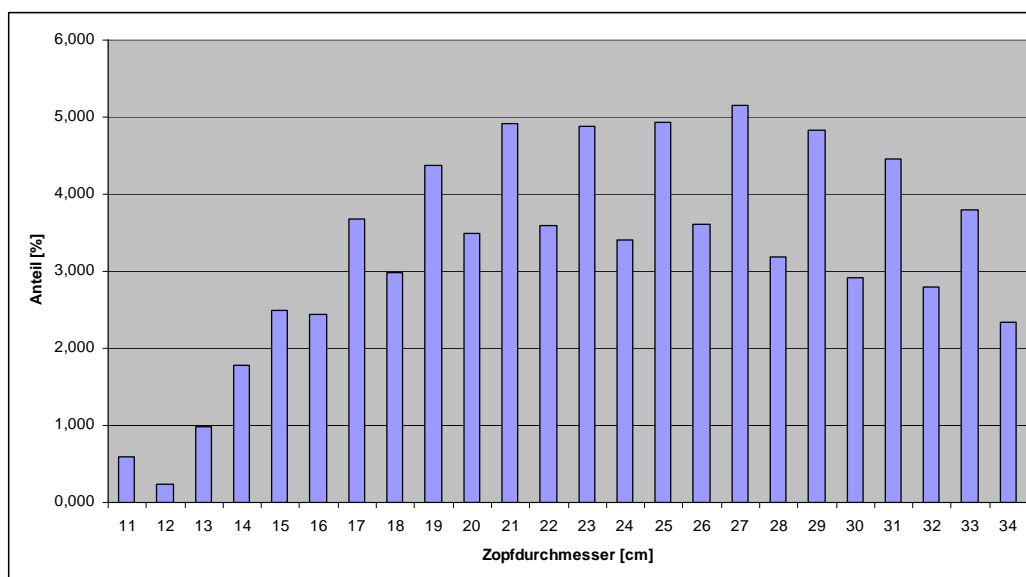


Abbildung 1: Durchmesserverteilung des angelieferten Rundholzes über 1 Jahr

¹ Der Zopf beschreibt das jeweilige Ende eines Stammes mit dem kleineren Durchmesser.

Es erscheint einleuchtend, dass eine derartige Funktion über ein ganzes Jahr gesehen, den tatsächlichen Gegebenheiten entspricht, nicht jedoch bei jahreszeitlichen Schwankungen signifikant erscheint.

Rundholzsartierung:

Die Aufgabe der Rundholzsartierung besteht vor allem darin, dass angelieferte Rundholz nach entsprechenden Kriterien einzuteilen bzw. zu klassifizieren. Dabei werden in diesem Produktionsabschnitt die folgenden Anlagen verwendet:

1. Wurzelreduzierer,
2. Metalldetektor,
3. Entrindungsanlage,
4. X – Ray Anlage,
5. 3D – Vermessung und
6. Manuelle Qualitätsbestimmung.

Die *Anlage 1* hat den Aufgabenbereich den Abschnitt eines Bloches² mit Wurzelanlauf³ im Durchmesser zu reduzieren, um die weitere Aufarbeitung, vor allem in *Anlage 3* zu erleichtern oder sogar zu ermöglichen. Diese beiden Anlagen sind nur für die weitere Verarbeitung notwendig und nicht für die Qualitätsklassifizierung relevant.

Jeder angelieferte Stamm unterläuft den obigen Maschinenpark und wird auf die Kriterien Länge, Durchmesser, Holzart, Qualität und Abholzigkeit⁴ hin untersucht. Ist eine eindeutige Feststellung der Eigenschaften erhoben, so wird jeder einzelne Stamm einer eigenen Box zugeordnet. Der Ausdruck „Box“ entspricht einer Abwurfstelle mit einem gewissen Fassungsvermögen, dass bei Erreichen einer gewissen Menge (Volumen) von einem Greiflader entleert wird und auf einen definierten Lagerplatz, fachlich als Polter bezeichnet, abgelegt wird.

Kriterien für die Erzeugung von Betriebsaufträgen:

Die Datenbasis für die Auftragserzeugung bilden einerseits die vorhandenen Schnittmuster (Abbildung 2), andererseits der herrschende Lagerbestand der Vorperiode. Nicht nur der aktuelle Lagerbestand des Rund- und Schnittholzes, sondern auch die stetige Anlieferung von neuem

² Bloch = Stammabschnitt mit einer Länge von üblicherweise 4 bis 6 m

³ Wurzelanlauf = Verdickter, unterer Teil des Erdstammes

⁴ Abholzigkeit = Abnahme des Durchmessers mit der Länge des Rundholzes

Rohstoff ist für die korrekte Wahl der jeweiligen Einschnittsvariante von Bedeutung. Während in der Simulationsumgebung ein eher dynamischer Aufbau des Lagers über eine ganze Periode gegeben ist, muss bei der Einlastungsplanung der neue Lagerbestand zu Beginn der Periode eingelesen werden. Unter einem dynamischen Aufbau werden die einzelnen LKW – Anlieferungen untertags bezeichnet.

Anzumerken wäre in diesem Zusammenhang, dass trotz der stochastischen Einflussgröße der Anlieferungen, bedingt durch den heterogenen Werkstoff Holz, den Jahreszeiten und örtlichen Gegebenheiten der Lieferanten, Abweichungen der Simulation von der Realität nicht festgestellt werden konnten. Die korrekte Umsetzung der vielfältigen und flexiblen Dateneingabe bot so die Möglichkeit auf obige Umstände zu reagieren.

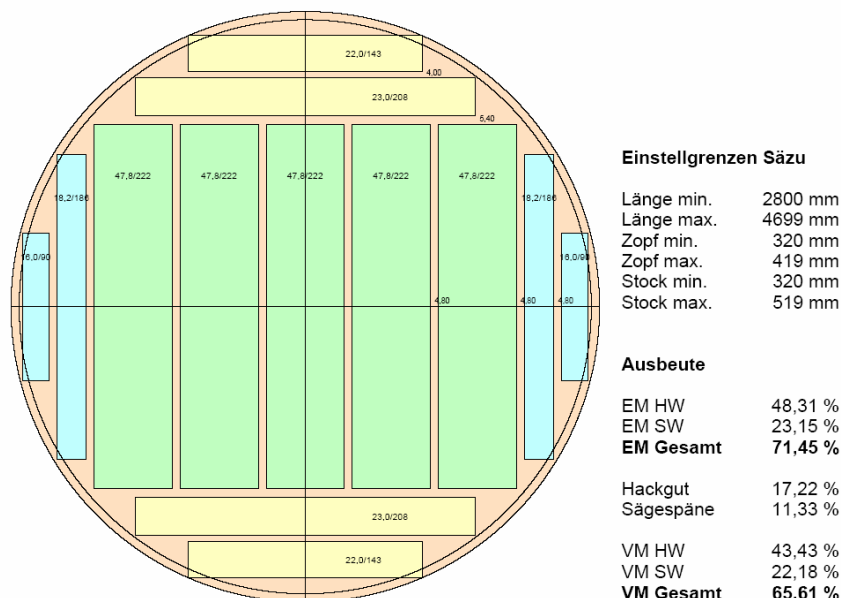


Abbildung 2: Beispiel eines Schnittmusters (Grün: Hauptware, Gelb: Seitenware Vorschnitt, Blau: Seitenware Nachschnitt) – Firmeninterne Abbildung 2006

Aufgabe – Sägelinie:

Der eigentliche Auftrennvorgang von Rundholz in unterschiedliche Brettdimensionen geht im Abschnitt der Sägelinie vor sich. Bevor das Rundholz in die Sägelinie eingelastet wird, muss der Rohstoff noch zwei wichtige Abschnitte durchlaufen. Wurde aufgrund der Auftragsauswahl entschieden, welches Produkt nun aus welchem Rundholz zu fertigen ist, werden die entsprechenden Bloche mittels Greiflader auf die Sägelinienaufgabe abgeladen. Die Kriterien, die für die Rohstoffwahl bedeutend sind, seien noch mal erwähnt und sind gekennzeichnet durch die Holzart, den Durchmesser, die Qualität und die Länge.

Nach der Aufgabe der einzelnen Bloche werden diese vereinzelt und wiederum einem Metalldetektor zugeführt. Es ist verständlich, dass ein metallischer Einschluss im Rohstoff für die verwendeten Sägen in der eigentlichen Produktion schlimme Auswirkungen hätte. Abgesehen von den ansteigenden Stillständen, wäre die Wartung und Instandhaltung mit betroffen und gefordert. Nach Aussortierung der kontaminierten Stämme muss jeder Stamm den so genannten Stammwender durchlaufen. Es ist von Unternehmen zu Unternehmen verschieden, ob der Stamm mit dem stärkeren Ende oder dem schwächeren (Zopf) zuerst eingeschnitten wird. Ziel ist es, alle Stämme mit dem „richtigen“ Ende voran in die Produktion zu überführen. Mitbestimmend ist in diesem Kontext, wie das jeweilige Schnittbild – unter Bedacht auf die gewählte Stirnfläche – erstellt wurde (Legt man das Schnittbild in den schwächeren oder stärkeren Durchmesser, um die Ausbeute zu optimieren?).

Man kann davon ausgehen, dass der Vorschub während der Aufgabe um 40 m / min höher liegt, als in der eigentlichen Sägelinie. So kann gewährleistet werden, dass die Stämme kontinuierlich mit geringen Abständen hintereinander in der Sägelinie eingebracht werden. Den vorhandenen Engpass bildet in diesem Abschnitt der Stammwender, der mit einer gewissen Anzahl pro Stück seine Grenzen im Prozess erreicht.

Sägelinie:

Die Sägelinie bildet das Kernstück der gesamten Produktion, da hier der Transformationsprozess von Rundholz in gewünschte Brettdimensionen durchgeführt wird. Es kommen verschiedene Maschinensysteme zum Einsatz, wobei nur eine den wirklichen Engpass bildet und den Vorschub der gesamten Anlage bestimmt. Im Folgenden soll der Prozess des Auftrennens schematisch erläutert werden.

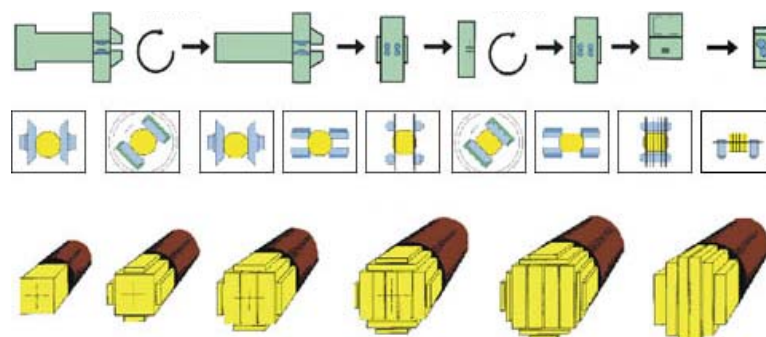


Abbildung 3: Darstellung der Profilspanertechnologie (Linck Holzverarbeitungstechnik GmbH)

Die Bearbeitung des Rundholzes erfolgt von außen nach innen in einem Durchlauf, wobei aufgrund der Sortierung durchmesserorientiertes Rundholz Anwendung findet. Wie in der Abbil-

dung 3 dargestellt, wird das Rundholz mittels Profilspaneraggregaten an den Seiten zerspant und anschließend mit Profilieraggregaten die Seitenware besäumt. Dies bedeutet, dass die so genannte Waldkante⁵ des Brettes im Vorhinein abgetrennt wird. Kreissägen (auch Mehrblattkreissägen) trennen dann die jeweiligen Bretter ab, wobei die Hauptware zum Schluss aufgetrennt wird. Wie zu erkennen ist, geht dieser Vorgang – nach Drehung des Stammes – zweimal vor sich, wobei in diesem Zusammenhang vom so genannten Vor- und Nachschnitt gesprochen wird.

Gerade in diesem Produktionsteil kommt eine Vielzahl von Maschinen zum Einsatz, die alle abhängig vom zugeführten Material bzw. den Eigenschaften sind und daher in einer Fülle von Daten eindeutig zu bestimmen waren. Hauptaugenmerk bildet hierbei die Doppelwellenkreissäge, die für den oben beschriebenen Engpass verantwortlich ist. Begründet wird dies durch Materialeigenschaften der Sägeblätter, die den Vorschub, je nach Breite oder Schnittfugen des Schnittbildes verringert. Abbildung 4 verdeutlicht diesen Zusammenhang.

Ausgehend von dem vorhandenen Maschinenpark können bis zu 2 Bretter je Seite im Vorschnitt als auch im Nachschnitt erzeugt werden. Abgesehen von den daraus resultierenden unterschiedlichen Dimensionen und Transportwegen, ergeben sich unterschiedliche Auslastungen für die einzelnen Aggregate.

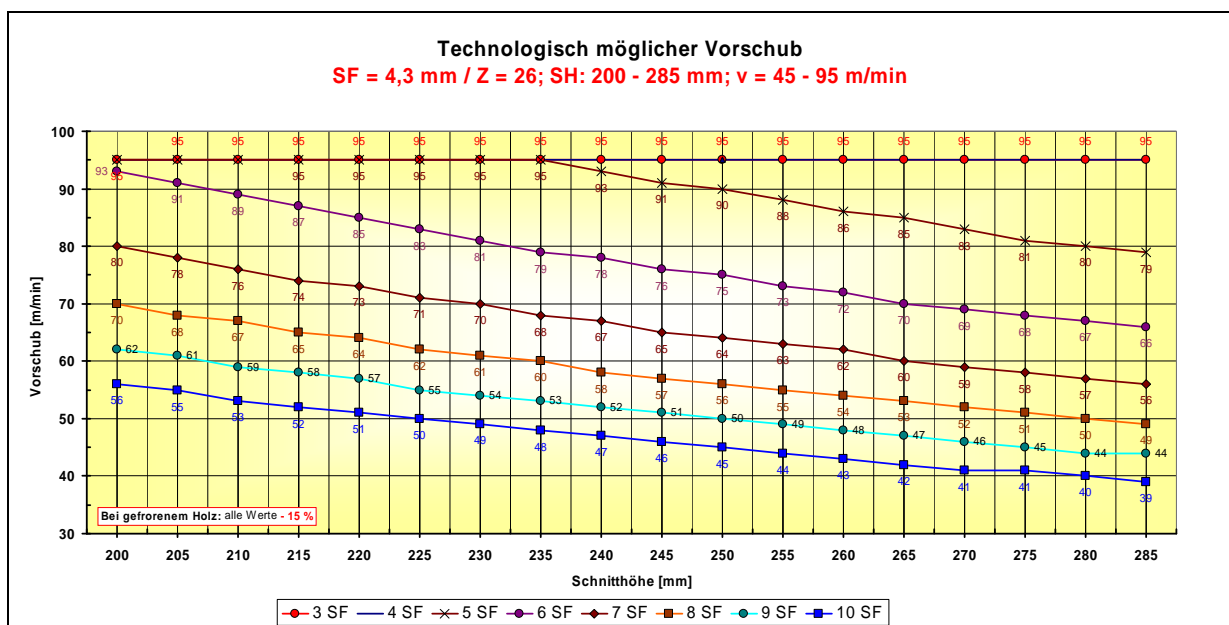


Abbildung 4: Vorschübe in Abhängigkeit von der Schnitthöhe und der Anzahl der Schnittfugen - Firmeninterne Abbildung 2006 [SF = Schnittfugen, Z = Schneidenzahl, SH = Schnitthöhe, v = Vorschub]

Wie aus der Abbildung 4 ersichtlich, ändert sich aufgrund der Schnittfugenanzahl der Vorschub im Auftrennprozess und infolge der Durchsatz im Werk. Maßgebend ist darüber hinaus die

⁵ Waldkante = Der auf dem Schnittholz an Stelle der scharfen Kante verbliebene Teil der Oberfläche des Stammes (mit oder ohne

Schnitthöhe der aufzutrennenden Bretter, die hier für 200 bis 285 mm exemplarisch angegeben ist.

Schnittholzsartierung:

Nach dem Auftrennen des Rundholzes ist der Weitertransport zu den Sortierfächern vorgesehen. Hauptaufgabe der Sortierung ist die sortenreine Zwischenlagerung der einzelnen Bretter (nach Qualität, Holzart, Länge, Breite und Stärke), als Ausgangspunkt für die spätere Paketbildung. Grundsätzlich wird zwischen der Seitenware- und Hauptwaresortierung entschieden. Diese Unterscheidung muss aber nicht zwangsläufig eingehalten werden. Bei Engpässen in den jeweiligen Sortieranlagen ist eine Überführung in die andere Anlage denkbar. Die Datenaufnahme der Sortieranlagen stellte hohe Anforderungen an die Erhebung und deren Genauigkeit. Neben den üblichen technischen Größen musste hier der Füllgrad und die genaue Logik erfasst werden. Beide Anlagen, sowohl Haupt-, als auch Seitenwaresortierung weisen jedem Brett eine eigene Etage zu, die nach den Kriterien Länge, Breite, Stärke, Qualität und Holzart belegt wird. Unterschiede bestehen einerseits in der Kapazität der Anlagen, andererseits in der Messung des Füllgrades. Während in der Hauptware Filmetagen installiert sind, handelt es sich bei Seitenware um Schichtetagen. Bei Filmetagen werden alle ankommenden Bretter stumpf aneinander gereiht und die vorhandene Breite eines Brettes verringert so die maximale Befülllänge. Die Seitewarebretter werden hingegen übereinander in die Etage eingeworfen und liegen als Folge kreuz und quer im Speicher. Ziel der Sortierung ist neben der Einteilung der Bretter nach bereits erwähnten Kriterien, die Bildung ganzer Schnittholzpakete, maßgebend für die anschließende Paketierung. Um die Größe (Abmessung) der Pakete für den Versand und auch für die Trockenkammerbefüllung konstant zu halten, ist für jede mögliche Kombination von Breite und Stärke eines Brettes eine fixe Anzahl an Brettern pro Paket vorgegeben. Aufgrund der unterschiedlichen Dimensionen der Produkte ergibt sich also nicht nur eine unterschiedliche Anzahl an Brettern pro Paket, sondern auch in den Lagen der Pakete befindet sich unterschiedlich viel Schnittholz, dass je nach Stärke die Anzahl der Lagen bestimmt und so die Höhe des Paketes. Anzumerken ist darüber hinaus, dass neben der Stärke auch die zum Einsatz kommenden Stapellatten die Höhe des Paketes begrenzen.

Beide Sortieranlagen, Seiten- und Hauptware, bestehen aus 2 Speichereinheiten, den Vor- und Nachspeichern. Bei der Hauptware finden wir 16 Filmetagen, also jeweils 16 Vor- und Nachspeicher. Die eigentliche Steuerung erfolgt dermaßen, dass die Bretter im Vorspeicher einer Etage bis zur kompletten Befüllung im Speicher bleiben. Ist die Etage nun voll, so wird in den

Nachspeicher entleert. Relevant ist aber nur die Anzahl an Brettern, die ein oder mehrere Pakete ergeben, der Rest an Brettern verbleibt im Vorspeicher.

Paketierung:

Ist einer der Nachspeicher der Sortierung voll, so werden die Bretter für eine ganze Paketbildung mittels Entladeförderer entleert. Entscheidend ist hierfür natürlich wieder die Anzahl an Brettern, die ein ganzes Paket ausmacht. Die Bretter werden vor der Stapelung noch auf eine einheitliche Länge formatiert und anschließend Lage für Lage gestapelt, wobei je nach weiterer Veredelung unterschiedliche Latten zum Einsatz kommen. Allein aus dem Problem der unterschiedlichen Dimensionen und den dazukommenden Lattenarten ergeben sich Kombinationen, die zahlenmäßig im hohen faktoriellen Bereich liegen ($> 10^{15}$).

Ist ein Paket fertig, so wird im Regelfall ein Doppelhub ausgebildet. Das bedeutet, 2 Pakete werden übereinander gestapelt, um eine höhere Auslastung beim Abtransport durch den Stapler zu erzielen. Nach der Stapelung erfolgt der Weitertransport zu den Trockenkammern bzw. bei Verkauf von frischer Ware zum entsprechenden Lagerplatz.

Trocknung:

Die meisten Dimensionen der Hauptware werden technisch getrocknet, um eine einheitliche Restfeuchte zu erzielen und so die Weiterverarbeitbarkeit des Schnittholzes zu gewährleisten. Für die technische Trocknung stehen im Fall des Industriepartners 33 Trockenkammern zur Verfügung, die im Durchschnitt ein Volumen von 350 m³ aufweisen.

Gerade nach der Sortierung des Schnittholzes ist der genaue weitere Materialfluss zu beachten. Neben den Hauptwarendimensionen – die auch als Seitenware anfallen können – werden auch gewisse Seitenwaren getrocknet. Aus dieser Konstellation ergibt sich eine hohe Anforderung an die Beschickung der Trockenkammern. Es wird davon ausgegangen, dass die Trocknung von dem verarbeiteten Schnittholz 72 Stunden in Anspruch nehmen wird, wobei die Beschickung und Entleerung weitere 4 Stunden benötigt. Darüber hinaus ist zu beachten, dass nicht alle Dimensionen miteinander in einer Trockenkammer kompatibel sind. Aufgrund der physikalischen Eigenschaften von Holz – Trocknen über und unter Fasersättigungspunkt – erscheint es einleuchtend, dass nur ähnliche Stärken miteinander getrocknet werden können.

Als Ansatzpunkt einer technoökonomischen Optimierung ergibt sich aus diesen Gegebenheiten ein Optimierungsproblem für die Beschickung von Trockenkammern. Im Kapitel 6, betreffend die Simulationsumgebung, wird neben der Sortierheuristik auch eine Heuristik zur Trocken-

kammerbelegung erläutert werden. Neben den erwähnten Restriktionen spielen natürlich auch die Holzart und die Paketgrößen (vor allem die Länge) eine entscheidende Größe. Die freie Kapazität in einer Kammer variiert mit den beschickten Paketlängen, woraus sich natürlich unzählige Kombinationen für die verbleibende Kapazität einer Kammer ergeben. Sollten durch Kapazitätsengpässe oder Inkompatibilität der Pakete keine nutzbaren, freien Trockenkammern vorhanden sein, so bedeutet dies, den Aufbau eines vorangehenden Lagers.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass gerade die energieintensiven Zu- und Ablufttrockenkammern nach einer Lösungsalternative verlangen. Dies ist nicht nur aus umweltrelevanten Aspekten sinnvoll, sondern auch aus einer betriebswirtschaftlichen Sichtweise.

Schnittholz, welches nicht getrocknet werden muss, wird direkt – ohne weitere Nachbearbeitung – dem Versandlagerplatz zugeführt.

Fremdaufgabe:

Nach der technischen Trocknung erfolgt eine nochmalige Qualitätsbestimmung des Schnittholzes in den Sortieranlagen. Dazu wird das getrocknete Holz der Fremdaufgabe der Sortieranlage zugeführt und der Vorgang – beschrieben im Teil Sortieranlagen – ein zweites Mal durchgeführt. Es besteht aber auch die Möglichkeit, dass getrocknetes Schnittholz gehobelt wird und der Hobelanlage zugeführt werden muss. In diesem Fall entspricht dies einer Entlastung der Sortieranlage der Sägelinie, da nach der Hobelung ebenfalls eine Sortierstrasse installiert ist. Sollte eine Überlastung der Sortieranlage nach der Sägelinie auftreten, so ist es auch möglich, die Ware nach der Trocknung mittels der Fremdaufgabe der Hobelungssortierung zuzuführen und nachzusortieren. Eine Hobelung findet in diesem Fall natürlich nicht statt.

Hobelung:

Wie bereits im vorigen Abschnitt beschrieben, gibt es Sortimente die gehobelt werden müssen. Darunter fallen vor allem Waren, die für den Holzbau verwendet oder dafür weiterverarbeitet werden (Brettschichtholz, ...). Auch die Vorhobelung von Brettern für die Massivholzplattenherstellung kann durchgeführt werden. Für Massensortimente ist ein Vorschub von bis zu 600 m/min bei dieser Anlage möglich. Nach der Hobelung wird nach den bekannten Kriterien Holzart, Qualität und Dimensionen sortiert. Eine anschließende Paketierung ist auch in diesem Fall vorgesehen, an die eine Verpackungslinie anschließt. Der Weitertransport auf das Versandlager ist dann der vorletzte Schritt – gefolgt vom Versand – im internen Transport.

Schnittholzlager:

Auf dem Schnittholzlagerplatz werden die fertigen Pakete, sortiert nach Auftrag, Kunde oder Dimension für den Weitertransport mittels LKW oder Zug, gesammelt. So ist u. a. vorgesehen, dass gewisse Sortimente (vor allem kundenanonyme) einen fixen Abstellplatz haben, der – wenn möglich – auch immer gleich bleiben sollte. Fixen Lieferverträgen mit Großkunden wird ebenso ein fixer Lagerplatz zugewiesen, wobei es hier nicht unbedingt sein muss, dass gleiche Dimensionen beisammen liegen. Nicht getrockneter Seitenware wird ein Platz nach Dimensionen zugewiesen. Infolgedessen ergibt sich eine gewisse Stellplatzordnung, die in der Praxis nicht immer leicht zu handhaben ist. Ab einer gewissen Lagergröße ist es nicht immer gewährleistet, dass ein „First In – First Out“ – Prinzip umgesetzt werden kann. In der Simulationsumgebung wird dieser Aspekt berücksichtigt und jedem Paket wird der genaue Ankunftszeitpunkt im Lager mit samt den relevanten Informationen wie Kunde, Dimension etc. zugewiesen. Darüber hinaus wird vorausschauend immer in ganzen LKW – Lieferungen nach dem FIFO – Prinzip verladen, wobei natürlich die Kundenaufträge nicht vermischt werden dürfen.

Neben dem Lager für Schnittholz sind auch so genannte „Piles“ (zu deut. *Haufen*) für die Sägenebenprodukte vorhanden. Relevant sind neben der Station von gehackten Restprodukten – hervorgerufen durch das Ablängen – die „Piles“ für Sägemehl und Hackschnitzel. Diese werden mit Schaufelbaggern regelmäßig abgetragen und zum Versand mittels LKW oder Containern weitertransportiert.

2.2 DATENAUFNAHME EINLASTUNGPLANUNG

Sowohl für die Simulation, wie auch für die Entwicklung eines Planungsmodells werden Nachfragemengen, Zeiten, Preise, Kosten und Lagerbestände erhoben. Die Datenaufnahme betreffend die Einlastungsplanung orientierte sich im Detail an folgenden Kennzahlen, die im Zuge der Gestaltung des linearen Optimierungsmodells entstanden:

1. Nachfrage Schnittholz,
2. Produktionszeiten & -mengen,
3. Störzeiten & Stillstände,
4. Kosten Rohstoff,
5. Preise Produkte,
6. Schnittbilder inkl. Ausbeutekoeffizienten,
7. Rüstzeiten,
8. Lagerstände – Rundholz, Schnittholz und
9. Preisgruppen.

Diese Daten werden in einer Datenbank abgelegt, um für die für die anschließende Entwicklung eines Optimierungsmodells für die Einlastungsplanung zur Verfügung zu stellen. Aufgrund der Datenfülle war eine Implementierung in Microsoft Excel nicht mehr möglich und die Verwendung von Microsoft Access kam der Anforderung an eine Datenbankstruktur zufrieden stellend nach. Da die Pflege einer Datenbank – um der Aktualität zu entsprechen – in der Regel eine sehr aufwendige ist, wurde versucht diesen Prozess so einfach wie möglich zu gestalten und die Datenschnittstellen zu automatisieren. Die folgende Abbildung zeigt die Verwendung der Daten in Simulation und Planungsumgebung.

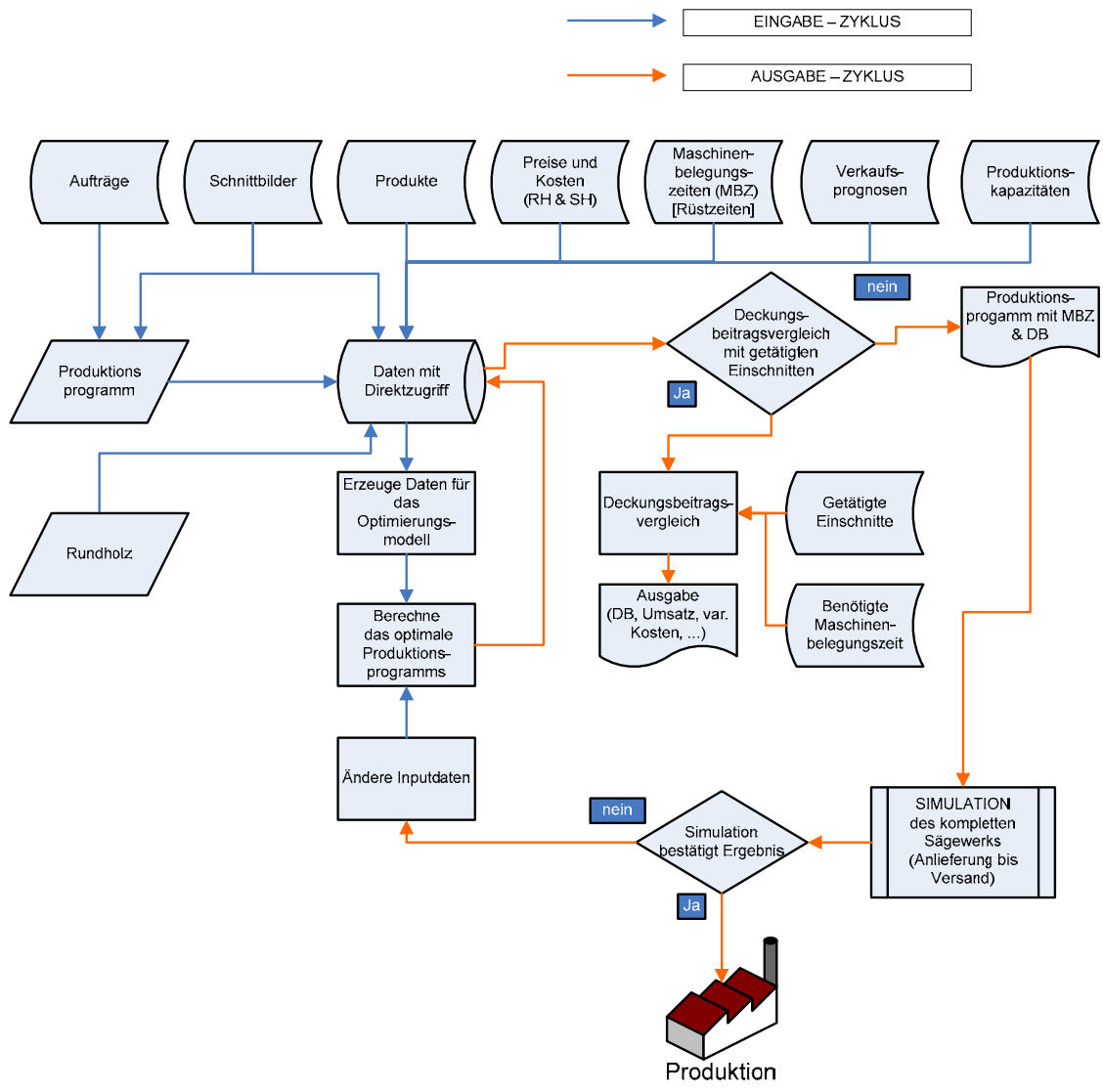


Abbildung 5: Zusammenspiel der Daten(struktur)

III MODELLBILDUNG

3.1 MATERIAL- UND STOFFSTROMMODELLIERUNG

Die Schaffung eines Werkzeugs für die detailgenaue Darstellung des Produktionsbetriebes war eines der Hauptziele dieses Arbeitspaketes, um mögliche Auswirkungen auf das Gesamtsystem quantifizieren und Verbesserungen vornehmen zu können. Ausgangspunkt für die Schaffung einer derartigen Simulationsumgebung war die Datenaufnahme (siehe Kap. 2.1).

Die zeitdiskrete Simulation ist ein Standardinstrument zur Materialflussanalyse, das insbesondere bei vernetzten Systemen und schwankenden Engpässen zum Einsatz kommt. Für die Modellierung der Material- und Stoffströme im Sägebetrieb wurde nun ein Simulationsmodell erstellt, das sowohl die Ressourcen im Produktionsbetrieb erfasst, wie auch Warteschlangen, Aufträge und Kenngrößen der Auftragsabwicklung. Wesentlicher Teil dieses Modells sind logische Verknüpfungen und Verfügbarkeitsprüfungen, Überprüfung der Belegung von Sortierboxen, Sortierfachzuweisung, Trockenkammerbelegung und Lagerplatzzuordnung.

Die verwendete Untersuchungsmethode ist eine kostengünstige Variante zur Abbildung einer Produktionsanlage mit einem hohen Grad an Flexibilität für die Vorabdarstellung von Entscheidungen, betreffend die vorhandene Produktionsstruktur. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass mit dem geplanten Ansatz auch seltene Ereignisse im Betriebsablauf und Störungen analysiert werden können, mit denen im täglichen Prozess nur selten zu rechnen ist. Auch das Experimentieren mit dem Umgang von unterschiedlichen Materialcharakteristika ist möglich.

Die Simulationsumgebung soll einerseits ein Analysewerkzeug für die objektive Beurteilung von betrieblichen Prozessen darstellen, andererseits soll eine integrale Betrachtung der gesamten Produktionsabschnitte für dieses Segment und die Entwicklung von Produktionsverbesserungen ermöglicht werden.

Als Programmierumgebung diente Arena® (Professional Edition – Academic Version), eine Simulationsprache von Rockwell Software. Mit diesem Programm werden Prozesse mit graphischen Objekten, sog. Modulen, als Modell abgebildet, wobei von der Systemlogik über die Darstellung bestimmter Ressourcen alles berücksichtigt werden kann. Neben den Standardmöglichkeiten wie z. B. der Abbildung von Ressourcen, Warteschlangen, Prozesslogik und Systemdaten gibt es auch Module für spezifische Aspekte der Fertigung und des Transports. Es lassen sich effektiv diskret – kontinuierliche Systeme abbilden, wobei Warteschlangen, Ressourcen, Teile-

flüsse, Displays und Plots problemlos zu animieren sind. Das Programm bietet zudem die Möglichkeit, selbst maßgeschneiderte Module für spezifische Bedürfnisse zu bauen.

Die folgende Abbildung (Abbildung 6) gibt eine Übersicht über die einzelnen Produktionsabschnitte und verdeutlicht den logischen Ablauf der Simulation.

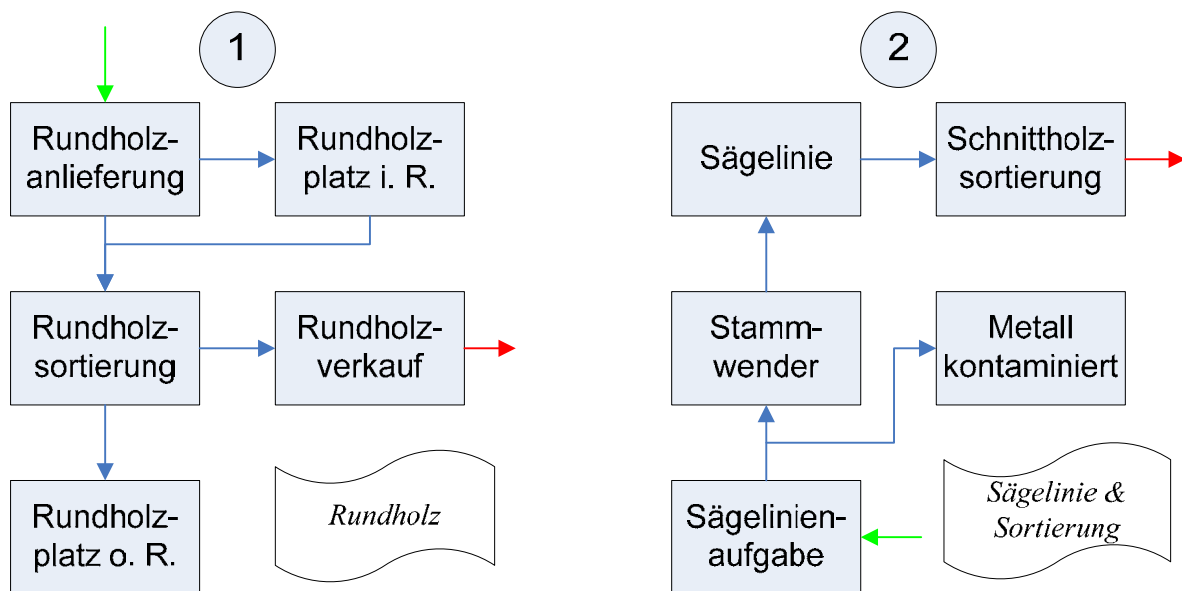


Abbildung 6: Übersicht – Stoffströme (Teil Rundholz & Sägelinie)

Wie im Kapitel 2.1 bereits zusammenfassend erläutert, wird in diesem Kapitel auf den Simulationsaufbau vertiefend eingegangen. Vor allem die zugrunde liegende Daten(struktur) stellt den Hauptaugenmerk in den folgenden Abschnitten dar.

