

Seminarbericht

ENTWURF

Modellierung und Simulation eines Ringwalzwerkes mit der Simulationsbibliothek ODEMx

Klaus Ahrens, Andreas Blunk, Ingmar Eveslage,
Chris Helbing, Joachim Fischer, Karl-Heinz Preuß



Humboldt-Universität zu Berlin
Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät II
Institut für Informatik

Arbeitsfassung: 12.04.2010 13:05:53

Inhalt

1	Einleitung.....	5
1.1	Innerbetriebliche Abläufe.....	5
1.2	Rückblick zum bisherigen Einsatz von Simulationsmodellen	7
1.3	Ziel des Berichtes.....	8
1.4	Eingesetzte ODEMX-Version.....	9
1.5	Struktur des Berichtes	9
1.6	Redaktionelle Anmerkungen	11
1.7	Zur aktuellen Version des Berichtes.....	11
1.8	Danksagung	11
2	Informale Systembeschreibung der zu modellierenden Walzstrecke.....	13
2.1	Systemumgebung	13
2.2	Zweckbestimmung des Systems Walzstrecke	16
2.3	Zielstellung der computergestützten Modelluntersuchung	17
2.4	Struktur des Systems Walzstrecke	17
2.5	Verhaltensbeschreibung der Walzstrecke.....	19
2.5.1	Allgemeingültige Verhaltensbedingungen.....	20
2.5.2	Sägestation.....	20
2.5.3	Sägelager	21
2.5.4	Dreh-Herdofen – DHO.....	23
2.5.5	Stauch- und Lochpresse – STP.....	26
2.5.6	Aufweitpresse – AWP.....	27

2.5.7	Hubbalken-Nachwärmofen – HBNO	28
2.5.8	Radial-Axial-Walze – RAW	29
2.5.9	Stempelpresse & Richtpresse – SRP	30
2.5.10	Werkzeugwechsel an allen Stationen	31
2.5.11	Ausschuss und Störungen	31
2.5.12	Zusammenfassende Verhaltensdarstellung.....	31
3	Aufträge, Walzpläne und Walzprotokolle.....	33
3.1	Aufträge	33
3.2	Walzpläne	34
3.3	Walzprotokolle	35
4	Formales Simulationsmodell der Walzstrecke.....	37
4.1	Strukturfestlegung des Simulationsmodells.....	37
4.1.1	Modellvereinfachungen	37
4.1.2	Identifikation aktiver und passiver Modellelemente.....	39
4.2	Generelle Verhaltensfestlegungen des Simulationsmodells.....	43
4.3	Verhalten der aktiven Modellelemente	43
4.3.1	Das Klassenensemble Rollgang	43
4.3.2	Die Klassen DrehHerdOfen, DHO-BeladeMaschine und DHO-EntladeMaschine	44
4.3.3	Die Klassen HubBalkenNachwärmofen, HBNO-BeladeMaschine, und HBNO-EntladeMaschine.....	46
4.3.4	Die Klassen StauchLochPresse, AufWeitPresse und StempelRichtPresse.....	47
4.3.5	Die Klasse Radial-Axial-Walze.....	50

4.3.6	Die Klasse Logger.....	51
4.4	Konfiguration des Simulationsmodells.....	52
4.4.1	Initialisierung des Simulationsmodells.....	52
4.4.2	Start, Realisierung und Abbruch der Simulation.....	53
5	Animator der Walzstrecke.....	55
6	Simulator-Ansteuerung.....	59
7	Erstellung von Walzplänen.....	63
7.1	Zielstellung.....	63
7.2	Regeln zur Säge- und Walzplanerstellung.....	64
7.3	Regeln zur Bestimmung einer Reihenfolge.....	65
7.4	Anwendung der Reihenfolgeregeln.....	65
7.4.1	Ofenregeln.....	65
7.4.2	Walzstreckenregeln.....	66
7.4.3	Sägeregeln.....	68
7.5	Prototyp eines Walzplangenerators.....	69
7.5.1	Implementierung des Walzplangenerators.....	69
7.5.2	Probleme der Implementierung.....	70
8	Simulationsexperimente und Resultate.....	73
9	Formales Modell der Sägerei (Entwurf).....	75
9.1	Einleitung.....	75
9.2	Die Sprache Flow.....	76
9.2.1	UML-Aktivitäten.....	77
9.2.2	UML-Klassendiagramme.....	79

9.2.3	Flow-Erweiterungen.....	79
9.3	Flow-Modell der Sägerei.....	81
10	Offene Probleme und Ausblick.....	85
11	Literaturverzeichnis.....	89
ANHANG A: Glossar		91
ANHANG B: Regeln zur Erstellung von Walz- und Sägeplänen		98
ANHANG C: Werkzeug-Codierungstabellen		100
ANHANG D: Auftragspezifikation		103
ANHANG E Walzplan (von Walzplan-Generator erzeugt)		113
ANHANG F Walzprotokoll (als Vorschlag)		123

1 Einleitung

Die Kooperationsbeziehungen in Form realisierter Forschungs- und Entwicklungsaufgaben auf Auftragsbasis zwischen dem Institut für Informatik und der Schmiedewerke Gröditz GmbH begannen vor nunmehr fast 10 Jahren, als im Werk erste Vorstellungen über den Aufbau einer weitestgehend automatisierten **Vergüterei** entstanden. Die Vergüterei ist dabei ein Werksteil, der mit der Gießerei, der Schmiede und dem Walzwerk ein Ensemble unterschiedlicher Hallen, Maschinen und Technologien bildet.

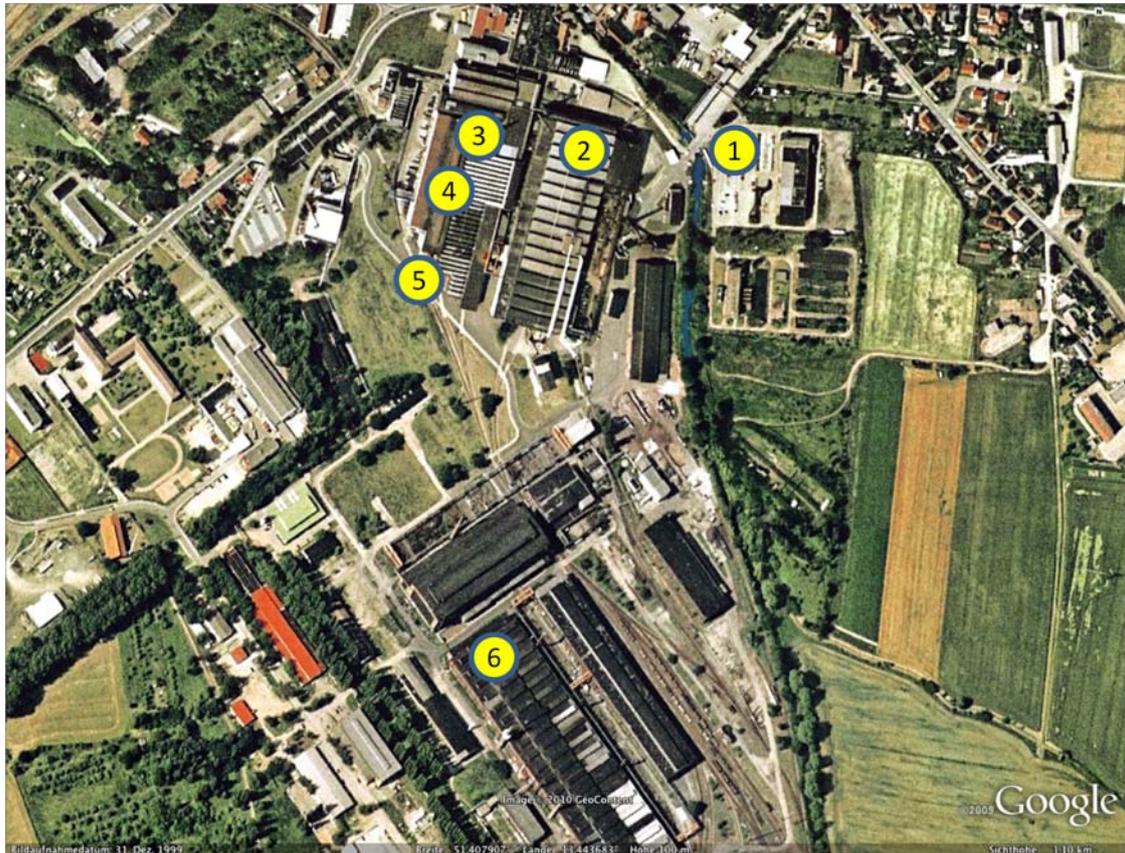
1.1 Innerbetriebliche Abläufe

In groben Zügen kann man die logistischen Abläufe des Betriebes, das die Produktion von Ringen, Flanschen und Radreifen kleiner und mittlerer Losgrößen mit kundenspezifischen Material- und Qualitätsansprüchen zum Ziel hat, wie folgt grob zusammenfassen:

1. In einer Gießerei der benachbarten Elektrostahlwerke Gröditz GmbH oder weiterer beauftragter externer Erzeuger werden Stahlzylinder (**Blöcke**) geforderter Durchmesser nach unterschiedlichen Verfahren gegossen, aus denen später die einzelnen Endprodukte gewonnen werden. Zum Teil erfolgt bereits eine Vorverarbeitung der Blöcke in der Schmiede, die sich ebenfalls auf dem Gröditzter Werkgelände befindet (s. Bild x). Die unterschiedlichen Herstellungsverfahren bestimmen initiale Materialeigenschaften, die sich in unterschiedlichen **Stahlmarken** ausdrücken¹.
2. Die Blöcke werden in einer **Sägestation** zu Scheiben (**Blöckchen**) gesägt, aus denen im Ringwalzwerk letztendlich die Endprodukte wie Ringe, Flansche und Radreifen geformt werden.
3. Die Blöckchen werden im Ringwalzwerk mehrere Stunden erhitzt, so dass sie danach mechanisch mit Pressen und Walzen bearbeitet werden können:
 - aus den Blöckchen entstehen zunächst durch das Ausstanzen mittiger zylindrischer Hohlräume (**Butzen**) Lochscheiben,

¹ Es werden bis zu 70 verschiedene Stahlsorten aus den Werkstoffklassen unlegierte und legierte Qualitäts- und Edelbaustähle, hochfeste Baustähle mit Schweißbeignung, unlegierte und legierte Werkzeugstähle, verschleißfeste Stähle, Wälzlagerstähle, hochlegierte austenitische und martensitische Stähle verwendet.

- die entstandenen Lochscheiben erhalten dann durch Einsatz von Pressen und Walzen ihre endgültige Form als Ring, Flansch oder Radreifen.
4. Die Produkte werden in der Vergüterei bei Beachtung geometrischer und technologischer Randbedingungen zu Palettenbelegungen zusammengestellt, um sie geschlossenen spezifischen Wärmebehandlungsprozeduren zu unterziehen, die durch Erhitzen (in Öfen) und Abkühlen (in Wasser- oder Polymerbädern) gekennzeichnet sind. Durch die Anwendung dieser Bearbeitungsfolgen mit unterschiedlichen Zeitdauern und Temperaturen erhalten die Endprodukte individuell geforderte spezifische Härteeigenschaften.
 5. Mit einer finalen Prüfung der Stahlhärte jedes erkalteten Produktes ist die Produktion abgeschlossen.