Der erste Schritt im Produktionsprozess stellt die Rundholzanlieferung dar. Nach den statistischen Auswertungen der Anlieferprotokolle konnte erhoben werden, dass im Durchschnitt 127 LKW- und 9 Eisenbahn-Anlieferungen, in der Zeit von 6 Uhr bis ca. 21.30 Uhr, im Sägewerk ankommen. Natürlich war die Schichtzeitenhinterlegung für die weitere Aufarbeitung für die nachfolgenden Prozesse genau zu hinterlegen. Um diesen Vorgang weitgehend flexibel gestalten zu können, wurden diese Daten vom einem Microsoft – Excel – Datenblatt eingelesen, welches jederzeit geändert werden konnte (s. Abbildung 7).

Übersicht - Schichtzeiten						
		Bitte Zeiten eintragen!				
		Wird automatisch ausgefüllt!				
Produktion werktags:						
	Beginn	Ende	Dauer			
Produktion	00:00	01:00	01:00	VarSTPR1	1,00	Stunden
Pause & Wartung	01:00	01:45	00:45	VarSTPA1	45,00	Minuten
Produktion	01:45	09:00	07:15	VarSTPR2	7,25	Stunden
Pause & Wartung	09:00	09:45	00:45	VarSTPA2	45,00	Minuten
Produktion	09:45	17:00	07:15	VarSTPR3	7,25	Stunden
Pause & Wartung	17:00	17:45	00:45	VarSTPA3	45,00	Minuten
Produktion	17:45	00:00	06:15	VarSTPR4	6,25	Stunden
Produktion Samstag:						
	Beginn	Ende	Dauer			
Produktion	00:00	01:00	01:00	VarSAPR1	1,00	Stunden
Pause & Wartung	01:00	01:45	00:45	VarSAPA1	45,00	Minuten
Produktion	01:45	09:00	07:15	VarSAPR2	7,25	Stunden
Pause & Wartung	09:00	09:45	00:45	VarSAPA2	45,00	Minuten
Produktion	09:45	14:00	04:15	VarSAPR3	4,25	Stunden
Pause & Wartung	14:00	00:00	10:00	VarSAPA3	10,00	Stunden
Produktion Sonntag:						
	Beginn	Ende	Dauer			
Pause & Wartung	00:00	22:00	22:00	VarSOPA1	22,00	Stunden
Produktion	22:00	00:00	02:00	VarSOPR1	2,00	Stunden

Abbildung 7: Einlesefile – Schichtzeiten mit automatischer Variablendeklaration

Im Schnitt ist die Ladungsgröße eines LKWs 131 Stück, die eines Zuges 337. Über ein Jahr gesehen, kommt man so auf eine Einschnittsmenge von ca. 1,0 Mio. Fm, was der Menge nach, dem Einschnitt der Sägewerke im hochvolumigen Aufarbeitungsbereich entspricht. Dem angelieferten Holz mussten die entsprechenden holzphysikalischen Merkmale zugewiesen werden. Hier besteht die Möglichkeit, aus den 4 nachstehenden Varianten zu bestimmen, wie diese Anforderung umgesetzt werden soll:

1. Holzphysikalische Merkmale aus der Verteilung eines Jahres einlesen,
2. Durchmesserverteilung selbst bestimmen,
3. Holzart, Qualität, Abholzigkeit und Länge selbst bestimmen oder
4. eine Mischung aus Punkt 2 und 3 einzulesen.

Die Einleseprozedur ist variabelengesteuert und kann in Formularen in Microsoft Excel eingeben werden und direkt in das Model implementiert werden (Abbildung 8).

Qualität [% / 100]				
BH	SH	A	B	Σ
0,00371	0,00742	0,18887	0,8	1
0,00371	0,01113	0,2	1	
Qu1	Qu2	Qu3	Qu4	
1	2	3	4	

Abholzigkeit [cm / lfm]		
Dreiecksverteilung		
0,6	0,8	1,3
Ab1	Ab2	Ab3
1	2	3

Länge [m]		
4	5	Σ
0,2	0,8	1
0,2	1	
La1	La2	
1	2	

Holzart [% / 100]			
LÄ	KI	FI	Σ
0,01	0,14	0,85	1
0,01	0,15	1	
Ha1	Ha2	Ha3	
1	2	3	

Holzart [fm]			
LÄ	KI	FI	Σ
0,00015	0,00296	0,99689	1
0,00015	0,00311	1	
0,6	12	4040	4052,6
Ha1	Ha2	Ha3	
1	2	3	

Prozente einlesen

Festmeter einlesen

Abbildung 8: Manuelles Bestimmen der Einleseigenschaften

Bei der Holzart ist es möglich, die Verteilung nach Prozenten oder Menge zu bestimmen, wobei die Daten für Rundholz direkt aus den Übernahmeprotokollen des Sägewerks entnommen werden können. Dies gilt nicht nur für die Eigenschaft Holzart, sondern auch für die anderen, eben erwähnten, Daten.

Neben der variablen gesteuerten Einleseprozedur, besteht jedoch auch die Möglichkeit die Verteilungen über ein Jahr hinweg einzulesen. Das Ergebnis der Auswertungen ist den folgenden Verteilungen zu entnehmen, wie schon zuvor in Abbildung 8 hinterlegt wurden..

Die verarbeiteten Holzarten stellen in diesem Werk die Holzart Fichte (85 %), Kiefer (14 %) und Lärche (1 %) dar. Lärche spielt jedoch nur eine untergeordnete Rolle, da sie mit Kiefer vereinzelt anfällt. Hinterlegt werden diese Daten mithilfe einer diskreten Verteilung.

$$Disc(0.01,1,0.15,2,1,3) \quad (3.1)$$

Die Qualitäten setzen sich aus 4 Arten zusammen. Einerseits die für die Produktion entscheidenden Klassifizierungen A und B, andererseits die Ausschussware, wie Brenn- und Schleifholz. Anbei ein Beispiel für die mögliche Qualitätsverteilung.

$$Disc(0.00371,1,0.01113,2,0.20,3,1,4) \quad (3.2)$$

Die Abholzigkeit wird mittels einer Dreiecksverteilung in das Model eingelesen und bestimmt so das weitere Volumen eines einzelnen Stammes in Festmeter (Fm), sowie dessen Zopf-, Mittel- und Enddurchmesser.

$$Tria(0.6,0.8,1.3) \quad (3.3)$$

Die Länge wird ebenfalls durch eine diskontinuierliche Verteilung hinterlegt, wobei nur Längen von 4m und 5m anfallen mit jeweils 20% und 80%iger Auftretenswahrscheinlichkeit.

$$Disc(0.2,4,1,5) \quad (3.4)$$

Wird der Zopfdurchmesser nicht nach den internen Protokollen eingeben, sondern die Auswirkungen auf das Modell aufgrund der Jahresverteilung gewünscht, so liegen die folgende Verteilungen zugrunde. Zu 61.53846% berechnet sich der Durchmesser nach folgender Verteilung:

$$10.5 + 24 * BETA(1.85, 1.42) \quad (3.5)$$

Die restlichen Prozent setzen sich aus einer Gammaverteilung, wie folgt, zusammen:

$$34.5 + GAMM(5.38, 1.06) \quad (3.6)$$

Die Aufteilung auf zwei Verteilungen kommt der Forderung nach, die am besten passende Verteilung, für die Rohstoffkriterien betreffend ein Jahr, im Modell zu hinterlegen.

Das entsprechende Rundholz wird nach der Anlieferung am Rundholzplatz zwischengelagert oder sofort einer der beiden Aufgaben der Rundholzsortierung zugeführt. Für den Transport stehen hierbei 2 – 3 Lader zur Verfügung, die das Abladen bzw. Aufgeben übernehmen. Wie im Kapitel Datenaufnahme bereits besprochen, findet hier die eigentliche Klassifizierung des Rohstoffes statt. Der bereits erläuterte Maschinenpark ist primär von dem Vorschub der gesamten Linie abhängig. Eventuelle Verminderungen in der Vorschubgeschwindigkeit können durch extrem starke Bloche hervorgerufen werden, die die Entrindungsgeschwindigkeit bremsen. Der normale Vorschub beträgt 145 m / min, im Winter hingegen pendelt er sich bei ca. 120 m / min ein. Grund für diesen Umstand ist gefrorenes Holz, das langsamer aufgearbeitet werden muss. In der Abbildung 9 ist die Animation der Rundholzsortieranlage dargestellt.

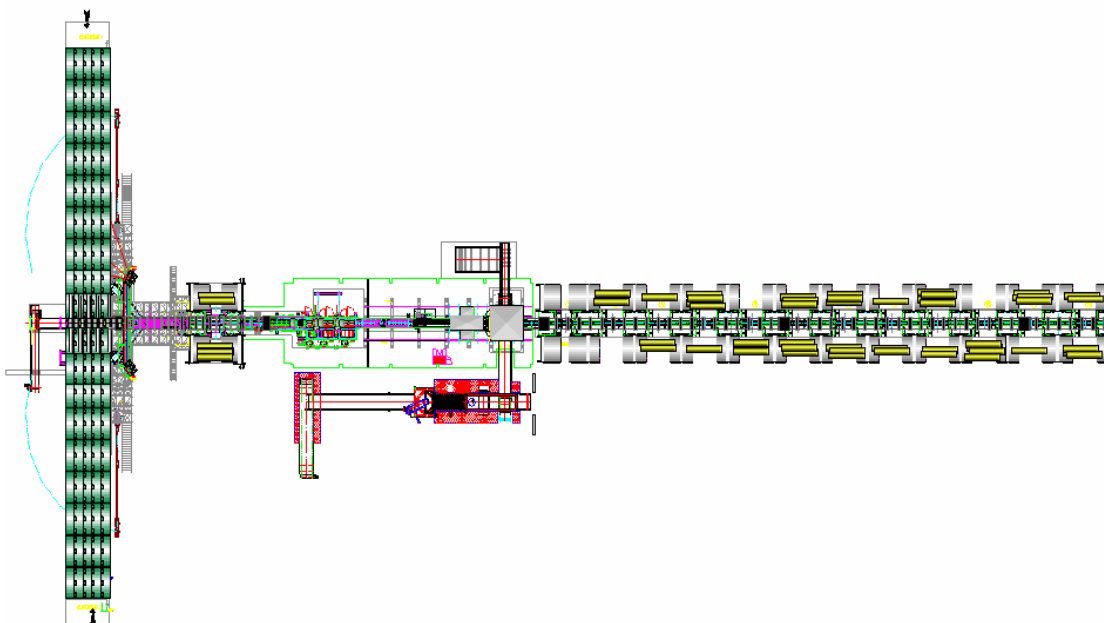


Abbildung 9: Animation Rundholzsortierung - Auszug

Jede einzelne Box entspricht einer gewissen Holzart, verknüpft mit einer Qualität, Länge und einem Intervall für den Zopfdurchmesser. Ist eine Box voll (Fassungsvolumen ~ 12 Fm), so werden die betroffenen Boxen auf ein Polter entleert und für die weitere Verarbeitung zwischengelagert. Ein Polter hat eine maximale Größe von ca. 2000 Festmetern. Metallkontaminiertes Holz wird vorzeitig aus dem Prozess ausgeschieden und Übergrößen weiterverkauft oder per Lohnschnitt von anderen Sägewerken aufgearbeitet.

Da die Produktion nicht ohne ein gewisses Rohstofflager beginnen kann, bietet das Simulationsprogramm weiter die Möglichkeit den Lagerbestand des Vortages einzulesen. Hierbei ist eine direkte Verknüpfung mit der Rundholzliste des Vortages möglich. Die entsprechenden Daten werden mittels VBA – Makros in eine Tabelle transponiert und für die Einleseprozedur tauglich gemacht. Sämtliche Eigenschaften des einzelnen Stammes können so aus der Vorperiode entnommen werden und die Simulation kann bei Schichtbeginn sofort mit der Auftragsabarbeitung starten.

Im nächsten Schritt werden die freigegebenen Aufträge in das Simulationsmodell eingelesen. Damit wird festgelegt, welche Dimensionen (Produkte) zu erzeugen sind und es werden die weiteren essentiellen Attribute vergeben, die für die weitere Bearbeitung relevant sind. Um auch diesen Vorgang weitgehend flexibel zu gestalten, werden die einzelnen Aufträge wiederum in einer Exceldatei hinterlegt. Der Benutzer muss lediglich die Auftragsgröße, das gewählte Schnittmuster, die Qualität und die Holzart eingeben. Ist dieser Schritt getan, werden diese Daten mit einigen 1000 Schnittbildern verknüpft und die notwendigen Daten erzeugt. Es handelt sich hierbei um sämtliche Dimensionen der Produkte und Kuppelprodukte, die Ausbeutekoeffizienten für die Sägelinie, die einzelnen Vorschübe, die Paketgrößen (Stück und Lagen), die Lattungsarten und das Auftragsvolumen. Das Programm ist nun imstande diese Daten in das Modell einzuspeisen und das erforderliche Rundholz vom Lager anzufordern. Ist nicht genug Rohstoff vorhanden, so besteht die Möglichkeit, Änderungen vorzunehmen. Gerade dieser Aspekt ist im täglichen Produktionsprozess nur schwer zu handhaben und stellt einen weiteren Vorteil der Simulation dar. Ist ein Auftrag abgearbeitet, wird der nächste eingelesen.

Wird nun das benötigte Rundholz mittels Transportereinheiten zur Sägelinienaufgabe gebracht, wird der Stamm einer nochmaligen Metalldetektion unterzogen und durch den Stammwender mit gleichem Durchmesser voran in die eigentliche Sägelinie eingelastet.

In der Sägelinie ist der jeweilige Vorschub von der Breite der Hauptware und der Anzahl an Schnittfugen im Schnittbild abhängig. Es sei auf die Abbildung bei der Datenaufnahme verwie-

sen, die ein Beispiel für die Vorschubeinstellung verdeutlicht. In der folgenden Abbildung ist ein Teil der Sägelinienanimation abgebildet (Abbildung 10).

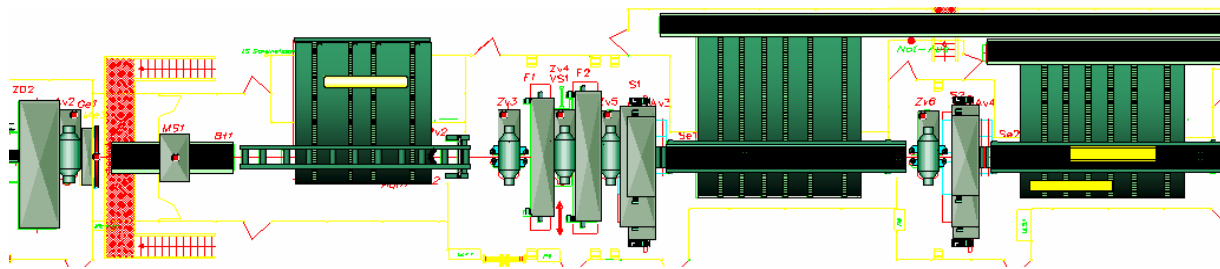


Abbildung 10: Ausschnitt – Animation Sägelinie

In der Sägelinie stehen 2 Profilspaneraggregate, 4 Fräsaggregate, 2 Drehvorrichtungen und 3 Sägeaggregate zur Verfügung. Je nach Schnittmuster können bis zu 2 Seitenwarenbretter je Seite im Vorschnitt und im Nachschnitt erzeugt werden. Inclusive der Hauptwarendimension können bis zu 4 unterschiedliche Dimensionen an Brettern in einem Arbeitsgang erzeugt werden. Dies bedeutet für die nachfolgende Sortierung, dass der Umstand der divergenten Produktstruktur gekoppelt mit der Qualitätsbeurteilung und der unterschiedlichen Längen voll zum Tragen kommt. Die jeweiligen Sägenebenprodukte, wie Hackschnitzel und Sägespäne werden sofort mittels Absaug- und Förderanlagen auf die entsprechen Piles transportiert, wo sie Schaufellader entweder für den Weitertransport abnehmen oder der Verbrennung zur Energieerzeugung zuführen. Die unterschiedlichen Seitenwaren des Vorschnitts werden anhand von Förderbändern parallel zur Sägelinie zur Sortierung transportiert. Die Seitenware, die im Nachschnitt anfällt, wird mittels eines verstellbaren Spaltkeils von dem so genannten Model getrennt. Dabei ist es auch möglich diesen Spaltkeil so zu verstellen, dass die äußeren Bretter der Hauptware in die Seitenwarensortierung befördert werden. Aufgrund der Abholzigkeit von Rundholz tritt eine Längenänderung bei Seitenwarenprodukten besonders häufig auf, da im Zuge der Auftrennung bei zunehmender Durchmesserverringering die Säge in Freie schneidet. Ausgehend von einer 4 bzw. 5 Meter Länge folgende Längenänderungen auftreten können. Es ist verständlich, dass die Zuführung von Hauptware in die Seitenwarensortierung nicht unbedingt von Vorteil ist, da hier selbst genug unterschiedliche Produkte entstehen. Die folgenden Tabellen verdeutlichen die mögliche Längenänderung im Zuge des Sortiervorganges. Die jeweiligen Prozente zeigen mit welcher Wahrscheinlichkeit die Länge unverändert bleibt bzw. einer Änderung eintreten kann.

Tabelle 1: Prozentuelle Verteilung der Längenänderung (Hauptware)

[%]	Hauptware	
	5 m	4 m
99	5	4
1	4,5	3,5

Tabelle 2: Prozentuelle Verteilung der Längenänderung (Seitenware)

[%]	Seitenware				
	Stärke \geq 23 mm		[%]	Stärke $<$ 23 mm	
	5 m	4 m		5 m	4 m
90	5	4	70	5	4
5	4,5	3,5	20	4,5	3,5
2,5	4	3	5	4	3
2,25	3	2,5	4,5	3,5	2,5
0,25	2,5		0,5	2,5	

In der Sortieranlage geht die erste Klassifizierung des Schnittholzes vor sich. Für das Verständnis der Logik sei auf das Kapitel Datenaufnahme verwiesen. Die Maschinensteuerung der Sortierung ist wegen der enormen Variantenvielfalt hochkomplex. In Abbildung 11 sind die Schichtetagen der Seitenwarensortierung darstellt.

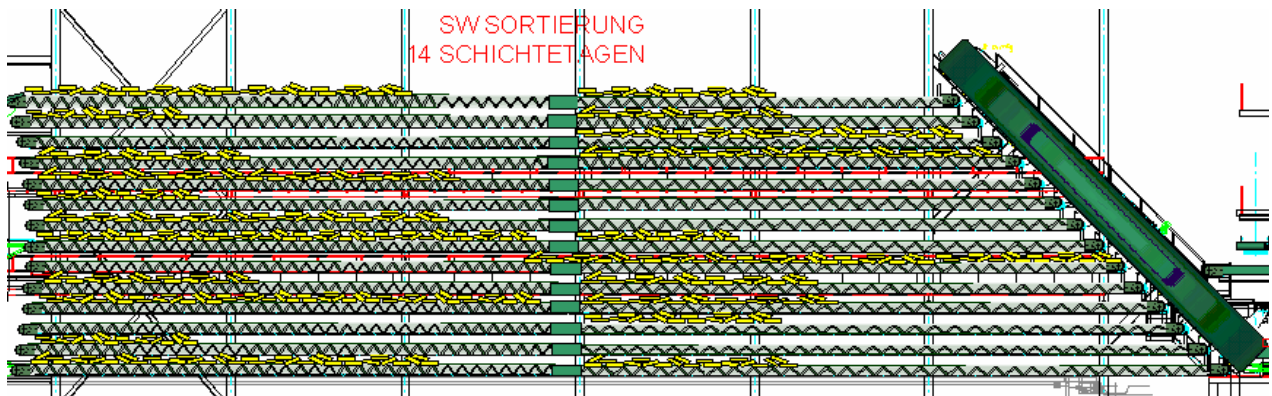


Abbildung 11: Seitenwarensortierung

Nach der Sortierung erfolgt eine nochmalige Ablängung und Paketierung der einzelnen Bretter. Jede Kombination aus Breite und Stärke, sowie Lattungsart, hat eine gewisse Anzahl an Brettern in einer Lage und eine unterschiedliche Lagenzahl für die festgelegte Höhe. In der Abbildung 12 ist die Animation der Paketierung veranschaulicht.

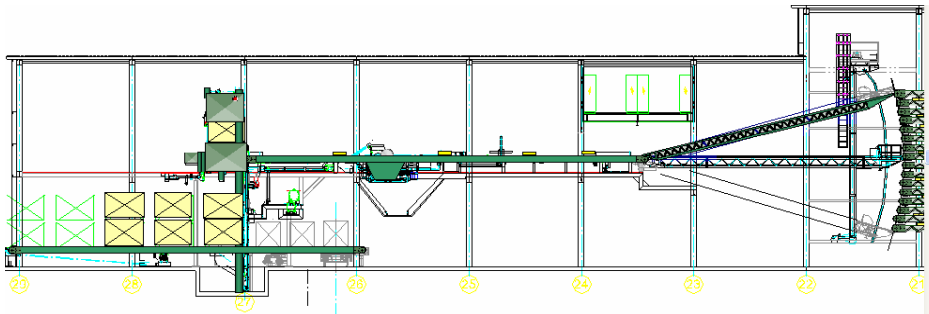


Abbildung 12: Animation - Paketierung

Die folgenden Produktionsschritte sind – unter Berücksichtigung der verschiedenen Flüsse, die entstehen können – in Abbildung 13 dargestellt.

Für den Weitertransport ab der Paketierung ist entscheidend, wie die Ware weiterverarbeitet wird. Ware, die frisch verkauft wird, wird gleich auf das zugehörige Lager transportiert. Für die Lagersteuerung und Platzreservierung sei auf den Abschnitt Lager bei der Datenaufnahme verwiesen. Hauptwaredimensionen und Hobelware werden für die technische Trocknung zu den Trockenkammern transportiert und bei freien Kapazitäten, werden diese auch befüllt. Da aus holzphysikalischen Gegebenheiten nicht unterschiedliche Holzarten, sowie unterschiedliche Stärken, miteinander getrocknet werden können, ergibt sich daraus ein interessantes technoökonomisches Problem der Trockenkammerbefüllung.

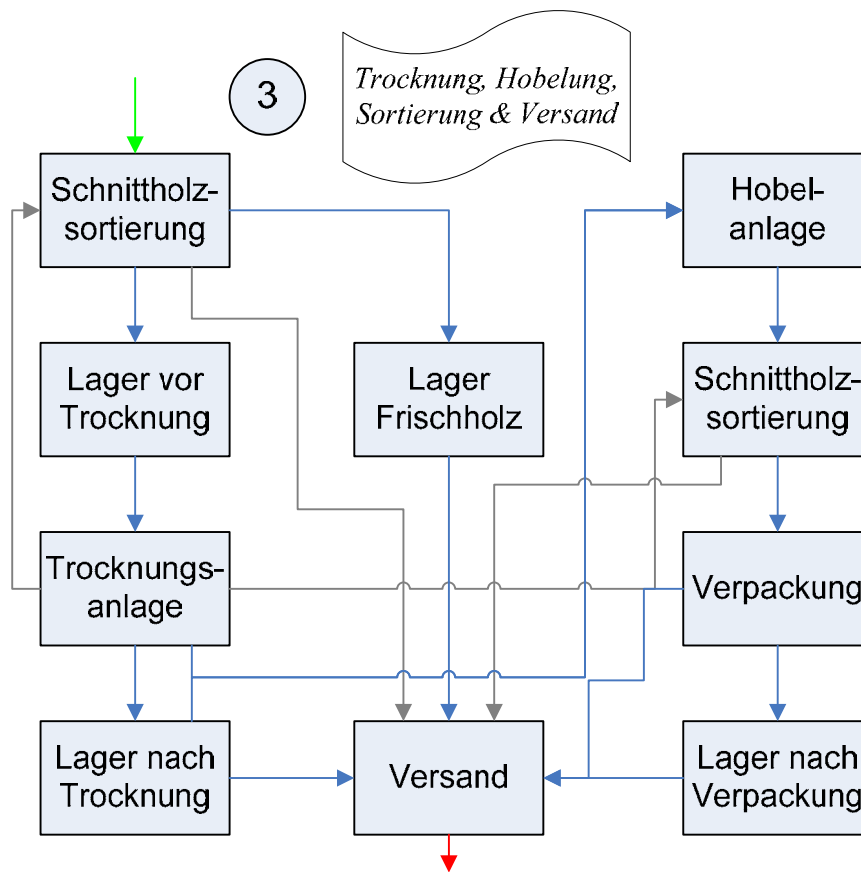


Abbildung 13: Übersicht – Stoffströme (Teil Trocknung bis Versand)

Für die technische Trocknung stehen 33 Trockenkammern zur Verfügung, wobei 30 ein Volumen von 350 m³ aufweisen, die restlichen 3 kleinere Kammern sind.

Neben den Holzarten- und Stärkenrestriktionen, wurden für die Befüllungsheuristik der Trockenkammern alle möglichen Muster bei simultaner Betrachtung der vorhandenen Längen erzeugt. Dieser Ansatz ähnelt dem – in der Literatur bekannten – „Cutting Stock Problem“, wobei durch die Vielzahl an Kombinationen keine exakte Lösung zu erwarten war.

Nach Entleerung der Trockenkammern wird das getrocknete Schnittholz einer nochmaligen Sortierung unterzogen und wieder in die Sortieranlagen eingeschleust. Aufgegeben werden die fertigen Pakete auf der so genannten Fremdaufgabe, die die Ressource als Folge zusätzlich in Anspruch nimmt. Bei völliger Auslastung der Sortieranlage nach der Sägelinie besteht eine weitere Möglichkeit, die Ware der Fremdaufgabe der Hobelung zuzuführen. Da in der Sortierung der Hobelinie nur Hobelware direkt aus dem Prozess anfällt, ist es günstiger sofort die getrocknete Ware primär in diese Sortierung zu fahren. Es erscheint logisch, dass hier weit weniger Schnittholz anfällt, als bei der Auftrennung in der Säge, da weitaus weniger gehobelt als eingeschnitten wird. Es bestehen nun 2 Möglichkeiten im weiteren Produktionsprozess. Die erste ist die getrocknete Ware direkt an das Versandlager zu transportieren, die zweite – im Falle von Hobelware – die Auf-

arbeitung in der Hobelinie. Die Hobelung ist die Anlage mit dem höchsten Vorschub im ganzen Prozess und erzeugt vornehmlich Bauware für den Holz- und Hochbau. Je nach Dimension kann hier ein Vorschub von 300 bis 600 m / min erzielt werden. Abhängig ist dies nicht vom Hobelvorgang an sich, sondern ob das eingebrachte Brett nochmalig aufgetrennt werden muss. Bei besonders starken und breiten Dimensionen ist eine Auftrennung nach der Stärke und Breite möglich. Dieser Umstand verringert sodann den möglichen maximalen Vorschub. Wie bereits erwähnt, wird die gehobelte Ware der anschließenden Sortierung zugeführt. Anders als bei dem Verkauf der trockenen Ware, werden die gehobelten Produkte in eine Verpackungsanlage eingebracht und mit Folie überzogen. Die Verpackung hat den Sinn der Vermeidung von Feuchtigkeit, Schmutz und anderen Mängeln, die beim Transport auftreten können. Nach der Verpackung wird auch diese Ware dem Lager zugeführt.

Die Lagerung der fertigen Schnittholzpakete untersteht einer eigenen Logik, die bereits zu Beginn erläutert wurde. Interessant hierbei ist der Bereich des Versandes. Für den Weitertransport der fertigen Produkte stehen 75 LKWs zur Verfügung, die einerseits auftragsbezogen ihre Ware abholen, andererseits Standardware für Kunden oder für die interne Weiterverarbeitung abholen. Leider ist aufgrund der sehr komplexen Lagerlogistik nicht sofort jeder Auftrag zu finden und somit auch nicht der gewünschte Umschlag gewährleistet. Vor allem der Umschlag für Standardware bzw. für Kunden mit fixen Lieferverträgen kann nicht immer zufrieden stellend umgesetzt werden. Dies war mit ein Grund für die Implementierung einer – für die einzelnen Pakete – ankunftszeitbezogenen Steuerung des Lager in der Simulationsumgebung. Sobald sichergestellt werden kann, dass der genaue Ankunftszeitpunkt eines Paketes am Lagerplatz erfasst wird, kann ein regelmäßiger Umschlag sichergestellt und umgesetzt werden.

Wird nun ein Paket aus dem Lager entnommen und mittels einer Transporteinheit versendet, werden dessen Attribute in eine eigene Excel – Datei exportiert. Es ist so möglich, den Weg des Paketes von der Anlieferung des Rundholzes bis zum Versand anhand dieser Daten zurückzuvollziehen und entsprechende Informationen davon abzuleiten.

3.2 SÄGELEITSTAND

Leitstände dienen der einfacheren und übersichtlichen Kontrolle wichtiger Kennzahlen im Produktionsablauf. Die Ergebnisse des Simulationsmodells werden in Form eines Sägeleitstandes aufbereitet und dargestellt. Die Schaffung eines Leitstandes für die Überwachung der Produktion während eines Simulationsvorganges war ein wichtiges Anliegen für die gesamte Umsetzung des Projektes. Zur Dokumentation der Simulation wurde ein Leitsand mit den Elementen Rundholzplatz, Sägelinie, Sortierung Hauptware & Seitenware, Hobellinie und Lager entwickelt.

Für die Rundholzsortierung wurde der Forderung entsprochen, eine Übersicht aller Polter mit samt deren Festmetervorrat abzubilden (Abbildung 14).

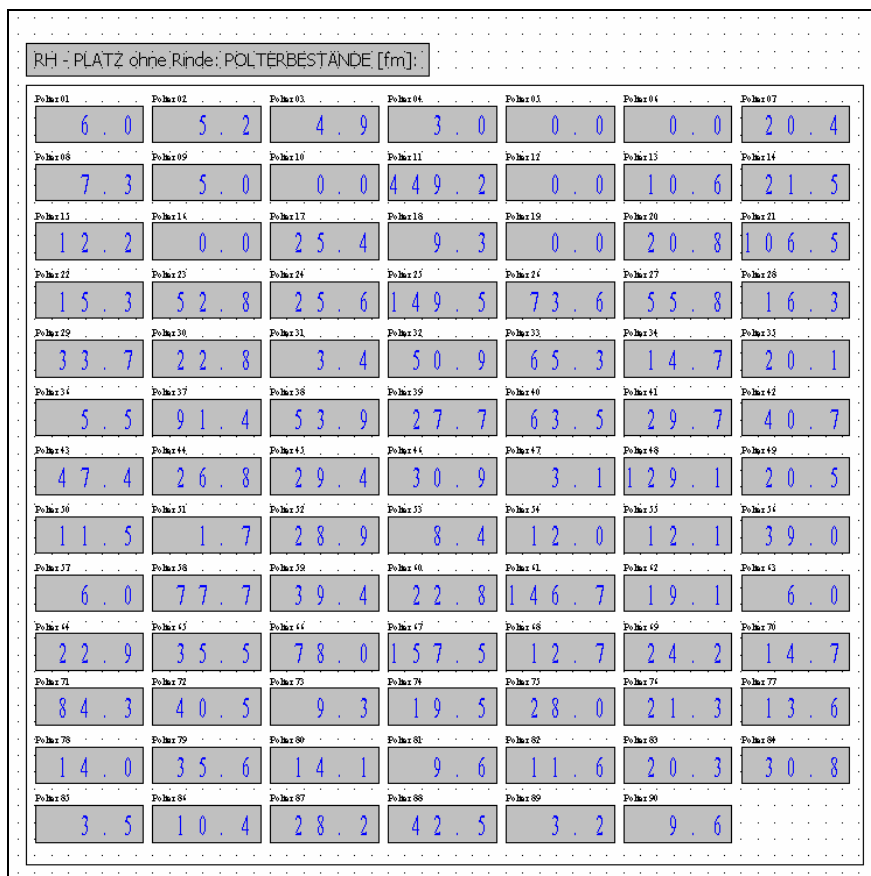


Abbildung 14: Auszug Rundholzsortierung - Sägeleitstand

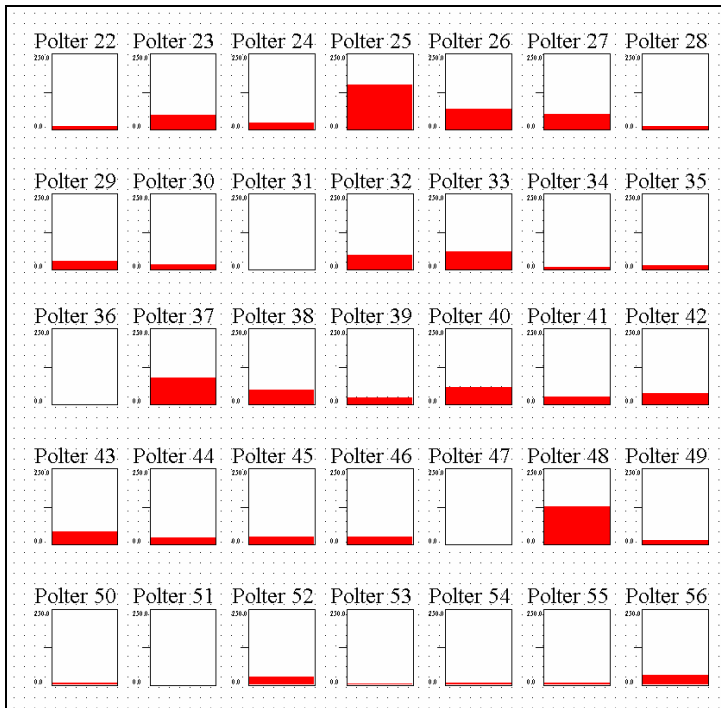


Abbildung 15: Darstellung Polterfüllstände

Auch die Auslastungen der einzelnen Ressourcen – nicht nur bei der Rundholzsortierung – wurden mittels geeigneter „Plots“ und Schaffung von Variablen programmiertechnisch umgesetzt. Die folgenden Abbildungen zeigen derartige Beispiele aus den verschiedenen Produktionsschritten.

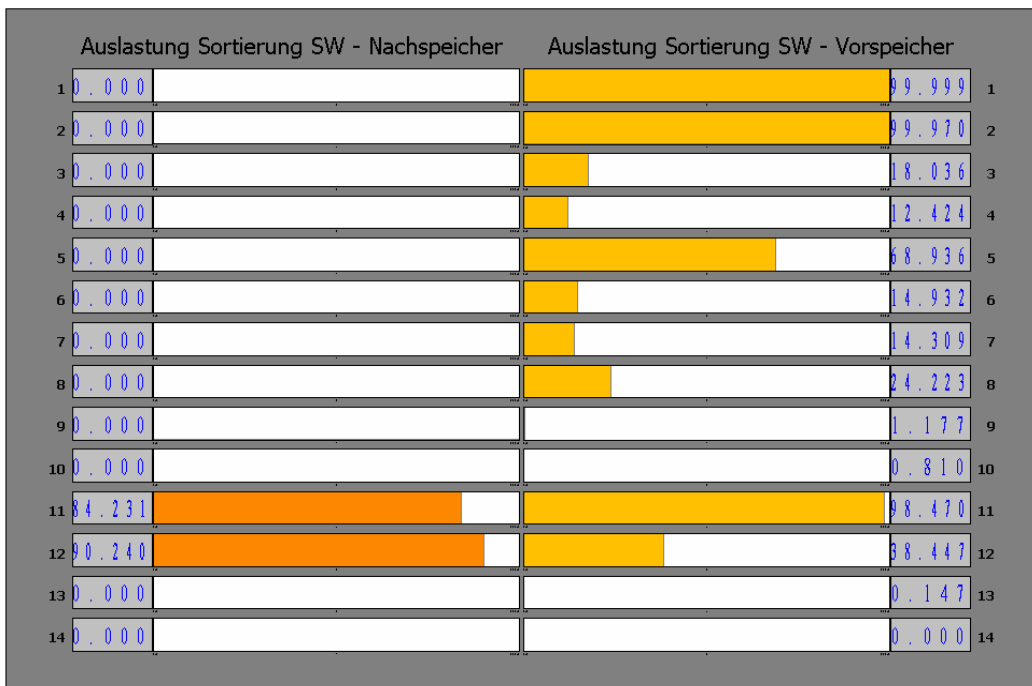


Abbildung 16: Onlineübersicht – Auslastungen Seitenwaresortierung

Die Onlineübersicht der Auslastung der Sortierfächer gibt eine gute Übersicht, in welchem Zustand sich das System gerade befindet, aber auch Aufschlüsse, wie es sich entwickelt. Auch die Anzeige der herrschenden Auslastungen der Sägelinie ist für das Prozessverständnis von enormer Wichtigkeit.

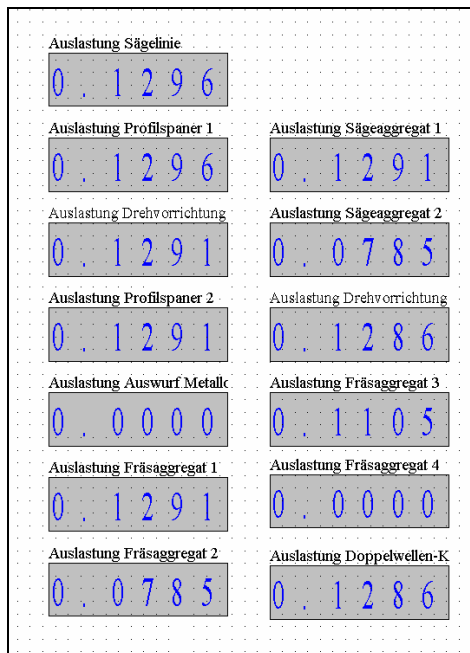


Abbildung 17: Auslastungen Sägelinie

IV PRODUKTIONSPLANUNG

4.1 ENTWICKLUNG EINES MIP-MODELLS FÜR DIE PRODUKTIONSPLANUNG IN SÄGEBETRIEBEN

In diesem Kapitel wird zunächst die Problemstellung der Produktionsplanung des untersuchten Sägewerks erläutert. Durch diese Beschreibung werden die Rahmenbedingungen für das später folgende MIP-Modell festgelegt. Im Anschluss wird einerseits das MIP-Modell formal dargestellt und andererseits auf die Zielfunktion und auf die verschiedenen Nebenbedingungen genau eingegangen. Ziel der Produktionsplanung ist die Deckungsbeitragsoptimierung unter Definition des hierfür nötigen Produktionsprogramms.

Problemstellung – Produktionsplanung für Sägewerke

Das MIP-Modell für die Produktionsplanung soll ermitteln, welche Einschnittsvarianten den maximalen Deckungsbeitrag für das untersuchte Sägewerk, unter Bedacht auf den optimalen Ressourceneinsatz, ergeben. Außerdem müssen, in Abhängigkeit dieser optimalen Einschnittsvarianten, folgende Fragen beantwortet werden:

- Welche Einschnittsvarianten werden in welchem Ausmaß eingeschnitten?
- Welche Nachfrage wird befriedigt?
- Welche Nachfrage kann nicht befriedigt werden?
- Welche Produkte müssen wann gelagert werden um eine später entstehende Nachfrage zu befriedigen?
- Welche Bloche müssen zu welchem Zeitpunkt für eine spätere Produktion gelagert werden?

In den folgenden Absätzen werden die relevanten Einflussparameter des Modells erläutert:

- Nachfrage,
- Zeit,
- Zopfdurchmesserverteilung,
- Rundholzlager,
- Schnittholzlager,

- Produkte,
- Einschnittsvarianten,
- Schnittholz- und Rundholzpreise und
- Rüstkosten.

Nachfrage:

Das untersuchte Sägewerk produziert einerseits für den europäischen und andererseits für den nordamerikanischen Schnittholzmarkt. Aus dieser Kombination ergeben sich die folgenden Rahmenbedingungen. Transportmittel für den europäischen Markt sind überwiegend LKW und Bahn. Durch die Eigenschaften dieser Transportmittel ist für die Schnittholzproduktion eine „Just in Time“ Planung möglich und wird daher auch bevorzugt. Transportmittel für den nordamerikanischen Markt ist das Schiff. Da Schiffe in viel größeren Intervallen verkehren und wesentlich höhere Transportkapazitäten haben, ist eine „Just in Time“ Planung für diesen Markt kaum möglich. Die Produktionsplanung des Sägewerks muss sowohl die europäische, als auch die nordamerikanische Nachfrage berücksichtigen. Diese Tatsache beeinflusst den Faktor Zeit des MIP-Modells erheblich, da sich der Planungshorizont des Modells (für den nordamerikanischen Markt) an der Ablegezeit des Schiffes im Hafen orientieren muss. Um sicherzustellen, dass die Nachfrage diverser Schlüsselkunden des untersuchten Sägewerks jedenfalls befriedigt wird, ist es notwendig, ein Mindestproduktionsvolumen für die Schnittholzerzeugnisse vorzusehen. Die Produkte des amerikanischen Marktes konzentrieren sich vor allem auf die typische Bauware mit den englischen Abmessungen „2 x 2 bis 12“. Die Erzeugnisse für den europäischen Markt stellen Schnittholz in sämtlichen bekannten handelsüblichen Dimensionen dar.

Der Faktor Zeit:

Die Dauer einer Planungsperiode muss kurz genug sein, um den flexibleren Bedürfnissen der europäischen Nachfrage gerecht zu werden und wird daher auf zwei Wochen festgelegt. Nordamerikanische Lieferungen erfolgen im untersuchten Sägewerk alle drei Monate. Der Planungshorizont müsste daher mindestens sechs Perioden beinhalten. In der Tat muss der Planungshorizont jedoch mindestens acht Perioden umfassen. Vor den oben beschriebenen sechs Perioden muss noch die Periode null angehängt werden. In dieser Periode werden die Ausgangslagerbestände von Rund- und Schnittholz festgelegt. Nach den oben beschriebenen sechs Perioden muss auch noch eine weitere Periode angehängt werden. Diese Periode wird benötigt, um die Schnittholznachfrage, die nach dem Planungshorizont entsteht, zu berücksichtigen und die daher zu lagernden Schnittholzerzeugnisse mit anderen Lagerkosten zu bewerten. Eine Produktion bleibt

dem Modell in dieser Periode mangels Produktionskapazitäten verwehrt. Prinzipiell ist es möglich, einen Planungshorizont zu wählen, der mehr als acht Perioden beinhaltet.

Die Zopfdurchmesserverteilung:

Die Abbildung 18 zeigt eine jährliche Zopfdurchmesser – Verteilung des untersuchten Sägewerks. Mit Hilfe dieser Verteilung lassen sich zukünftige praxisnahe Lagerzugänge prognostizieren. Auffällig bei der in der Abbildung dargestellten Verteilung ist der sprunghafte Verlauf bei manchen Durchmessern. Dieser ist bedingt durch die Sortierpolitik des untersuchten Sägewerks, da nach Bedarf größere Durchmesser in Polter mit kleineren Durchmessern gemischt werden, wenn es sich um Mischqualitäten handelt bzw. hier die so genannte Einteilspanne der Boxen größer ist. Nach dem Glauben der Sägeindustrie ist es so einerseits einfacher einen höheren Deckungsbeitrag zu erzielen, da bei Mischqualitäten, der Durchschnittspreis höher ist, als er dem tatsächlichen Sortiment entspricht, andererseits sind gewisse Zopfdurchmesser – aufgrund von höheren Ausbeuten der zugehörigen Schnittmuster – mehr gefragt, als andere. Es muss natürlich auch erwähnt werden, dass nicht unendlich viele Sortierboxen zur Verfügung stehen, um die gesamte Variantenvielfalt des Rohstoffes (Rundholz) in eine jeweils eigene Box abzulegen.

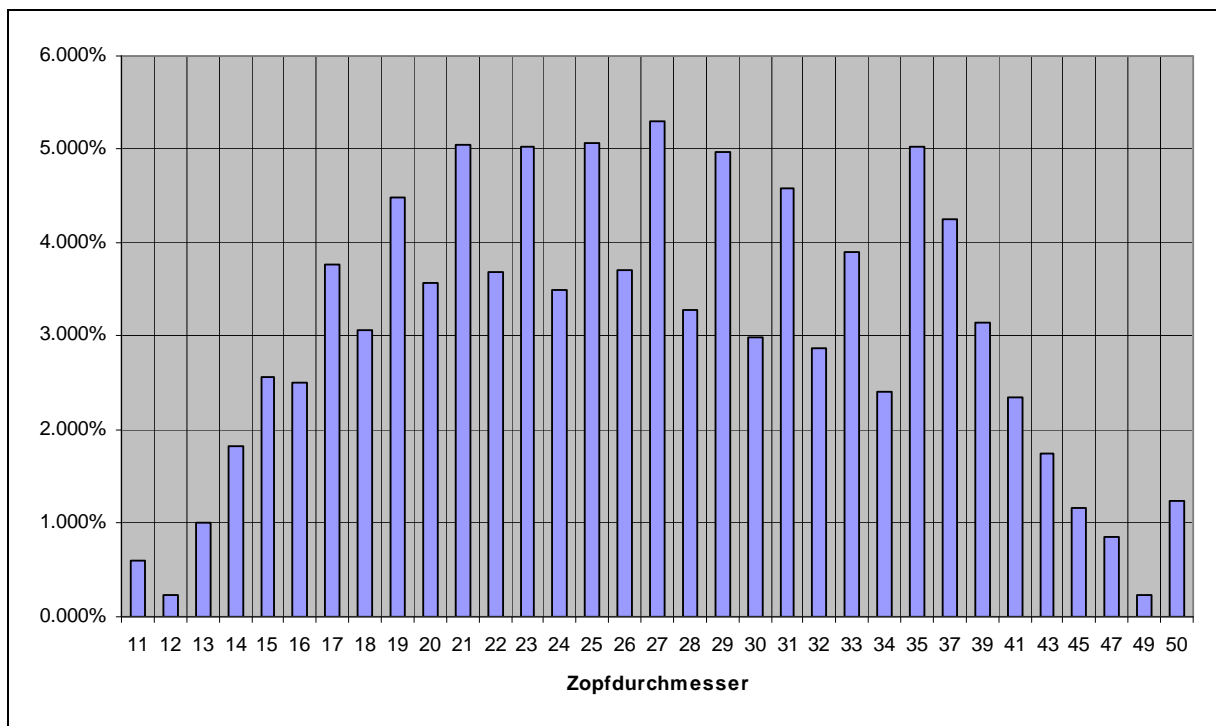


Abbildung 18: Zopfdurchmesserverteilung des untersuchten Sägewerks

Das Rundholzlager:

Die verschiedenen Bloche werden – wie bereits erwähnt – zunächst am Rundholzplatz angeliefert. Danach werden für jeden Bloch die Merkmale Holzart, Zopfdurchmesser, Länge und Qualität ermittelt. Die Bloche werden nach diesen Kriterien sortiert und in dafür vorgesehenen Poltern gelagert. Die Informationen des gesamten Prozesses werden elektronisch erfasst, um die Zopfdurchmesserverteilung, gruppiert nach jeder Holzart, mit den jeweiligen Zopfdurchmessern, Längen und Qualitäten für die Produktionsplanung und Produktionssteuerung bereitzustellen. Je nach Witterung kommt es mit zunehmender Lagerdauer zu einer Qualitätsverschlechterung der Bloche. Dieser Prozess ist sehr komplex und kann daher im Modell nicht berücksichtigt werden. Um diese Qualitätsveränderungen im Rundholzlager zu verhindern, müssen vorab Mindesteinschnittsvolumen je Periode festgelegt werden. Durch die Lagerung der Bloche entstehen beachtliche Zinskosten, bedingt durch das auf Lager liegende gebundene Kapital. Diese Kosten fließen im Modell durch die Rundholzlagerkosten ein.

Schnittholzlager:

Es besteht die Möglichkeit, die eingeschnittenen Erzeugnisse sofort nach der Produktion an den Kunden zu liefern oder sie für eine spätere Lieferung im Schnittholzlager zwischen zu lagern. Durch diese Lagerung entstehen Kosten. Diese sind die vor allem Zinskosten für das gebundene Kapital und werden im Folgenden als Lagerkosten für Schnittholzprodukte bezeichnet.

Produkte:

Die Produktpalette des untersuchten Sägewerks besteht aus rund 400 Produkten. Bei den Produkten eins und zwei handelt es sich um die bei jeder Einschnittsvariante zwangsweise anfallenden Hackschnitzel und Sägespäne. Die Produkte 3 bis 397 sind Schnittholzerzeugnisse mit unterschiedlichsten Querschnitten und Längen. Es ist generell möglich, jedes dieser Produkte in jeder beliebigen Holzart und Qualität zu produzieren.

Einschnittsvarianten:

Einschnittsvarianten (Schnittbilder) werden mit Hilfe eines Computerprogramms erzeugt und gespeichert. Das untersuchte Sägewerk produziert die 397 Produkte mit Hilfe von 658 unterschiedlichen Einschnittsvarianten. Jede dieser Einschnittsvarianten produziert einerseits Hackschnitzel und Sägespäne und andererseits (meist) mehrere andere Schnittholzerzeugnisse. Die Wahl der „optimalen“ Einschnittsvarianten ist eine äußerst komplexe Aufgabe und wird durch

Angebot der Bloche, Nachfrage der Produkte, Einkaufspreise der Bloche und Verkaufspreise der Produkte zusätzlich erschwert. Die Komplexität dieser Wahl soll anhand der Tabelle 3 am Beispiel des Produkts mit der Nummer 51 veranschaulicht werden. Das Produkt kann durch die Anwendung von 14 verschiedenen Einschnittsvarianten produziert werden. Durch die Wahl einer dieser Einschnittsvarianten müssen mindestens zwei zusätzliche Schnittholzprodukte eingeschnitten werden. Werden mehrere dieser Einschnittsvarianten gewählt, können bzw. müssen bis zu 16 andere Schnittholzprodukte gefertigt werden.

Tabelle 3: Produktionsabhängigkeiten des Produkts Nr. 51, zu anderen Produkten

Produkt	Mögliche Einschnittsvarianten	Produkte, die zusätzlich zum Produkt Nr. 51 durch die jeweilige Einschnittsvariante anfallen
51	1.	10 ; 53 ; 133
	2.	10 ; 72 ; 95
	3.	11 ; 57 ; 133
	4.	11 ; 95
	5.	20 ; 57 ; 95
	6.	25 ; 57 ; 95
	7.	25 ; 73 ; 100
	8.	27 ; 57 ; 73
	9.	27 ; 94
	10.	27 ; 95
	11.	35 ; 100 ; 133
	12.	53 ; 60 ; 73
	13.	57 ; 66 ; 119
	14.	61 ; 73 ; 100

Bei der Wahl der „optimalen“ Einschnittsvarianten müssen nicht nur die Abhängigkeiten eines Produktes, sondern die Abhängigkeiten aller Produkte berücksichtigt werden. Zusammenfassend können zu den Einschnittsvarianten des untersuchten Sägewerks folgende Aussagen bezüglich dieser Abhängigkeiten gemacht werden:

- Durchschnittlich kann jedes Schnittholzprodukt aus $7,2^6$ unterschiedlichen Einschnittsvarianten gefertigt werden.
- Durch die Produktion eines Produktes können durchschnittlich bis zu $6,75^7$ andere Produkte gefertigt werden.
- Durch die Produktion eines Produktes müssen durchschnittlich mind. $2,16^8$ andere Produkte gefertigt werden.

⁶ Exkl. Hackgut und Sägespäne.

Schnittholz- und Rundholzpreise:

Die Rundholz- und Schnittholzpreise können für den gewählten Planungshorizont als konstant angesehen werden. Um die Rechenzeit des Modells nicht unnötigerweise beträchtlich zu vergrößern, werden Rund- und Schnittholz daher mit Durchschnittspreisen bewertet.

Rüstkosten:

Rüstkosten, bedingt durch benötigte Rüstzeiten, entstehen nicht zwangsläufig durch die Wahl einer (neuen) Einschnittsvariante. Rüstkosten treten auf, wenn sich entweder die Dimension der Hauptware und oder die Stieligkeit der Hauptware ändert. Die Abbildung 19 veranschaulicht, anhand einfacher Schnittbilder, wann Rüstkosten entstehen.

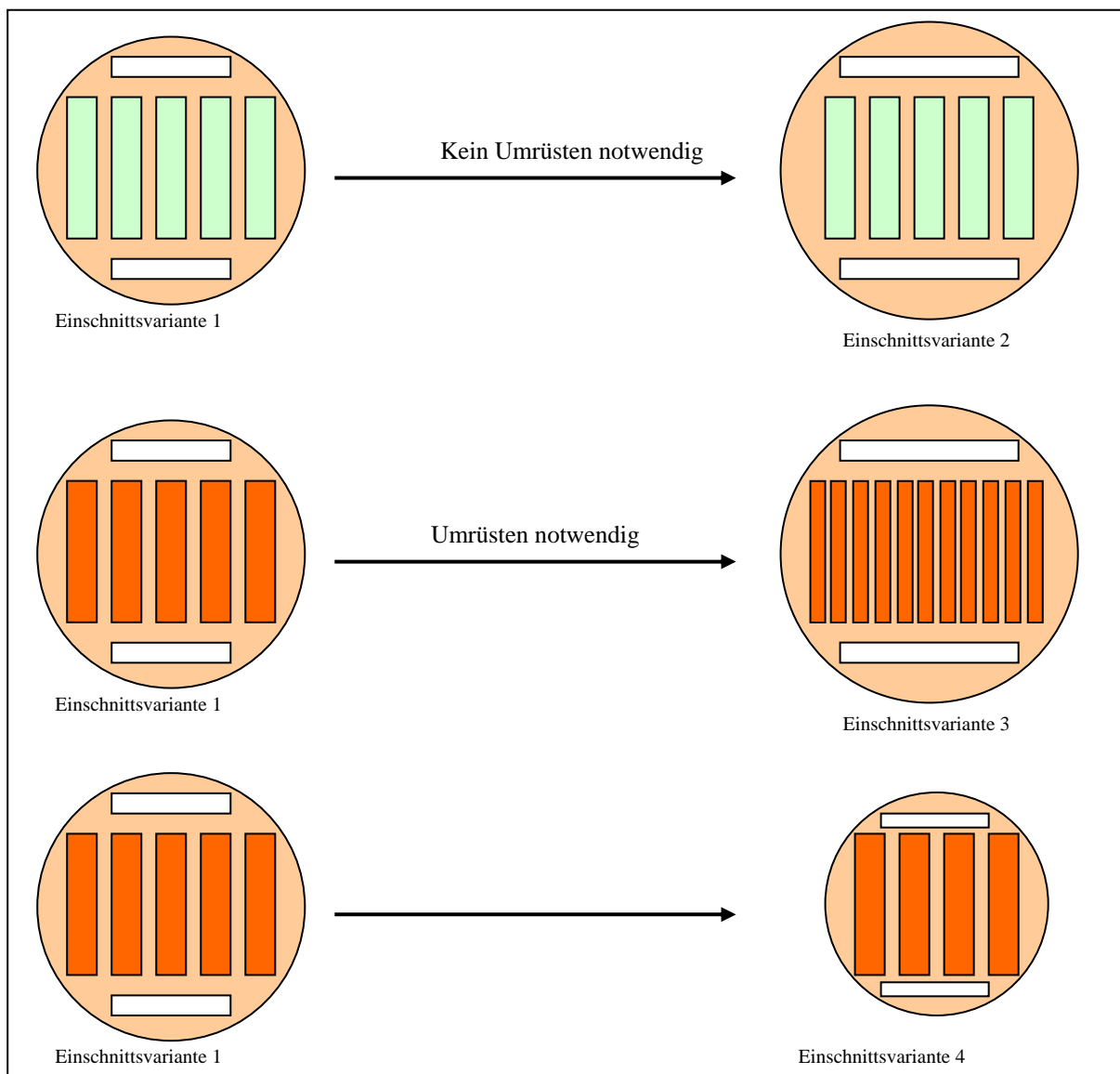


Abbildung 19: Entstehung von Rüstkosten

⁷ Exkl. Hackgut und Sägespäne.

⁸ Exkl. Hackgut und Sägespäne.

Bei einer Änderung des Produktionsprogramms von Einschnittsvariante eins auf Einschnittsvariante zwei entstehen keine Rüstkosten (Rüstzeiten), da sich weder die Dimension noch die Stieligkeit der Hauptware ändert. Im Falle einer Änderung von Einschnittsvariante eins auf Einschnittsvariante drei entstehen Rüstkosten (Rüstzeiten). Hier ändert sich sowohl die Dimension als auch die Stieligkeit der Hauptware. Ändert sich das Produktionsprogramm von Einschnittsvariante eins auf Einschnittsvariante drei, entstehen Rüstkosten (Rüstzeiten), da die Stieligkeit der Hauptware bei diesen Einschnittsvarianten nicht gleich ist. Es ist daher sinnvoll, Einschnittsvarianten in Einschnittsgruppen aufzuteilen. Die Einschnittsvarianten eins und zwei wären demnach in der gleichen Gruppe, die Varianten drei und vier in anderen Einschnittsgruppen. Rüstkosten für eine Einschnittsgruppe entstehen daher nur, wenn mindestens eine Einschnittsvariante dieser Gruppe eingeschnitten wird.

Stand der Forschung:

Im folgenden Abschnitt wird eine Abgrenzung des hiesigen Modells mit anderen Arbeiten in diesem Bereich dargestellt. Allgemein kann an dieser Stelle festgehalten werden, dass sich diese Unterschiede aus der Analyse der Bedürfnisse des untersuchten Sägewerks ergeben.

Maness und Norton (2002) entwickelten in Ihrer Arbeit ein periodenübergreifendes Produktionsplanungsmodell für die Sägeindustrie von British Columbia. Die wesentlichsten Unterschiede zwischen der Arbeit von Maness und Norton und dem Produktionsplanungsmodell dieser Arbeit sind wie folgt:

Bei Maness und Norton wird der zukünftige Lagerbestand (Angebot) der Bloche durch die gewählten Einschnittsvarianten der Vorperioden **nicht** verringert. Das bedeutet, die Lagerbestände der Bloche werden zu Beginn für jede Periode determiniert und sind daher für das Modell keine Entscheidungsvariable. Im Modell von Maness und Norton ist daher die auf Lager liegende Zopfdurchmesser-Verteilung eine konstante Größe. Das Modell dieser Arbeit geht jedoch davon aus, dass die zukünftige auf Lager liegende Zopfdurchmesser-Verteilung stark durch ein vorangegangenes Produktionsprogramm beeinflusst wird und damit auch die Ausgangsposition für zukünftige Produktionsprogramme.

Bei Maness und Norton sind für die Nichterreicherung als auch andererseits für die Übererfüllung der Marktnachfrage Kosten bzw. Strafen vorgesehen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde von solchen Kosten abgesehen, da die Analyse des untersuchten Sägewerks ergeben hat, dass diese Kosten für das Sägewerk nicht ermittelbar sind.

Maness und Norton sehen eine Produktion mit mehreren parallel arbeitenden Produktionslinien vor. Dies wäre auch in diesem Modell durch die Einführung eines weiteren Index möglich. Das untersuchte Sägewerk hat jedoch nur eine Produktionslinie.

Das Modell von Maness und Norton wertet Schnittholzprodukte, in Abhängigkeit ihrer Lagerdauer ab. Auch diese Kosten sind für das untersuchte Sägewerk nicht ermittelbar.

Das Modell von Mendoza und Meimban (1991) ist als eine operative Entscheidungshilfe der Einschnittsoptimierung anzusehen, da es den Deckungsbeitrag nur für eine Periode maximiert. Es ist somit nicht periodenübergreifend. Dies ist der wesentlichste Unterschied zwischen dem Modell von Mendoza und Meimban und dieser Arbeit. Außerdem berücksichtigen auch Mendoza und Meimban nicht die Möglichkeit von zusätzlichen variablen Kosten der Sägeprodukte, welche erst nach dem Einschnitt auftreten. Diese Kosten können z. B. durch eine nachgelagerte Trocknung oder Oberflächenveredelung von Schnittholzprodukten entstehen.

Der Ansatz Yanasses (1997) beschäftigt sich mit einem aus der Lösung des Modells dieser Arbeit resultierenden Problems. Nach der Entscheidung, welcher Mix von Einschnittsvarianten den optimalen Deckungsbeitrag ergibt, stellt sich die Frage, in welcher Reihenfolge diese im Sägewerk eingeschnitten werden sollen.

4.2 FORMALE BESCHREIBUNG DES OPTIMIERUNGSMODELLS

Im Rahmen der formalen Beschreibung des Optimierungsmodells werden nun die dafür notwendigen Indizes, Parameter, Entscheidungsvariablen, die Zielfunktion und die Nebenbedingungen detailliert beschrieben.

Indizes:

Produkte	P	=	{p 1,...,p_max}
Qualität	Q	=	{q 1,...,q_max}
Holzart	H	=	{h 1,...,h_max}
Einschnittsvariante	E	=	{e 1,...,e_max}
Einschnittsgruppen	G	=	{g 1,...,eg_max}
Perioden	T	=	{t t_a,...,t_e}
Zopfdurchmesser	D	=	{d 1,...,d_max}

Parameter:

A_{pe}	Ausbringung (in m ³) vom Produkt p bei der Anwendung eines Fm der Einschnittsvariante e
A_{de}	Ausbringungszuweisung (0 oder 1) 1 wenn die Einschnittsvariante e dem Durchmesser d zugewiesen ist.
A_{ge}	Ausbringungszuweisung (0 oder 1) 1 wenn die Einschnittsvariante e der Einschnittsgruppe g zugewiesen ist.
N_{phqt}	Nachfrage (in m ³) vom Produkt p der Holzart h mit der Qualität q am Ende der Periode t
VK_{phq}	Variablen Kosten (€/m ³ für z.B.: Trocknung, Oberflächenbehandlung...) vom Produkt p der Holzart h mit der Qualität q
NVP_{phq}	Nettoverkaufspreis (€/m ³) vom Produkt p der Holzart h mit der Qualität q (Durchschnittspreis von t_a bis t_e)
LZ_{dhqt}	Lagerzugang (fm) vom Durchmesser d , der Holzart h , mit Qualität q in der Periode t
LK_d	Lagerkosten (€/fm) für den Durchmesser d für eine Periode
LK_p	Lagerkosten (€/m ³) für das Produkt p für eine Periode
K_{dhq}	Einkaufspreis (€/m ³) des Durchmessers d der Holzart h mit der Qualität q

RZ	Rüstzeit (Std) pro (verwendeter) Einschnittsgruppe in einer Periode
MBZ_{ed}	Maschinenbelegungs-Zeit (Std/fm) der Einschnittsvariante e am Durchmesser d
BTZ_t	Max. Betriebszeit (Std) der Anlage in der Periode t .
M	Eine große Zahl (=1,00E+06). Annahme: $\max(FME_{edhqt}) < 1,00E + 06$
\min_{dhqt}	Mindesteinschnitt vom Durchmesser d der Holzart h mit der Qualität q in der Periode t
\min_{phqt}	Mindestproduktion vom Produkt p der Holzart h mit der Qualität q in der Periode t

Entscheidungsvariablen:

FME_{ehqt}	fm der verwendeten Einschnittsvarianten e der Holzart h mit der Qualität q in der Periode t
NBN_{phqt}	Nichtbefriedigte Nachfrage (in m ³) vom Produkt p der Holzart h mit der Qualität q am Ende der Periode t
LB_{dhqt}	Lagerbestand (fm) vom Durchmesser d , der Holzart h mit der Qualität q am Ende der Periode t
LB_{phqt}	Lagerbestand (m ³) vom Produkt p der Holzart h mit der Qualität q am Ende der Periode t
X_{gt}	Binärvariable $\begin{cases} \rightarrow 1 \text{ wenn } \sum_d \sum_h \sum_q FME_{edhqt} * A_{ge} > 0 \\ \rightarrow 0 \text{ sonst} \end{cases}$

Die Modellformulierung lautet:

Maximiere

$$\begin{aligned}
& \sum_{t \in T} \sum_{p \in P} \sum_{e \in E} \sum_{h \in H} \sum_{l \in L} \sum_{q \in Q} (A_{-P_{pe}} * FME_{ehqt} + LB_{phqt-1} - LB_{phqt}) * NVP_{phq} \\
& \sum_{t \in T} \sum_{p \in P} \sum_{e \in E} \sum_{h \in H} \sum_{q \in Q} A_{-P_{pe}} * FME_{ehqt} * VK_{phq} - \\
& \sum_{t \in T} \sum_{d \in D} \sum_{h \in H} \sum_{q \in Q} LB_{dhqt} * LK_d - \sum_{t \in T} \sum_{p \in P} \sum_{h \in H} \sum_{q \in Q} LB_{phqt} * LK_p - \\
& \sum_{t \in T} \sum_{q \in Q} \sum_{d \in D} \sum_{h \in H} \sum_{e \in E} FME_{ehqt} * A_{-D_{de}} * K_{dhq}
\end{aligned} \tag{4.1}$$

unter den Nebenbedingungen:

$$\begin{aligned}
NBN_{phqt} - LB_{phqt} &= N_{phqt} - \left(\sum_{e \in E} A_{-P_{pe}} * FME_{ehqt} + LB_{phqt-1} \right) \\
&\forall t \in T, p \in P, h \in H, q \in Q
\end{aligned} \tag{4.2}$$

$$\begin{aligned}
NBN_{phqt} &\geq 0 \\
&\forall t \in T, p \in P, h \in H, q \in Q
\end{aligned} \tag{4.3}$$

$$\begin{aligned}
LB_{phqt} &\geq 0 \\
&\forall t \in T, p \in P, h \in H, q \in Q
\end{aligned} \tag{4.4}$$

$$\begin{aligned}
\sum_{e \in E} \sum_{h \in H} \sum_{q \in Q} FME_{ehqt} * MBZ_e + \sum_{g \in G} X_{gt} * RZ &\leq BTZ_t \\
&\forall t \in T
\end{aligned} \tag{4.5}$$

$$\begin{aligned}
LB_{dhqt} &= LB_{dhqt-1} + LZ_{dhqt-1} - \sum_e FME_{ehqt} * A_{-D_{de}} \\
&\forall t \in T, d \in D, h \in H, q \in Q
\end{aligned} \tag{4.6}$$

$$\begin{aligned}
FME_{ehqt} &\geq 0 \\
&\forall t \in T, e \in E, h \in H, q \in Q
\end{aligned} \tag{4.7}$$

$$\begin{aligned}
\sum_{e \in E} \sum_{q \in Q} \sum_{h \in H} FME_{ehqt} * A_{-G_{ge}} &\leq X_{gt} * M \\
&\forall g \in G, t \in T
\end{aligned} \tag{4.8}$$

$$\begin{aligned}
X_{gt} &\in \{0,1\} \\
&\forall g \in G, t \in T
\end{aligned} \tag{4.9}$$

$$\sum_{e \in E} A_{-P_{pe}} * FME_{ehqt} \geq \min_{phqt} \quad (4.10)$$

$$\forall t \in T, p \in P, h \in H, q \in Q$$

$$\sum_{e \in E} A_{-D_{de}} * FME_{ehqt} \geq \min_{dhqt} \quad (4.11)$$

$$\forall t \in T, d \in D, h \in H, q \in Q$$

$$LB_{dhqt} \geq 0 \quad (4.12)$$

$$\forall t \in T, d \in D, h \in H, q \in Q$$

Die Zielfunktion:

In der Zielfunktion wird der Deckungsbeitrag maximiert. Der Deckungsbeitrag bildet sich aus:

Nettoerlös

$$\sum_{t \in T} \sum_{p \in P} \sum_{\theta \in E} \sum_{h \in H} \sum_{q \in Q} (A_{-P_{pe}} * FME_{ehqt} + LB_{phqt-1} - LB_{phqt}) * NVP_{phq}$$

- Variablen Kosten (Trocknung, Nachbearbeitung etc.)

$$\sum_{t \in T} \sum_{p \in P} \sum_{\theta \in E} \sum_{h \in H} \sum_{q \in Q} A_{-P_{pe}} * FME_{ehqt} * VK_{phq}$$

- Lagerkosten der Bloche

$$\sum_{t \in T} \sum_{d \in D} \sum_{h \in H} \sum_{q \in Q} LB_{dhqt} * LK_d$$

- Lagerkosten der Produkte

$$\sum_{t \in T} \sum_{p \in P} \sum_{h \in H} \sum_{q \in Q} LB_{phqt} * LK_p$$

- Materialkosten der Bloche

$$\sum_{t \in T} \sum_{q \in Q} \sum_{d \in D} \sum_{h \in H} \sum_{e \in E} FME_{ehqt} * A_{-D_{de}} * K_{dhq}$$

Der Nettoerlös wird durch das Volumen (m^3) der Produkte, die je Periode verkauft werden können und durch den Nettoverkaufspreis dieser Produkte determiniert. Das Volumen der zu verkauften Produkte, je Periode, ergibt sich aus:

Der Produktion ($A_{pe} * FME_{ehqt}$),
dem Lagerbestand am Ende der Vorperiode (LB_{phqt-1}),
und dem Lagerbestand am Ende der Periode (LB_{phqt}).

Die Lagerkosten der Produkte bzw. der Bloche werden durch den Lagerbestand am Ende der Periode (LB_{phqt} bzw. LB_{dhqt}) und durch die Lagerkosten für eine Periode (LK_p bzw. LK_d) bestimmt.

Da die Entscheidungsvariable FME_{ehqt} keinen Bezug auf die dafür benötigten Bloche und deren Durchmessern herstellt, benötigt das MIP-Modell die Zuweisungsvariable A_{de} um die das Einschnittsvolumen in Festmeter je Durchmesser zu ermitteln. Die Materialkosten ergeben sich daher aus der Multiplikation des Einschnittsvolumen mit der Zuweisungsvariable ($FME_{ehqt} * A_{de}$) und mit den Kosten K_{dhqt} des jeweiligen Durchmessers mit der jeweiligen Qualität und der jeweiligen Holzart.

Die Nebenbedingungen:

Die Nebenbedingungen (4.2) – (4.4) haben die Aufgabe, die nichtbefriedigte Nachfrage (NBN_{phqt}) bzw. den Lagerbestand (LB_{phqt}) jedes Produktes am Ende jeder Periode zu ermitteln. Nichtbefriedigte Nachfrage entsteht, wenn die Nachfrage durch die Produktion (abhängig von den gewählten Einschnittsvarianten) und durch den Lagerbestand der Vorperiode nicht erfüllt werden kann. Lagerbestand hingegen entsteht, wenn die Produktion und der Lagerbestand der Vorperiode, bedingt durch die gewählten Einschnittsvarianten (FME_{ehqt}), größer sind als die Nachfrage. Die Kombination der Nebenbedingungen (4.2) bis (4.4) stellen sicher, dass entweder eine nichtbefriedigte Nachfrage oder ein Lagerbestand oder keines von beiden auftritt. Da die Entscheidungsvariablen, Produktionsvolumen, Lagerbestand der Vorperiode und der Lagerbestand in den Nettoerlös der Zielfunktion einfließen, ist das Verkaufsvolumen der Produkte immer kleiner oder gleich der Nachfrage.

Die Restriktion (4.5) stellt sicher, dass die benötigten Maschinenbelegungszeiten, bedingt durch die gewählten Einschnittsvarianten (FME_{ehqt}), und die benötigten Rüstzeiten der in Abhängigkeit der gewählten Einschnittsgruppen (determiniert durch die gewählten Einschnittsvarianten), die zur Verfügung stehende Betriebszeit je Periode nicht überschreiten.