- ① Eingangstor (Ost)
- ② Elektrostahlwerke Gröditz GmbH
- ③ Ringwalzwerk
- ④ Neue Vergütere
- ⑤ Stahlguss Gröditz GmbH
- ⑥ Schmiede

Bild 1 Betriebsgelände der Gröditzter Stahl- und Schmiedewerke GmbH

1.2 Rückblick zum bisherigen Einsatz von Simulationsmodellen

Mit Hilfe ausführbarer Simulationsmodelle sollten zu Beginn der Kooperation insbesondere in der Vorbereitung der Umbauphase der Vergütere Varianten von Entwurfs- und Investitionsentscheidungen geplanter Modernisierungen vorab computergestützt auf ihre prinzipielle Machbarkeit untersucht werden.

Im Rahmen der ersten Forschungsprojekte **SimRing1** (damals noch ohne Versionsnummer) und **SimRing2** wurde auf der Basis der am Lehrstuhl Systemanalyse entwickelten C++ -Simulationsbibliothek ODEMx ein flexibles Modell entwickelt, mit dem

Simulationsexperimente bei Verwendung unterschiedlicher Anlagenkonfigurationen realisiert wurden. Nachdem die dabei gewonnenen Modellerkenntnisse hinsichtlich Konfiguration und Dimensionierung schrittweise in die Realität umgesetzt wurden, stand in den Nachfolgeprojekten **SimRing3** und **4** die Berücksichtigung von geänderten realen Gegebenheiten des Produktionsprozesses bei der Modellweiterentwicklung im Vordergrund, die im Laufe der Zeit durch die Vervollkommnung technologischer Prozesse und technischer Aggregate notwendig geworden sind.

Reale Walzpläne, die wesentliche Abläufe des Werkes steuern, fungieren seitdem auch als direkte Eingaben entwickelter Simulatorvarianten. Darüber hinaus wurden Umrüstzeiten und Schichtbetrieb in das Modell aufgenommen. Die graphische Visualisierung der simulierten Abläufe mittels eines Animators ermöglichte es zudem einerseits ein zunehmendes Vertrauen in die Modellaussagen zu schaffen und fungierte andererseits als Instrument weiterer strategischer Planungen im Betrieb.

Mit einem konsolidierten und an die inzwischen realisierten Pläne in der Vergüterei (doppelzügige Speicherstrecke, Kran, sowie erste Öfen) konnten realistische Durchlaufuntersuchungen angestellt werden, die die Richtigkeit der getroffenen Entscheidungen untermauerten. Folgerichtig wurden im Rahmen des Projektes **SimRing5** angepasste Versionen von Simulator und Animator an den Auftraggeber übergeben, damit dieser Experimente in eigener Regie durchführen kann.

Mit dem Projekt **SimRing6** kam als völlig neuer Aspekt die Modellierung des vorgelegten Produktionsabschnittes, nämlich des Walzwerkes, auf die Tagesordnung. Ein erster Prototyp eines Walzwerksimulators wurde entwickelt und es wurden so konzeptionelle Voraussetzungen für eine Kopplung der beiden Werkteile auf Modellenebene geschaffen.

Nachdem im April 2009 in der neu errichteten Vergüterei der Probetrieb aufgenommen wurde, ergab sich eine Vielzahl von neuen Anforderungen an den Simulator, die zu einer neuen und deutlich erweiterten Ausrichtung des ursprünglich als Wartungsaufgabe konzipierten Projektes **SimRing5b** führten. Damit wurde zugleich die Zielstellung einer Verknüpfung von Walzwerk- und Vergüterei-Simulator im Rahmen eines bereits beschlossenen Projektes **SimRing7** auf eine zukünftige Bearbeitung vertagt.

1.3 Ziel des Berichtes

Ziel dieses Berichtes ist es, das entwickelte Modell des Ringwalzwerkes so aufzubereiten, dass es insbesondere Studenten der Informatik mit entsprechender Ausbildung in Modellierung und Computersimulation gelingt, die Vorgehensweise bei der **Modellierung realer komplexer industrieller Workflows** beispielhaft zu studieren.

Der hier verfolgte Ansatz einer strikten Trennung der informalen Systembeschreibung des Walzwerkes von der zielgerichteten Ableitung eines formalen Simulationsmodells bei Beachtung einer wohldefinierten Zielstellung, soll insbesondere Raum für die Entwicklung alternativer Modelldarstellungen oder erweiterter Zielstellungen gegenüber dem erreichten Stand bieten.

Wichtige Grundlage dieses Berichtes ist eine Diplomarbeit (1), die die Entwicklung eines prototypischen Simulators des Walzwerkes zum Ziel hatte. So stellt dieser Bericht letztendlich eine kritische Auseinandersetzung mit dem bislang erreichten Erkenntnisstand dar, die die Grundlage für eine Überarbeitung von drei **Werkzeugkomponenten** darstellt. Diese Werkzeuge sind

- der Walzwerk-Simulator,
- der Walzwerk-Animator und
- der Walzplangenerator.

Zudem liefert der Bericht den Entwurf eines Simulators für die Sägerei, verbunden mit der Darstellung von Prinzipien zur Konstruktion eines Sägplan-Generators. Um den Zugang zu Walzwerk-typischen Termini zu erleichtern, wurde außerdem ein entsprechendes **Glossar** angelegt, das auch die üblich verwendeten Abkürzungen auflöst.

1.4 Eingesetzte ODEMx-Version

Die in C++ (2) implementierte Simulationsbibliothek ODEMx (3) (ursprünglich benannt als **Object-oriented Discrete Event Modelling**) ist am Lehrstuhl Systemanalyse des Instituts für Informatik entstanden und wird derzeit in einer als extended bezeichneten Version sowohl in der Lehre als auch in der Forschung in einer Vielzahl von Projekten eingesetzt. Für den Walzwerksimulator wird ganz konkret das Release 2.2 der Bibliothek ODEMx mit einigen anwendungsspezifischen Erweiterungen verwendet. Sämtliche im Simulator verwendeten Mechanismen werden auch in zukünftigen Versionen von ODEMx (aktuell ist Version 3 in Vorbereitung) unterstützt.

1.5 Struktur des Berichtes

Der Bericht besteht aus 10 Kapiteln und 6 Anhängen:

- **Kapitel 1** motiviert die Zielstellung dieses Berichtes und führt in die allgemeine Thematik ein.
- **Kapitel 2** ist der informalen Darstellung der Walzstrecke hinsichtlich ihrer Struktur und ihres Verhaltens gewidmet, so wie sie sich gegenwärtig im Produktionsprozess in Gröditz präsentiert. Ferner wird das Untersuchungsziel formuliert, das die Grundlage für die späteren Modellabstraktionen bildet.

- **Kapitel 3** stellt den informationstechnischen Gehalt von [Auftrag](#), [Walzplan](#) und [Walzprotokoll](#) dar.
- **Kapitel 4** stellt den Hauptteil dar. Hier erfolgt die Ableitung eines formalen und ausführbaren Simulationsmodells der Walzstrecke unter Anwendung von Bibliothekskonzepten in C++, mit dessen Hilfe die eingangs formulierten Untersuchungsziele experimentell bearbeitet werden.
- **Kapitel 5** stellt den Animator der Walzstrecke da, der mit dem Simulator über eine CORBA-Schnittstelle gekoppelt ist.
- **Kapitel 6** stellt dar, wie der aus dem Simulationsmodell (per Compilation) erstellte Simulator angesteuert, parametrisiert und in Kombination mit einem Animator genutzt werden kann.
- **Kapitel 7** ist der computergestützten Generierung eines Walzplans aus einer ungeordneten Menge von Aufträgen zur Herstellung von Produkten des möglichen Sortiments gewidmet, wobei der Algorithmus dazu bereits in [x] entwickelt worden ist.
- **Kapitel 8** beschreibt die bislang durchgeführten Simulationsexperimente und deren Resultate in Kurzform.
- **Kapitel 9** stellt einen neuen Ansatz einer flussbasierten Modelldarstellung von abhängigen parallelen Abläufen in Form einer graphischen objektorientierten Programmiersprache dar, die für die Modellierung des Verhaltens der Sägestation eingesetzt wird
- **Kapitel 10** stellt zusammenfassend die Erkenntnisse aus der Modellierung und experimentellen Untersuchung der Walzstrecke und der Sägestation zusammen und bewertet den erreichten Grad der Verhaltenstreue der Simulatoren. Gleichzeitig werden lösbare Problemfelder identifiziert, die für die Weiterentwicklung der Simulationswerkzeuge entscheidend sind.

Als **Anhänge** wurden folgende Dokumente in den Bericht aufgenommen

- ANHANG A: Glossar,
- ANHANG B: Regeln zur Erstellung von Walz- und Sägeplänen,
- ANHANG C: Werkzeug-Codierungstabellen,
- ANHANG D: Auftragspezifikation
- ANHANG E: Walzplan (von Walzplan-Generator erzeugt) und
- ANHANG F: Walzprotokoll (als Vorschlag).

1.6 Redaktionelle Anmerkungen

Das erste Auftreten eines Begriffes aus dem Glossar ist blau eingefärbt. Probleme mit der Modellbeschreibung, dem Simulator o.Ä. werden im Text mit einem roten Kasten eingerahmt. Wichtige Modellparameter und Modellannahmen werden mit einem orangegefärbten Rahmen hervorgehoben.

1.7 Zur aktuellen Version des Berichtes

Dieser Bericht stellt in dieser Fassung noch eine Arbeitsversion dar. Insbesondere wird in rot markierten Textboxen notwendiger Klärungsbedarf in einigen technischen Details angezeigt, der in der finalen Version vollzogen sein sollte.

1.8 Danksagung

Die Verfasser des Berichtes möchten sich für die bisherige unkomplizierte aber zielgerichtete und zugleich konstruktive Zusammenarbeit bei den Verantwortlichen der Schmiedewerke Gröditz GmbH bedanken – und zwar bei den Herren Bernd Fischer (Werkleiter), Steffen Keßler, Michael Kirschner, X. Richter und Remo Winter.

Nicht vergessen sind in diesem Sinne die engagierten Verantwortlichen Karl-Heinz Nitz und Manfred Geier (jetzt im Ruhestand), denen letztendlich die Initiierung dieser fruchtbaren Kooperation zu verdanken ist.

Berlin, den 12.04.2010

2 Informale Systembeschreibung der zu modellierenden Walzstrecke

Ausgehend von einer Identifikation der Funktion der **Walzstrecke** als Teilsystem, ihrer Abgrenzung vom Gesamtsystem, der Bestimmung der einzelnen Bearbeitungsstationen und deren Wirkungsbeziehungen untereinander und zur Umgebung wird der Produktionsablauf der Walzstrecke in informaler Workflow-Form beschrieben, um daraus in Kapitel 4 ein zeitdiskretes Prozessmodell abzuleiten, das die Grundlage für eine simulative Untersuchung bilden kann.

2.1 Systemumgebung

Die Walzstrecke ist Teil des betrieblichen Gesamtsystems „Schmiedewerke Gröditz GmbH“ (s. **Bild 1**), einer Produktionsstätte, die sich auf die Herstellung hochwertiger **nahtloser Martensite**, Stahlringe, Radreifen und Flansche kleinerer und mittlerer Serien aus sortenreinem Qualitätsschrott als vordergründiges Geschäftsfeld spezialisiert hat.