Die Nebenbedingung (4.6) kann als „Bloch-Lagergleichung“ bezeichnet werden. Diese wird durch Lagerbestand der Vorperiode, Lagerzugang und benötigten Festmeter durch die gewählten Einschnittsvarianten (FME_{ehqt}), charakterisiert.

Wenn eine Einschnittsvariante (FME_{ehqt}) benötigt wird, dann hat die Nebenbedingung (4.8) die Aufgabe, dass die zu dieser Einschnittsvariante (FME_{ehqt}) gehörende Binärvariable (X_{gt}) den Wert „1“ bekommt. Die Summe dieser Binärvariable $\left(\sum_{g \in G} X_{gt} \right)$ bestimmt in der Nebenbedingung vier, wie viele Einschnittsgruppen in einer Periode benötigt werden und somit die Rüstzeit je Periode.

Die Nebenbedingung (4.10) zwingt das Modell, eine definierte Mindestmenge ausgewählter Produkte je Periode zu produzieren. Durch diese Nebenbedingung wird sichergestellt, dass die Nachfrage von Schlüsselkunden immer befriedigt werden kann.

Die Nebenbedingung (4.11) hat zur Aufgabe, dass in jeder Periode ein festgelegtes Volumen an Blochen des Durchmessers d der Holzart h der Qualität q eingeschnitten werden muss. Dadurch kann eine lange, zu Qualitätsverlusten führende Lagerung einzelner Blochdurchmesser verhindert werden.

Mit Hilfe der Nebenbedingung (4.12) werden negative Lagerbestände der Bloche verhindert.

4.3 IMPLEMENTIERUNG

Die Implementierung der, für die Validierungstests und der numerischen Studien, notwendigen Strukturen erfolgte mit den EDV-Programmen Microsoft Excel 2003, Microsoft Access 2003 und dem Solverprogramm Xpress von Dash Optimization. In welcher Art und Form diese Programme verwendet wurden, wird nun im Folgenden erläutert. Wie die einzelnen Softwarepakete zusammenarbeiten und wo die genauen Schnittstellen vorhanden sind, ist aus der folgenden Grafik ersichtlich.

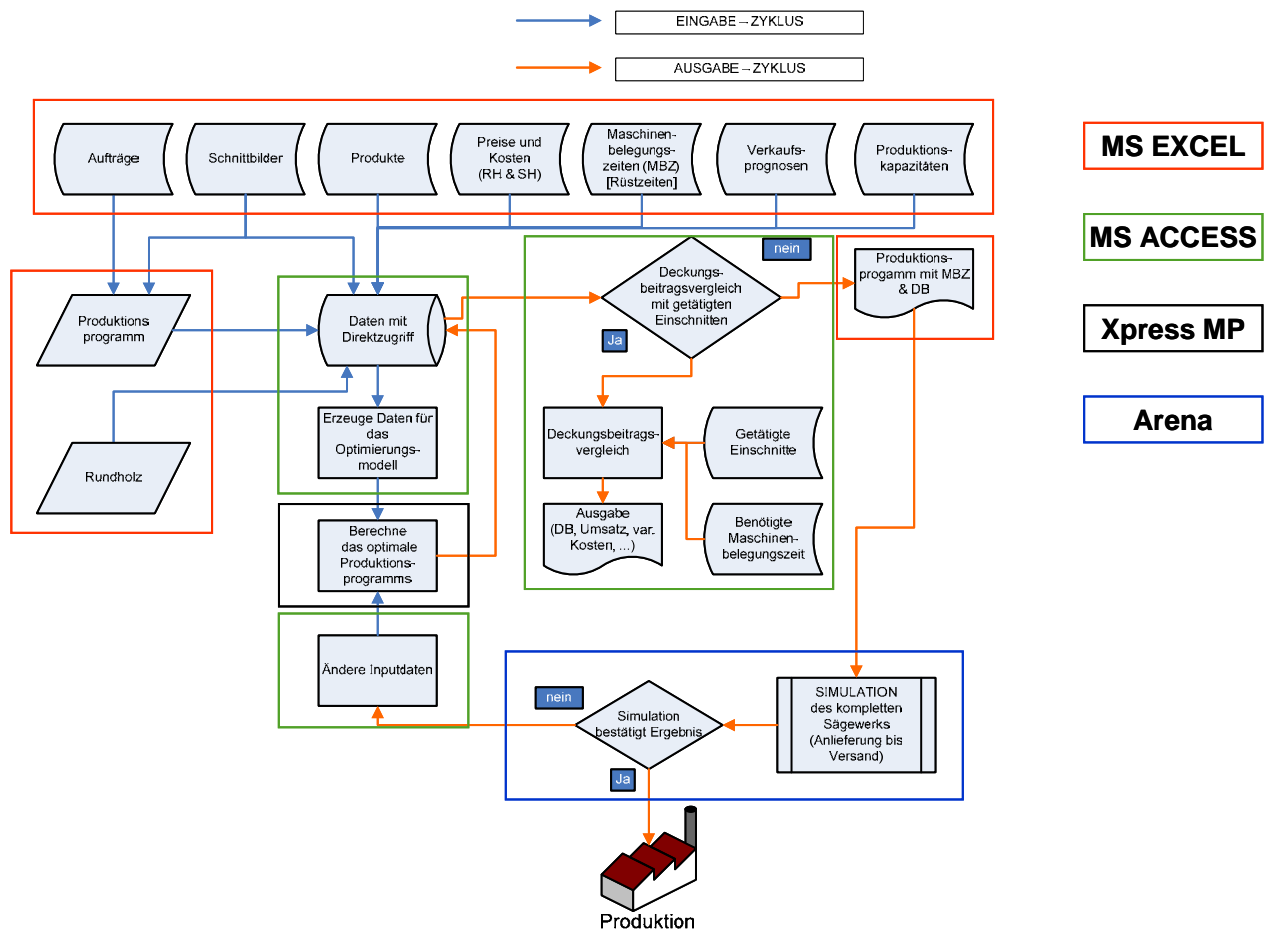


Abbildung 20: Zusammenspiel der einzelnen Programme

Die optimale Lösung der zu verwendenden Einschnittsvarianten (in Festmeter) wurde zunächst mit Xpress-Mosel von Dash Optimization ermittelt. Um die Plausibilität des Optimierungsmodells zu überprüfen, wurden mit Hilfe von Excel folgende, die sich durch die Lösung ergebenden Parameter dargestellt:

- Maschinenbelegung der jeweiligen Einschnittsvariante,
- Lagerbestand der Bloche,
- Lagerbestand der Produkte,
- Produktionsmenge der Produkte,
- nichtbefriedigte Nachfrage der Produkte,
- Nachfrage der Produkte,
- variable Kosten der Produkte,
- variable Kosten der Bloche,
- Erlöse der Produkte,
- Lagerkosten der Bloche und
- Lagerkosten der Produkte.

Um die Eingabe der Daten und die Darstellung der Ergebnisse dynamisch an jede mögliche Ausgangssituation (Anzahl von: Produkten, Holzarten, Qualitäten, Perioden, Zopfdurchmesser, Einschnittsvarianten) anzupassen, ist es sinnvoll, alle benötigten Tabellen, deren Struktur und Formeln, mit einem „VBA-Makro“ zu erstellen (in Abhängigkeit der gewählten Parameter: Produkte, Holzarten, Qualitäten, Perioden, Zopfdurchmesser, Einschnittsvarianten). Die Abbildung 21 zeigt einen Überblick über die in Excel erstellte Tabellenstruktur und die Abhängigkeiten zwischen den Tabellen.

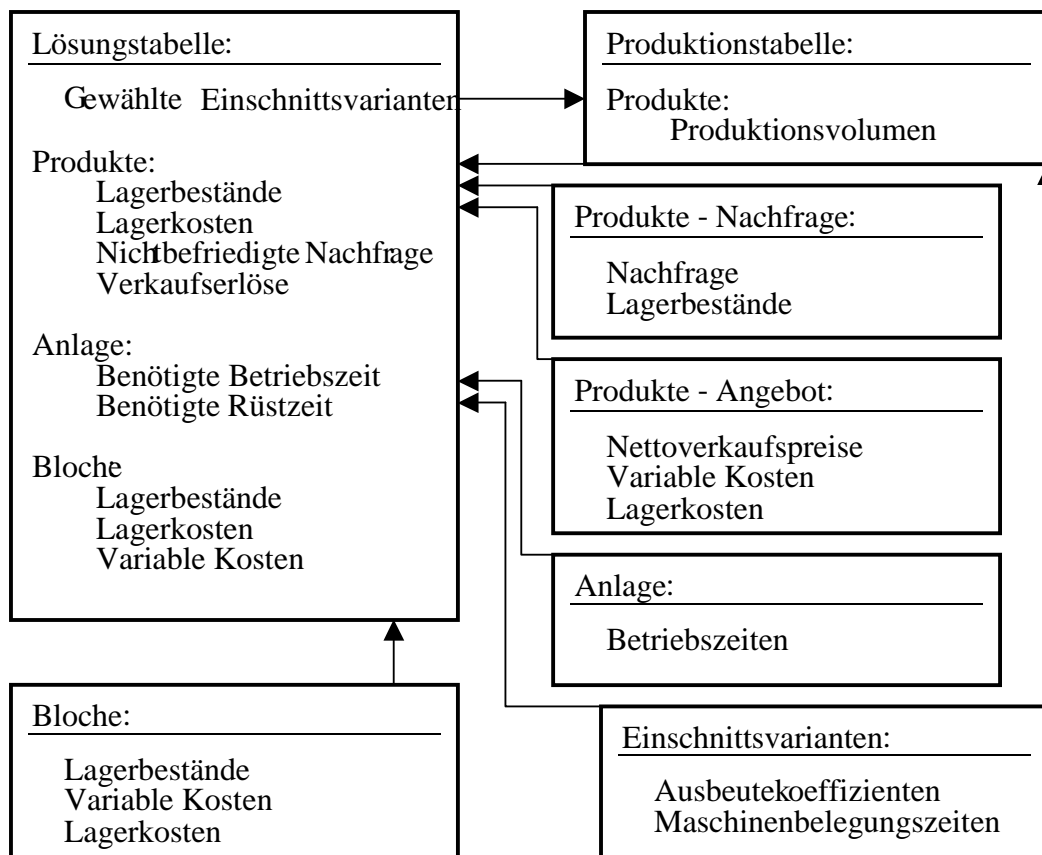


Abbildung 21: Tabellenstruktur zur Visualisierung einer Lösung

Die von Xpress ermittelten optimalen Einschnittsvarianten werden in die Lösungstabelle eingefügt. Mit diesen Einschnittsvarianten und den Ausbeutekoeffizienten aus der Tabelle Einschnittsvarianten wird das Produktionsvolumen der einzelnen Produkte in der Produktionstabelle ermittelt. In der Lösungstabelle werden mit den Daten aus den Tabellen „Produktion“, „Produkte – Nachfrage“ und „Produkte – Angebot“ die Lagerbestände, die Lagerkosten, die nichtbefriedigte Nachfrage und die Verkaufserlöse der Produkte ermittelt. Die Lagerbestände, die Lager- und variablen Kosten der Bloche werden mit den Daten der Tabelle „Bloche“ und den gewählten Einschnittsvarianten berechnet. Die benötigte Betriebszeit ergibt sich aus dem Volumen der gewählten Einschnittsvarianten und den Maschinenbelegungszeiten aus der Tabelle „Einschnittsvarianten“.

Da Daten der unterschiedlichen Testszenarien in die oben beschriebenen Tabellen eingegeben und die optimale Lösung, in Abhängigkeit dieser Daten, mit Xpress ermittelt wurden, hat es sich als nützlich erwiesen, auch die Generierung des Xpress-Programm-Codes mit Hilfe eines VBA-Makros zu erstellen und über die Zwischenablage von Windows in Xpress-Mosel einzufügen. Die von Xpress ermittelte optimale Lösung (gewählten Einschnittsvarianten) wurde auch über

die Zwischenablage kopiert, konvertiert⁹ und an der richtigen Stelle in die Lösungstabelle eingefügt.

Im Zeitraum, in dem diese Arbeit entwickelt wurde ist, wider ursprünglicher Annahmen, die Anzahl der Einschnittsvarianten beim untersuchten Sägewerk auf über 256 erhöht worden. Da Tabellen von Microsoft Excel jedoch mit 256 Spalten begrenzt sind, ist eine Validierung der Ergebnisse mit oben beschriebener Tabellenstruktur nicht möglich. Aus diesem Grund musste für die Validierung des Modells eine Microsoft Access Datenbank entwickelt werden. Diese Datenbank wird im nun Folgenden dargestellt.

Die unter Microsoft Access erstellte Datenbank bietet einerseits eine gute Möglichkeit, die umfangreichen, für die Modellvalidierung notwendigen, Daten (7644 Datensätze) übersichtlich zu speichern und darzustellen. Andererseits kann durch die Beziehungen von Schlüssel- und Fremdschlüsselfeldern und durch geeignete Abfragen die von Xpress ermittelte optimale Lösung des Modells überprüft und validiert werden. Die Abbildung 22 zeigt die für die Modellvalidierung notwendigen Tabellen und deren Beziehung(en).

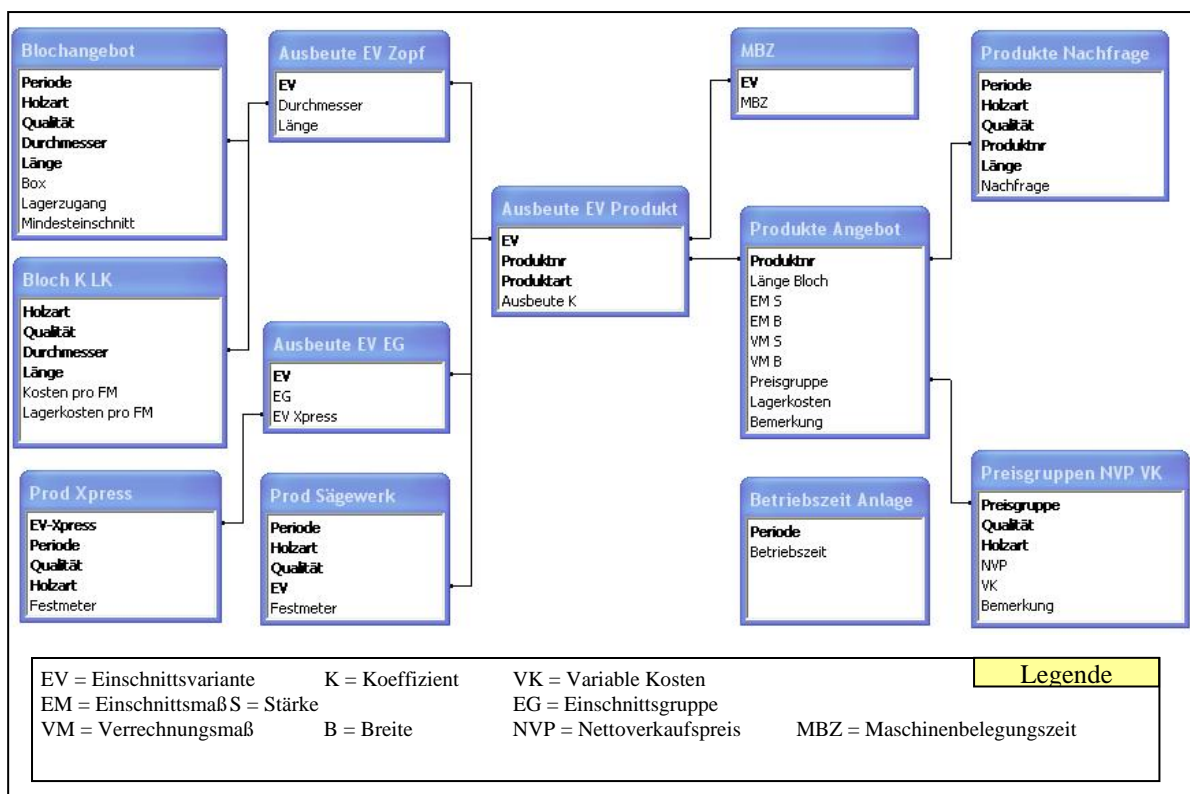


Abbildung 22: Beziehungsstruktur der Tabellen der Access-Datenbank

⁹ Eine Konvertierung ist notwendig, wenn Excel auf ein anderes Zahlenformat (nicht amerikanischem) eingestellt ist, als es in Xpress vorgesehen ist.

V VERKNÜPFUNG SCHNITTSTELLEN

In diesem Kapitel wird die Simulationsumgebung mit der Einlastungsplanung verknüpft. In der folgenden Abbildung ist die Access – Oberfläche mit den möglichen Einstellungsvarianten für das Ein- und auslesen der Dateien. Neben den bereits erwähnten Möglichkeiten der Eingabe der Stammdaten, wie Angebot Schnittholz, Nachfrage, Preise und Kosten, Lagerzugang Rundholz, Einschnittsvarianten, Maschinenbelegung etc., besteht darüber hinaus die Möglichkeit die Daten aus dieser Datenbank direkt in Dateien für das Einlesen in das LP – Modell zu überführen. Wird nun eine Lösung mit dem Programm XPress erzielt, kann diese automatisch in die Access – Datenbank eingelesen werden. Unter dem Feld „Produktion Sägewerk“ kann das tatsächliche Produktionsprogramm eingegeben werden und eine Nachkalkulation mitsamt eines Deckungsbeitragsvergleiches des Einschnittes ist möglich.

Die von dem MIP – Modell vorgeschlagene und in der Datenbank hinterlegte Lösung kann direkt in die Simulationsumgebung eingelesen werden. Die Verknüpfung dieser Daten mit den Schnittmustern ergibt eine komplette Hinterlegung aller notwendigen Attribute, die im Simulationsmodell benötigt werden.

Sollten die Ergebnisse der Simulation eine Diskrepanz zwischen idealem Produktionsprogramm und Umsetzung im Modell aufweisen, besteht die Möglichkeit die Inputdaten anzupassen und erneut im Modell zu überprüfen. Die komplette Verknüpfung zwischen Einlastungsplanung und Simulationsmodell ist der folgenden Abbildung zu entnehmen.

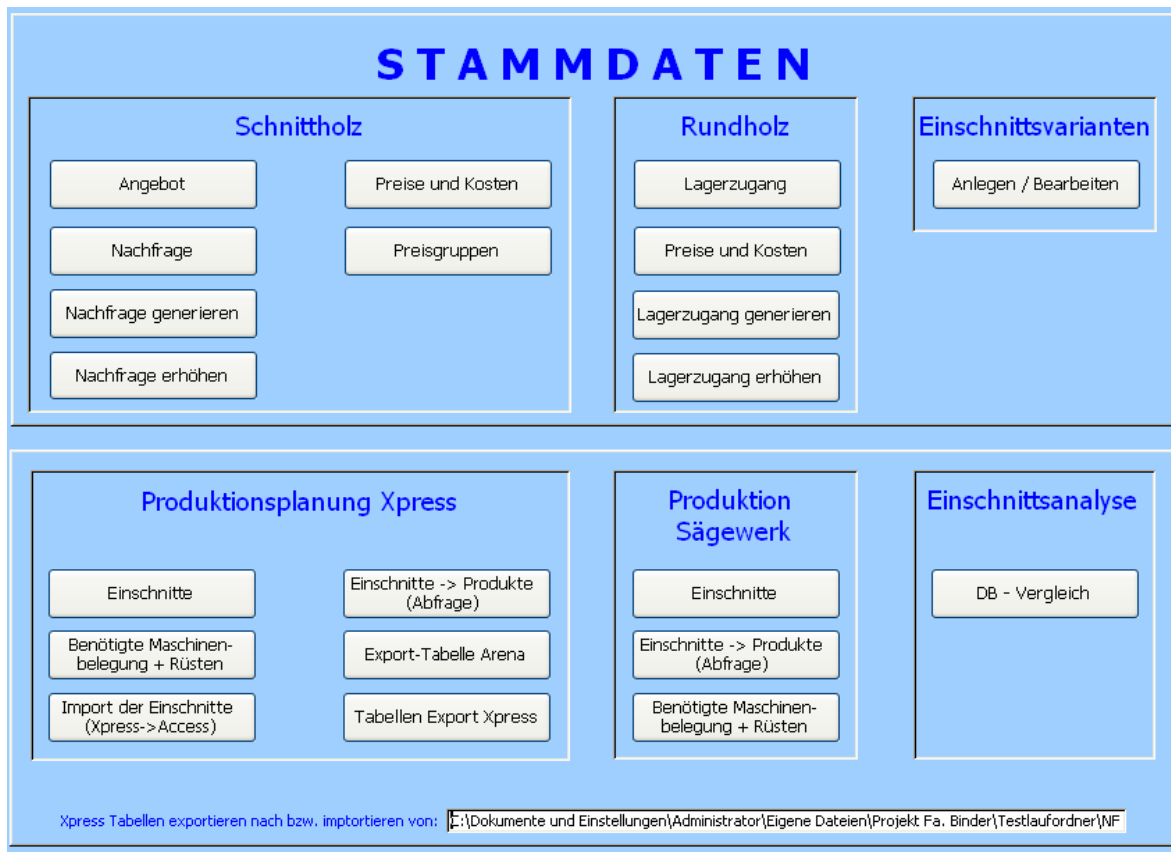


Abbildung 23: Oberfläche Einlastungsplanung & Datenaustausch XPress und Arena

VI VERSUCHSAUFBAU und ERGEBNISSE – PRODUKTIONSPLANUNG

Das folgende Kapitel erläutert ausgewählte Ergebnisse der Einlastungsplanung und entwickelte Heuristiken im Simulationsmodell. Es soll darauf hingewiesen werden, dass im folgenden Kapitel die originären Daten aufgrund von Geheimhaltungsvereinbarungen modifiziert wurden.

6.1 MODELLVALIDIERUNG

In diesem Abschnitt werden zu Beginn die Daten, welche für die Modellvalidierung verwendet wurden, erläutert. Danach folgend wird auf die Vorgehensweise der Modellverifikation eingegangen. Zum Schluss werden die Ergebnisse des untersuchten Sägewerks den Ergebnissen des Validierungstests gegenübergestellt und hinsichtlich der Modellvalidität analysiert.

Daten zur Modellvalidierung

Untersuchungszeitraum:

Alle folgenden Daten sind retrospektive Daten aus einem gewählten Zeitraum von drei Monaten.

Planungsperioden:

Eine Planungsperiode entspricht zwei Kalenderwochen.

Planungshorizont:

Der Planungshorizont entspricht sieben Perioden und somit 14 Kalenderwochen.

Produktion des untersuchten Sägewerks:

Die Produktion muss aufgrund unterschiedlicher Verrechnungseinheiten in Schnittholzprodukte und in Sägenebenprodukte unterteilt werden. Die Produktion der Schnittholzprodukte und der Sägenebenprodukte ist aus der Tabelle 4 und der Tabelle 5 ersichtlich.

Tabelle 4: Schnittholzproduktion des untersuchten Sägewerks, im Untersuchungszeitraum, in m³

	t = 1	t = 2	t = 3	t = 4	t = 5	t = 6	t = 7	Gesamt
Hobelware	3.937	5653	2.507	6.057	1.143	2.686	281	22.265
Schnittholz getrocknet.	8.087	8.417	11.205	9.879	14.260	12.823	4.666	69.336
Schnittholz nicht getrocknet	2.658	3.035	2.602	3.219	3.618	4.198	2.953	22.284
Gesamt	14.682	17.106	16.314	19.156	19.021	19.707	7.900	113.886

Tabelle 5: Produktion von Sägenebenprodukte des untersuchten Sägewerks, im Untersuchungszeitraum, in Srm

	t = 1	t = 2	t = 3	t = 4	t = 5	t = 6	t = 7	Gesamt
Hackgut	16.320	19.011	17.819	21.613	22.650	23.212	10.529	131.154
Sägespäne	6.422	7.402	7.231	8.139	8.239	8.499	3.167	49.100
Gesamt	22.742	26.413	25.050	29.752	30.890	31.711	13.696	180.254

Nachfrage des Untersuchten Sägewerks:

Die Nachfrage ist mangels Daten der Produktion des untersuchten Sägewerks gleichzusetzen. Nach Angaben des untersuchten Sägewerks hätten jedoch von jedem Produkt auch um 30% mehr abgesetzt werden können. Die prozentuelle Nachfrage des untersuchten Sägewerks ist aus der Tabelle 6 und der Tabelle 7 ersichtlich.

Tabelle 6: Prozentuelle Nachfrageverteilung der Schnittholzprodukte

Nachfrage T = {t 1..7}		
Schnittholz frisch	Schnittholz getrocknet	Hobelware
20%	60%	20%

Tabelle 7: Prozentuelle Nachfrageverteilung der Sägenebenprodukte

Nachfrage T = {t 1..7}	
Hackgut	Sägespäne
27%	73%

Verteilung des Blochangebots:

Das untersuchte Sägewerk schnitt im Untersuchungszeitraum ausschließlich Fichte ein. Fichte wird vom untersuchten Sägewerk in drei Qualitäten unterteilt, wobei die Qualität drei eine Mischung der Qualitäten eins und zwei ist. Die Angebotsverteilungen der Holzart Fichte in den verschiedenen Qualitäten sind aus der Abbildung 24, Abbildung 25 und Abbildung 26 ersichtlich. Die Tatsache, dass nicht alle Zopfdurchmesser in allen Qualitäten angeboten werden, ist auf die Art der Blochsartierung des untersuchten Sägewerks, zurückzuführen. Einerseits werden Bloche mit bestimmten Zopfdurchmessern innerhalb einer Qualität mit kleineren Durchmessern gemischt, andererseits werden bestimmte Zopfdurchmesser automatisch in eine schlechtere Qualität sortiert. Dieser Umstand ist eindeutig bei den folgenden Abbildungen erkennbar, wo für

manche Durchmesser keine Menge auf Lager liegt bzw. ein Sprung bei den vorhandenen Durchmessern vorhanden ist. Die entsprechende Sortierpolitik ist ein firmenspezifisches Geheimnis und ist vor allem von den verfügbaren Schnittmustern je Durchmesser und Qualität abhängig.

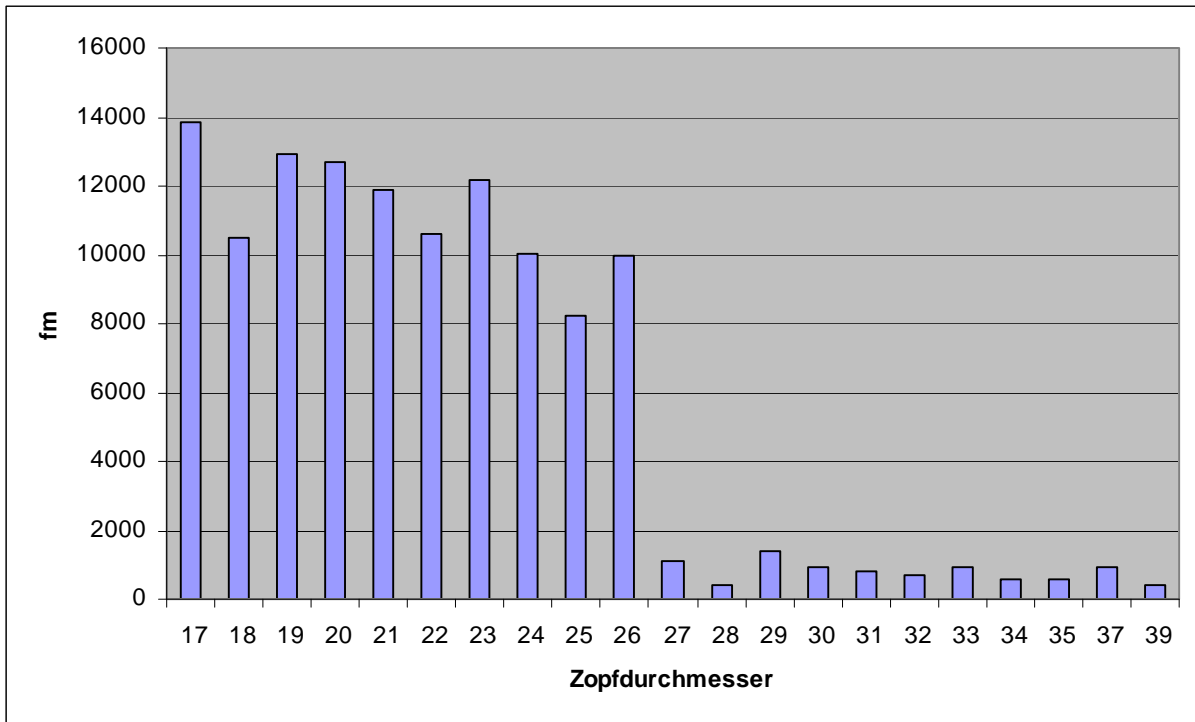


Abbildung 24: Angebotsverteilung - Fichte - Qualität 1

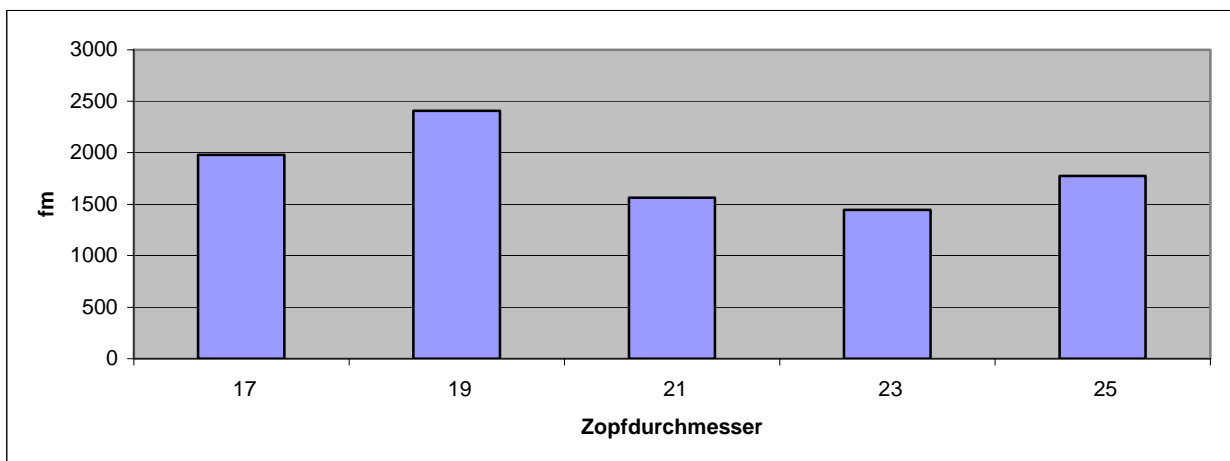


Abbildung 25: Angebotsverteilung - Fichte - Qualität 2

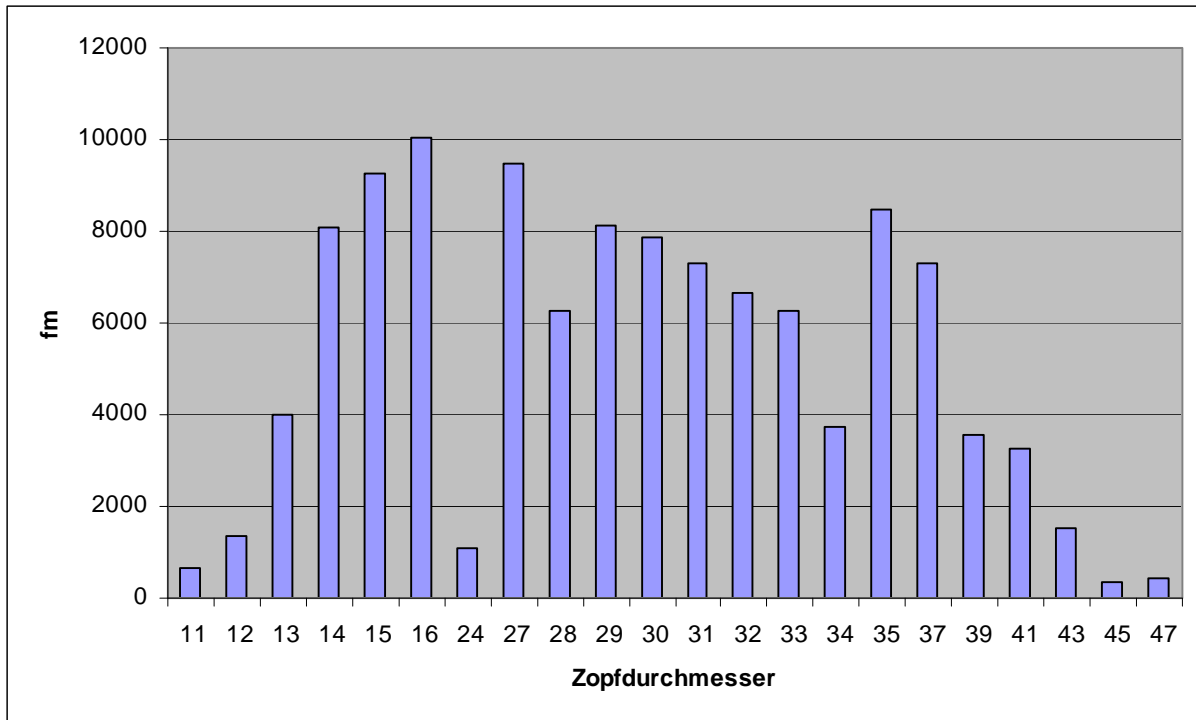


Abbildung 26: Angebotsverteilung - Fichte - Qualität 3

Lagerzugang der Bloche:

Aus Mangel an nachvollziehbaren Daten muss folgende Annahme getroffen werden: Alle Bloche, die vom untersuchten Sägewerk in einer Periode eingeschnitten wurden, sind am Ende der Vorperiode auf Lager gelegt worden.

Modellindizes:

Für die Indizes des Modells wurden im Rahmen der Modellvalidierung folgende Parameter des untersuchten Sägewerks herangezogen:

Tabelle 8: Testparameter

Produkte	{1..397}
Qualität	{1..2}
Holzart	{1}
Einschnittsvariante	{1.. 658}
Einschnittsgruppen	{1..124}
Perioden	{0..7}
Zopfdurchmesser mit einer Länge von 4m bzw. 5m	{11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 37, 39, 41, 43, 45, 47, 49, 51}

6.2 MODELLVERIFIKATION

Ergebnisse der Validierungstests

Zu Beginn ließ man das Modell anhand der Daten aus dem vorigen Kapitel – gleiche Einschnittsvarianten mit dem jeweilig gleichen Einschnittsvolumen (fm), welche das untersuchte Sägewerk im Untersuchungszeitraum erzeugt hat – produzieren. Das Ergebnis dieses Tests war, dass der durch das Modell errechnete Deckungsbeitrag gleich groß dem des Sägewerks ist.

Im Folgenden Test muss das Modell, anhand der Daten aus dem Kapitel „Daten zur Modellvalidierung“, jene Einschnittsvarianten wählen, die den maximalen Deckungsbeitrag ergeben. Die nun folgenden Ergebnisse der Tests sind relativ zu den Ergebnissen des untersuchten Sägewerks dargestellt. Die Ergebnisse der Tabelle 7 sind folgendermaßen zu interpretieren: Obwohl der Nettoerlös durch die optimale Lösung des Modells um 2,827% gesunken ist, konnte der Deckungsbeitrag um 1,465% gesteigert werden. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Materialkosten um 3,714% abnahmen. Generell kann gesagt werden, dass weniger und mit anderen Einschnittsvarianten produziert wurde. Der Produktionsoutput von Sägebenebenprodukten nahm stär-

ker ab als der von Schnittholzprodukten und da Sägenebenprodukte einen wesentlich niedrigeren Nettoverkaufspreis als Schnittholzprodukte haben, ist der Schluss zulässig, dass die vom Modell gewählten Einschnittsvarianten einen höheren Deckungsbeitrag haben. Nun stellt sich jedoch die Frage: Warum hat das Modell, obwohl freie Maschinenkapazitäten zur Verfügung stehen und einerseits Nachfrage nach Schnittholzprodukten und Sägenebenprodukte besteht und andererseits Rundholz auf Lager liegt, nicht mehr produziert? Eine ausführliche Analyse der Daten ergab, dass keine der möglichen Einschnittsvarianten einen positiven Deckungsbeitrag gehabt hätte.