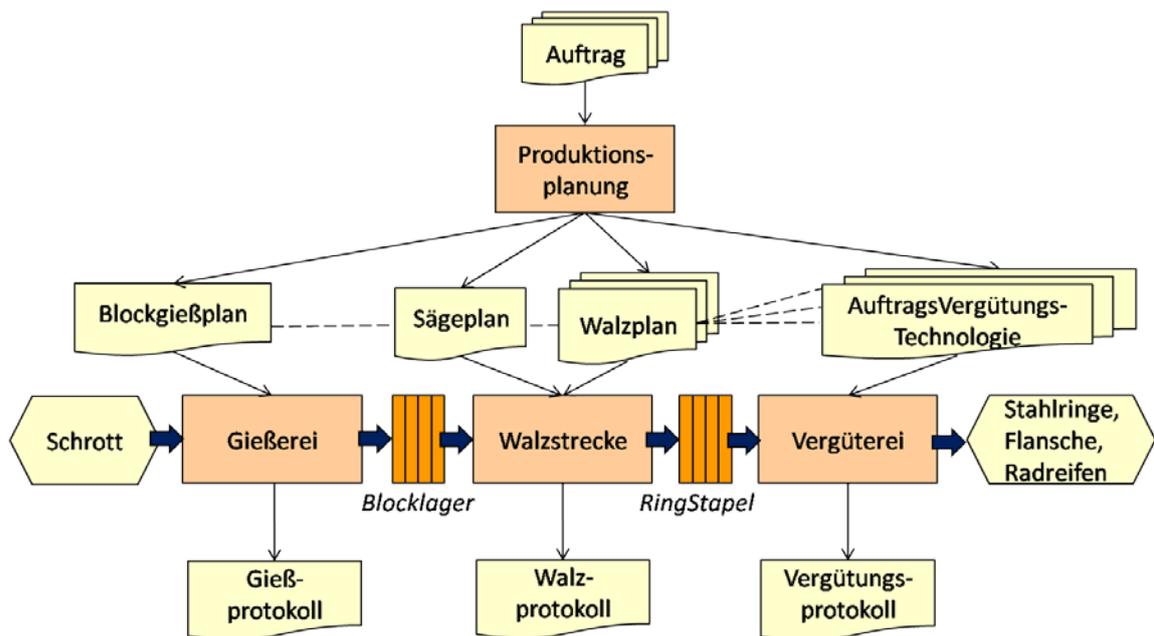


Bild 2 Einbettung der Walzstrecke in das Gesamtsystem Schmiedewerke Gröditz GmbH

Die Walzstrecke grenzt sich eingabeseitig vom Gesamtsystem durch ein **Walzplan**-Reservoir und ein Materiallager ab. Im Materiallager (**Blocklager**) liegen entsprechend eines aktuell vorliegenden **Walzplans** aus dem Walzplan-Reservoir bereits gegossene, erkaltete Stahlzylinder (sogenannte **Blöcke**) gewisser Stahlsorten (**Stahl-**

marken) und Durchmesser vor, aus denen die Rohlinge als Scheiben (die **Blöckchen** genannt werden) für die späteren Walzprodukte (entsprechend des angebotenen Produkortimentes, s. **Tabelle 1**) einem **Sägeplan** folgend gesägt werden können. Die Produktion der Blöcke erfolgt in der vorgelagerten Gießerei, einem weiteren Werkteil, nach einem **Blockgießplan**, der mit den Walzplänen abgestimmt ist. Aufgabe der Walzpläne ist es, die Reihenfolge der Realisierung der **Kundenaufträge** auf der Walzstrecke bei Auswahl der dafür bereitgestellten Blöcke festzulegen.

Tabelle 1 Produkortiment der Schmiedewerke Gröditz GmbH

Produkt	Parameter	Min	Max
Ringe	Stückmasse	70 kg	1.520 kg
	Außen-Ø	500 mm	2.800 mm
	Innen-Ø	300 mm	2.600 mm
	Ringbreite	65 mm	365 mm
Radreifen	Stückmasse	75 kg	750 kg
	Außen-Ø	420 mm	2.015 mm
	Innen-Ø	245 mm	1.830 mm
	Reifenbreite	85 mm	200 mm
Flansche	Stückmasse	70 kg	800 kg
	Außen-Ø	550 mm	1.800 mm
	Innen-Ø	300 mm	1.600 mm
	Flanscbreite	75 mm	275 mm
Hochlegierte Flansche	Stückmasse	75 kg	300 kg
	Außen-Ø	550 mm	1.250 mm
	Innen-Ø	320 mm	1.000 mm
	Ringbreite	75 mm	180 mm
Hochlegierte Ringe (Austenite)	Stückmasse	70 kg	1.000 kg
	Außen-Ø	500 mm	1.800 mm
	Innen-Ø	400 mm	1.700 mm
	Ringbreite	65 mm	250 mm
Hochlegierte Ringe (Martensite)	Stückmasse	70 kg	830 kg
	Außen-Ø	500 mm	1.200 mm
	Innen-Ø	400 mm	1.000 mm
	Ringbreite	65 mm	365 mm

Ausgabeseitig ist die taktweise arbeitende Walzstrecke durch Folgen geschmiedeter Martensite, Stahlringe, Flansche und Radreifen bestimmt, die häufig auch unter der allgemeinen Bezeichnung **Ring** geführt werden. Jede einzelne Ringfolge entspricht dabei der Realisierung eines festgelegten **Auftrages**, der eine bestimmte Anzahl von

Ringen gleicher Größe und gleicher Materialeigenschaften umfasst. Die produzierten Ringe werden danach (in Stapelform angeordnet) einer spezifischen [Wärmebehandlung](#) zur Sicherung geforderter Qualitätseigenschaften zugeführt. Diese Wärmebehandlung, ebenfalls ein komplexer Bearbeitungsprozess, findet in der Vergüterei statt, die durch die Walzstrecke diskontinuierlich bedient wird.

Während ein Walzplan für eine ausgewählte Teilmenge eingegangener Produktionsaufträge die Reihenfolge der Bearbeitung des Eingangsmaterials (Stahlscheiben) bei Zuweisung von Bearbeitungsstationen, Werkzeugen und Personal festlegt, ist die Erstellung des **Blockgießplans** für eine Menge von Walzplänen ausgelegt, für die die Blöcke mit geforderten Durchmessern und Stahlqualitäten vorab bereitzustellen sind. Walzpläne werden im Produktionsplanungsprozess nach bestimmten Regularien erstellt, die in Kapitel 3 beschrieben sind, und

üblicherweise für jeweils eine Arbeitswoche (von Montag 14.00 Uhr bis Freitag 14.00 Uhr, z.T. aber auch bis Samstag)

erstellt.

Der Sägeplan orientiert sich wie der Blockgießplan am Walzplan. Wie sich bei einer späteren detaillierteren Betrachtung zeigen wird, kann der Sägeplan die Aufträge des zugehörigen Walzplans aber umsortieren, wenn dadurch die Sägestation an Durchsatz gewinnen kann und als Nebenbedingungen sowohl der Blöckchen-Zwischenpufferbereich nicht überschritten wird als auch die kontinuierliche Blöckchen-Versorgung der Walzstrecke entsprechend dem vorgegebenen Walzplan nicht gefährdet wird. Die festgelegte Reihenfolge des Walzplans muss jedoch beim Übergang von der Sägestation zur Walzstrecke wieder eingehalten werden. Erreicht wird das durch einen weiteren internen Zwischenpuffer ([Blöckchenlager](#)) vor der [Walzstrecke](#).

Die reibungslose Realisierung eines Walzplans auf der Walzstrecke setzt also die Verfügbarkeit der Eingangsmaterialien, der Bearbeitungsstationen und des notwendigen Personals voraus. Dabei sind i.d.R. bei jedem Auftragswechsel innerhalb der Walzfolge manuelle Werkzeugwechsel an den Stationen vorzunehmen. Diese Wechsel aber auch Störungen, bedingt durch zeitweiligen Ausfall von Aggregaten, haben Einfluss auf die Zwischenausstoßzeiten fertig gewalzter Ringe. Dabei ist Bedienungspersonal gleichzeitig stets auch das Reparaturpersonal.

Intensität und partielle Diskontinuität der Ringübergabe der Walzstrecke an die nachfolgende automatisierte Wärmebehandlung ist die entscheidende, noch zu untersuchende Wechselwirkung des Systems Walzstrecke mit seiner Umgebung.

Realisierungen der Pläne zum Gießen von Stahlblöcken, zum Sägen der Stahlblöcke in Blöckchen und zur walztechnischen Verarbeitung auf der Walzstrecke sind Vorgänge

in der realen Zeit, die zeitdiskret betrachtet werden. Protokolle sind chronologische Erfassungen der dabei eingetretenen Start- und Beendigungsereignisse tatsächlich stattgefundenener Bearbeitungsaktivitäten je Ring.

2.2 Zweckbestimmung des Systems Walzstrecke

Bei der Modellierung des Systems Walzstrecke können solche Zustandsänderungen der Ringe, die sich als dynamische und stetige Veränderungen in Form, Temperatur usw. präsentieren, vernachlässigt werden. Betrachtet wird lediglich der spezifische Zeitkonsum bei der Ausführung der durchgeführten Arbeitsgänge bei der Nutzung begrenzt verfügbarer Ressourcen. Ebenso spielen energetische Betrachtungen keine Rolle.

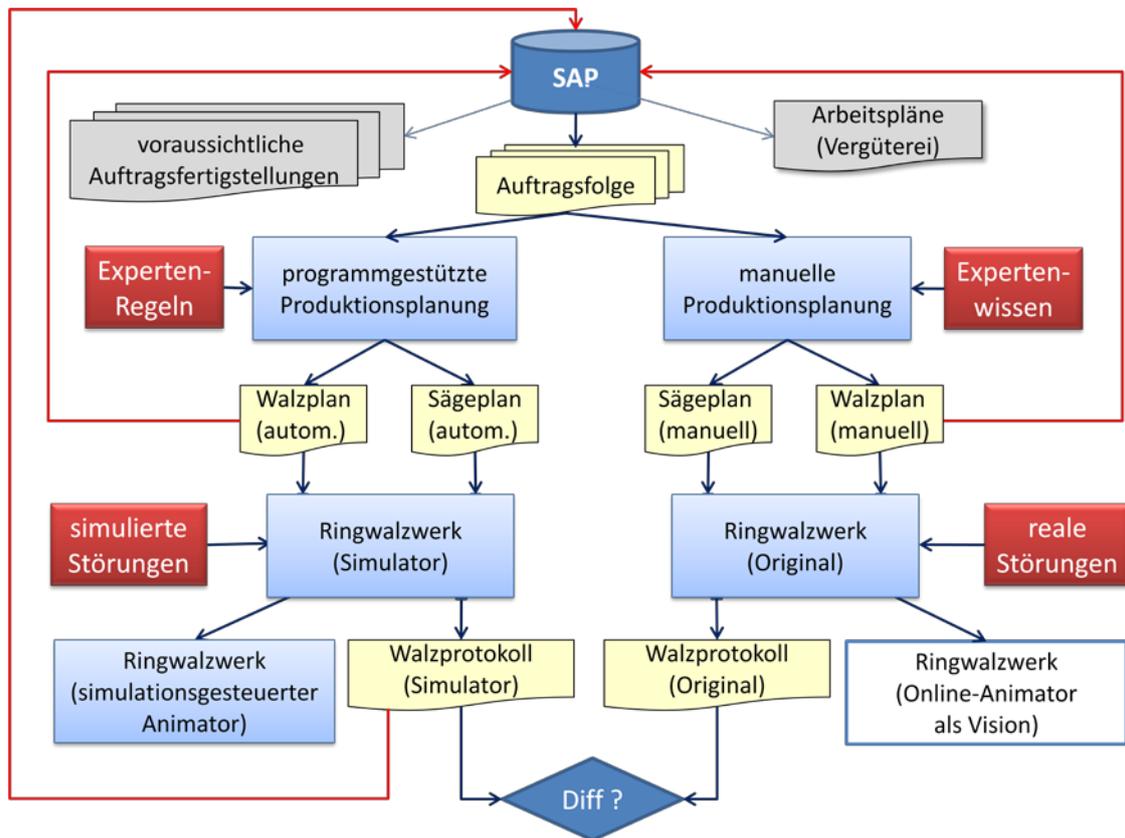


Bild 3 Schematische Darstellung der Umsetzung zentraler Untersuchungsziele

2.3 Zielstellung der computergestützten Modelluntersuchung

Mit einem **zeitdiskreten Ereignismodell** des Systems der Walzstrecke soll es zunächst möglich sein, für eine beliebige Walzfolge über einer Menge von Aufträgen die Protokolle simulativ ablaufender Walzplanrealisierungen zu erstellen. Dabei kann