Tabelle 9: Ergebnisse des zweiten Validierungstests – relativ zum untersuchten Sägewerk

		Ergebnisse
1.	Nettoerlös	97,173%
2.	Materialkosten	96,286%
3.	Deckungsbeitrag	101,465%
4.	Rundholzbedarf	96,043%
5.	Produktion – Schnittholzprodukte	96,390%
6.	Produktion – Sägenebenprodukte	95,396%
7.	Maschinenbelegung in der Periode 1	97,245%
8.	Maschinenbelegung in der Periode 2	95,863%
9.	Maschinenbelegung in der Periode 3	94,021%
10.	Maschinenbelegung in der Periode 4	95,384%
12.	Maschinenbelegung in der Periode 5	94,171%
13.	Maschinenbelegung in der Periode 6	87,221%
14.	Maschinenbelegung in der Periode 7	86,201%

Die Analyse der Ergebnisse der zwei Validierungstests ergab, dass sich das Modell plausibel verhält.

6.3 NUMERISCHE STUDIE

Mit den Versuchen in diesem Kapitel (unter Anwendung des MIP – Modells) soll ermittelt werden, wie sich der Deckungsbeitrag bzw. die unterschiedlichen Produktionsprogramme in Abhängigkeit unterschiedlicher Szenarien ändern. Für alle folgenden Versuche gelten, wenn nicht ausdrücklich anders angegeben, die Annahmen aus dem Kapitel „Modellvalidierung“. Alle Ergebnisse sind relativ zu den Ergebnissen des zweiten Validierungstests zu sehen. Um die Ergebnisse mit dem zweiten Validierungstest vergleichen zu können, wird die zur Verfügung stehende Anlagenkapazität für alle nun folgenden Versuche mit der benötigten Maschinenbelegungszeit des zweiten Validierungstests gleichgesetzt. Die folgenden Abschnitte zeigen eine Übersicht der Szenarien, wie sie bei den Versuchen zur Anwendung kamen.

Produktion bei einer Erhöhung des Blochangebots

In diesem Versuch wird untersucht, wie sich der Deckungsbeitrag und das Produktionsprogramm verändern, wenn das Blochangebot vergrößert wird. Folgende Annahmen sind für diesen Versuch gültig:

1. Das Blochangebot ist um 30% höher,
2. die Hälfte des gesamten Blochangebots kommt am Ende der Periode 0 als Lagerzugang ins Rundholzlager und
3. die restlichen 50% des Blochangebots kommen in den gleichen Intervallen wie im vorigen Kapitel beschrieben, als Lagerzugang ins Rundholzlager.

Die Ergebnisse des ersten Versuchs sind der Tabelle 10 zu entnehmen. Durch das um 30% höhere Blochangebot kann das Modell einen besseren Mix an Einschnittsvarianten wählen. Dies ist ersichtlich, da einerseits eine Steigerung der Ausbringung von Schnittholzprodukten, des Deckungsbeitrag und des Nettoerlöses und andererseits eine Senkung der Ausbringung von Sägenebenprodukten, der Materialkosten und der benötigten Maschinenbelegungszeit aus den Ergebnissen der Tabelle 10 ersichtlich ist. Aufgrund der beschränkten Nachfrage nach Schnittholz- und Sägenebenprodukten, der beschränkten Anlagekapazität und des um 30% höheren Blochangebots sind die Lagerkosten des Rundholzes um 3981,405% gestiegen. Der hohe Anstieg lässt sich damit erklären, dass es beim 2. Validierungstest, bedingt durch ein niedrigeres

Blochangebot, zu sehr geringen Lagerkosten kommt. Ohne diese Lagerkosten würde sich der Deckungsbeitrag dieses Versuchs nicht um 0,897% sondern um 2,25% erhöhen.

Tabelle 10: Ergebnisse der 1. numerischen Studie, relativ zum 2. Validierungstest

1.	Nettoerlös	100,362%
2.	Materialkosten	99,972%
3.	Lagerwert der Schnittholzprodukte am Ende der Periode 7	14,060%
4.	Lagerkosten der Produkte	198,064%
5.	Lagerkosten des Rundholzes	3981,405%
6.	Deckungsbeitrag	100,897%
7.	Rundholzbedarf	99,760%
8.	Produktion – Schnittholzprodukte	100,195%
9.	Produktion – Sägenebenprodukte	99,017%
10.	Maschinenbelegung in der Periode 1	99,992%
12.	Maschinenbelegung in der Periode 2	99,992%
13.	Maschinenbelegung in der Periode 3	99,988%
14.	Maschinenbelegung in der Periode 4	99,999%
15.	Maschinenbelegung in der Periode 5	99,996%
16.	Maschinenbelegung in der Periode 6	99,997%
17.	Maschinenbelegung in der Periode 7	85,363%

Produktion bei einer Erhöhung der Schnittholznachfrage

In diesem Versuch wird die Änderung des Deckungsbeitrags und des Produktionsprogramms analysiert, wenn die Nachfrage nach Schittholz- und Sägenebenprodukten höher ist. Die Nachfrage wird bei diesem Versuch um 30% erhöht.

Die nun folgenden Ergebnisse des 2. Versuchs sind aus der Tabelle 11 ersichtlich. Der Deckungsbeitrag ist um 9,328% gestiegen, da die Steigerung des Nettoerlöses um 1,3% höher als die der Materialkosten ist. Die Anlagenkapazität wird vom Modell zu annähernd 100% genutzt. Der prozentuelle Anstieg der dritten und vierten Position, der Tabelle 11, kann vernachlässigt werden, da diese Positionen nur 0.258% des Deckungsbeitrags darstellen.

Tabelle 11: Ergebnisse der 2. numerischen Studie, relativ zum 2. Validierungstest

1.	Nettoerlös	103,396%
2.	Materialkosten	102,096%
3.	Lagerwert der Schittholzprodukte am Ende der Periode 7	407,245%
4.	Lagerkosten der Produkte	313,471%
5.	Lagerkosten des Rundholzes	57,068%
6.	Deckungsbeitrag	109,328%
7.	Einschnitt in fm	101,655%
8.	Schittholzprodukte	102,050%
9.	Sägenebenprodukte	100,446%
10.	Maschinenbelegung in der Perioden 1 bis 7	>99,980%

Produktion bei einer Erhöhung des Blochangebots und der Schnittholznachfrage

Bei diesem Versuch werden die Annahmen des ersten und zweiten Versuchs kombiniert. Das bedeutet, dass sowohl die Nachfrage als auch das Blochangebot um 30% erhöht werden. Die Annahmen das Blochangebot und den Lagerzugang betreffend sind daher im vorletzten Kapitel ersichtlich. Die Nachfrage von Schittholz- und Sägenebenprodukten verhält sich analog zu den Annahmen des letzten Kapitels.

Die Ergebnisse dieses Versuchs sind in der Tabelle 12 zu finden. Die Steigerung des Deckungsbeitrags (um 20,966%) ist durch die Erhöhung des Einschnittsvolumens (7. Position der Tabelle 12) bedingt. Die Steigerung des Einschnittsvolumens wird durch eine andere Wahl von Einschnittsvarianten möglich, da ein unterschiedlicher Mix von Einschnittsvarianten unterschiedliche Rüstzeiten und Maschinenbelegungszeiten hat. Das Modell erzeugt daher, durch die oben beschriebenen Annahmen, mit Einschnittsvarianten, die weniger Anlagekapazität benötigen, Produkte mit einem höheren Deckungsbeitrag.

Tabelle 12: Ergebnisse der 3. numerischen Studie, relativ zum 2. Validierungstest

1.	Nettoerlös	113.862%
2.	Materialkosten	112.121%
3.	Lagerwert der Schnittholzprodukte am Ende der Periode 7	0.646%
4.	Lagerkosten der Produkte	302.562%
5.	Lagerkosten des Rundholzes	3345.245%
6.	Deckungsbeitrag	120.966%
7.	Einschnitt in fm	110.590%
8.	Schnittholzprodukte	111.722%
9.	Sägenebenprodukte	107.884%
10.	Maschinenbelegung in den Perioden 1 - 7	>99.980%

Produktion bei einer optimal ermittelten Zopfdurchmesserverteilung

Der vierte und letzte Versuch dieser Arbeit geht der Frage nach, welche Zopfdurchmesserverteilung für die „beschränkte“ Nachfrage aus dem Kapitel 6.1, in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden Einschnittsvarianten, die optimale Verteilung ist. Zu diesem Zweck wird das beschriebene Modell insofern geändert, dass die Datenvariable für den Lagerzugang der Bloche (LZ_{dhqt}) in eine Entscheidungsvariable umgewandelt wird. So wird der optimale Lagerzugang, um den Deckungsbeitrag zu maximieren, vom Modell bestimmt.

Tabelle 13: Ergebnisse der 4. numerischen Studie, relativ zum 2. Validierungstest

1.	Nettoerlös	95,204%
2.	Materialkosten	91,165%
3.	Lagerwert der Schnittholzprodukte am Ende der Periode 7	3014,849%
4.	Lagerkosten der Produkte	340,661%
5.	Lagerkosten des Rundholzes	0,000%
6.	Deckungsbeitrag	112,804%
7.	Rundholzbedarf	93,905%
8.	Produktion – Schnittholzprodukte	94,122%
9.	Produktion – Sägenebenprodukte	93,040%
10.	Maschinenbelegung in den Periode 1 bis 5	> 99,992%
11.	Maschinenbelegung in der Periode 6	92,528%
12.	Maschinenbelegung in der Periode 7	98,176%

Die Ergebnisse dieses Versuchs finden sich in der obigen Tabelle. Der Deckungsbeitrag wird, unter den Annahmen dieses Versuchs, um 12,804% gesteigert. Diese Erhöhung ist darauf zurückzuführen, dass die Materialkosten um 8,835% (der Rundholzbedarf ist um 6,095% zurückgegangen), der Nettoerlös hingegen nur um 4,796% gesunken ist.

Die Abbildung 27 bis Abbildung 29 zeigen die, durch das Modell ermittelten, optimalen Zopfdurchmesserverteilungen für die Qualitäten eins, zwei und die Mischqualität drei.

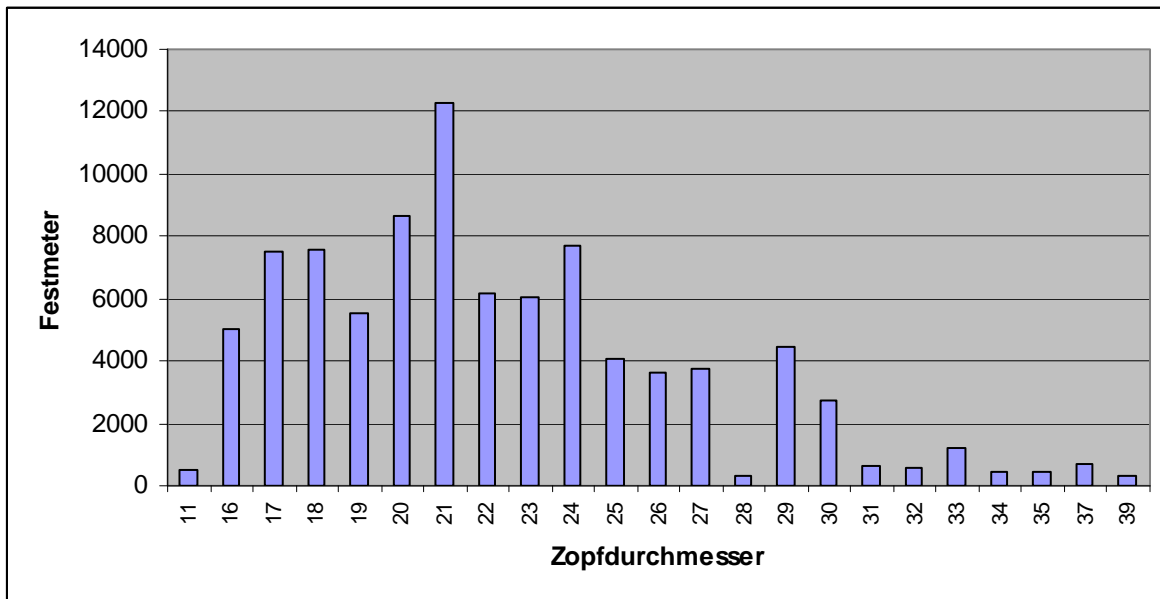


Abbildung 27: Ermittelte Zopfdurchmesserverteilung - Fichte - Qualität 1

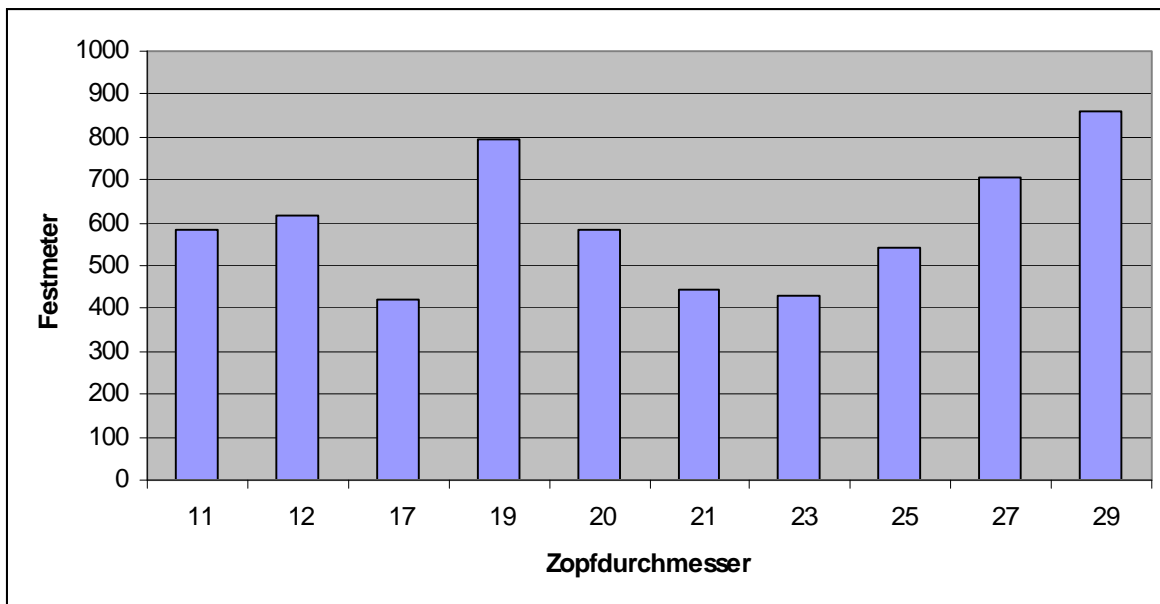


Abbildung 28: Ermittelte Zopfdurchmesserverteilung - Fichte - Qualität 2

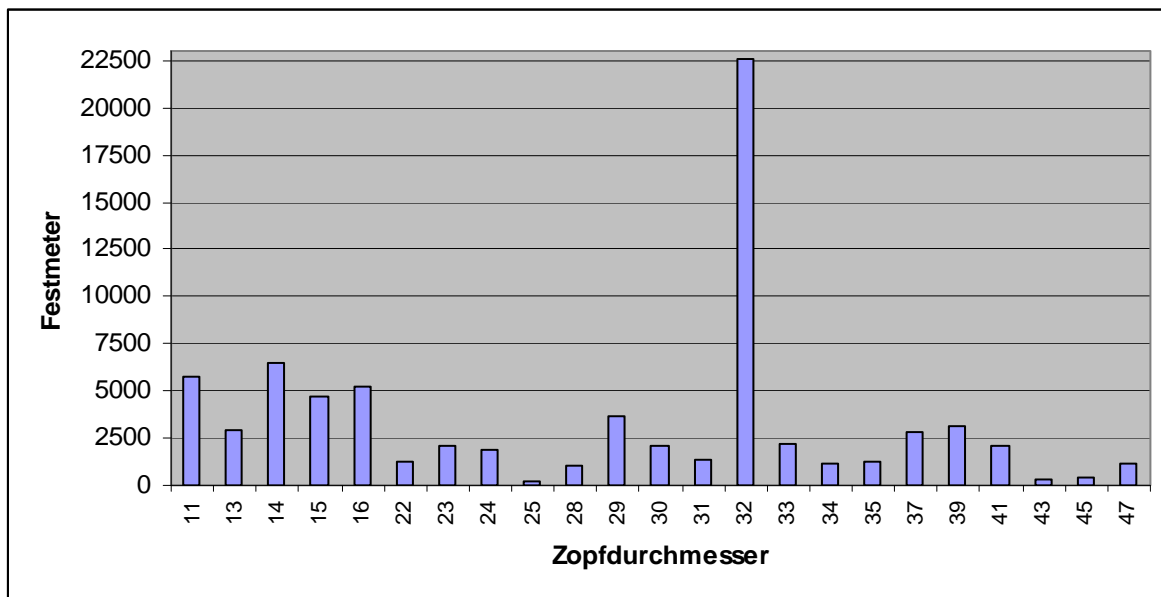


Abbildung 29: Ermittelte Zopfdurchmesserverteilung - Fichte - Qualität 3

Die vom Modell ermittelte Zopfdurchmesserverteilungen für Fichte (Abbildung 27, Abbildung 28 und Abbildung 29) unterscheiden sich von den Angebotsverteilungen des untersuchten Sägewerks (Abbildung 24, Abbildung 25 und Abbildung 26) erheblich. Bei allen Qualitäten ermittelt das Modell eine andere Durchmesserverteilung. Es muss an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass die ermittelten optimalen Durchmesserverteilungen durch Einschnittsvarianten einerseits und durch die Nachfrage des untersuchten Sägewerks (s. z. B. Zopf 32 im obigen Diagramm) im Untersuchungszeitraum andererseits determiniert sind. Der optimale Rohstoffeinsatz kann jedoch mit diesem Modell für andere Nachfragesituationen und / oder andere Einschnittsvarianten bestimmt werden.

Darüber hinaus stellt sich bei genauer Betrachtung die Frage, ob die bereits erwähnte Boxeneinteilung für die Sortierung des Rundholzes nicht erhebliches Verbesserungspotential aufweisen könnte.

VII VERSUCHSAUFBAU und ERGEBNISSE – SIMULATION

Ebenso wie bei den Untersuchungen der Einlastungsplanung, wurden auch hier verschiedene numerische Studien durchgeführt. Im folgenden Kapitel soll einerseits auf die jeweiligen Versuchsaufbauten, andererseits auf die daraus erzielten Ergebnisse eingegangen werden. Einleitend zu diesem Kapitel soll die Steuerung der Sortierfächerbelegung erläutert werden.

7.1 BELEGUNGSHEURISTIK SORTIERFÄCHER SEITENWARE

Wie bereits erwähnt, bilden vor allem die Bereich Seitenwarensortierung und Trockenkammerbelegung einen Abschnitt in der Produktion, der viel Potential in Hinblick auf Ressourceneinsparungen darstellt.

Im Folgenden soll repräsentativ, für die Verdeutlichung der Komplexität einer solchen Heuristik, die Steuerung der Sortierfächerbelegung der Seitenware, wie sie im Modell implementiert wurde, aufgezeigt werden.

Sobald ein Brett die Sägelinie verlassen hat, wird ihm eine eindeutige Identifikationsnummer zugewiesen. Aufgrund der divergenten Produktstruktur und der zahlreichen Möglichkeiten an zu erzeugenden Schnittholzdimensionen ergibt sich die Menge der angefallenen Bretter B .

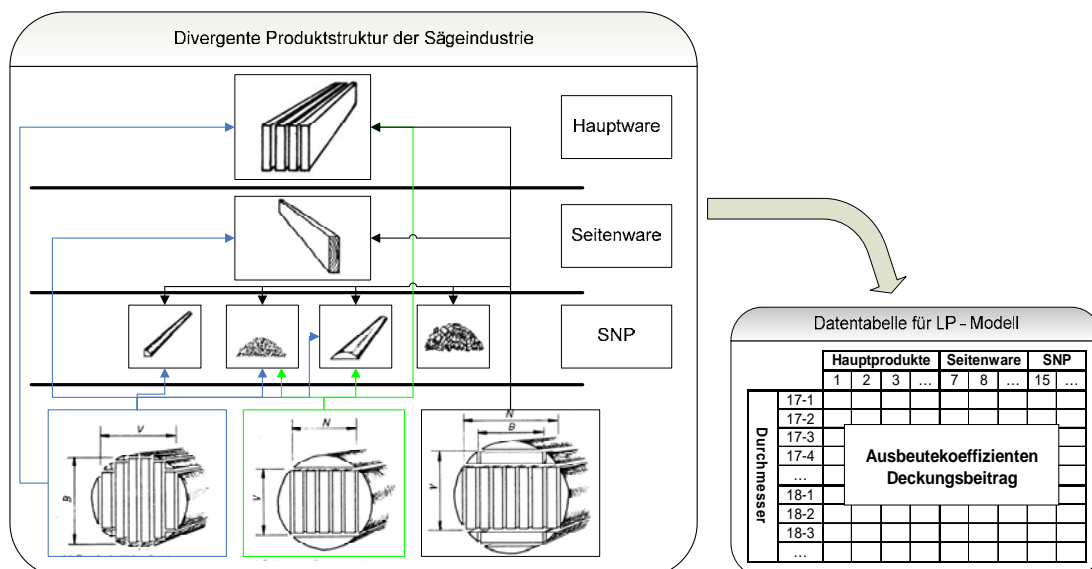


Abbildung 30: Divergente Produktstruktur

Für die Seitenwarensortierung stehen insgesamt 14 Schichttagen zur Verfügung, wobei der Vorspeicher der jeweiligen Etagen eine unterschiedliche Anfangskapazität aufweist. In

Schichtetagen werden die Bretter kreuz und quer eingeworfen und es ist mit einem Füllgrad von ca. 50 % zu rechnen. Die folgende Abbildung verdeutlicht die Beschickung der einzelnen Fächer.

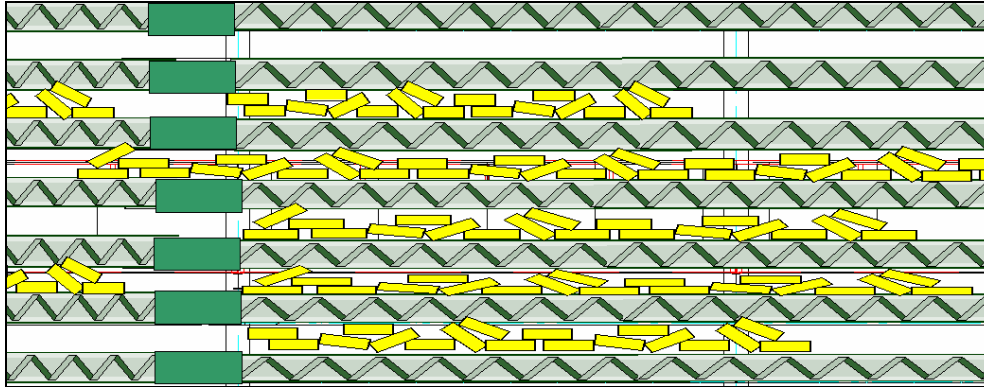


Abbildung 31: Ausschnitt Seitenwarensortierung - Speicherbelegung

Die jeweilige Kapazität eines Speichers (in mm²) ergibt sich aus dem Füllgrad, der Länge und der Höhe einer Etage:

$$\text{Kapazität Vorspeicher} = 0,5 * \text{Länge}[mm] * 300[\text{Füllhöhe in mm}] \quad (6.1)$$

Nach der eindeutigen Vergabe einer Nummer, wird das jeweilige Brett einem Fach zugeteilt. Sobald ein Fach mit einer Dimension befüllt worden ist, übernimmt dieses Fach diese Nummer und wird mit dieser eindeutig belegt ($NrEtageVS(x)$). Es ergeben sich hierbei also maximal 14 verschiedene Nummern, die erst wieder gelöscht werden, sobald ein Fach entleert wird. Sofern bereits Fächer mit Dimensionen gefüllt worden sind, besteht die Möglichkeit, dass die ID-Nummer eines neu ankommenden Brettes, bereits vorhanden ist. Ist dies der Fall, wird dieses Brett natürlich dem vorhandenen Speicher zugeteilt.

Nach Ankunft eines neuen Brettes, werden im ersten Schritt alle 14 Speicher nach einer bereits vorhandenen Nummer abgesucht. Wird eine Übereinstimmung gefunden, findet eine Überprüfung auf die vorhandene Restkapazität des Vorspeichers statt. Ist für dieses Brett noch genug Kapazität vorhanden, wird es der Speichernummer zugeteilt und die Kapazität ($KapEtageVS(x)$) des Vorspeichers vermindert bzw. dessen Brettanzahl ($AnzEtageVS(x)$) erhöht.

Tritt der Fall ein, dass der gefundene Speicher nicht genug Restkapazität aufweist, so werden ausgehend von diesem Speicher, alle restlichen Etagen auf bereits vorhandene ID untersucht. Wird ein weiterer Speicher mit derselben Kennung gefunden, wird im Schritt 2 analog zum Schritt 1 verfahren.

Tritt jedoch der Fall ein, dass kein Speicher mit passender Kennung gefunden wird, wird ein leerer Speicher ohne belegte ID gesucht. Wird eine entsprechende freie Etage gefunden, so wird diese mit der Brett Kennung belegt ($NrEtageVS(j) = IDNr(b)$) und die Kapazität bzw. die Anzahl der Bretter dieser Etage aktualisiert. Wird zwar ein Speicher gefunden, dessen Restkapazität aber nicht für die weitere Befüllung mit einem Brett ausreicht, ist eine weitere Logik (Schritt 4) notwendig.

Ist der Fall eingetreten, dass nicht genug Kapazität im Vorspeicher vorhanden ist, so sind folgende Möglichkeiten zu überprüfen. Ist im betreffenden Nachspeicher x' die Anfangskapazität vorhanden, also ein leerer Nachspeicher, kann der Vorspeicher in Form von ganzen Paketen dorthin entladen werden (*Step A ff.*). Wie bereits erwähnt, ergeben sich aus der jeweiligen Dimension eines Brettes, die Anzahl der Bretter pro Lage und die Anzahl der Lagen pro Paket. Die Anzahl der zu befördernden Pakete ergibt sich aus der Gesamtanzahl der Bretter im Vorspeicher ($AnzEtageVS(x')$) dividiert durch die dimensionsabhängige Stückzahl ($StkPak$) eines Paketes des Brettes b . Die Anzahl der jeweiligen Bretter ergibt sich dann aus der gerundeten Anzahl an Paketen multipliziert mit der Stückzahl an Brettern in einem Paket ($StkPak(b)$). Sollte sich ergeben, dass die benötigte Kapazität des Nachspeichers größer als sein Maximum von 2.700.000 mm² ist, ist diese Leerkapazität als Ausgangsgröße für die Paketberechnung heranzuziehen.

Der Schritt *A1* ist für die Entleerung des Vorspeichers in den Nachspeicher zuständig, wobei die Aktualisierung der Bretteranzahl und der Kapazität im Speicher vollzogen wird.

Im Weiteren ist zu überprüfen, wie viele Bretter des Auftrags sich bereits im System befinden und was mit einem neu hinzukommenden zu geschehen hat. Die Anzahl an vorhandenen Seitenwarenbrettern einer Dimension setzt sich aus der benötigten Anzahl an Blochen, korrigiert durch die metallisch kontaminierten Stämmen, multipliziert mit der Anzahl an Seitenbrettern ($SW(b)$), die im Vor- oder Nachschnitt entstanden, zusammen. Ist die bereits sortierte Anzahl an Brettern gleich der Anzahl im Nachspeicher, so kann der Auftrag abgeschlossen werden und die entsprechenden Variablen im Vorspeicher gelöscht werden. Ist die Summe der Anzahl im Vor- und Nachspeicher größer als die Auftragsmenge, bedingt durch die mengenmäßige Sicherheitsbeaufschlagung von Blochen bei der Auftragseinlesung, werden die zuviel produzierten Bretter aus dem System geschleust. Ist keiner der beiden Fälle relevant, so kann ab Schritt 1 normal weiterverfahren werden.

„*Step B*“ beschreibt den zweiten möglichen Fall, wenn kein weiterer Platz im Vorspeicher zur Verfügung steht und auch der Nachspeicher voll bzw. die Restkapazität zu gering für die weitere Aufnahme eines Brettes dieser Dimension ist. Verfahren wird nach Schritt 3, wo einer neuer Speicher j angefangen und mit der Brett Kennung versehen wird. Darüber hinaus wird der

zuvor gefundene Nachspeicher der Etage x' entleert und anschließend der betroffene Vorspeicher – in ganzen Paketen – wiederum in diesen gefördert.

„Step C“ stellt die dritte und letzte Möglichkeit des Schrittes 4 dar. Es ist der Fall der halben Befüllung des Nachspeichers eingetreten. Unter Berücksichtigung der Restkapazität des Nachspeichers wird dieser mit den vorhandenen Brettern des Vorspeichers befüllt, wenn beide Speicher dieselbe ID-Nummer besitzen. Nach der teilweisen Entleerung des Vorspeichers (ganze Pakete) werden die charakteristischen Daten angepasst und es wird der komplette Nachspeicher der Paketierung zugeführt, wo ganze Pakete für die Weiterverarbeitung gebildet werden. Das ankommende Brett verfährt analog zu Schritt 1.

Nach „Step 3“ besteht jedoch auch die Möglichkeit, dass alle Vorspeicher besetzt sind und keine Kapazität für eine neue Dimension zur Verfügung steht. Verständlicherweise muss in diesem Fall Platz geschaffen werden, was zur Entleerung der Vorspeicher führt. Die folgende Formulierung dieses Heuristikteils wird vorwiegend verbal erfolgen, da die Darstellung der genauen Umsetzung mitsamt allen Unterpunkten das Verständnis behindern und die Übersichtlichkeit verschlechtern würde.

Im Schritt 1 werden von allen 14 Etagen die jeweiligen Attributseigenschaften, der im Vorspeicher befindlichen Bretter, ermittelt und für die weitere Entleerung herangezogen. Die implantierte Schleife fragt jedes Attribut ab und versucht zuerst die Nachspeicher zu entleeren. Werden mehrerer Etagen mit derselben ID gefunden, wird ihre Gesamtanzahl an Brettern herangezogen und für eine gemeinsame Paketbildung verwendet.

Ähnlich wie beim Nachspeicher, werden auch beim Vorspeicher die jeweiligen Attribute über den gesamten Etagenbereich gesucht. Entspricht ein oder mehrere Speicher der gesuchten Brett-ID, werden diese nicht sofort entleert. Vorgehend ist die Suche nach einem bereits vorhandenen halben Paket dieser Kennung. Wird ein solches gefunden, steht zur Überprüfung an, ob die gefundene Anzahl an gleichen Brettern mit den Brettern des halben Paketes in Summe ein ganzes oder womöglich auch mehrere ergibt. Ergeben sich mehr als ein ganzes Paket, wird zuerst das halbe Paket aufgefüllt und der Rest bildet entweder weitere ganze Pakete und/oder ein neues halbes Paket. Die Pakete werden dann dem Nachspeicher zugeführt und dieser anschließend entleert. Ist die Summe der gefundenen Bretter – in den einzelnen Etagen – in Summe kleiner als ein ganzes Paket, so werden diese dem angefangenen hinzugefügt und dessen Daten aktualisiert.

Wird kein halbes Paket einer ID gefunden und die Bretter bilden kein ganzes Paket in Summe, wird ein neues unvollständiges Paket erzeugt. Ist die Summe größer, als die benötigte Anzahl

an Brettern für die Bildung eines Paketes, so werden die Vorseicher in die Nachspeicher entleert und diese wiederum der Paketierung zugeführt.

Unter Anwendung der implementierten Heuristiken in der Simulationsumgebung – in Kombination mit den Ergebnissen der Produktionsplanung – konnten im Vergleich zur Realproduktion des Sägewerks folgende qualitative Ergebnisse zusammengefasst werden:

- Minimierung der Durchlaufzeiten,
- erhöhte Ressourcennutzung,
- Minimierung des gebundenen Kapitals bzw. der variablen Kosten und
- Sicherheit bei Umstellung auf ein anderes Produktionsprogramm.

Die einzelnen Ergebnisse der Simulationsstudien werden in den nachfolgenden Kapiteln genauere Beantwortung finden.

Die Umsetzung dieser und der anderen Heuristiken bringt Vorteile in der Schaffung eines durchgehenden ERP – Systems und stellt ein Ergebnis für die Produktionsverbesserung unter Bedacht der Aspekte Nachhaltigkeit und Ressourceneinsparung, dar.

7.2 VERSUCHSREIHEN

Ausgehend von der obligatorischen Modellvalidierung der Simulation konzentrierten sich die Untersuchungen auf die folgenden Schwerpunkte:

- Vergleich Produktionszeiten,
- Gesamtauslastungen der einzelnen Produktionsabschnitte,
- Leistung bzw. Produktionsraten der Anlage / ausgewählten Abschnitte und
- Vergleich der jeweiligen Stillstände.

Durchgeführt wurden sämtliche Versuche für die Perioden 1, 2, 3, 5 und 9. Eine Periode entspricht hierbei einem Planungshorizont von einer Woche. Aufgrund des jeweiligen Kalendermonates entsprach der Horizont eines Monats dem von 5 Wochen bzw. der von 2 Monaten, dem von 9 Wochen. Das Hauptaugenmerk aller Untersuchung beruht auf dem Ergebnisvergleich des tatsächlichen Einschnitts des Sägewerks (unter Einbeziehung der angewandten heu-

ristischen Steuerungen) mit dem der Produktionsprogrammvorschlage des MIP – Modells mit selbigen Voraussetzungen. Die nachfolgenden Resultate spiegeln gleichzeitig die Modellgültigkeit in Form einer Modellvalidierung wider, da die oben genannten Schwerpunkte – wie Produktionszeit, Output, ... – ebenso bei einer Validierung untersucht werden.

7.2.1 ERGEBNISSE – VERGLEICH PRODUKTIONSZEITEN

Von entscheidenden Fragestellung war bei dieser Untersuchung, wie sich aufgrund der implementierten Heuristiken das Modell in seiner Durchlaufzeit verhält. Gemeint ist hiermit die Betriebszeit der Anlage bis zur Aufarbeitung des letzten Auftrages. Die vom Industriepartner zur Verfügung gestellten Zeiten wurden in zweierlei Arten zur Verfügung gestellt. Einerseits waren die Bruttozeiten mit sämtlichen Stillständen, andererseits die Nettozeiten (reine Produktionszeit) bekannt. Um eine objektive Vergleichbarkeit mit dem Modell zu erzielen, musste eine „neue Vergleichzeit“ geschaffen werden, da die zufälligen Stillstand infolge vom Maschinenausfällen nicht nachzuvollziehen waren. Als Folge wurde daher die Nettoertriebszeit der Anlage mit den Zeiten der auch im Modell berücksichtigten Zeiten – wie Pausen, Rüstzeiten, zusätzliche Zeiten für den Schnittbildwechsel, sowie Entleerzeiten der Sortierfächer Hauptware (HW) und Seitenware (SeW) – addiert. Die folgende Abbildung zeigt die Produktionszeiten der gesamten Anlagen über alle Perioden. Die Version *Arena SW* entspricht hierbei dem Produktionsprogramm des Sägewerks unter Verwendung der neuen Steuerungsheuristiken, während die Version *Arena XPress* das vorgeschlagene Programm aus der Einlastungsplanung darstellt. Die Vergleichszeit ist die tatsächlich verstrichene Zeit des Sägewerks für ihr Einschnittsprogramm.

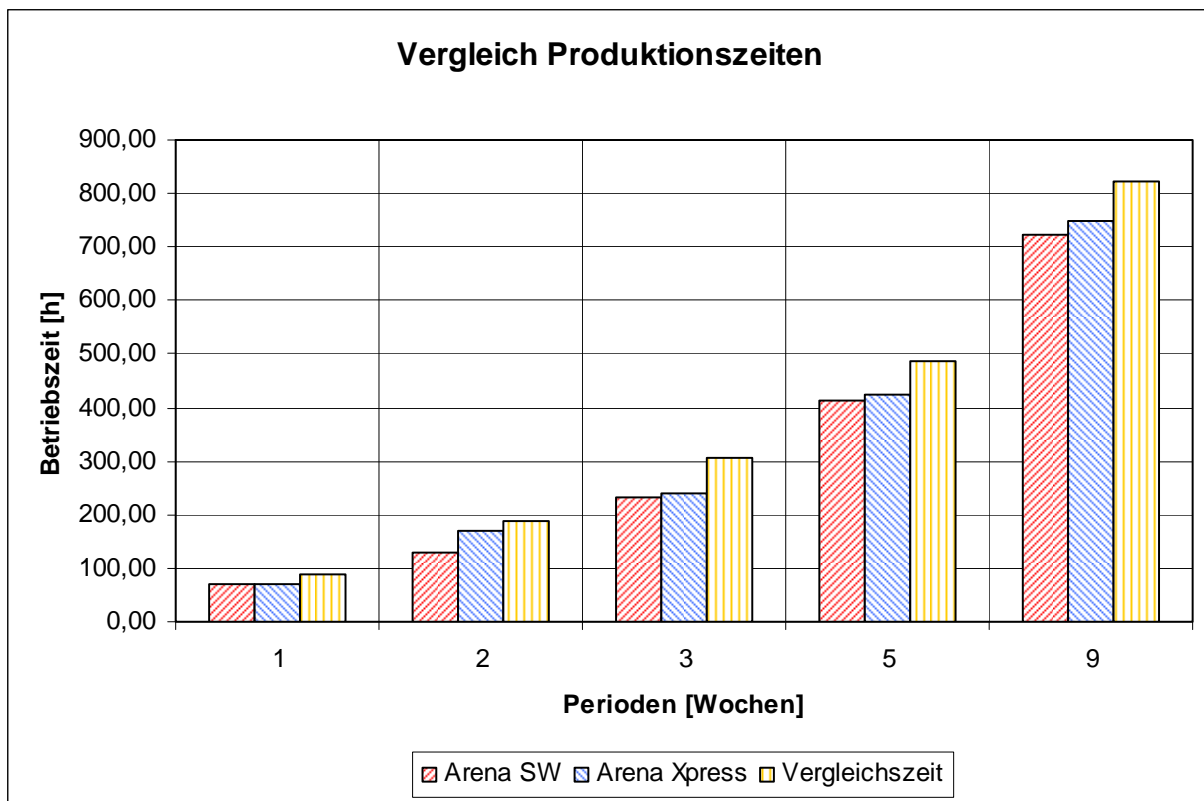


Abbildung 32: Vergleich der einzelnen Produktionszeiten über alle Perioden

Es ist zu erkennen, dass die Zeiten der beiden Modellvarianten deutlich unter den tatsächlichen Produktionszeiten liegen. Zurückzuführen ist dies auf die komplett überarbeitete Maschinensteuerung der einzelnen Produktionsabschnitte (Sortierfächer). Die Version *Arena XPress* zeigt aufgrund der anzahlmäßig höheren Einzelaufträge des Produktionsprogramms aus der Einlastungsplanung eine längere Produktionsdauer. Diese größere Anzahl an Einzelaufträgen (Schnittbilder) bedingt daher einen höheren Rüstaufwand. Im Durchschnitt entspricht die Bearbeitungsdauer des – durch die Einlastungsplanung – gefundenen deckungsbeitragsoptimalen Produktionsprogramms **86,6 %** der tatsächlichen Produktionszeit.

7.2.2 ERGEBNISSE – AUSLASTUNGEN

Das Kapitel Auslastungen soll die Unterschiede der Auslastungen betreffend die Sägelinienaufgabe, die Sägelinie und die Paketierungen verdeutlichen. Die Auswertungen wurden für alle Perioden durchgeführt und miteinander verglichen. Repräsentativ sollen die Ergebnisse der ersten Periode dargestellt werden. Die Abkürzungen der beiden Versuchsreihen SW und XPress stehen wiederum – wie auch bei allen folgenden Fällen – für den Vergleich des Produktionsprogramms des Sägewerkes mit dem der Einlastungsplanung.

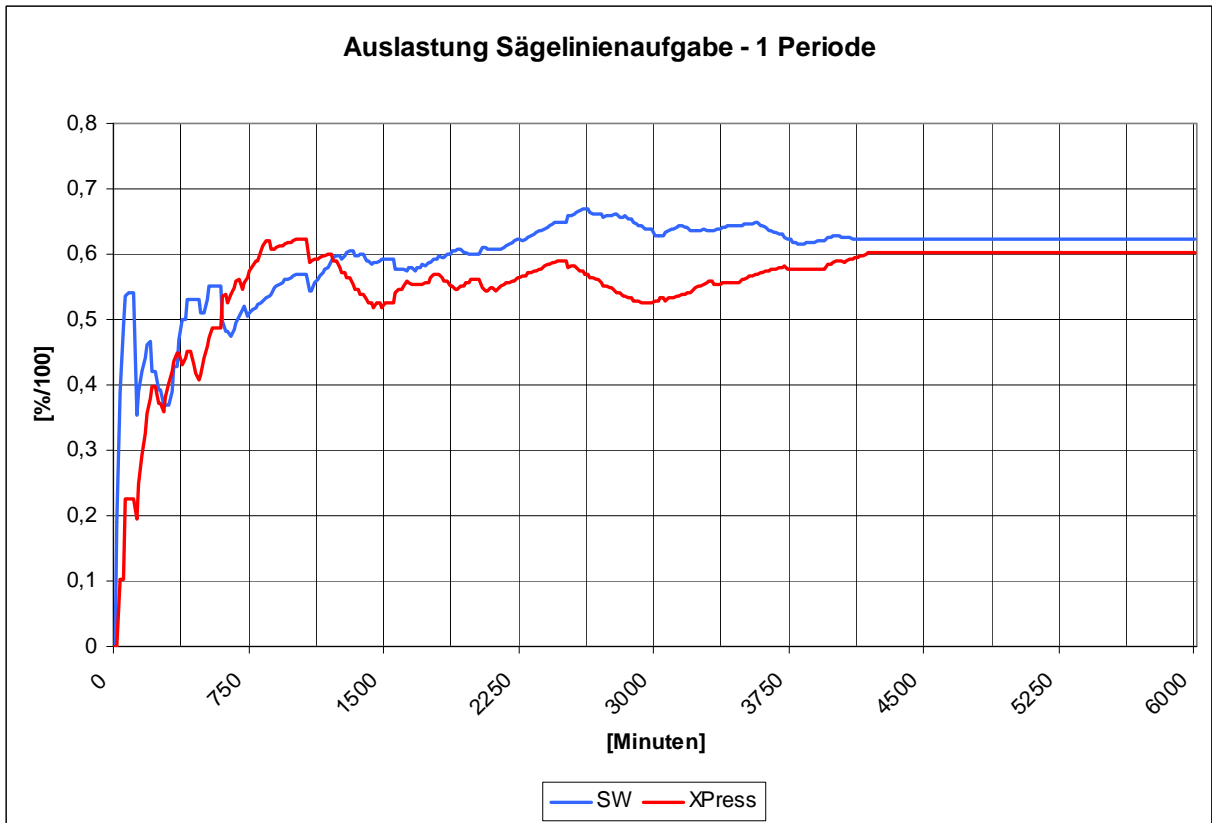


Abbildung 33: Auslastung Sägelinienaufgabe – 1 Periode

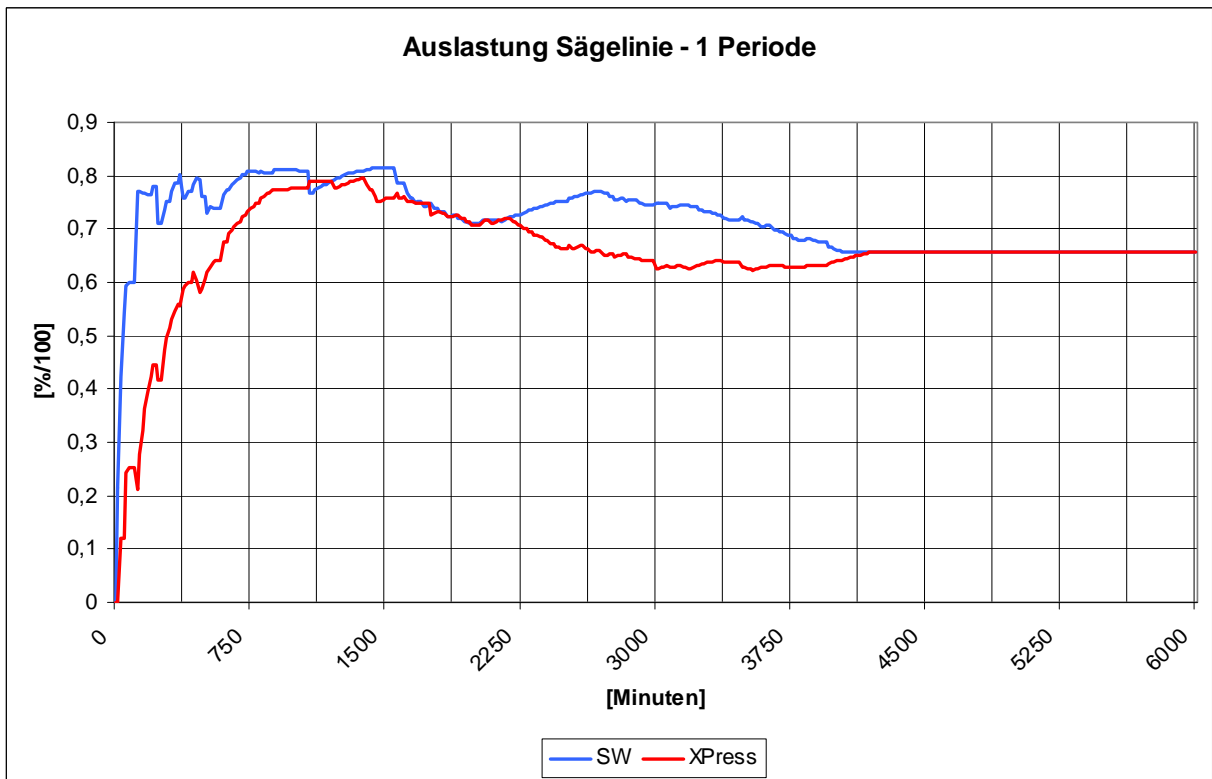


Abbildung 34: Auslastung Sägelinie – 1 Periode

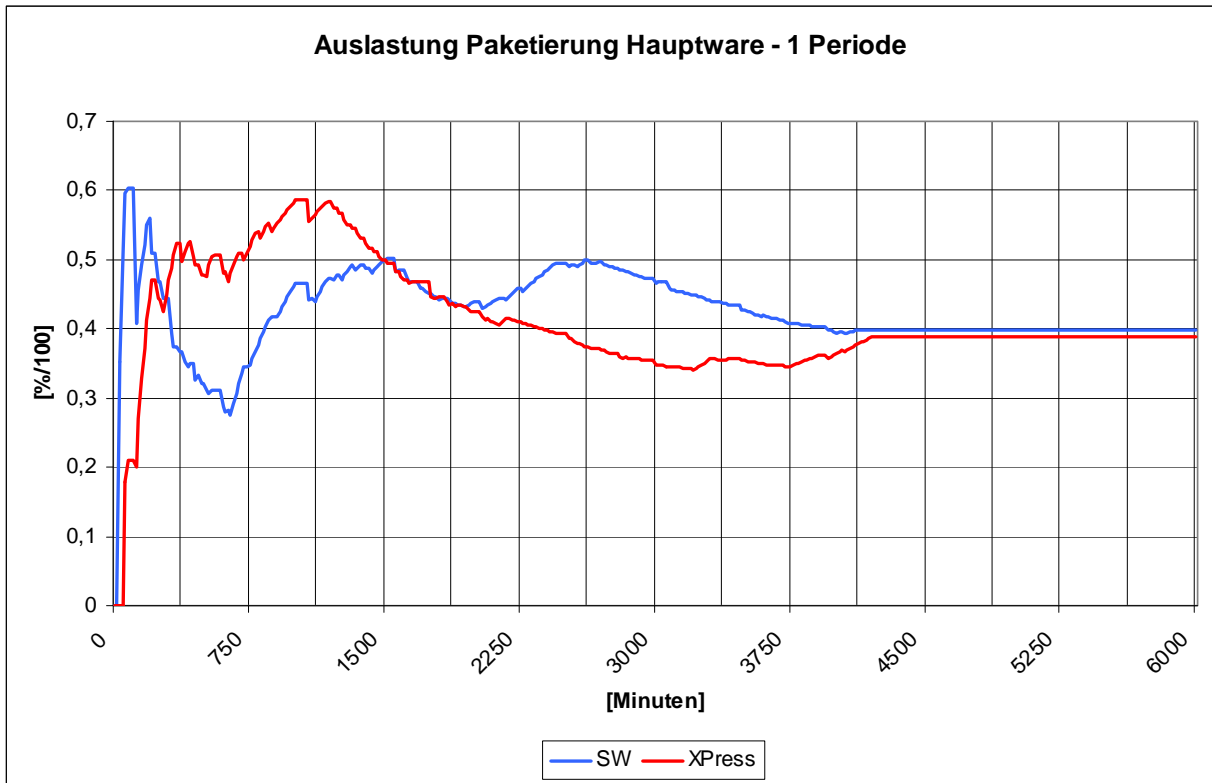


Abbildung 35: Auslastung Paketierung Hauptware – 1 Periode

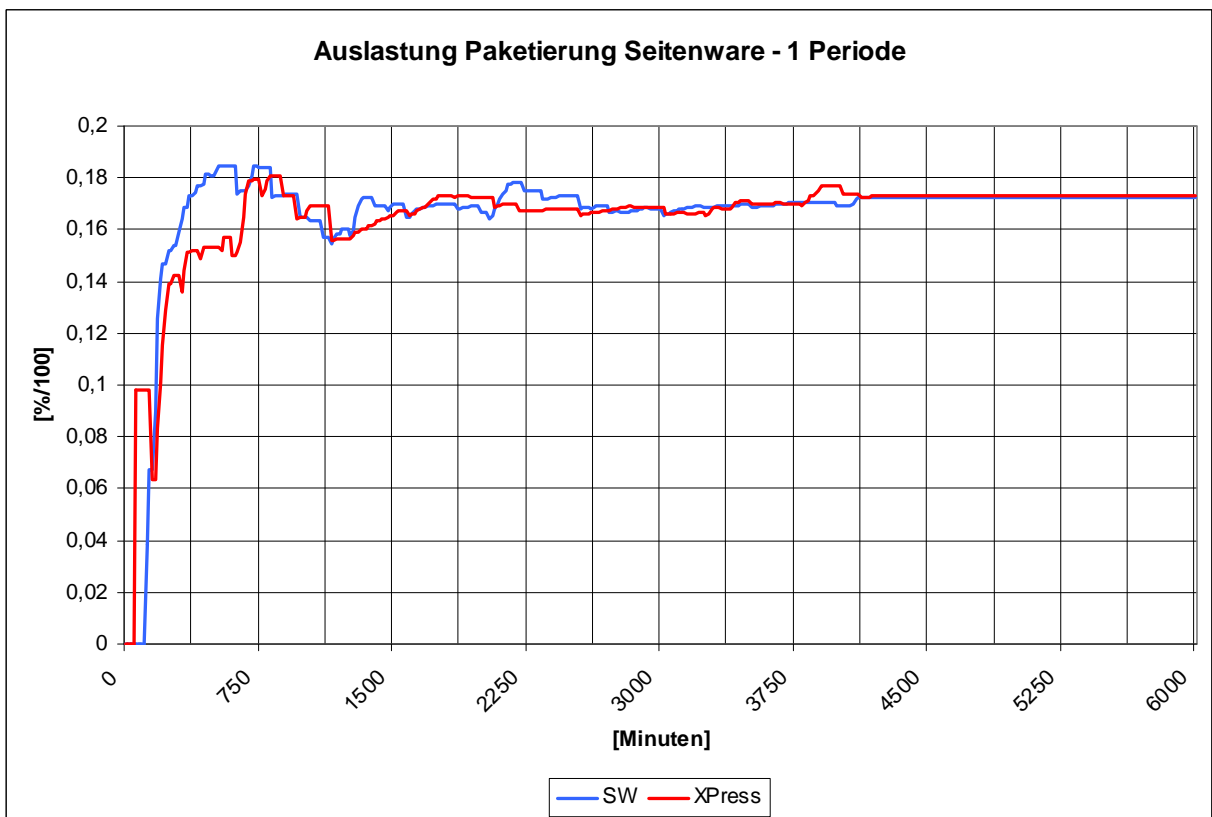


Abbildung 36: Auslastung Paketierung Seitenware – 1 Periode

Die Abbildungen zeigen, dass sich die Auslastungen über die Zeit oftmals unterscheiden, aber gegen Ende der Produktion einen gleich hohen Wert aufweisen. Begutachtet man diesen Umstand über alle Perioden, so ist diese Aussage als signifikant anzusehen.

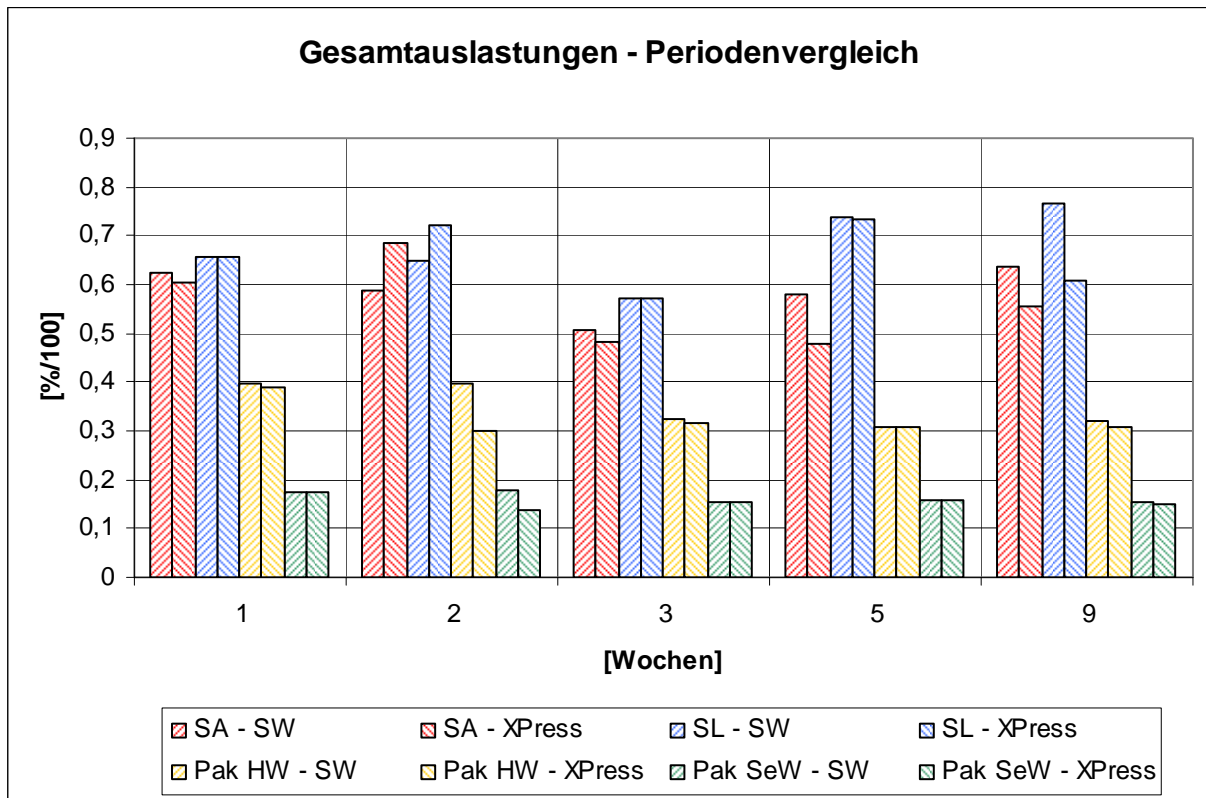


Abbildung 37: Gesamtauslastungen im Periodenvergleich

Tritt der seltene Fall ein, dass die Auslastung des Produktionsprogramms der Einlastungsplanung geringer – als bei der ursprünglichen Variante des Sägewerks – ist, so ist zu bedenken, dass dies durch die höhere Anzahl an Rüstvorgängen bedingt ist. Entscheidend ist jedoch, dass die Gesamtbearbeitungszeit unter der des Sägewerks liegt und der Deckungsbeitrag optimal ist.

7.2.3 ERGEBNISSE – LEISTUNG und OUTPUT

Neben den Ergebnissen der einzelnen Auslastungen waren auch die jeweiligen Leistungskennzahlen von großem Interesse. Betrachtet man alle einzelnen Anlagenabschnitte bis zur Paketierung so ist der Bereich der Schnittholzsartierung als Engpass anzusehen. Kennzahlen dieser Anlagen eignen sich daher besonders für den Vergleich zwischen den beiden Produktionsprogrammen. Untersucht und erfasst wurde

- die Gesamtanzahl an erzeugten Brettern,
- das gesamte produzierte Volumen,

- die Leistung an Brettern pro Stunde und
- die Leistung an m³ pro Stunde

in einer Periode. Neben der Unterscheidung der beiden Sortieranlagen für Haupt- und Seitenware, wurde weiters die einzelne Fächerauslastung betrachtet. Als Darstellung der Ergebnisse dient wiederum die erste Periode.

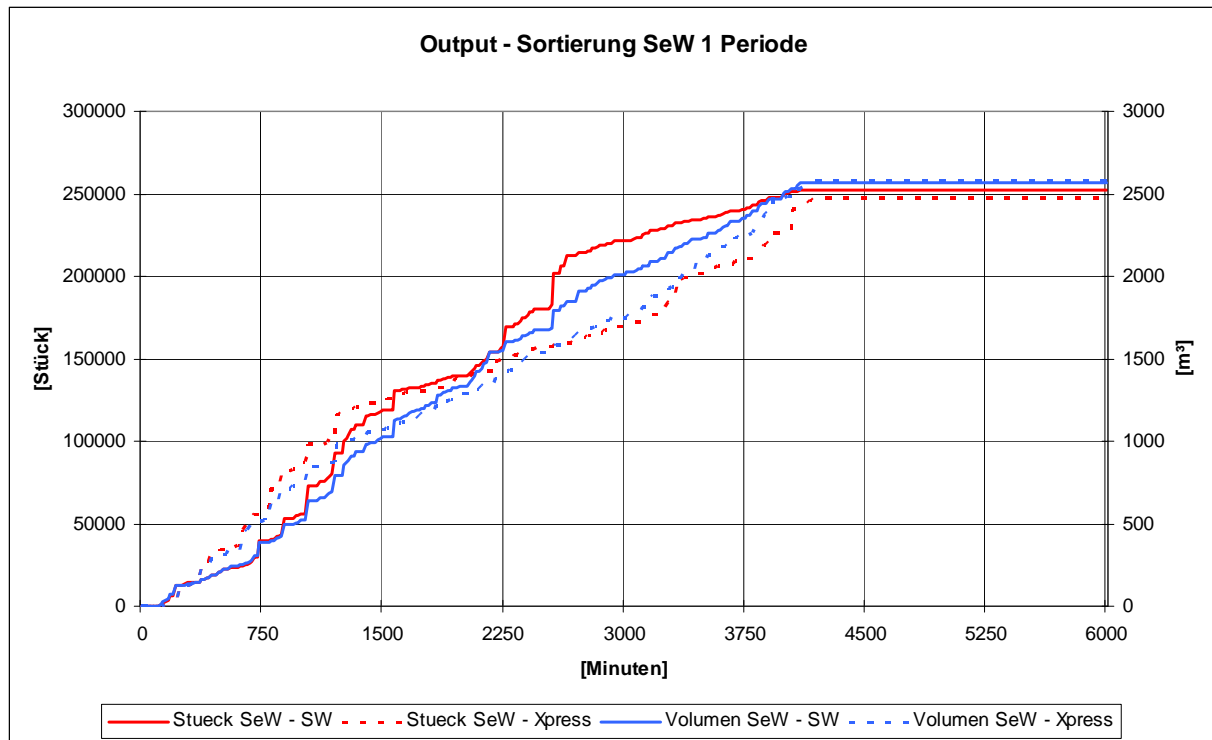


Abbildung 38: Output Seitenware Sortierung – 1 Periode

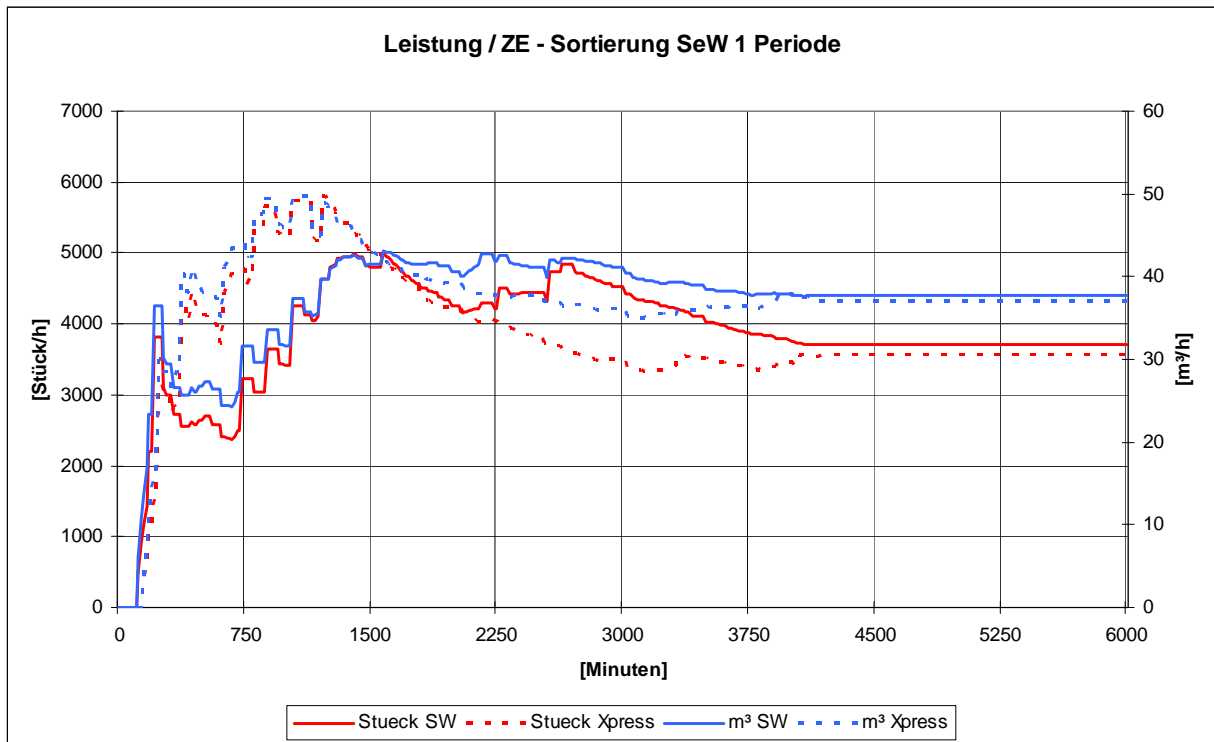


Abbildung 39: Leistung pro Zeiteinheit – Sortierung Seitenware 1 Periode

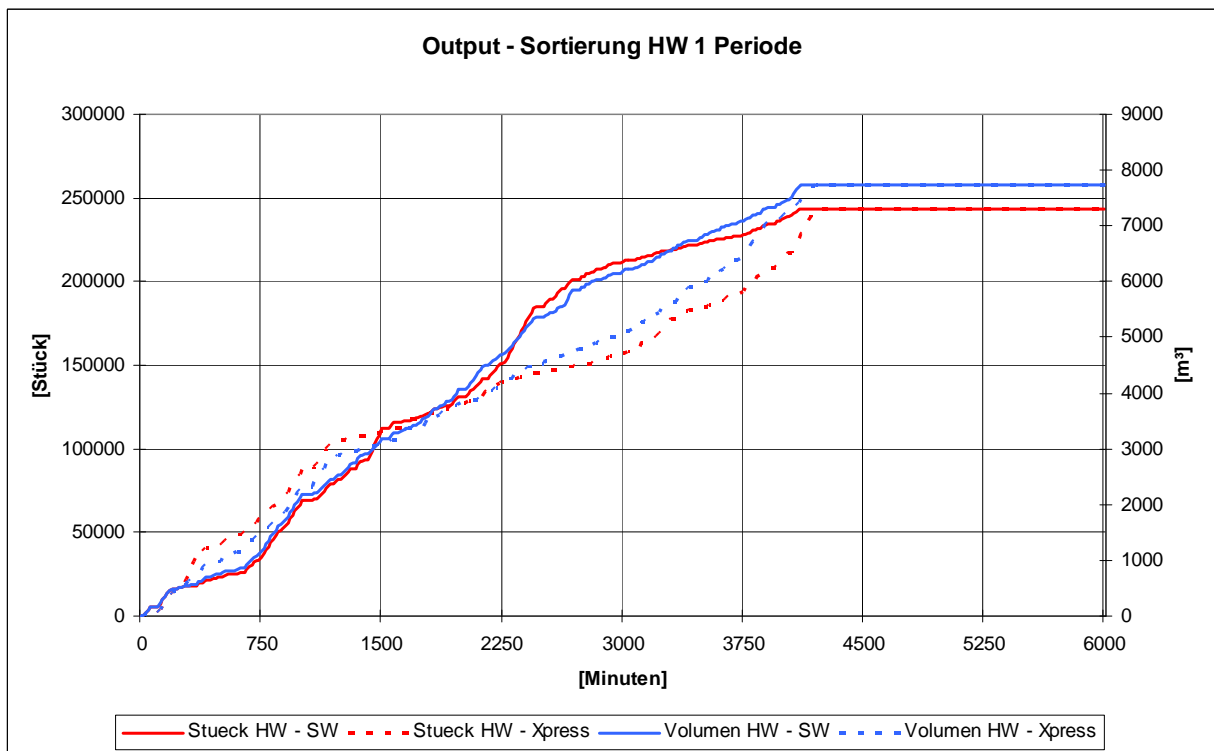


Abbildung 40: Output Hauptware Sortierung – 1 Periode

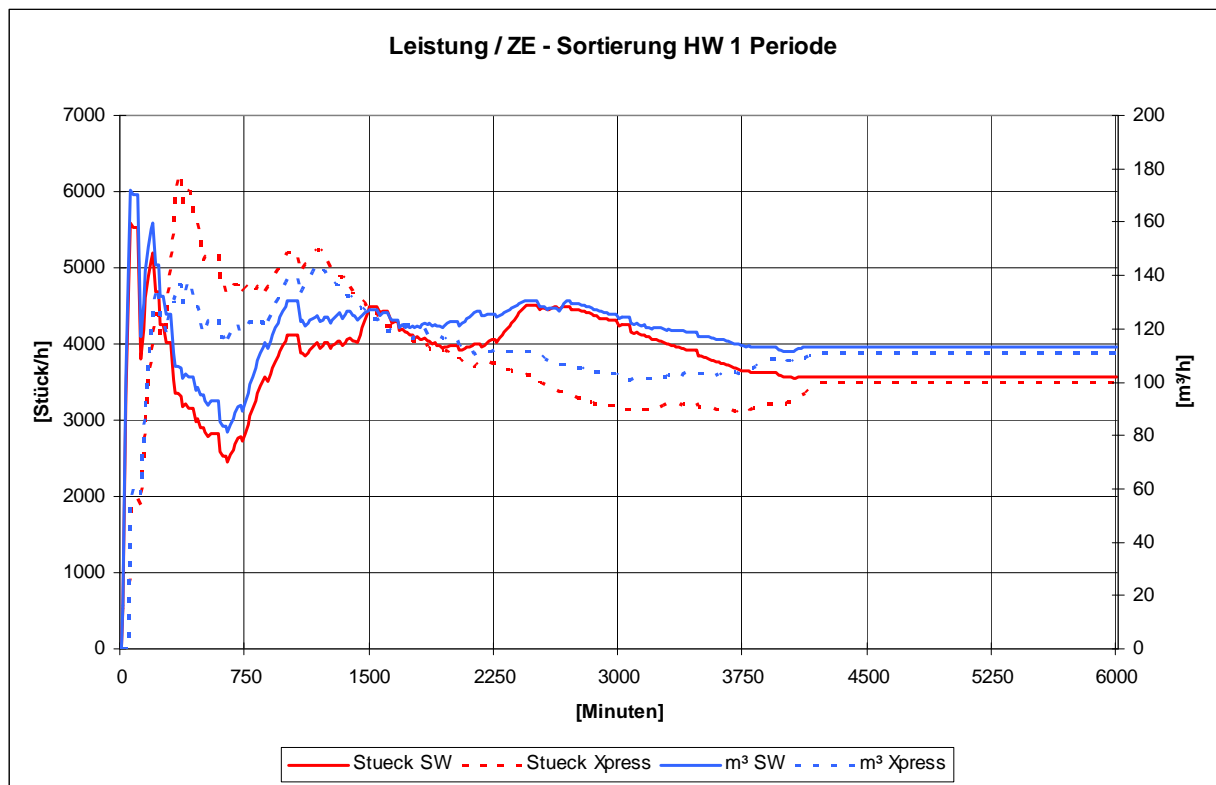


Abbildung 41: Leistung pro Zeiteinheit – Sortierung Hauptware 1 Periode

Abbildung 38 bis Abbildung 41 zeigt den jeweiligen Output der Varianten Sägewerk und Einlastungsplanung für 1 Periode. Erfasst wurde sowohl die Stückzahl, als auch das Volumen in m³. Die Auswertungen der Produktionsraten über den Zeitverlauf werden jeweils pro Stunde angegeben. Wie ersichtlich, bediente man sich in den Darstellungen zweier Ordinaten, die für die Anzahl an Stück bzw. das Volumen verwendet wurden.

Auffallend ist, dass aufgrund der unterschiedlichen Produktionsvarianten die Ausstoßmengen bzw. die Leistungen pro Zeiteinheit oftmals voneinander abweichen, sich jedoch gegen Ende der Produktion aneinander anpassen. Betrachtet man alle untersuchten Perioden, so besitzt obige Aussage bei jedem Zeithorizont Gültigkeit. Die folgenden Abbildungen verdeutlichen die einzelnen Ergebnisse – zusammengefasst – für alle Perioden. Die Darstellungen konzentrieren sich auf die jeweilige Auslastung / Produktionsrate am Ende der Produktion.