- zunächst die Korrektheit der Ablaufsimulation im Vergleich mit der Realität bei Einsatz desselben Walzplans leicht nachgewiesen werden (Protokollvergleich);
- ferner für sämtliche mögliche Walzpläne, nämlich $n!$ (wenn n die Anzahl der Aufträge darstellt) ein Protokoll ermittelt und mit den bisherigen verglichen werden (Durchsatzvergleich);
- insbesondere der Unterschied der Güte eines bislang manuell erstellten Walzplanes im Gegensatz zu der Güte eines automatisch generierten Walzplans ermittelt werden (Durchsatzvergleich, vgl. **Bild 2**);
- schließlich kann durch Kopplung des eingesetzten Walzstrecken-Simulators mit dem Wärmebehandlungs-Simulator der optimale Walzplan für den Durchsatz des Gesamtwerkes bestimmt werden.

2.4 Struktur des Systems Walzstrecke

Die Walzstrecke (s. **Bild 3**) besteht aus verschiedenen **Bearbeitungstationen** (Sägen, Öfen, Pressen, Walzeinrichtungen) die nacheinander angelaufen werden und über Rollgänge verbunden sind, die den automatischen Transport der zu bearbeitenden Ringe garantieren. Einige Stationen sind dabei so geschaltet, dass sie nur im Bedarfsfall angelaufen werden können.

Der generelle **Arbeitsablauf** der Walzstrecke ist durch die Abfolge folgender Aktivitäten gegeben.

1. Im Blocklager werden die durch den Sägeplan bestimmten Blöcke mindestens 8h vor der Beschickung des **DHO** identifiziert und in der geforderten Reihenfolge der Sägestation zugeführt.
2. Die Blöcke werden nach Zuordnung einer geeigneten Säge mit entsprechender Werkzeuginstallation und Einstellung zu gesägt.
3. Die Blöckchen (als Rohlinge der künftigen Ringe) werden in einem Puffer (**ABL** bzw. **MBL**) zwischengelagert, bevor sie von einer Belademaschine **BM** entsprechend der Reihenfolge des Walzplans in einen Drehherdofen (**DHO**) eingebracht werden.
4. Der **DHO** ist in der Lage (je nach Größe) insgesamt maximal 195 Blöckchen zu erfassen. Diese können aber nur nacheinander und z.T. signifikant zeitversetzt eingelagert werden. Bei Drehung des Ofens werden die Blöckchen in unter-

schiedliche Heizzonen gefahren, um sie so für die weiteren Bearbeitungsgänge vorbereitend zu erhitzen.

5. Nach Absolvierung einer (nahezu) vollen Drehung (und Passieren unterschiedlicher Heizzonen) erreicht ein Blöckchen nach ca. 5 bis 8 h die Entnahmeposition, wo es (glühend heiß) taktweise von einer Entlademaschine (EM) auf den Rollgang geschoben wird, um zur nächsten Station, der Stauchpresse (STP) befördert zu werden.
6. Aus den Blöckchen werden durch zentrisches Ausstanzen zylindrischer Hohlräume Lochscheiben erzeugt, die entweder zur Aufweitpresse AWP (7.) oder zur Radial-Axialwalze RAW (9.) weitergeleitet werden.
7. Die Lochscheiben werden durch eine Aufweitpresse (AWP) geweitet und entweder zum Hubbalken-Nachwärmofen HBNO (8.) geschickt oder direkt zur RAW(9.).
8. Die Lochscheiben werden im HBNO nochmal erwärmt.
9. Von der RAW werden die Lochscheiben in ihre endgültige Ring,- Reifen- oder Flanschform gewalzt.
10. Nachdem die finale Masse eines Ringes bestimmt wurde, erfolgt durch die Stempel- und Richtpressen-Station eine eindeutige Kennzeichnung (SP) des Walzproduktes, eine Wärmemaßkontrolle (WMK) und eine Prüfung der Planheit verbunden mit einer eventuellen Korrektur (PRP). Eventuelle Fehlprodukte werden nach einem unzureichenden Korrekturversuch als Ausschuss deklariert und aus dem weiteren Verkehr gezogen.

Die entsprechende Bearbeitung einer Auftragskorrektur bzw. Nachbehandlung ist noch nicht berücksichtigt worden.

Die einzelnen Systemelemente (Stationen) der Walzstrecke werden im nächsten Abschnitt sowohl in ihrer Funktionsweise als auch in ihrem Zeitverhalten näher betrachtet.

Generell gilt aber, dass für Walzen und Pressen in Abhängigkeit des Typs des Enderzeugnisses (Rad, Flansch usw.) und der Größe (Durchmesser, Höhe) spezielle **Werkzeuge** zum Einsatz kommen, die beim Übergang von einem Auftrag zum nächsten bei der betreffenden Station gewechselt werden müssen. Dabei kommt es zu kurzzeitigen Unterbrechungen. Da dafür auch spezielles Personal benötigt wird, stellt sich auch (zumindest partiell) das Problem des gleichzeitigen Werkzeugwechsels. Sollten bei der AWP und der RAW gleichzeitig Werkzeugwechsel notwendig werden, können sie nur nacheinander vorgenommen werden.

Ein weiteres Problem stellen ausfallbedingte **Störungen** im Ablauf des Walzens dar, die Reparaturarbeiten nach sich ziehen und Fertigstellungstermine verzögern. Leider steht für eine tatsächliche Berücksichtigung dieses Faktors kein belastbares Zahlenmaterial zur Verfügung. Dennoch sollte der Einfluss hypothetischer Störungen auf die tatsächliche Walzfolge in der Simulation Berücksichtigung finden.

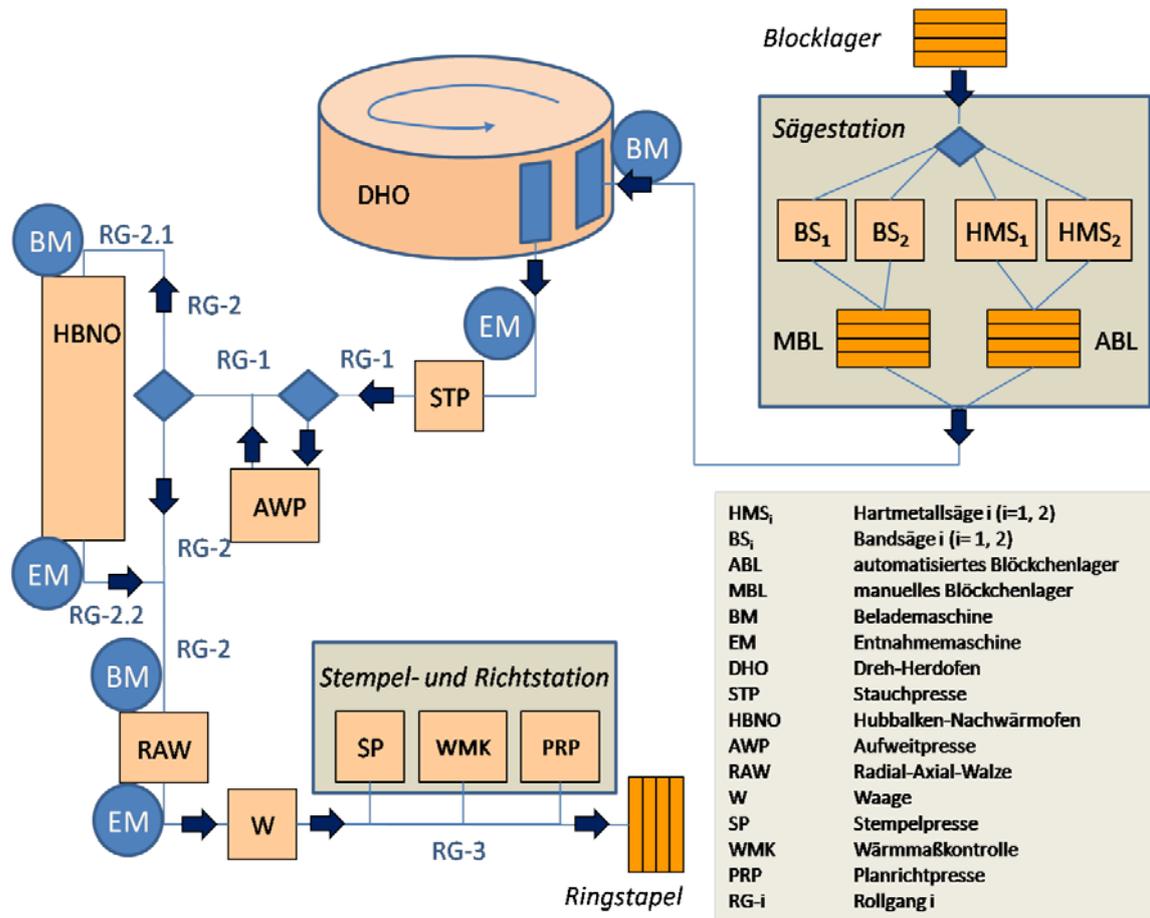


Bild 4 Anordnung der Stationen der Walzstrecke und ihr Einsatz bei der Wandlung von Blöcken zu Ringstapeln

2.5 Verhaltensbeschreibung der Walzstrecke

Ziel der Verhaltensbeschreibung ist es, für alle parallel ablaufenden Bearbeitungsvorgänge (Prozesse) der Walzstrecke die elementaren Aktivitäten mit ihrem jeweiligem Zeitverbrauch entsprechend von Beobachtungen bzw. Vorgaben aus dem Walzwerk zu identifizieren und sämtliche Zustandsinformationen zu erfassen, die für die **zeitgetreue Nachbildung** der Abläufe in ihrer Abhängigkeit und Synchronität von Relevanz sind, um zustandsbedingte Blockierungen, Iterationen, Unterbrechungen etc. im Mo-

dell entsprechend der Realität bei Eingabe einer beliebigen(!) Walzfolge nachbilden zu können.

2.5.1 Allgemeingültige Verhaltensbedingungen

Grundsätzlich gilt, dass

- a) sich Blöckchen bzw. Lochscheiben auf der Walzstrecke (vom DHO bis zur SRP) nicht überholen dürfen,
- b) sich nicht mehr als eine Lochscheibe auf einem Rollgang-Abschnitt befinden kann,
- c) Blöckchen bzw. Lochscheiben niemals auf einer Station (bis auf den DHO und den HBNO) verweilen, nachdem sie bearbeitet worden sind,
- d) Blöckchen bzw. Lochscheiben (solange keine Störung auftritt) niemals vor einer Station (Ausnahme DHO) warten müssen, da sie sich sonst abkühlen würden.

Aus c) folgt, dass die Station mit der längsten Bearbeitungszeit den Ausgabetakt beim DHO bestimmt. Diese Station ist die RAW. Dabei sind aber auch Werkzeugwechselzeiten der Stationen vom DHO bis zur RAW zu berücksichtigen. Dies ist natürlich immer der Fall, wenn aktuell aufeinanderfolgende Ringe (vom DHO bis zur RAW) unterschiedlichen Aufträgen zugeordnet sind.

Die Transportzeit einer Lochscheibe von einer Station zur nächsten mittels Rollgang kann mit **30s** angenommen werden kann.

Die Belade- und Entlademaschinen des DHO, des HBNO und der RAW benötigen ... s für einen Arbeitsgang.

2.5.2 Sägestation

Blöcke werden von der hauseigenen Elektroschmiede, der hauseigenen Freiformschmiede (für geschmiedete Werkstoffe) oder externen Herstellern geliefert. Der Sägeplan könnte bereits mehrere Walzwochen berücksichtigen. Zur Zeit wird jedoch nur für 2 Tage im Voraus gesägt. Der Sägeplan wird aus dem Walzplan rückterminiert. Für die Beladung der beiden Rollgänge vor den HMS steht ein Kran zur Verfügung. Der Transport vom Blocklager zu den BS erfolgt über einen QTW auf einer Schiene. Die Sägezeit an den BS variiert und beträgt im Mittel 180 min. Zwischen den Sägen und dem Blöckchenlager befinden sich zwei Kräne. Der eine kann nur Blöckchen von den BS transportieren und der andere nur Blöckchenpaletten von den HMS. Der Transport von den BS in das MBL erfolgt mit dem einen verfügbaren Kran. Der Transport von den HMS in das ABL erfolgt jeweils über einen QTW.

Zum Sägen der Blöcke werden zwei Hartmetallsägen (HMS) und zwei Bandsägen (BS) eingesetzt, welche sich für verschiedene Durchmesser des Ausgangsmaterials und Materialhärten unterschiedlich eignen (Tabelle 2 und Tabelle 3). Martensitische Blöcke werden nur auf den HMS gesägt.

Tabelle 2 Sägen und Sägezeiten

Säge	max. Durchmesser (mm)	min. Sägezeit (min)
HMS 1	400	3–7
HMS 2	500	3–7
BS 1	600	180
BS 2	800	180

Tabelle 3 Sägezeiten an den HMS

Blockdurchmesser (mm)	Sägezeit (min)
110	3,5
150	3,75
220	4,9
310	4,9
370	6,65
500	6,65
> 500	7

Mit einer BS können prinzipiell Blöcke aller Durchmesser gesägt werden. Sie werden aber nur eingesetzt, wenn es zwingend erforderlich ist. Auf Grund der großen Durchmesser der erzeugten Blöckchen sind die BS nicht an das Palettensystem des Lagers angeschlossen.

Zur Fertigung der Blöckchen werden die Blöcke aus dem Blocklager mittels spezieller Rollgänge den Sägen zugeführt. Sollte mit der Bearbeitung eines neuen Auftrages ein anderer Block benötigt werden, als der, der sich momentan auf der identifizierten Säge befindet, ist es notwendig, den angefangenen Block ins Blocklager zurück zu transportieren. Um Spielräume für eine Optimierung des Sägebetriebs zu ermöglichen, stehen Puffer zur Entkopplung der Sägestation von dem nachfolgenden DHO zur Verfügung.

2.5.3 Sägelager

Gesägte Blöckchen werden auf Stellflächen des Sägelagers zwischengespeichert. Dieses Lager ist in zwei Abteilungen strukturiert, wobei in einem Teil (ABL) die Lagerung automatisiert auf besonderen Ablagevorrichtungen (Paletten) vorgenommen wird und im anderen (MBL) dagegen das Lagern und Sortieren manuell vollzogen werden muss. Für die Ablage selbst stehen Stellflächen zur Verfügung. Jeder Säge

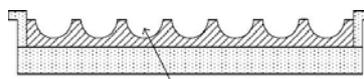
muss deshalb vor Beginn des Sägevorgangs entweder eine **Palette** mit freier Kapazität oder entsprechend freie Ablagefläche zur Verfügung gestellt werden. Am Anfang des ABL befindet sich für jeden der QTW ein Palettenaustauschplatz. Die Blöckchen der BS (i.allg. große Durchmesser mit kleinerer Stückzahl) werden dem MBL zugeordnet, während die gesägten Scheiben der HMS auf Paletten des ABLs gelagert werden.

Das ABL verfügt über 64 **Paletten**, die in einem rechteckigen Areal des Lagers eindeutige Stellpositionen besitzen. In **Bild 4** ist die Drauf- und Seitenansicht einer ABL-Palette dargestellt. Die halbrunden Vertiefungen auf den Paletten bilden sieben Reihen, in denen die gesägten Blöckchen gelagert werden und nicht abrollen können.

Die Paletten sind so konzipiert, dass Blöckchen bis zu 400 mm Durchmesser auf den einzelnen Reihen Platz finden, ohne dass sich die Scheiben benachbarter Reihen berühren. Bei Blöckchendurchmessern von über 400 mm wird nur jede zweite Reihe belegt. Von den Sägen werden die aktuellen Blöckchen nacheinander auf die Reihen der Paletten geschoben. Sobald eine Reihe nicht mehr genügend Platz für ein weiteres Blöckchen zur Verfügung hat, wird die Palette (automatisch) so positioniert, dass die nächste Reihe der Palette bestückt werden kann.

Der **Palettentransport** von der jeweiligen Säge bis zum Lager wird mit einem Schienensystem durchgeführt. Anschließend werden die Paletten vom Ende des Schienensystems durch **ATK**, einem Kran des Sägelagers, auf ihre individuelle Position befördert. Die von den Bandsägen erzeugten Blöckchen werden unter Nutzung des **MTK** auf freien Flächen der Lagerhalle in der Nähe des zum DHO führenden Rollganges (MBL) abgelegt.

Bezeichnung und Einsatz der verschiedenen Kräne sind für die Sägestation noch nicht endgültig geklärt.



7 Reihen der Palette

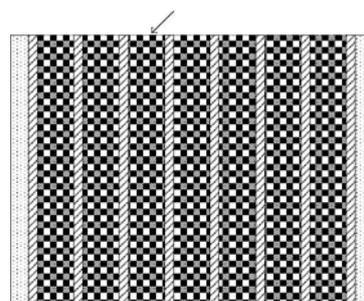


Bild 5 Paletten des ABL

2.5.4 Dreh-Herdofen – DHO

Die Blöckchen aus dem ABL und dem MBL werden unter Zuhilfenahme des Sägelagerkrans auf einem zum DHO führenden Rollgang abgelegt. Vom Ende dieses Rollgangs werden die Blöckchen von einer Belademaschine (BM) in den Ofen befördert (s. **Bild 3**).

Der DHO (**Bild 5**) besteht aus einem äußeren starren Ringbereich (Heizquellen, Beladetor, Entnahmetor) und einem karussellartigen drehbaren innerem Kern, der aus 42 im Kreis angeordneten Segmenten zur Blöckchenablage besteht. Auf jedem Segment können (je nach Durchmesser) bis zu fünf Blöckchen von innen nach außen gelagert werden. **Tabelle 4** liefert die entsprechenden Details.

Tabelle 4 Mögliche Blöckchenanzahl auf einem Ofensegment

maximaler Durchmesser (in mm)	316	365	385	492	583	670
Anzahl	5	4	4	3	2/3	2

Durch Rotation des Kerns durchlaufen die platzierten Blöckchen nacheinander sechs verschiedene Temperaturzonen:

- Beschickungszone: 3 Segmente,
- Vorwärmzone: 13 Segmente,
- Heizzone 1: 8 Segmente,
- Heizzone 2: 8 Segmente,
- Ausgleichzone: 6 Segmente,
- Übergangszone: 3 Segmente und
- Entladeplatz: 1 Segment.

Die Beschickung des Ofens ist nur in der Beschickungszone möglich. In dieser Zone ist die Temperatur am niedrigsten, denn die Blöckchen müssen zunächst langsam erhitzt werden. Bei einem zu schnellen Temperaturanstieg würde das Material einer zu hohen Belastung ausgesetzt werden und Risse bekommen. Die schrittweise Steigerung der Temperatur wird dabei durch die getrennten Zonen des DHO erreicht. Der DHO kann leere Segmente enthalten damit kleine Blöckchen, die nach großen Blöckchen folgen, nicht verbrennen. Der DHO wird so befüllt, dass Blöckchen möglichst nur ihre Mindestverweilzeit im DHO verbringen. Der kalte DHO wird am Sonntag maximal mit Blöckchen der Stahlsorte X46Cr13 befüllt und dann langsam hochgeheizt. Die Drehzeit für einen Segmentwechsel beträgt etwa 30s. Blöckchen unterschiedlicher Durchmesser können bei stark abweichenden Mindestverweil-

dauern auf einem Segment nicht beliebig kombiniert werden. Die Blöckchen haben eine Maximalverweildauer. Die Maximalverweildauer ist gleich der Mindestverweildauer der nächst höheren Durchmesserklasse. Wenn sich die Charge in einem Auftrag ändert, wird ein neues Segment begonnen (Chargen-Information fehlt jedoch in Eingabedatei). Diese Vorgehensweise wird sich ändern, wenn die Blöckchen über den gesamten Walzprozess elektronisch verfolgt werden können. Stahl der Sorte X46Cr13 soll zuerst gewalzt werden (neue Walzregel). Stahl der Sorte X46Cr13 ist martensitisch. Die Blöckchen-Zufuhr erfolgt vor der DHO-BM auf einem Palettenübergabeband über einen Schubzylinder. Kurz vor der Aufnahme durch die DHO-BM erfolgt ein Wiegen und Vermessen des Blöckchens. Der DHO-Einleger (am DHO-Steuerstand) kann an einem Teil des Walzplans noch Änderungen vornehmen.