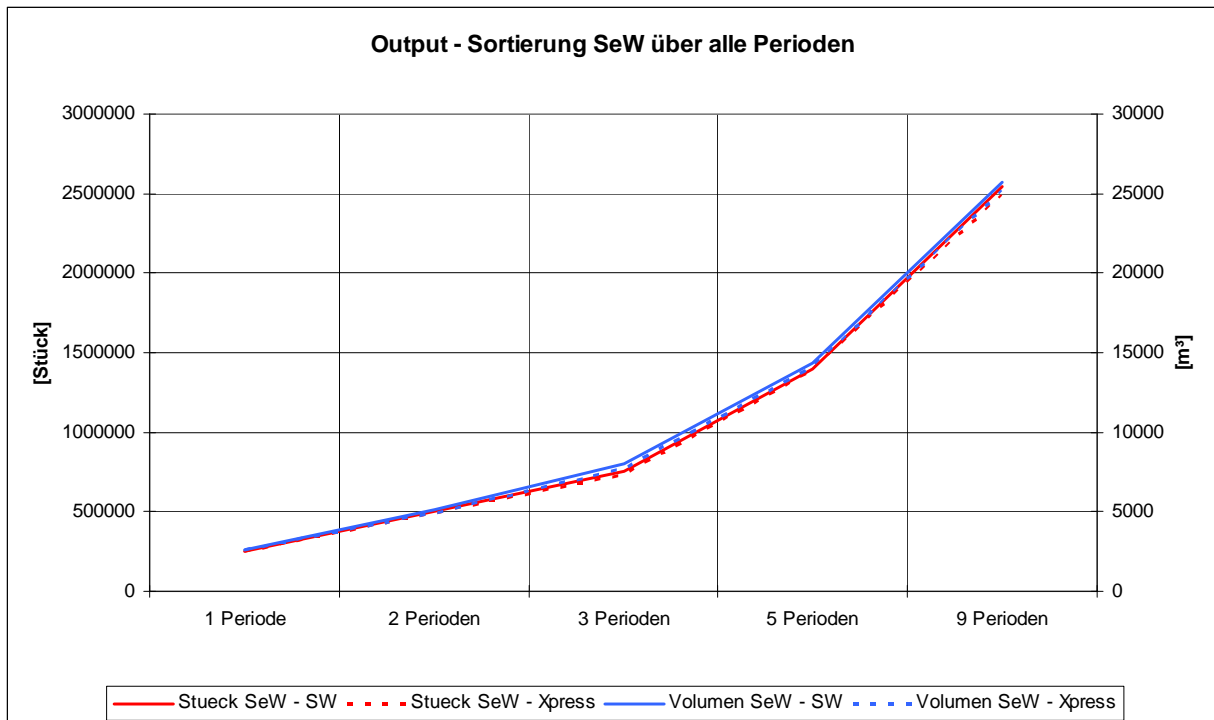


Abbildung 42: Output Sortierung Seitenware über alle Perioden

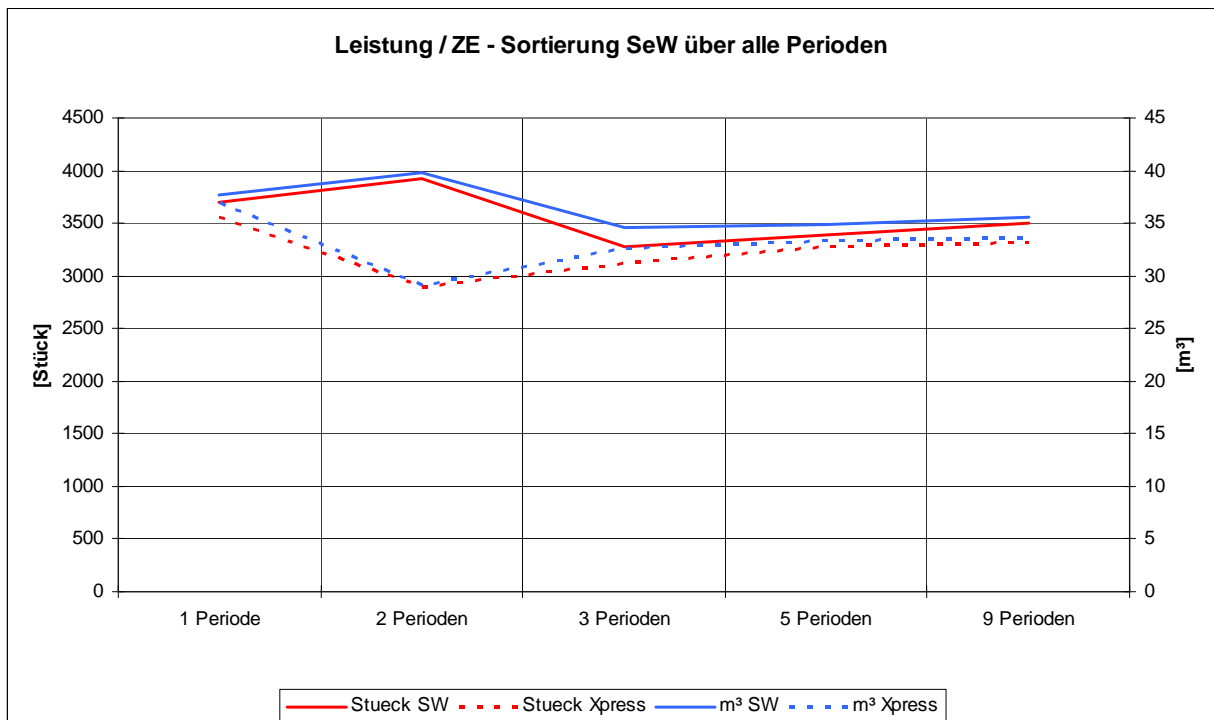


Abbildung 43: Leistung pro Zeiteinheit – Sortierung Seitenware über alle Perioden

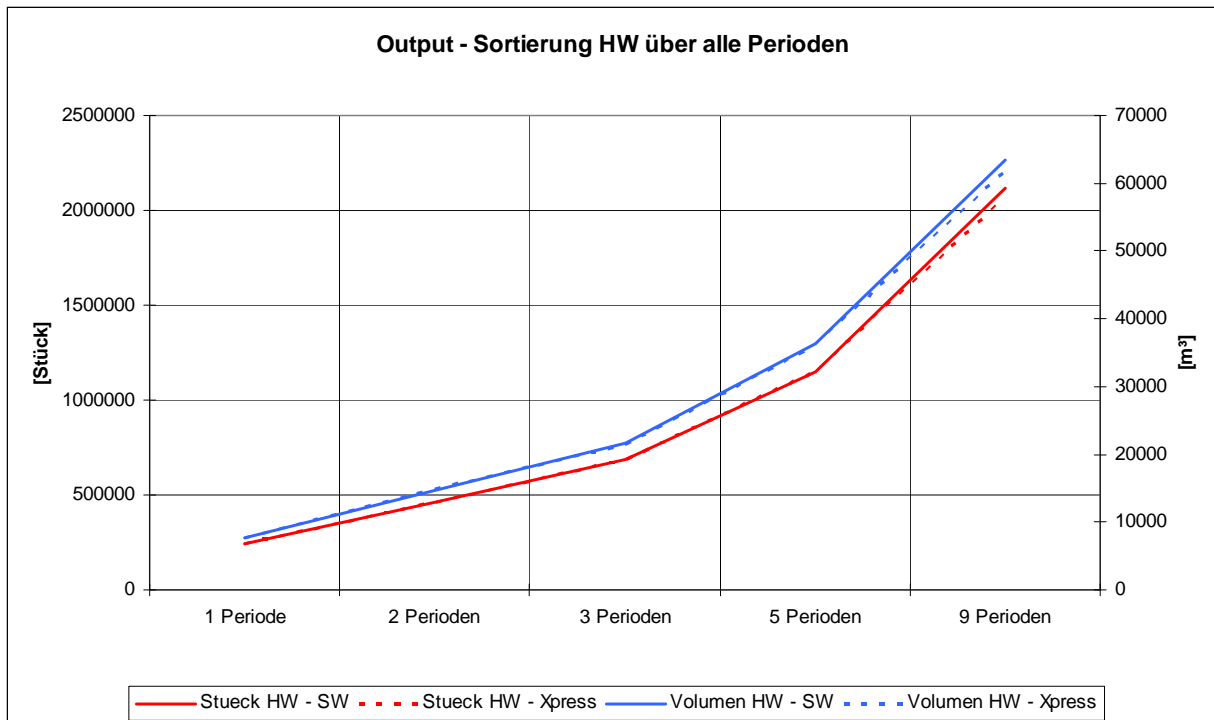


Abbildung 44: Output Sortierung Seitenware über alle Perioden

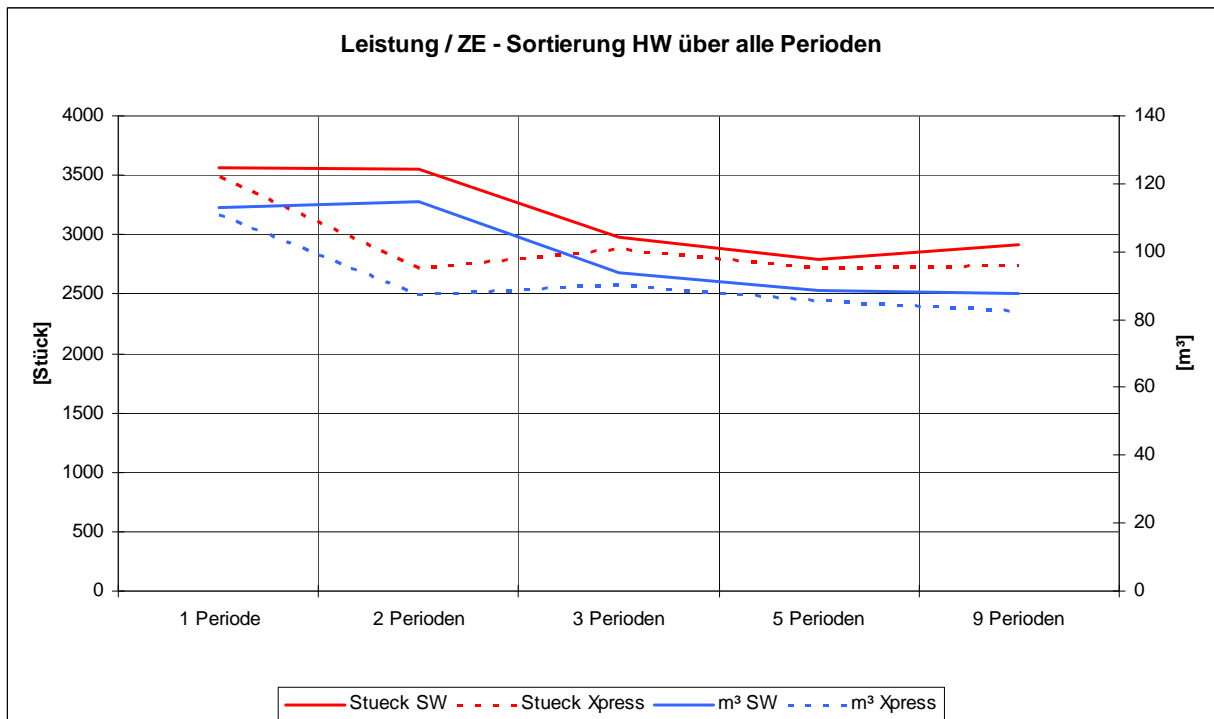


Abbildung 45: Leistung pro Zeiteinheit – Sortierung Seitenware über alle Perioden

Betrachtet man die Ergebnisse über alle Perioden, so ist – wie bereits erwähnt – festzustellen, dass bei beiden Modelldurchläufen sämtliche Ergebnisse dieselben Größen aufweisen. Geringe Abweichungen bei den Leistungsdarstellungen sind wiederum auf vermehrte Stillstände (Rüstvorgänge) der Produktionsprogramme aus der Einlastungsplanung zurückzuführen.

Die Auswertungen der einzelnen Fächerleistungen in den einzelnen Sortieranlagen – gemessen in m^3 pro Stunde – wurden ebenfalls über alle Perioden durchgeführt. Zusammenhänge sind in diesem Fall sehr schwer zu erkennen, da – wie bereits erwähnt – die Befüllung der einzelnen Fächer vom Auftrag, den einzelnen Dimensionen und der Qualität abhängt. Vor allem bei der Seitenwarensortierung ist jedoch auffallend, dass – je länger der Produktionshorizont fortschreitet – sich die Leistung (in m^3 pro Stunde) der Fächer beider Varianten angleicht. Die folgenden 2 Abbildungen sollen diesen Umstand verdeutlichen.

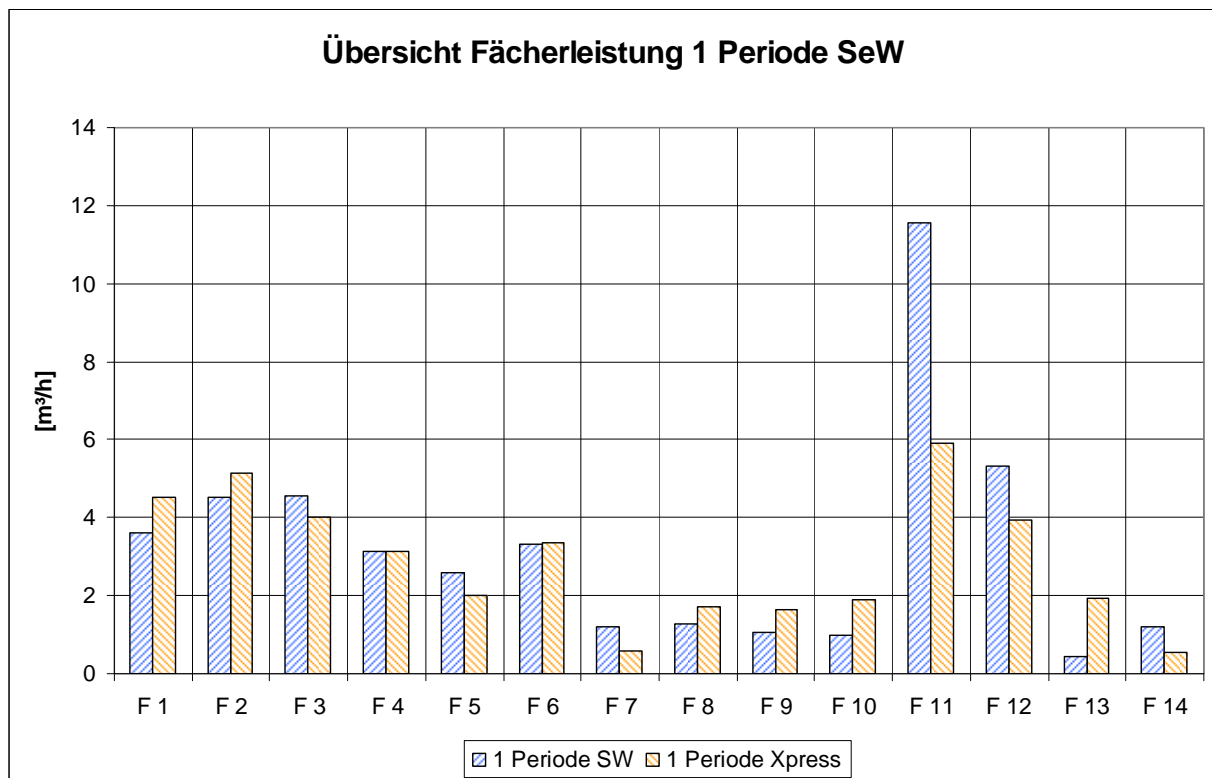


Abbildung 46: Übersicht der Fächerleistung für 1 Periode der Seitenwarensortierung

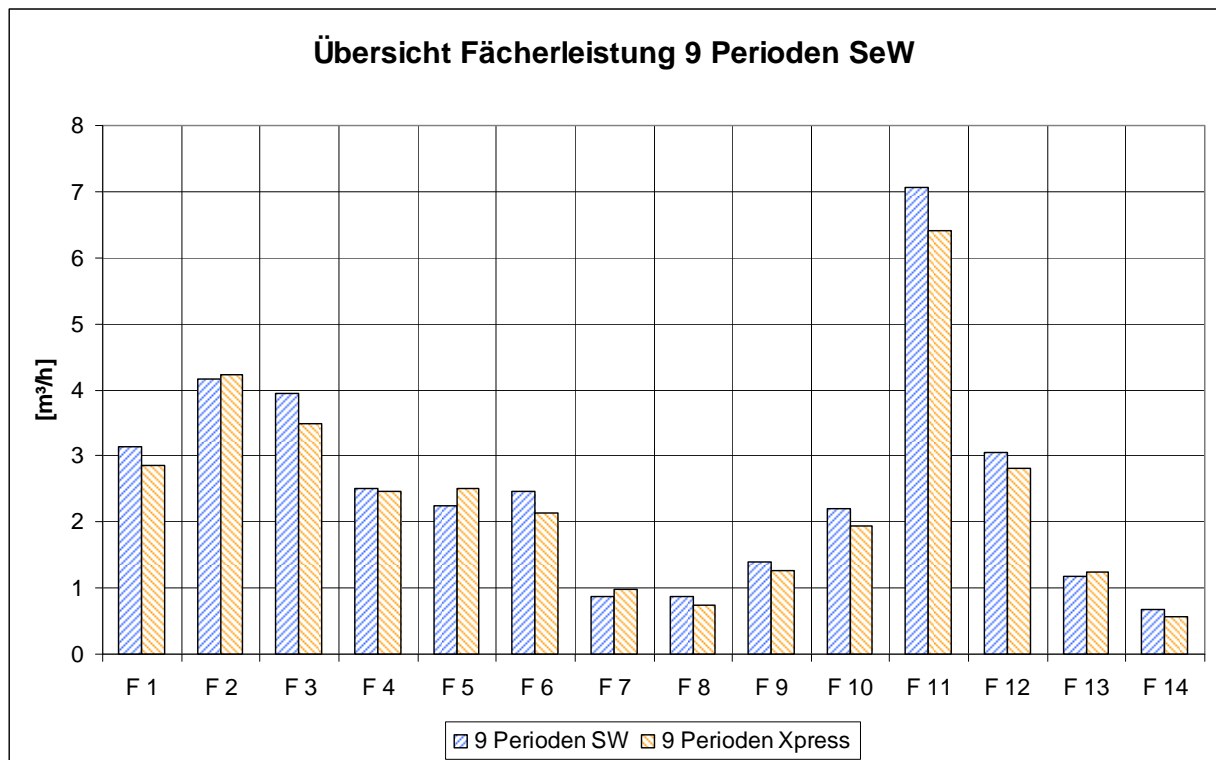


Abbildung 47: Übersicht der Fächerleistung für 9 Perioden der Seitenwarensortierung

Ebenso wie bei der Seitenwarensortierung gibt es auch bei der Hauptwarensortierung gewisse Fächer, die eine ausgesprochen hohe Leistung pro Zeiteinheit aufweisen. Erklärbar ist dies dadurch, dass aufgrund der Variabilität der erzeugten Bretter (Länge, breite, Stärke, Qualität, ...) die Möglichkeit besteht, dass alle Fächer für einen Auftrag genutzt werden müssen, um „sortenreine“ Pakete bilden zu können. Auch wenn es noch genauerer Untersuchungen bedarf, liegt es sehr nahe, dass (im Durchschnitt) zum Beispiel immer ab Sortierfach 11 ein neuer Auftrag sortiert wird, wobei hier immer die Ware eingeschleust wird, die nach den Verteilungen für Qualitäten, Dimensionen, etc. in der größten Menge anfällt.

7.2.4 ERGEBNISSE – STILLSTÄNDE SORTIERUNG

Von besonderem Interesse war die Entwicklung der Stillstände in den Sortieranlagen. Aufgrund der Tatsache, dass die Produktionszeiten des Einschnittprogramms der Einlastungsplanung unter der Vergleichszeit lagen, konnte davon ausgegangen werden, dass sich die Summe der vermehrten Stillstände nicht negativ auf die Gesamtbearbeitungszeit auswirkten. Wie sich die Stillstände jedoch entwickeln bzw. ob ein signifikanter Zusammenhang zwischen den Stillständen und der Produktionszeit vorhanden ist, war eine genauere Untersuchung wert.

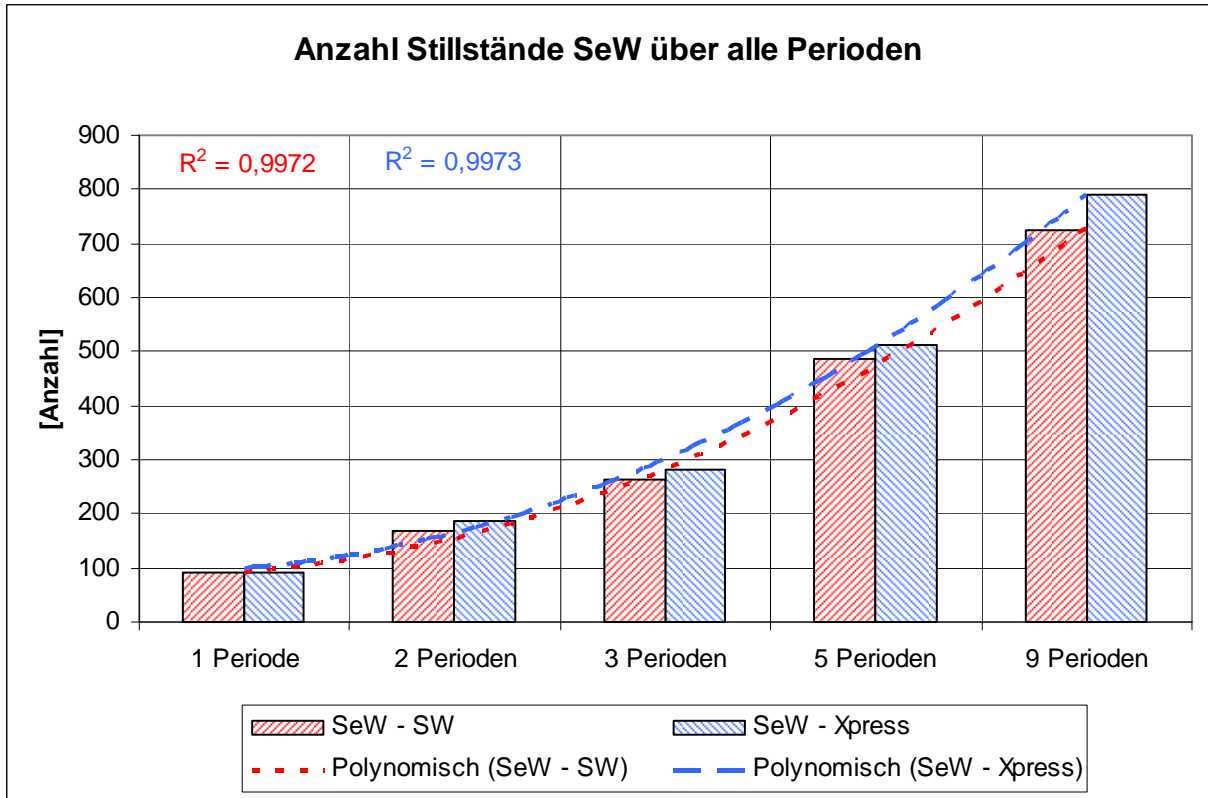


Abbildung 48: Anzahl Stillstände – Seitenwarensortierung über alle Perioden

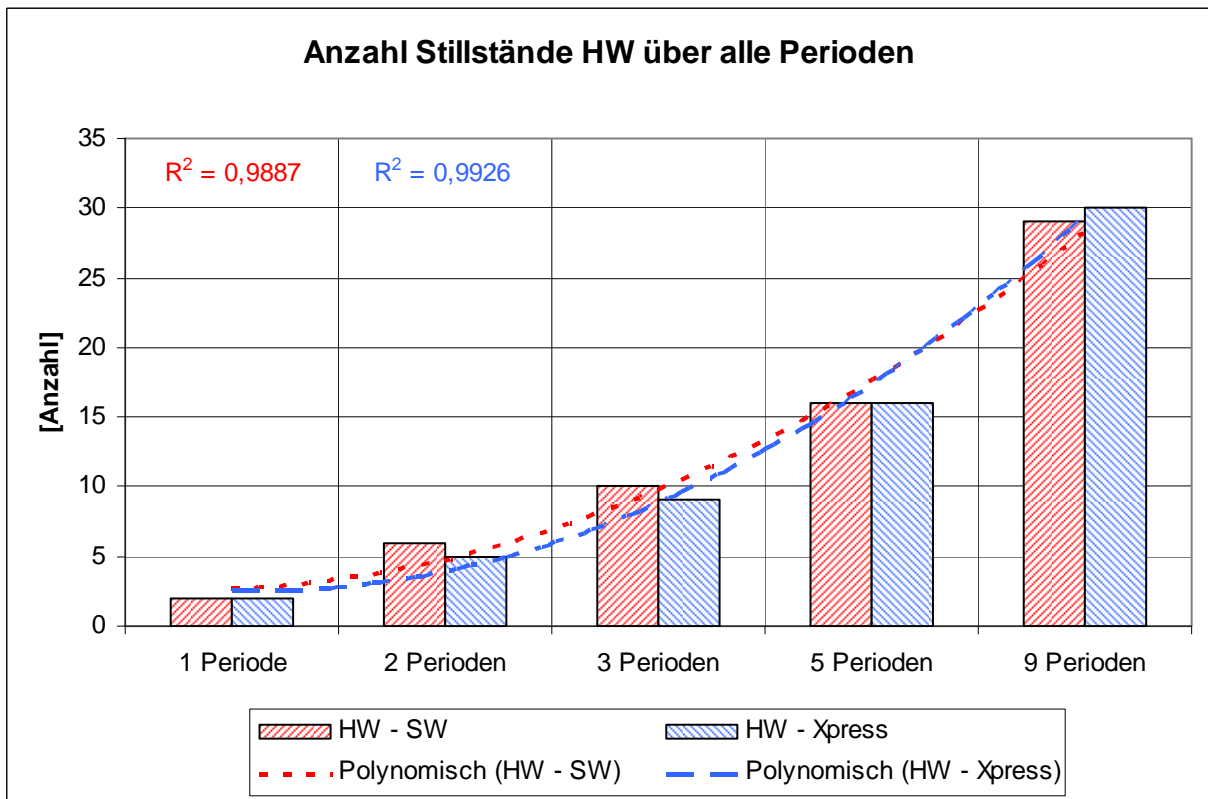


Abbildung 49: Anzahl Stillstände – Hauptwarensortierung über alle Perioden

Deutlich zu erkennen ist, dass sich trotz vermehrter Einzelaufträge aus der Einlastungsplanung kein mengenmäßig hoher Anstieg der Stillstände zeigt. Betrachtet man die Hauptwarensortierung, ist sogar eine Produktion mit weniger Stillständen möglich. Die Vorwärtsberechnung eines Trends für weitere Perioden kann mithilfe einer polynomischen Trendlinie zweiten Grades erfolgen, die durch ein sehr hohes Bestimmtheitsmaß (R^2) gekennzeichnet ist.

Zusammenfassend lieferte das vorliegende Projekt eine Reihe konkreter Ergebnisse. Zunächst wurde ein umfassendes Konzept für die stoffstrombasierte Produktionsplanung in Sägebetrieben entwickelt. Dieses Konzept stellt die modelltheoretische Grundlage für die stoffstrombasierte Produktionsplanung bei den angeführten Produktionstypen der Sägeindustrie dar. Ausgehend von diesem Konzept wurden für die vorgestellten Planungsaufgaben mathematische Optimierungsmodelle formuliert und spezielle Lösungsalgorithmen entworfen und implementiert. Auf diese Weise entstand ein Referenzmodell zur stoffstrombasierten Produktionsplanung in Sägebetrieben.

Zudem wurde ein detailliertes Simulationsmodell zur Analyse der Stoffströme gebaut und mit den Planungsverfahren softwaretechnisch verknüpft.

SCHLUSSFOLGERUNG UND AUSBLICK

Immer wieder wird eine Weiterentwicklung der ergebnisorientierten ERP-Systeme zu Ansätzen des stoffstrombasierten Produktionsmanagement gefordert (Schultmann, 2003).

Die Neuerungen dieser Arbeit betreffen die Integration von Material-, Stoff- und Energieflüssen in einem umfassenden Planungskonzept für den täglichen Betriebsablauf und gehen so in der Ressourceneffizienz wesentlich über bisherige Ansätze hinaus.

Die Verwertung der Ergebnisse soll auf mehreren Wegen erfolgen. Zunächst ist vorgesehen, die Ergebnisse in Fachjournalen und Zeitschriften zu publizieren (s. a. Anhang). Darüber hinaus werden die Konzepte bei einschlägigen Fachtagungen und Kongressen der österreichischen Sägeindustrie vorgestellt. Die entwickelten Planungsansätze finden aber auch Eingang in die universitäre Lehre, womit eine kontinuierliche indirekte Verwertung über Absolventen gegeben ist.

LITERATURVERZEICHNIS

- Adams E. 1984. DESIM: A System for Designing and Simulating Hardwood Sawmills, United States Department of Agriculture, General Technical Report NE-89.
- Araman P.A. 1977. Use of computer simulation in designing and evaluating a proposed rough mill for furniture interior parts. USDA Forest Serv. Res. Pap. NE-361, USDA Forest Serv., Northeastern Forest Expt. Sta., Upper Darby, Pa
- Aune J. 1974. System simulation: A technique for sawmill productivity analysis and design. *For. Chron.* 50 (2): 66-69.
- Baesler, F., M. Moraga and F. Ramis, 2002. Productivity improvement in the wood industry using Simulation and artificial intelligence, In Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference, eds. E. Yücesan, C.-H. Chen, J. L. Snowdon, and J. M. Charnes, 1095-1098. Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Becker M. 2003. Kooperation von Unternehmen der Sägeindustrie – Herausforderungen, Hemmschwellen, Erfolgsvoraussetzungen. *Holz als Roh- und Werkstoff* 61: 399-402. Springer Verlag.
- Bonham D.J., Hall R., Egan P., Lane S. 1990. Simulation of small-log Canadian softwood sawmills using discrete-event simulation and expert systems. Proc. Of CSME Mechanical Engineering Forum.
- Brunner C., Funck J., Randhawa S., Zhang G. 1994. A discrete-event object-oriented modeling environment for sawmill simulation. *Simulation* 64 (2): 119-130.
- Brunner C.C., White M.S., Lamb F.M., Schroeder J.P. 1989. CORY: a computer program for determining dimension stock yields. *Forest Prod. J.* 39 (2): 23-24.
- Buehlmann U., Ragsdale C.T., Gfeller B. 2000. A spreadsheet-based decision support system for wood panel manufacturing. *Decision Support Systems* 29: 207-227.
- Buehlmann U., Thomas R.E. 2001. Lumber yield optimization software validation and performance review. *Robotics Comput Integr Manuf*: 17:27-32.
- Carino H.F., Lenoir C.H. 1988. Optimizing wood procurement in cabinet manufacturing. *Interfaces* 18 (2): 21-26.
- Carino H.F., Willis D.B. 2001. Enhancing the profitability of a vertically integrated wood products production system: Part 1. A multistage modeling approach. *Forest Products Journal* 51 (4):37-44.
- Cronin K., Norton B., Taylor J. 1996. Development of a Simulation Tool to Enable Optimisation of the Energy Consumption of the Industrial Timber-Drying Process. *Applied Energy* 53: 325-340.
- Eklund U. 2000. Influencing factors on sawing accuracy in a bandsawmill. *Holz als Roh- und Werkstoff* 58: 102-106. Springer Verlag.
- Farrell R.R., Maness T.C. 2004. A relational database approach to a linear programming-based decision support system for production planning in secondary wood product manufacturing. *Decision Support Systems*: (in press)
- Gronalt, M. und Schmid M. 1992. Simulationsuntersuchungen zur Evaluation der Kapazität eines neuen Fertigungssystems: Eine Fallstudie. *OR Spektrum*, 14:193—199.
- Gronalt, M. 2002. Work order release and input sequencing for a printed circuit board assembly cell. *Production Planning and Control*, 13, (7), 591-601.
- Gronalt, M., Häuslmayer, H., Teischinger, A. 2005. Mass Customization in the Wood-Working Industry - Concepts for customized wooden floorings. In: Blecker, Th., Friedrich, G.: International Mass Customization Meeting 2005 (IMCM'05), June 2-3, 2005, Klagenfurt; Proceedings of IMCM'05, 163-174; GITO-Verlag Berlin; ISBN 3-936771-46-4

- Gronalt, M., Hirsch, P. 2005. A Tabu Search based Solution Method to optimize Round timber Transport. In: Universität Wien: 6th Metaheuristics International Conference (MIC), 22-26 August 2005, Wien, 461-466.
- Kellerer H., Pferschy U., Pisinger D. 2004. Knapsacks Problems. Springer, Berlin.
- Kline D.E., Wiedenbeck J.K., Araman P.A. 1992. Management of wood products manufacturing using simulation/animation. *For. Prod. J.* 42 (2): 45-52.
- Klinkhachorn P., Franklin J.P., McMillin C.W., Huber H.A. 1989. ALPS: yield optimization cutting program. *Forest Prod. J.* 39 (3): 53-56.
- Klinkhachorn P., Kothari R., Prasad R., McMillin C.W., Mukherjee. 1993. Prototyping an automated lumber processing system (ALPS). *Forest Products Journal* 43 (2): 11-18.
- Liedtke Ch., Busch T. (Hrsg.) 2005. Materialeffizienz – Potenziale bewerten, Innovationen fördern, Beschäftigung sichern. Oekom, München.
- Maness C., Adams D. 1991. The combined optimization of log bucking and sawing strategies. *Wood Fiber Sci.* 23: 296-314.
- Maness, T. C. , Norton, S.E. 2002. Multiple Period Combined Optimization Approach to Forest Production Planning, *Scand. J. For. Res.* 17: 460-471.
- Mendoza, G. A., Meimban, R. J. (1991): Combined Log Inventory and Process Simulation Models for the Planning and Control of Sawmill Operations. Proceedings, 23rd CIRP International Seminar on Manufacturing Systems. 8pp.
- Mundie W.P. 1977. Linear Programming for a Lumber Remanufacturing Plant. B.Sc. Thesis, Faculty of Forestry, University of British Columbia, Vancouver, B.C., Canada
- Penick E.B. 1968. A linear programming application to machine loading in a furniture plant. *Forest Products Journal* 2: 21-26.
- Randhawa S., Brunner C., Funck J., Zhang G. 1993. An object-oriented framework for sawmill simulation. *Computers ind. Engng.* 25 (1-4): 565-568.
- Randhawa S., Beaumariage T.G., Funck J.W. Using simulation to create manufacturing control expert knowledge in sawmills. Unpublished manuscript (presently under review).
- Rimmler T., Kurttila M., Pesonen M., Koljonen K. 2000. Economic impacts of alternative timber-cutting scenarios in Finland: an input-output analysis. *Forest Policy and Economics* I: 301-313.
- Rönnqvist M., Gustafsson S. 1999. Production control of cross cut operations at wood manufacturing industries. Dept. of Mathematics. Linköpings Universitet. LiTH-MAT-R-1999-09.
- Schultmann, F. 2003. Stoffstrombasiertes Produktionsmanagement, Erich Schmidt.
- Salin J.G. 1990. Simulation of the timber drying process. Prediction of moisture and quality changes. PhD thesis, Abo Akademi, Finland.
- Thomas R.E., Buehlmann U. 2002. Validation and performance comparison: the ROMI-RIP rough mill simulator versus an actual rough mill. *Forest Products J* 52 (2): 23-29.
- Todoroki C. 1990. AUTOSAW system for sawing simulation. *N. Z. J. For. Sci.* 20: 332-348.
- Todoroki C., Rönnqvist M. 2002. Dynamic control of Timber Production at a Sawmill with Log Sawing Optimization. *Scand. J. For. Res.* 17: 79-89.
- Walker, J. C. F. 1993. Primary Wood Processing: Principles and Practice: 595 pp. Chapman and Hall, London.
- Weidenbeck J. 1992. Simulation for rough mill operations, *Wood & Wood Prod.* 97 (12): 71-76.
- Wengert E.M., Lamb F.M. A handbook for improving quality and efficiency in rough mill operations: practical guidelines, examples, and ideas. Blacksburg, VA: Virginia Polytechnic Institute and State University: p.12

- Wenjie, L., D. Earl Kline, Ph. A. Araman and J. K. Wiedenbeck, 1995. Design and Evaluation of Log-to-Dimension Manufacturing Systems Using System Simulation. *Forest Products Journal*, 45(3):37-44.
- Yanasse, H. H., Limeira, M. S. 2006 A hybrid heuristic to reduce the number of different patterns in cutting stock problems, *Computers & Operations Research* 33 (2006) 2744–2756.
- Zeng Y., Randhawa S., Funck J. 1996. An Expert System for Softwood Lumber Grading. *Computers Ind. Engineering*. 31, No. ½: 463-466.