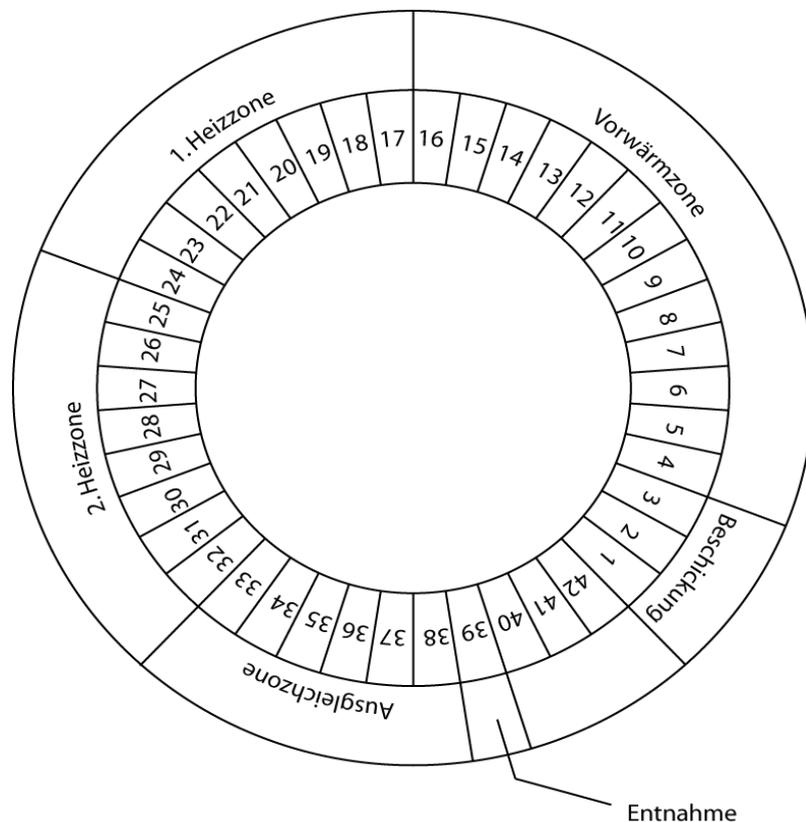


Bild 6 Die Wärmezonen des Drehherdofens

Erst in der zweiten Heizzone werden die Blöckchen einer maximalen Wärmezuführung ausgesetzt und sind mit dem Eintritt in die Ausgleichzone bei Einhaltung von Mindestverweildauern (s. **Tabelle 5**) vollständig durchgeheizt. Die Mindestheizdauer ist vom Sortimentyp und vom jeweiligen Durchmesser abhängig.

Tabelle 5 Technologie-Vorgaben zur Dreh-Herdofen-Mindestverweildauer

Material-Format	Durchmesser	Anzahl der Blöckchen pro Schritt	minimale Durchwärmzeit nach Aufheizgruppe					
			I	II	IIIa	IIIb	IV	V
	mm	maximal	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)
Strangguss	270	5	2,7	4	4	4	5	5,5
IR 110	273	5	2,7	4	4	4	5	5,5
Strangguss	300	5	2,75	4	4	4	5	5,5
Strangguss	310	5	2,75	4	4	4	5	5,5
IR 150	316	5	2,75	4	4	4	5	5,5
Strangguss	320	5	2,75	4	4	4	5	5,5
Strangguss	350	5	3	4	4	4	5	5,5
IR 220/310	385	4	3,25	4	4	4	5	5,5
Strangguss	400 / 406 / 410	4	3,3	4	4	4	5	5,5
IR 370/600	492	3	4,1	4,1	4,1	4,1	6	5,5
Strangguss	500	3	4,2	4,2	4,2	4,2	6	5,5
IR 500/710	583	2	4,8	4,8	4,8	4,8	6	5,5
Strangguss	600	2	4,9	4,9	4,9	4,9	6	5,5

- Aufheizgruppe I: Flansche / glatte Ringe
- Aufheizgruppe II: glatte Ringe, diverse Einsätze
- Aufheizgruppe IIIa: Radreifen
- Aufheizgruppe IIIb: Ringe
- Aufheizgruppe IV: Ferrite, Martensite
- Aufheizgruppe V: Austenite

In der Ausgleichzone wird die Temperatur der Blöckchen ausschließlich gehalten, um Blöckchen mit der für die Bearbeitung notwendigen Temperatur in einem Puffer vorliegen zu haben.

Eine genauere Zusammenstellung der Mindestverweildauern in Abhängigkeit von Durchmesser und Heizzone existiert und wird auf Nachfrage von den Stahlwerkern geliefert.

2.5.5 Stauch- und Lochpresse – STP

Durch die STP werden die Blöckchen auf das vorgesehene Stauchmaß gepresst. Dabei wirken mehrere tausend Tonnen Gewicht auf das Blöckchen. Zusätzlich wird mit einem Dorn mittig ein Loch gestanzt (s. **Bild 6**). Die Übergabe vom DHO-Ausgang zur STP erfolgt direkt per DHO-EM.

Der gesamte Vorgang erfolgt in vier Schritten:

1. Das Blöckchen wird auf das geforderte Stauchmaß gepresst.
2. Mit dem Lochdorn wird in die Mitte des Blöckchens gestoßen, wobei er nur bis zur Hälfte das Material durchschlägt.
3. Eine weitere Stauchung auf das gewünschte Maß korrigiert eingetretene Verformungen.
4. Aus der Mitte des Blöckchens wird ein Zylinder komplett ausgestanzt.

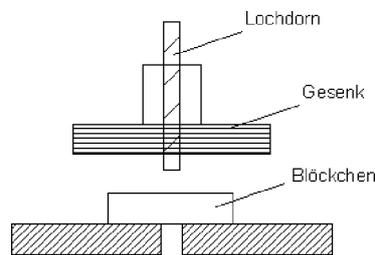


Bild 7 Schematische Darstellung der Stauchpresse

Die Zeit an der STP variiert je nach nach Sortimentart um etwa 1 min. Genauere Angaben liegen derzeit nicht vor.

Bei Änderung des Blöckchendurchmessers kommt neben der auftragsabhängigen Werkzeugwechselzeit eine Konfigurationszeit von **4 min** dazu.

Die Auswahl der STP-Werkzeuge ist durch den jeweils zum Blöckchen gehörenden Auftrag definiert. Für einen Werkzeugwechsel oder einen Einstellungswechsel der Werkzeuge werden Zeitspannen erforderlich, die in **Tabelle 6** zusammengefasst worden sind. Die entstandenen Lochscheiben werden zur weiteren Bearbeitung per Rollgang entweder direkt zur Radial-Axial-Walze (RWA) oder zunächst erst zur Aufweitpresse (AWP) transportiert.

Tabelle 6 Werkzeugwechselzeiten an der Stauchpresse

Umbauart	Beschreibung	Umbauzeit (min)
PS 1	Wechsel, Schmiedegeschirr (Stauchsattel)	15
PS 2	Wechsel Oberteil (Stauchgesenk)	15
PS 3	Dornwechsel	15
PS 4	Wechsel Formgesenk	15

2.5.6 Aufweitpresse – AWP

Zur AWP gelangen nur Lochscheiben, die laut ihres Auftrages zusätzlich geweitet werden müssen. Die Anwendung verschiedener Werkzeuge wie Aufweitsättel und Aufweitdorne geben der Lochscheibe die jeweils notwendige Form für die spätere Bearbeitung in der RAW. Durch die Positionierung der Presse direkt am Rollgang ist es möglich, dass Lochscheiben, die aufgeweitet werden sollen, direkt vom Band in die AWP geschoben werden können. **Bild 7** zeigt schematisch die Werkzeugpositionierung dieser Station.

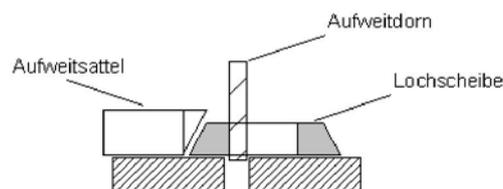


Bild 8 Schematische Darstellung der Aufweitpresse

Die Bearbeitungszeit der AWP beträgt unabhängig vom Auftragstyp **1 min**.

Bei Änderung des Lochscheibendurchmessers kommt neben der auftragsabhängigen Werkzeugwechselzeit eine Konfigurationszeit von **4 min** dazu.

Mögliche zur Anwendung kommende Aufweitsättel und Aufweitdorne sind als Werkzeuge inklusive ihrer Wechselzeiten in **Tabelle 7** aufgelistet.

Als weitere Stationen kommen nach der AWP der HBNO oder die RAW in Frage. Die Entscheidung steht mit der zugehörigen Auftragsbeschreibung der aktuellen Ringscheibe fest.

Tabelle 7 Werkzeugwechselzeiten an der Aufweitpresse

Umbauart	Beschreibung	Umbauzeit (min)
AP 1	Dornwechsel	15
AP 2	Wechsel des Aufweitsattels	20
AP 3	Wechsel des Beihaltessesattels	20
AP 4	Wechsel des Zwischenstückes am Aufweitsattel (nur bei Verschleiß)	20
AP 5	Wechsel der BÜchse	5

2.5.7 Hubbalken-Nachwärmofen – HBNO

Die zweite optionale Station der Walzstrecke ist der HBNO. Im zugehörigen Auftrag einer jeden Folge von Lochscheiben ist bereits primär anhand des Durchmesser, der Stahlsorte, des Gewichtes und sowie entsprechend der Erfahrung des Technologen bei der Definition der Walzfolge festgelegt, ob ein Nachwärmvorgang notwendig ist und der HBNO angelaufen werden muss oder nicht.

Darüber hinaus kann es in Folge von Störungen zu ungewollten Auskühlungen der Lochscheiben kommen, die an der STP oder der AWP liegen geblieben sind. Auch in diesem Fall werden die Lochscheiben (unabhängig vom Walzplan) über den HNO zur RAW geleitet.

Im Inneren des Ofens (s. **Bild 8**) befinden sich zwei parallel angeordnete Hubbalken. Jeder dieser Balken enthält auf dieser Strecke 14 Hübe, so dass bei der vorgegebenen, versetzten Belegung 14 Lochscheiben im Ofen Platz finden. Die Belegung erfolgt räumlich versetzt, da bei der Entnahme immer nur eine Scheibe aus dem Ofen übernommen werden kann. Am HBNO gibt es jeweils eine BM und eine EM. Am HBNO gibt es jeweils eine BM und eine EM.

Die Mindestaufheizzeit der Lochscheiben im HBNO beträgt **10 min**. Ein Balkenhub am HBNO dauert etwa **1 min**. Der HBNO wird kontinuierlich befüllt. Ein Ringdurchlauf dauert **30 - 45 min**.

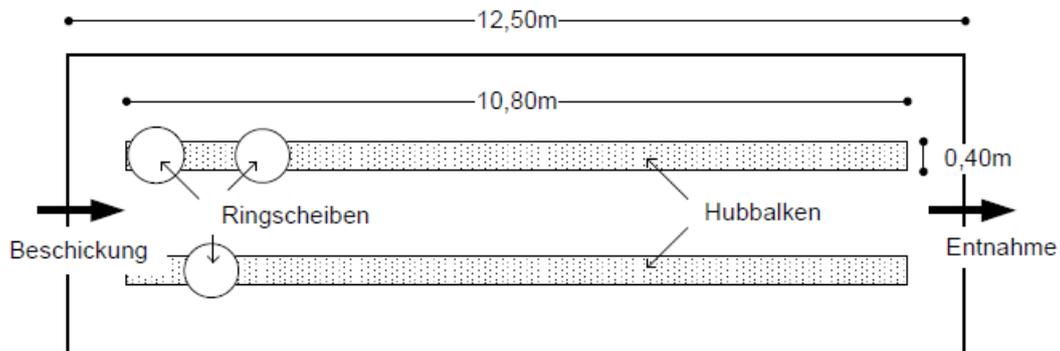


Bild 9 Schematische Darstellung des Hubbalken-Nachwärmofens

2.5.8 Radial-Axial-Walze – RAW

In der RAW (**Bild 9**) findet der Formungsprozess einer Lochscheibe zu ihrer geforderten Endgestalt (entsprechend des Sortimentprofils) statt. Sie wird entweder zu einem Flansch, einem Ring oder einem Radreifen umgeformt. Die dafür einzusetzenden Werkzeuge sind ebenfalls bereits im Auftrag der Walzfolge festgeschrieben.

Die Bearbeitungszeit in der RAW beträgt je nach Auftrag zwischen **3** und **5 min**. An allen anderen Stationen ist die Bearbeitungszeit geringer.

Bei Änderung des Lochscheibendurchmessers kommt neben der auftragsabhängigen Werkzeugwechselzeit eine Konfigurationszeit von **4 min** dazu.

Um dennoch Verzögerungen auf den Rollgängen und die damit verbundene Abkühlvorgang der Ringe (Lochscheiben) vor der RAW zu verhindern, wird schon bei der Entnahme eines Ringes (Scheibe) aus dem DHO der sich dynamisch ändernde Takt der RAW berücksichtigt. Dies geschieht dadurch, dass die Entnahme durch die EM des DHO entsprechend verzögert wird.

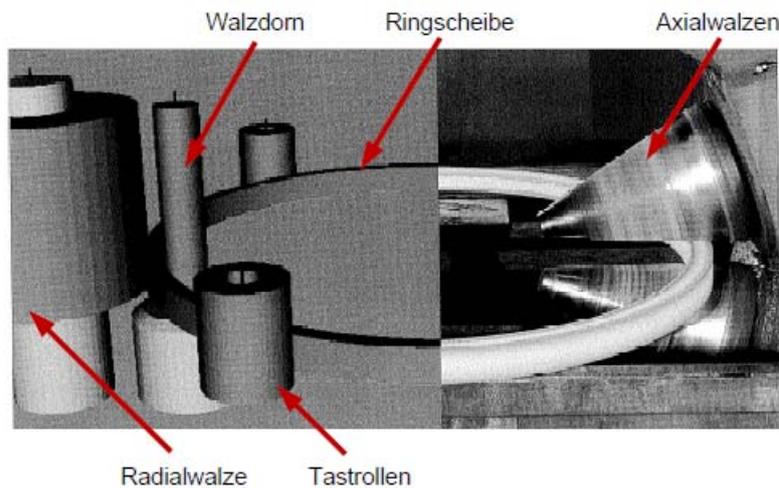


Bild 10 Radial-Axial-Walze (Quelle: Schmiedewerke Gröditz)

In der RAW werden verschiedene Walzen (glatte und sonstige Walzen), Walzdorne, Zentrierrollen (glatt oder Radreifen) und Tastrollen eingesetzt, die spezifische Wechselzeiten erfordern. Mit Beginn der ersten Schicht einer Walzwoche werden zuerst 4-5 Schrottringe gewalzt. Diese sind nicht Teil eines Auftrages und dienen der Überprüfung der Arbeitsstationen auf der Walzstrecke. Die Walzstrecke ist zwischen zwei verschiedenen Aufträgen leer. Der RAW-Bediener entscheidet wann das nächste Blöckchen den DHO verlässt (bezeichnet als Taktstockschwinger). Er kann dazu die aktuelle Belegung von DHO und HBNO einsehen. An der RAW gibt es jeweils eine BM und eine EM. Nach der RAW gibt es **keine** Waage.

2.5.9 Stempelpresse & Richtpresse – SRP

Auf der letzten Station der Walzstrecke erfolgen eine Kennzeichnung der gefertigten Erzeugnisse sowie deren Prüfung auf Planheit. Nach der SRP erfolgt keine direkte Erfassung von Ausschuss. Dieser wird erst viel später festgestellt. Die Nachproduktion erfolgt dann in der kommenden Walzwoche.

Im Folgenden werden die beiden Pressen meist zusammengefasst betrachtet und als SRP bezeichnet.

Die Bearbeitungszeit in der SRP beträgt unabhängig vom Auftrag **1 min.**

2.5.10 Werkzeugwechsel an allen Stationen

Wenn an einer Station mehrere Werkzeugarten vorhanden sind, dann erfolgt der Umbau für jede der Werkzeugarten nacheinander. Die Umbauzeiten addieren sich also an einer Station. • Das Bedien-Team einer Station entspricht auch dem Umbau-Team (außer bei AWP und RAW). Es wird erst dann umgebaut wenn der Walzvorgang abgeschlossen ist (außer im HBNO liegen noch Blöckchen, dann können die Stationen davor bereits umgebaut werden). Werkzeugwechsel sind abhängig von der vorherigen Werkzeugkonfiguration. Eine Wechselsequenz A - B - C kann möglicherweise schneller erfolgen als die Sequenz A - C - B. Die Umbauzeit sind damit abhängig von der konkreten Auftragsfolge des Walzplans. Nach einem Werkzeugwechsel wird der erste Ring (Probering) komplett gewalzt und der darauf folgende Ring wird erst bei Verlassen der RAW durch dne Probering aus dem Ofen geholt. Damit soll sichergestellt werden, dass alle Stationen richtig eingestellt sind.

Ob das auch gilt wenn die Ringe im HBNO geheizt werden ist offen.

2.5.11 Ausschuss und Störungen

Das Walzwerk produziert bereits aus Erfahrung mehr Ringe als notwendig wären, um den auftretenden Ausschuss auszugleichen. Die Zusatzproduktion ist jedoch bereits in der Ringanzahl eines Auftrags enthalten. Falls dennoch zuviel Ausschuss auftritt, werden entsprechende Ringe in der darauf folgenden Walzwoche nachproduziert. Bei Störungen an Stationen auf der Walzstrecke werden die Ringe in die DHO-Ausgleichzone über den DHO-Ausgang verbracht. Die DHO-EM kann dazu auch als Belademaschine (BM) fungieren.

2.5.12 Zusammenfassende Verhaltensdarstellung

Bild 10 zeigt das eingangs skizzierte Schema der Walzstrecke ergänzt um Angaben der stationsspezifischen Bearbeitungs- und Werkzeugwechselzeiten.

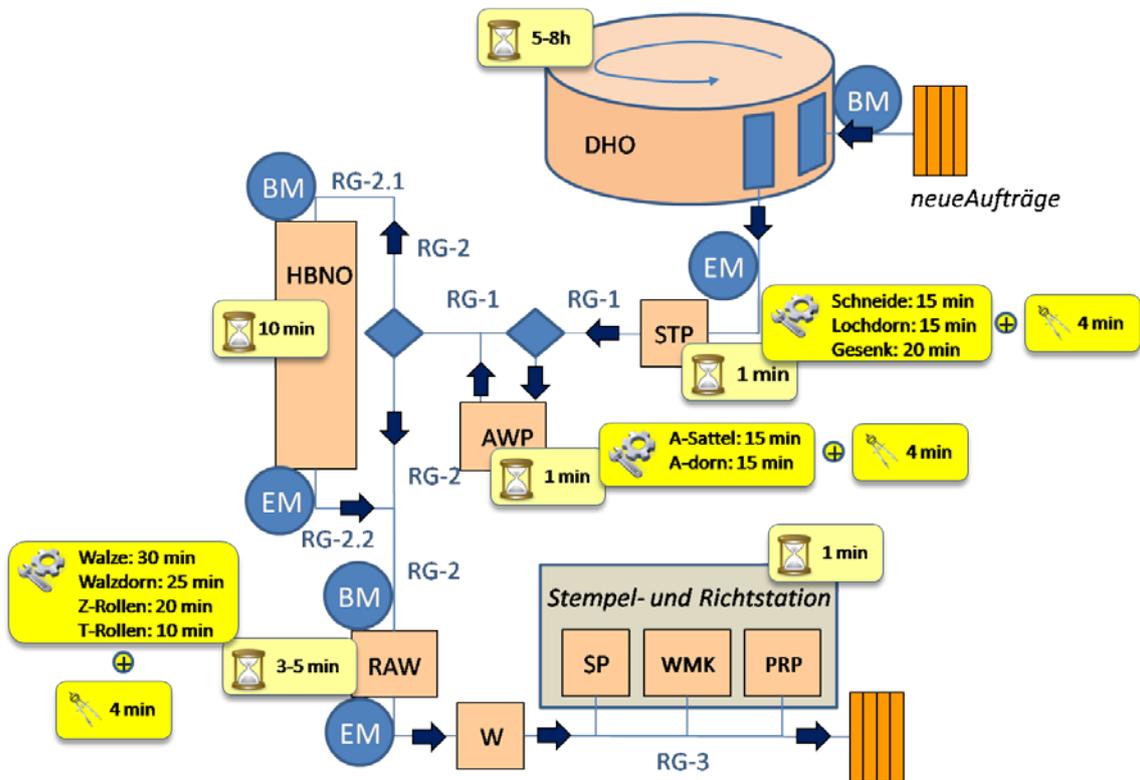


Bild 11 Zeitlich quantifizierte Arbeitsgänge der Walzstrecke

3 Aufträge, Walzpläne und Walzprotokolle

3.1 Aufträge

In den **Aufträgen** sind neben den Daten für die Bearbeitungsvorgänge der Walzstrecke auch Informationen für die Wärmebehandlung der Produkte in der Vergüterei enthalten. Für die reale Produktion wird die Spezifikation eines Auftrages in einer Excel-Tabelle festgehalten, wobei jede einzelne Zeile der Tabelle einem speziellen Auftrag entspricht. Beim Einlesen einer solchen Excel-Tabelle entsteht je Zeile ein Objekt der Klasse Auftrag.

Der Bezeichner Auftrag wird also in verschiedener Bedeutung, aber vom Kontext her eindeutig, benutzt. Folgende zwei Bedeutungen sind somit mit Auftrag verbunden:

- Auftragsbeschreibung im Werk,
- Name einer entsprechenden Klasse im Simulationsmodell.

Die Attribute dieser Klasse (s. Tabelle 8) im Simulationsmodell entsprechen wiederum den Spalten der Excel-Tabelle. Lediglich das letzte Attribut ringListe taucht nur im Modell auf. Hier reiht sich im Modell für jeden erzeugten Ring ein Objekt der Klasse Ring ein.

Tabelle 8 Attribute der Klasse Auftrag

Attributname	Bedeutung / Typ	Verwendung
nummer[AUFNR]	Auftragsnummer / long	gesamte Simulation
anzahlRinge[PSMNG]	Ringanzahl des Auftrages / int	gesamte Simulation
ringDurchmesser[Z_TR_RADMR]	Durchmesser Endprodukt / int	ab RAW
ringHoehe[Z_TR_RHOEHE]	Endprodukt-Höhe / int	Vergüterei und Auswertung
ringMasse[Z_VMASSE]	Endprodukt-Masse / int	Durchheizzeit im DHO
ringFormat[Z_DMR_NBL]	Durchmesser Scheibe / int	Walzstrecke bis RAW
hbn[Z_HBN]	Aufenthalt im HBNO / bool	AWP und STP
walzzeit[Z_WZEIT]	benötigte Zeit in RAW / int	RAW
ringDurchmesser[Z_TR_RADMR]	Durchmesser Endprodukt / int	ab RAW
sortiment[Z_KMATNR]	Sortimentsbezeichnung / int	Reihenfolge und Auswertung
walze [Z_PRW]	zu benutzende Walze / int	RAW

walzzeit [Z_WZEIT]	Walzzeit / int	RAW
walzdorn [Z_TR_WD]	zu benutzender Walzdorn / int	RAW
aufweitsattel [Z_TR_AWS]	Aufweitsattel / int	AWP
aufweitdorn [Z_TR_AWD]	Aufweitdorn	AWP
zentrierrollen [Z_TR_ZROLLE]	Zentrierrollen / int	RAW
tastrollen [Z_TR_ROLLE]	Tastrollen / int	RAW
gesenk [Z_TR_FGESENK]	Gesenkradius / int	STP
lochdorn [Z_LDO]	Lochdorn / int	STP
lochScheibenDurchmesser[Z_TR_DL]	Durchmesser Lochscheibe / int	nach STP
ringListe	Liste aller Ring-Referenzen	gesamte Simulation

Die in der Tabelle in eckigen Klammern angegebenen Bezeichnern entsprechen den Spaltenbeschriftungen der Eingabetabelle (Auftragspezifikationen).