ABBILDUNGS- & TABELLENVERZEICHNIS

Abbildung 1: Durchmesser­verteilung des angelieferten Rundholzes über 1 Jahr	9
Abbildung 2: Beispiel eines Schnittmusters	11
Abbildung 3: Darstellung der Profils­panertechnologie (Linck Holz­verarbeitungstechnik GmbH)	12
Abbildung 4: Vorschübe in Ab­hän­gig­keit von der Schnitt­höhe und der Anzahl der Schnitt­fugen	13
Abbildung 5: Zusammen­spiel der Daten­(struktur)	19
Abbildung 6: Übersicht – Stoff­ströme (Teil Rundholz & Sä­ge­linie)	21
Abbildung 7: Einlese­file – Schicht­zeiten mit auto­matischer Variablen­deklaration	22
Abbildung 8: Manu­elles Bestimmen der Einlese­ei­gen­schaf­ten	23
Abbildung 9: Animation Rundholz­sortierung - Auszug	25
Abbildung 10: Ausschnitt – Animation Sä­ge­linie	27
Abbildung 11: Seiten­waren­sortierung	28
Abbildung 12: Animation - Paketierung	29
Abbildung 13: Übersicht – Stoff­ströme (Teil Trocknung bis Versand)	30
Abbildung 14: Auszug Rundholz­sortierung - Sä­ge­leit­stand	32
Abbildung 15: Darstellung Polter­füll­stände	33
Abbildung 16: Online­über­blick – Auslastungen Seiten­waren­sortierung	33
Abbildung 17: Auslastungen Sä­ge­linie	34
Abbildung 18: Zopf­durch­messer­verteilung des unter­such­ten Sä­ge­werks	37
Abbildung 19: Ent­stehung von Rüst­kosten	40
Abbildung 20: Zusammen­spiel der einzel­nen Pro­gramme	49
Abbildung 21: Tabellen­struktur zur Visualisierung einer Lösung	51
Abbildung 22: Beziehungs­struktur der Tabellen der Access-Daten­bank	52
Abbildung 23: Ober­fläche Ein­lastungs­planung & Datenaustausch XPress und Arena	54
Abbildung 24: Angebots­verteilung - Fichte - Qualität 1	57
Abbildung 25: Angebots­verteilung - Fichte - Qualität 2	57
Abbildung 26: Angebots­verteilung - Fichte - Qualität 3	58
Abbildung 27: Ermittelte Zopf­durch­messer­verteilung - Fichte - Qualität 1	66
Abbildung 28: Ermittelte Zopf­durch­messer­verteilung - Fichte - Qualität 2	66
Abbildung 29: Ermittelte Zopf­durch­messer­verteilung - Fichte - Qualität 3	67
Abbildung 30: Diver­gente Pro­dukt­struktur	68
Abbildung 31: Ausschnitt Seiten­waren­sortierung - Speicher­belegung	69
Abbildung 32: Vergleich der einzel­nen Pro­duk­tions­zeiten über alle Peri­oden	74
Abbildung 33: Auslastung Sä­ge­linien­aufgabe – 1 Periode	75
Abbildung 34: Auslastung Sä­ge­linie – 1 Periode	75
Abbildung 35: Auslastung Paketierung Haupt­ware – 1 Periode	76
Abbildung 36: Auslastung Paketierung Seiten­ware – 1 Periode	76
Abbildung 37: Gesamtauslastungen im Peri­oden­ver­gleich	77
Abbildung 38: Output Seiten­ware Sortierung – 1 Periode	78
Abbildung 39: Leistung pro Zeiteinheit – Sortierung Seiten­ware 1 Periode	79
Abbildung 40: Output Haupt­ware Sortierung – 1 Periode	79
Abbildung 41: Leistung pro Zeiteinheit – Sortierung Haupt­ware 1 Periode	80
Abbildung 42: Output Sortierung Seiten­ware über alle Peri­oden	81
Abbildung 43: Leistung pro Zeiteinheit – Sortierung Seiten­ware über alle Peri­oden	81
Abbildung 44: Output Sortierung Seiten­ware über alle Peri­oden	82
Abbildung 45: Leistung pro Zeiteinheit – Sortierung Seiten­ware über alle Peri­oden	82
Abbildung 46: Übersicht der Fächer­leistung für 1 Periode der Seiten­waren­sortierung	83
Abbildung 47: Übersicht der Fächer­leistung für 9 Peri­oden der Seiten­waren­sortierung	84
Abbildung 48: Anzahl Still­stände – Seiten­waren­sortierung über alle Peri­oden	85
Abbildung 49: Anzahl Still­stände – Haupt­waren­sortierung über alle Peri­oden	85

Tabelle 1: Prozentuelle Verteilung der Längenänderung (Hauptware)	28
Tabelle 2: Prozentuelle Verteilung der Längenänderung (Seitenware).....	28
Tabelle 3: Produktionsabhängigkeiten des Produkts Nr. 51, zu anderen Produkten	39
Tabelle 4: Schnittholzproduktion des untersuchten Sägewerks, im Untersuchungszeitraum, in m ³	56
Tabelle 5: Produktion von Sägenebenprodukte des untersuchten Sägewerks, im Untersuchungszeitraum, in Srm	56
Tabelle 6: Prozentuelle Nachfrageverteilung der Schnittholzprodukte	56
Tabelle 7: Prozentuelle Nachfrageverteilung der Sägenebenprodukte	56
Tabelle 8: Testparameter	59
Tabelle 9: Ergebnisse des zweiten Validierungstests – relativ zum untersuchten Sägewerk	60
Tabelle 10: Ergebnisse der 1. numerischen Studie, relativ zum 2. Validierungstest	62
Tabelle 11: Ergebnisse der 2. numerischen Studie, relativ zum 2. Validierungstest	63
Tabelle 12: Ergebnisse der 3. numerischen Studie, relativ zum 2. Validierungstest	64
Tabelle 13: Ergebnisse der 4. numerischen Studie, relativ zum 2. Validierungstest	65

ANHANG (PUBLIKATIONEN)

Cost Action E44 Conference in Helsinki on
MODELLING THE WOOD CHAIN: FORESTRY - WOOD INDUSTRY - WOOD PRODUCT MARKETS

SHORT AND MEDIUM TERM PRODUCTION PLANNING AND MATERIAL FLOW SIMULATION IN SAWMILLING INDUSTRY

Thomas Greigeritsch¹, Manfred Gronalt², Alfred Teischinger³

¹ Institute of Production Economics and Logistics, BOKU – University of Natural Resources and Applied Life Sciences,
thomas.greigeritsch@boku.ac.at

² Institute of Production Economics and Logistics, BOKU – University of Natural Resources and Applied Life Sciences,
manfred.gronalt@boku.ac.at

³ Institute of Wood Science and Technology, BOKU – University of Natural Resources and Applied Life Sciences,
alfred.teischinger@boku.ac.at

Keywords: sawmill simulation, production planning, optimization

ABSTRACT

The European sawmilling industry is faced with structural changes. New competitive sites are built up in Eastern Europe and provide additional timber for the regional and international market. Small and medium sized mills suffer from their limited ability and the high risks to participate in international wood trade. New options for value added activities are considered in order to ensure the operation of sawmilling sites. Although well established and known processing technologies are used, there is an emerging need for an overall planning approach supporting sawmill operation efficiencies. This new approach centers on discrete event material flow simulation and highly sophisticated planning procedures for the short term production planning. While the simulation model is used to find system bottlenecks the planning tasks care for an optimized customer order oriented production and efficient resource scheduling at the shop floor. We propose a new method which combines workload planning and cutting pattern selection in a planning module with a detail material flow analysis in a simulation module.

1. INTRODUCTION

The European softwood sawmilling industry is faced with structural changes. New competitive sites are built up and provide additional timber for the regional and international markets. Small and medium sized mills suffer from their limited ability and the high risks to participate in international wood trade. New options for value added activities are considered in order to ensure the operation of sawmilling sites. Although well established and known processing technologies are used, there is an emerging need for an overall planning approach supporting sawmill operation efficiencies. This approach centers on discrete event material flow simulation and highly sophisticated planning procedures for the medium and short term production planning. While the simulation model is used to find system bottlenecks the planning tasks care for an optimized customer order oriented production and efficient resource scheduling at the shop floor.

In this paper we will discuss planning tasks in sawmilling industry and propose an approach for medium and short term production planning. By applying this planning instruments efficiency of mills will further increase. This is a necessary requirement in order to ensure the operation of a particular production site and to remain competitive.

2. PROBLEM DESCRIPTION

In timber production a divergent product structure with a number of valuable by-products must be considered while raw material supply is subject to high deviation with respect to quality, dimension and lead time resp. On the other hand, especially when producing for international markets, prices and market volumes for sawn timber and by-products are continuously changing. In Fig. 1 the product structure and the relation to profit related data, which used in the planning models is displayed. The products are divided up into main products, sideboards and by-products. The yield for each of these is reflected in the cutting pattern and documented in the data table, where for each log diameter a set of different cutting patterns is provided.

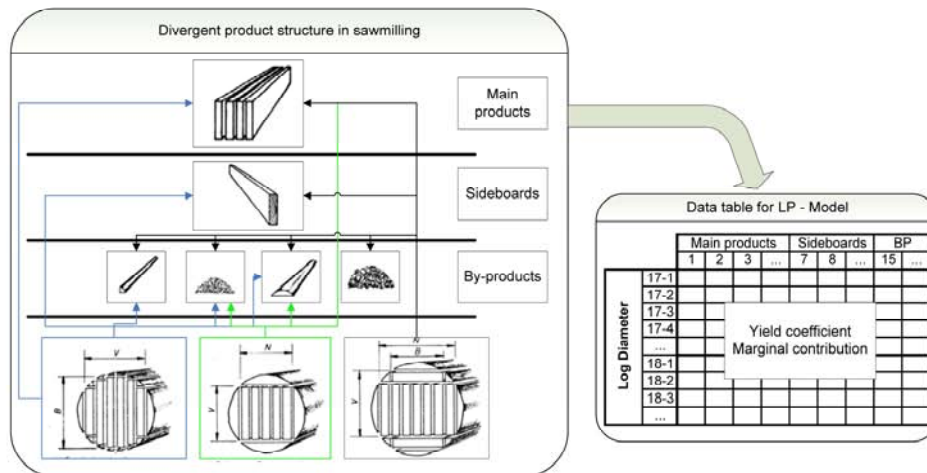


Figure 1: Product structure in sawmilling industries

Currently, short term production planning has a strong bias in cutting optimization (see e.g. Yanesse, 2006; Todoroki and Rönqvist, 2002) in order to optimize the production efficiency and valued yield of a log. An integrated production planning approach will select the best mix of cutting patterns for a time period according to customer orders and on hand inventory of logs and considers systems bottlenecks at the same time.

The planning model(s) are completed by a detailed material flow evaluation, using modern computer simulation techniques (Greigeritsch and Gronalt, 2006, Penker, Barbu and Gronalt, 2007). It is evident that by applying a rather integrated approach which considers inventory management and a detailed resource scheduling of bottlenecks operation costs can be saved (Baesler et al, 2002). A systematic linkage between customer orders and production planning decisions are necessary. This will be beneficially when market trends are changing and a new production mix is required. This new mix not only is a combination of main products but also reflects the demand and margin opportunities of by-products.

For mid and short term production planning similar planning models can be used. In the mid term application we want to determine the optimal production mix volumes of sawn timber dimensions and by-products in the course of some weeks. The production resources like saw line, sorting mill and kiln drying and customer orders are modelled at aggregate level. For the short term use the planning model selects the production orders for a day. For this, the actual round wood inventory, detailed customer orders and expected prices and resource time and space restrictions are considered. The resulting production plan is verified by a detailed material flow simulation of the factory. In case some restriction can not be met the data of the planning model are changed and a replanning is made. Fig. 2 shows the structure and interaction of the planning and simulation model for a multi-period planning horizon. The simulation model can be included in the planning cycle if some new material flow restrictions must be considered.

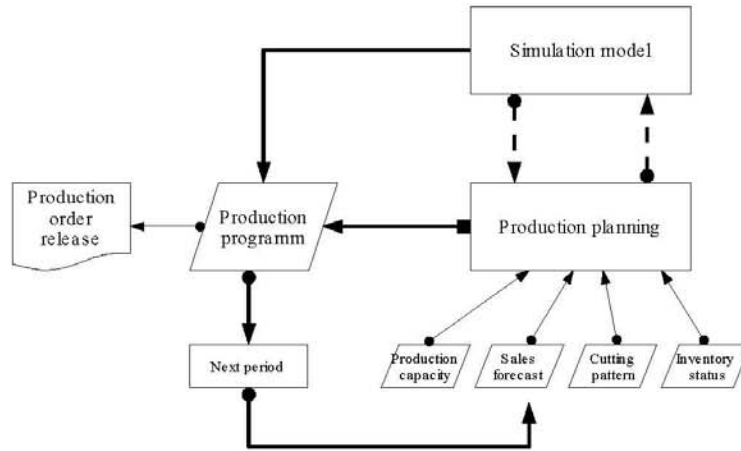


Figure 2: Material flow simulation and production planning

Fig. 3 is based on the structure of Fig. 2 and shows the data flow for the integrated production planning and simulation approach. For this we define an input oriented and an output oriented cycle of activities. Production orders, cutting patterns, products, prices and costs, processing times and production capacities are stored in a direct accessible database and can be updated very easily. After the optimum production program is generated a decision is made whether to compare it directly to human made plans or first make an additional evaluation with the simulation model. The confirmed plan is then released to the shop floor.

3. PLANNING APPROACH IN SAWMILL

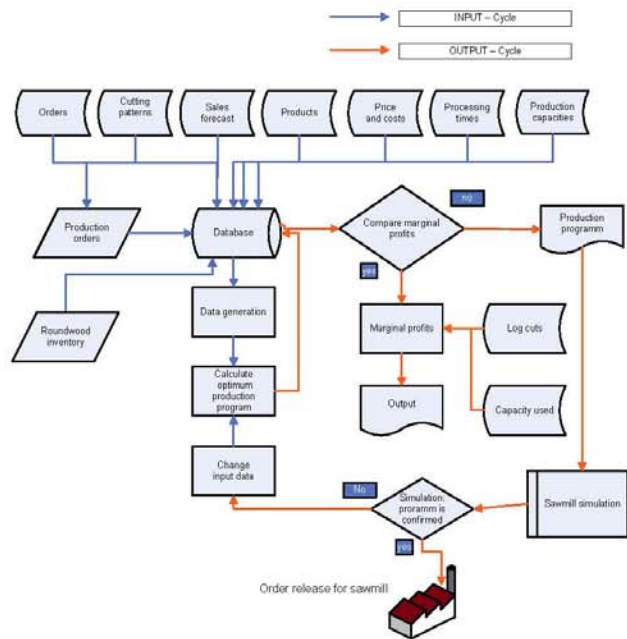


Figure 3: Data flow diagram

Todoroki and Rönnqvist (2002) developed a tool for dynamic control of timber production at a sawmill with log sawing optimization. As a result underproduction was eliminated and overproduction reduced. But, this tool does not provide the optimal log mix that would best satisfy customer demand. A way to overcome this weakness would be to consider all logs simultaneously (Todoroki, Rönnqvist 2002).

Yanesse (2006) shows a method to reduce the number of cutting patterns. This can be used as an input for our model in order use a small set of cutting patterns. We adopt the model from Maness et al 2004 and formulate a MIP model for generating production plans. The *objective function* maximizes the marginal contribution over the planning horizon T. The restrictions mainly consider capacities at specific production segments like sawing line, storage area, and kiln drying. But also material flow and inventory status equations must be modelled. The MIP model is implemented with the Xpress – Mosel optimization software.

4. SAWMILL SIMULATION MODEL

This paper centers on discrete event material flow simulation and highly sophisticated planning procedures for the short and medium term production planning. While the simulation model is used to find system bottlenecks the planning tasks care for an optimized customer order oriented production and efficient resource scheduling at the shop floor. The predominant aim concentrates on a simulation - based material flow evaluation, where a number of still complex planning problems must be solved. Randhawa et al. (2001) present an object oriented model for sawmill simulation. Their paper describes a flexible, general purpose simulation environment for sawmill modelling and analysis. With their approach they aim at to develop a system that can be used to model different sawmill configurations, to identify manufacturing process constraints, and to evaluate control strategies. Dogan et al. (1997) analyze the effects of a machine replacement and the inclusion of a sorting area in a sawmill. Baesler, Moraga and Ramis (2002), report on the use of simulation and artificial intelligence techniques to improve productivity in a wood industry, and Ramis et al. (2004), use simulation to identify and eliminate bottlenecks at a sawmill. The results obtained show that by using a different configuration of the plant resources, it is possible to reduce the total average cycle time by 18% (Baesler et al. 2002). The bottleneck analysis of Ramis et al. (2004) results in an increase of wood production up to 25%.

In our background application the simulation model (see Fig. 4 and Fig. 5) covers the following activities of a sawmill: Roundwood processing, Sawing, Sorting, Drying, Planing and Packaging.

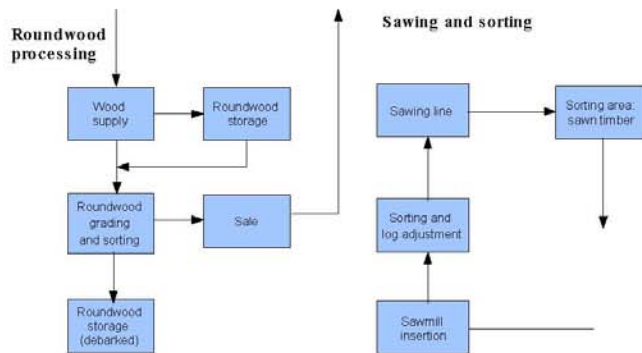


Figure 4: Simulation submodel: Roundwood processing and sawing line

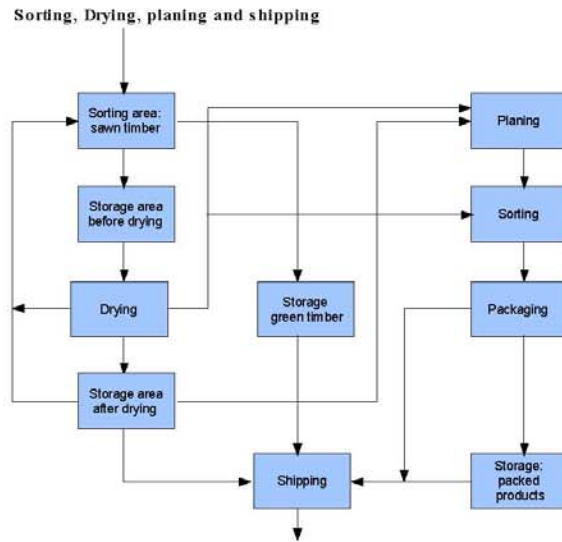


Figure 5: Simulation submodel: Drying, planing and shipping

For each of the above processing steps a detailed simulation submodel is available. For example, the simulation model contains greedy heuristics for loading the kiln – drying chambers or allocation of sorting bays.

5. RESULTS & DISCUSSION

Real life data from a high volume sawmill were used to validate the integrated planning approach over a planning horizon of 14 weeks. The sawmill is producing about 400 different timber dimensions and applies approx. 700 different cutting patterns and can process logs with a diameter up to 51cm. We compare the marginal profits of this sawmill with the profit obtainable by using our models. It turned out that we are able to substantially increase the marginal profit and still have more production capacities available. The computational time for doing the analysis was within a few minutes and mainly caused by data loading and data preparation.

An additional benefit from our approach is that we are able to make scenario calculations. We formulated the following research issues:

- How much is profit increasing if we could increase the roundwood supply by 5 to 20%?
- How much is profit increasing if we could increase the timber demand by 5 to 20%?
- How much is profit increasing if we could both increase timber demand and roundwood supply?

In any case we were able to show the potential increase in marginal profit. The following tables show the results of these 3 test scenarios mentioned above. Beside the increase of marginal profit up to 18 % (Table 3) the tables show the used capacity, the number of used cutting patterns and the computing time. Particularly the used capacity under 100 % underlines the additional potential of our approach.

Table 1: Impacts by increasing the demand from 5 to 20 %

	<i>Normal</i>	Increase in demand			
		<i>5%</i>	<i>10%</i>	<i>15%</i>	<i>20%</i>
Marginal Contribution	x	104%	106%	108%	109%
Used Capacity	1	0,99	0,99	0,99	0,99
# Cutting patterns	301	403	395	384	373
Computing time	x	< 5 sec.	< 5 sec.	< 5 sec.	< 5 sec.

Table 2: Impacts by increasing the roundwood supply from 5 to 20 %

	<i>Normal</i>	Increase of roundwood supply			
		<i>5%</i>	<i>10%</i>	<i>15%</i>	<i>20%</i>
Marginal Contribution	x	102%	103%	103%	103%
Used Capacity	1	0,97	0,97	0,97	0,97
# Cutting patterns	301	410	388	395	387
Computing time	x	12 sec.	14 sec.	28 sec.	30 sec.

Table 3: Impacts by increasing both demand and supply from 5 to 20 %

	<i>Normal</i>	Increase in demand & Increase of roundwood supply			
		<i>5%</i>	<i>10%</i>	<i>15%</i>	<i>20%</i>
Marginal Contribution	x	107%	111%	114%	118%
Used Capacity	1	0,99	1,00	1,00	1,00
# Cutting patterns	301	395	372	350	337
Computing time	x	200 sec.	320 sec.	365 sec.	320 sec.

In addition to these results we concentrated our attention to one vital question, which often occurs in this context:

How much could we increase the marginal profit if sawmills had the possibility to order the exact diameters needed for their demand?

The results showed an increasing marginal profit of 12% while material costs declined by 8,8% and raw material demand by 6,1%. Reflecting these results it is important to mention the further potential of an accurate inventory control and order policy.

The approach also has its advantages if market trends are changing. How can a sawmill optimally adapt to that changes? This is especially important when a new market is supplied. In addition, in some scenarios the simulation model could identify severe bottlenecks in the material flow of the mill.

Further we can provide new tools for bottleneck scheduling at sawmills. These can occur for raw material procurement and at production resources like for the kiln-drying chamber and grading installation, resp.

In our approach we can establish a new link between the use of different cutting technologies and the operational performance at the production site. For this we can deduce statements about strengths and weaknesses concerning the different cutting technologies for the same raw material. By using the new integrated approach opportunities to increase the efficiency and the output for a given quantity and quality of raw material are created.

The combined use of planning and simulation shows to be a rather suitable approach for short and medium term production planning. Future work will concentrate on detailed production scheduling at shop floor level by using the simulation model.

6. REFERENCES

- Baester, F., M. Moraga and F. Ramis, 2002.* Productivity improvement in the wood industry using Simulation and artificial intelligence, In Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference, eds. E. Yücesan, C.-H. Chen, J. L. Snowdon, and J. M. Chames, 1095-1098. Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Dogan C. A., McClain T. F., Wicklund S.A. 1997.* Simulation Practice and Theory 5: 387-403.
- Greigeritsch, T., Gronalt, M. (2006):* Materialflusssimulation und kurzfristige Produktionsplanung für Sägewerke. In: Berner Fachhochschule - Architektur, Holz und Bau (Hrsg.), Internationale Konferenz zur Automation in der Holzwirtschaft, 12-13 Oktober 2006, Biel, 125-130; ISBN: 978-3-9523198-2-6.
- Maness T. C., Norton S. E., 2002.* Multiple Period Combined Optimization Approach to Forest Production Planning. Scand. J. For. Res. 17: 460-471.
- Penker, A., Barbu, M.C., Gronalt, M. (2007):* Bottleneck Analysis in MDF-Production by Means of Discrete Event Simulation. IJSIMM - International Journal of Simulation Modelling, 6, 49-57; ISSN 1726-4529.
- Ramis F., R. Jara, J. Palma, J. M. Sánchez, F. Baester and J. Sepúlveda, 2004.* Bottleneck Analysis using simulation. American Institute of Industrial Engineering, In Proceedings of Simulation Solutions 2004, Orlando.
- Randhawa S., Beaumariage T., and Finck J., 2001.* Using Simulation to Create Manufacturing Control Expert Knowledge in Sawmills, in: Journal of Design and Manufacturing Automation, Volume 1, Issue 3 July 2001, pages 193 – 206.
- Todoroki C., Rönngvist M. 2002.* Dynamic control of Timber Production at a Sawmill with Log Sawing Optimization. Scand. J. For. Res. 17: 79-89.
- Yanasse, H. H. and Limeira, M. S. (2006):* A hybrid heuristic to reduce the number of different patterns in cutting stock problems. In: Computers & Operations Research 33: 2744-2756.

MATERIALFLUSSSIMULATION UND KURZFRISTIGE PRODUKTIONSPLANUNG FÜR SÄGEWERKE

EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Die europäische Holzwirtschaft unterlag vor allem in den letzten Jahrzehnten einem bedeutenden Konzentrationsprozess, der den Wettbewerb, gerade in der Sparte der Sägeindustrie, verschärfte und zum großen Teil auf technische Entwicklungen zurückzuführen war. Darüber hinaus bieten neue und vor allem wettbewerbsfähige Standorte im Osten zusätzliches Holz für den regionalen and auch internationalen Markt an. Kleine and mittelgroße Sägebetriebe leiden unter ihren beschränkten Möglichkeiten und den hohen Risiken, die eine Teilnahme am internationalen Holzmarkt mit sich bringt. In vielen Sägen wird eine hochspezialisierte Sägetechnik zur Schnittholzproduktion eingesetzt. Eine durchgehende Entscheidungsunterstützung mit anspruchsvollen Planungsmethoden ist vielfach nicht vorhanden. In dieser Arbeit wird ein Ansatz vorgestellt, der **Planungslücken in Betrieben** ausnützt, um die **Wertschöpfung an Produktionsstandorten zu erhöhen**.

Charakteristisch für Sägebetriebe ist, dass im laufenden Betrieb, abhängig vom gewählten Schnittmuster, zwangsweise Nebenprodukte in unterschiedlicher Qualität und in unterschiedlichem Volumen anfallen. Eine simultane mehrperiodische Produktionsprogrammplanung für alle erzeugten Produkte kann bisher nicht genutzte Möglichkeiten aufzeigen. Insbesondere durch die simultane Berücksichtigung des Sortiments am Rundholzlager, der Nachfrage im Planungshorizont und den einzusetzenden Schnittmustervorlagen können Ergebnisverbesserungen erzielt werden.

PLANUNGSMETHODE

Der hier vorgestellte Ansatz der Produktionsplanung für Sägebetriebe kombiniert Elemente der computergestützten Materialflusssimulation mit kurzfristigen Planungsaufgaben (siehe Abbildung 1). Während das Simulationsmodell Systemengpässe in unterschiedlichen Produktionssegmenten anzeigt, werden die Planungsalgorithmen eingesetzt, um die optimale Rohstoffwahl und den günstigsten Zeitpunkt für die Einlastung von Kundenaufträgen vorzugeben. Für die Planung in Sägebetrieben stellt die kombinierte Anwendung der Produktionsprogrammplanung mit der Schnittmusterselektion und der Engpassanalyse mit Hilfe von Materialflusssimulation, eine neue Methode zur Verbesserung der Wertschöpfung dar.

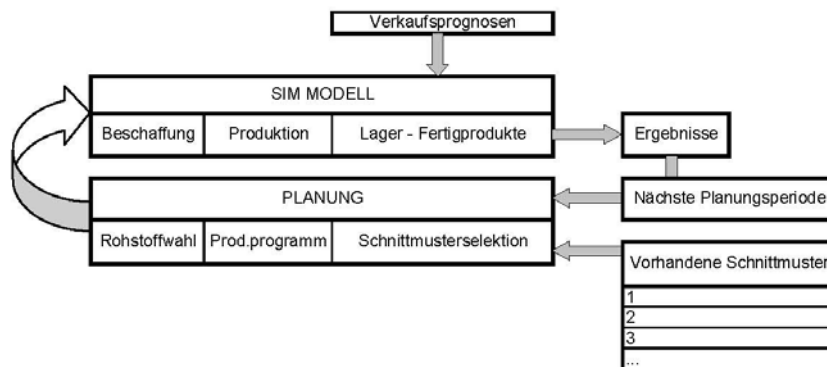


Abbildung 1: Materialflusssimulation & Produktionsplanung

PLANUNGSMODELL UND SIMULATION

Die divergente Produktstruktur und die anfallenden Kuppelprodukte bei der Erzeugung von Schnittholz stellen eine besondere Herausforderung an die Produktionsplanung. In Abbildung 2 sind die Erzeugnisstruktur und die benötigten Parameter für das MIP-Modell¹ dargestellt. Für jedes Schnittmuster sind die jeweiligen Ausbeutekoeffizienten und Deckungsbeiträge als Datengrundlage zu hinterlegen.

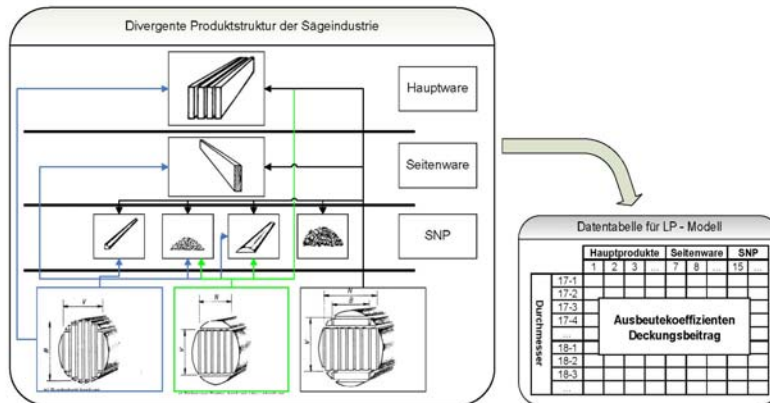


Abbildung 2: Produktstruktur bei der Schnittholzproduktion und die abgeleiteten Relationen von Schnittmuster , Ausbeutekoeffizienten und Deckungsbeitrag

Das MIP-Modell für die Produktionsplanung ermittelt, welche Einschnittsvarianten den maximalen Deckungsbeitrag für ein untersuchtes Sägewerk ergeben. Außerdem müssen, in Abhängigkeit dieser optimalen Einschnittsvarianten, folgende Fragen beantwortet werden:

- Welchen Einschnittsvarianten werden, in welchem Ausmaß eingeschnitten? (Produktionsprogramm)
- Welche Nachfrage wird befriedigt?
- Welche Nachfrage kann nicht befriedigt werden?
- Welche Produkte müssen wann gelagert werden um eine später entstehende Nachfrage zu befriedigen?
- Welche Bloche müssen wann für eine spätere Produktion gelagert werden?

Es werden folgende Einflussfaktoren, die relevant für die Produktionsplanung bei Nadelschnittholzsägewerken sind, ermittelt:

- zur Verfügung stehende Einschnittsvarianten (Schnittbilder),
- Maschinenbelegungszeit der Einschnittsvarianten,
- Nachfrage nach Schnittholzprodukten und Sägennebenprodukte,
- Angebotsverteilung des Rundholzes,
- Preise der Schnittholzprodukte, der Sägennebenprodukte und des Rundholzes,
- Lagerkosten der Schnittholzprodukte, der Sägennebenprodukte und des Rundholzes und
- nach dem Einschnitt auftretende variable Kosten der Schnittholzprodukte (Trocknungs- und Hobelkosten).

¹ MIP (mixed integer program = gemischt – ganzzahliges Programm)

Die Einflussfaktoren wurden mit Hilfe an die Realität angelehnter Daten beschrieben. Darauf basierend wurde ein MIP-Modell für die Produktionsplanung von Nadelschnittholzsägewerken entwickelt. Als Modellierungsumgebung wurde Xpress – Mosel eingesetzt. Dieses Modell berücksichtigt alle, sofern ermittelbaren, relevanten Kosten und alle das Modell beschränkenden Kapazitätsrestriktionen. Ziel des MIP-Modells ist die Maximierung des Deckungsbeitrags.

Die zeitdiskrete Simulation ist ein Standardinstrument zur Materialflussanalyse, das insbesondere bei vernetzten Systemen und schwankenden Engpässen zum Einsatz kommt. Für die Modellierung der Material- und Stoffströme in Sägebetrieben wurde ein Simulationsmodell erstellt, das sowohl die Ressourcen im Produktionsbetrieb, Warteschlangen, Aufträge und Kenngrößen der Auftragsabwicklung erfasst. Wesentlicher Teil dieses Modells sind logische Verknüpfungen und Verfügbarkeitsprüfungen, Überprüfung der Belegung von Sortierboxen, Sortierfachzuweisung, Trockenkammerbelegung und Lagerplatzzuordnung.

ERGEBNISSE

Um die Validität des Modells zu prüfen, wurde die Produktionsplanung eines Sägewerks retrospektiv ermittelt und mit den Echtdateen verglichen. Verschiedene Tests und Versuche ergaben, dass das Modell plausible Ergebnisse liefert. Für die Indizes des Modells wurden im Rahmen der Modellvalidierung folgende Parameter des untersuchten Sägewerks herangezogen:

Tabelle 1: Testparameter

Produkte	397
Qualität	2
Holzart	1
Einschnittsvarianten	658
Perioden (1 Periode = 2 Wochen)	8
Zopfdurchmesser	11 bis 51

Die numerischen Studien zeigen, dass ein mehrperiodischer Ansatz der Produktionsplanung zu einer beachtlichen Steigerung des DB führen kann. Diese ist auf eine optimale Wahl von Einschnittsvarianten zurückzuführen. Die Ergebnisse lassen außerdem die Vermutung zu, dass – wenn Schnittholzsägewerke die Zopfdurchmessererteilung in Abhängigkeit der Nachfrage bestimmen könnten –, dies einen positiven Einfluss auf den Deckungsbeitrag des Sägewerks hätte. Durch den Einsatz des entwickelten Modells können Nadelschnittholzsägewerke

1. längerfristiger planen,
2. wesentlich mehr Einschnittsvarianten in diese Planung einbeziehen,
3. die Rundholzsartierung verbessern und
4. unterschiedliche Marktszenarien simulieren und rascher mit Änderungen im Einschnitt reagieren.

Die Ergebnisse der Simulation können qualitativ wie folgt zusammengefasst werden:

- Gesteigerter Durchsatz in der Produktion
- Minimierung der Durchlaufzeiten
- Minimierung der Zwischenlager bzw. -puffer
- Erhöhte Ressourcennutzung
- Minimierung des gebundenen Kapitals bzw. der variablen Kosten
- Sicherheit bei Umstellung auf ein anderes Produktionsprogramm

AUSBLICK

Es werden in der Zukunft Modelle entwickelt, die einerseits eine Produktionsplanung mit dreidimensionalen Einschnittsvarianten ermöglichen und andererseits die Rundholzsortierung in das Modell integrieren. Für die kurzfristige, tagesfeine Produktionsplanung und für die Lösung von Problemen der Prozessoptimierung (Trockenkammerbelegung, Sortierfachallokation, Schnittmustererzeugung, Fahrwegoptimierung, Energieflusssteuerung) werden speziell definierte Optimierungsmodelle entwickelt. Dabei ist zu erwarten, dass die Entwicklung neuer heuristischer Verfahren zur Einlastungsplanung und Prozessoptimierung erforderlich werden wird.

LITERATUR

- Farell Ross R. and Maness Thomas C. (2005):* A relational database approach to a linear programming-based decision support system for production planning in secondary wood product manufacturing. In *Decision Support Systems* 40 (2005) S. 183-196.
- Freyret, Jean-Marc (2005):* A production planning application for the lumber industry, Faculté de Foresterie et de Géomatique.
- Gonzalez Federico, Flores, Beatriz Gil la Fuente, A; Flores, Juan J.; Chagoya, Mauricio. (2005):* Modelling A Production System As A Competitive. In: *Proceedings of the International Conference on Modelling and Simulation in the Enterprises. AMSE 2005. Morelia, Mexico. April 2005.*
- Maness, Thomas C., Norton und Scott E. (2002):* Multiple Period Combined Optimization Approach to Forest Production Planning. In: *Scandinavian Journal of Forest Research*, Volume 17, Number 5 / September 01:460 – 471.
- Mendoza, G. A., Meimban, R. J. (1991):* Combined Log Inventory and Process Simulation Models for the Planning and Control of Sawmill Operations. *Proceedings, 23rd CIRP International Seminar on Manufacturing Systems.* 8pp.
- Vila D., Martel A. and Beasvogard R.:* Designing logistics networks in divergent process industries: A methodology and its application to the lumber industry, *International Journal of Production Economics* 102 (2006) 358-378.
- Winn, Matthew F.; Araman, Philip A.; Wynne, Randolph H. (2004):* ALOG: A spreadsheet-based program for generating artificial logs. In: *Forest Products Journal.* 54(1): 62-66.
- Yanasse, H. H. (1997):* On a pattern sequencing problem to minimize the maximum number of open stacks. In: *European Journal of Operational Research* 1997; 100: 454-463.
- Yanasse, H. H. and Limeira, M. S. (2006):* A hybrid heuristic to reduce the number of different patterns in cutting stock problems. In: *Computers & Operations Research* 33: 2744-2756.