Einige weitere Attribute, wie z. B. die zur Charakterisierung der Wärmebehandlungstechnologien, werden erst von dem späteren Bearbeitungsgängen bzw. vom Vergüterei-Simulator aufgegriffen.

3.2 Walzpläne

Walzpläne sind Folgen von Aufträgen, die eine entsprechende sequentielle Bearbeitung der Rohlinge (Blöckchen) zu Walzendprodukten verlangen. Sie stellen die entscheidende Grundlage für die Arbeitsorganisation im Walzwerk da. Die Zusammenstellung von Aufträgen zu einem Walzplan unterliegt technologischen Erfahrungswerten, die in Form von Regeln formuliert sind, die bei der Planung in geringfügigen Abweichungen eingesetzt werden. Wie beim Begriff Auftrag liegen auch dem Begriff Walzplan zwei Bedeutungen zugrunde:

- Vorgabe der Arbeitsgänge auf der Walzstrecke im Werk,
- Name einer entsprechenden geordneten Liste von Objekten der Modellklasse Auftrag im Simulationsmodell.

Damit entspricht der Realisierung eines Walzplans auf der Walzstrecke der reale Produktionsablauf in einer gewissen durch den 3-Schicht-Betrieb bestimmten Zeit. Während der Walzplan also nur die Abfolge der Werkzeugwechsel und die kausale Steuerung des Produktflusses vorgibt, ist der reale Prozess durch eine genaue Zuordnung der genauen Start- und Beendigungszeitpunkte für jeden seiner Arbeitsgänge gekennzeichnet.

Ähnliches gilt auch für die Realisierung eines Walzplans im Simulator, nur dass die erfassten Zeitpunkte Modellzeitpunkte sind und mit der Ausführung von Modellaktionen verbunden sind.

3.3 Walzprotokolle

Zur Protokollierung der realen Walzproduktion wird im Realbetrieb eine Erweiterung des Walzplans herangezogen. Und zwar werden je Auftrag (identifiziert durch die Nummer) folgende Attribute hinzugefügt:

- Schicht-Zuordnung (1,2,3),
- Anzahl der gefertigten Ringe, die von der Angabe im Walzplan abweichen kann,
- Angabe von Produktparametern als Kopie aus dem Walzplan (Außen- und Innendurchmesser, Höhe, Masse),

Takt (als Produktszeit/Ringanzahl?)

WBH-Attribute

Umbauzeit (Ermittlung ist dabei unklar, wegen partieller u. sequentieller Abläufe)

Leider werden im realen Walzwerk bislang noch keine Stationsbelegungszeiten der individuellen Ringe eines Auftrages erfasst.

Eine Erfassung derartiger Werte ist für einen Simulator der Walzstrecke leicht realisierbar. Die Walzprotokolle der realen Walzstrecke (erweitert um die individuelle Ringerfassung) und des Simulators bilden somit eine geeignete Grundlage für die Validierung des Simulationsmodells.

4 Formales Simulationsmodell der Walzstrecke

Ziel der Formalisierung des informalen Modells der Walzstrecke ist die Ableitung eines ausführbaren Simulationsmodells in Analogie zur identifizierten Systemstruktur und zum Verhalten mit der entscheidenden Nebenbedingung einer Struktur- und Verhaltensäquivalenz im Sinne der Erfüllung des in 2.2 formulierten Systemzwecks. Zur technischen Umsetzung wird die ODEMX-Bibliothek gewählt, die zudem eine objektorientierte Modellstruktur erlaubt, was konsequent genutzt werden wird. Dabei gilt es zunächst festzustellen, welche der vorgefertigten Bibliotheks-Modellbausteine sich für eine Umsetzung der geforderten Struktur- und Verhaltensäquivalenz per Vererbung am besten eignen.

4.1 Strukturfestlegung des Simulationsmodells

Aus der informalen Betrachtung der Walzstrecke (Kap 2) ergeben sich bereits eine Reihe von Möglichkeiten einer Vereinfachung der Systemstruktur bei Beachtung des in Abschnitt 2.3 charakterisierten Untersuchungsziels.

4.1.1 Modellvereinfachungen

Folgende Abstraktionen helfen das Simulationsmodell strukturell zu vereinfachen:

1. Generell kann von einer Unterscheidung der verschiedenen Walzproduktausprägungen in Form von Blöckchen, Ringscheibe, Ring/Flansch/Radreifen verzichtet werden. Im Simulationsmodell wird Ring als universelle Produktform angesehen, dessen individuelle Instanzen beim Sägen entstehen und die Walzstrecke bei Fertigstellung verlassen.
2. Des Weiteren kann man davon ausgehen, dass im Lager der Sägestation (MBL und ABL) für die Beschickung des DHOs immer genügend Materialvorrat im Sinne der geforderten Walzfolge vorliegt. In diesem Fall kann auf die Nachbildung der Sägestation verzichtet werden. Es genügt lediglich, aus einer vorgegebenen Auftragsfolge eines Walzplans (je Auftrag) zyklisch eine Folge von Ring-Objekten zu generieren und diese in die Walzstrecke einzuspeisen. Diese Aufgabe übernimmt im Modell die BM des DHO, der sich lediglich aus einem Eingangspuffer Auftrag für Auftrag des Walzplans holt.
3. Eine weitere Vereinfachung kann an der Stempel- und Richtstation vorgenommen werden. Die vier Einrichtungen wie Waage, Stempelpresse, Wärmemaßkontrolle und Richtpresse werden im Modell zur Station SRP zusammengefasst, da sie in der Realität nacheinander durchlaufen werden

und eine konstante Zeit (unabhängig vom Auftrag) für die Realisierung benötigen.

4. Die Abschnitte der Rollgänge werden zusammengefasst, da sich die Ringe auf der Walzstrecke nicht überholen dürfen. Damit stehen folgende Rollgänge im Modell zur Verfügung, die mit einer Kapazität von 1 ausgestattet sind:
 - RG-0: Eingang der BM des DHO
(entfällt aufgrund des Verzichts der Sägestationsnachbildung)
 - RG-1: von der STP zur AWP
 - RG-2.1: von der STP oder der AWP zum HBNO
 - RG-2.2: von der STP, der AWP oder dem HBNO zur RAW
 - RG-3: von der RAW zur SRP
 - RG-4: von der SRP zur Vergüterei
(entfällt aufgrund des Verzichts der Vergütereinachbildung)

Bild 11 zeigt das ODEMx-Strukturmodell, das von diesen vereinfachenden Annahmen ausgeht. Die Äquivalenz zum informalen Systemmodell ist augenscheinlich gegeben.

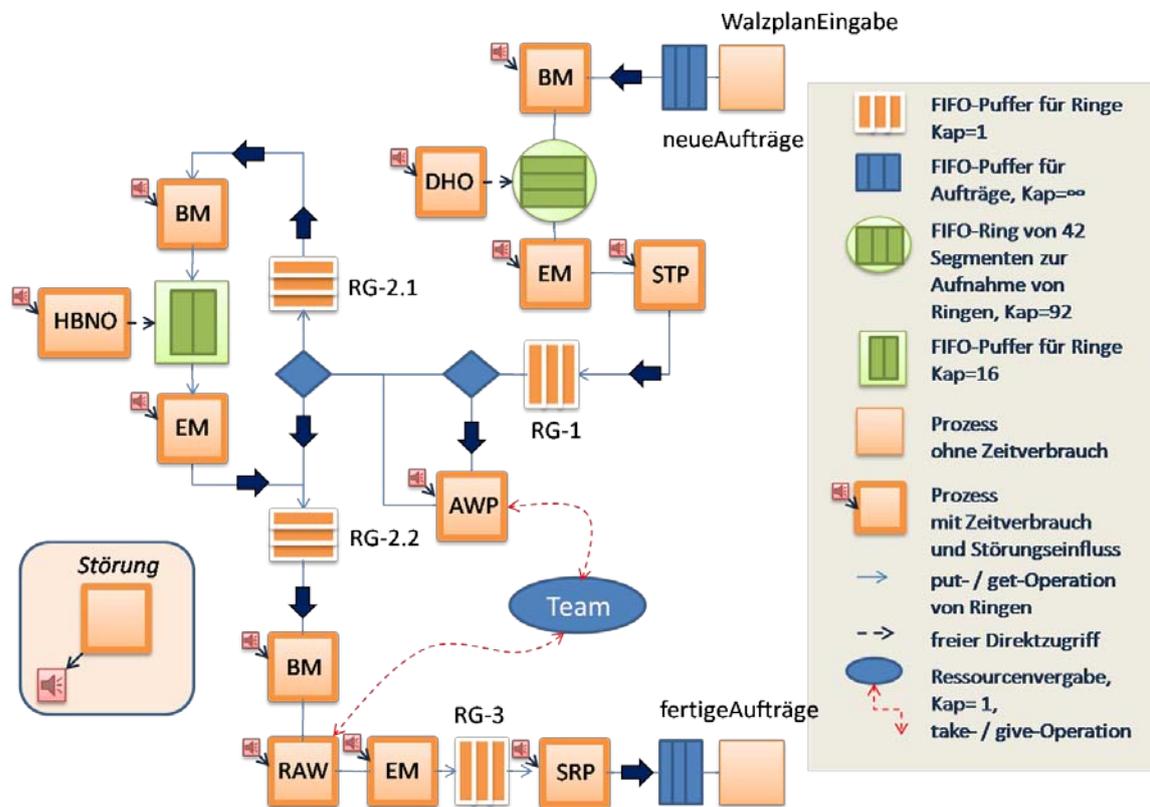


Bild 12 Struktur des ODEMX-Systemmodells der Walzstrecke

4.1.2 Identifikation aktiver und passiver Modellelemente

Die einzelnen Modellelemente (ME), die die Struktur des Walzwerkmodells bilden, unterscheiden sich durch ihre grundsätzlich aktive bzw. passive Rolle bei der Erbringung des Systemverhaltens. Bei einer objektorientierten Betrachtung erscheinen die Modellelemente als Objekte/Instanzen von Klassen, die entweder aus einer aktiven oder passiven Basisklasse abgeleitet worden sind.

Sämtliche Objekte, die den einzelnen Stationen der Walzstrecke entsprechen, spielen eine aktive Rolle (sie bearbeiten und bewegen eigenständig die Ringe). Unter Verwendung von ODEMX werden solche Objekte als Instanzen abgeleiteter Process-Klassen (**Bild 12**) bereitgestellt. Dies sind die spezifischen 12 Process-Objekte:

- die DHO-BM als Instanz von BeladeMaschine,
- der DHO als Instanz von DrehHerdOfen,
- die DHO-EM als Instanz von EntladeMaschine,
- die SP als Instanz von StauchPresse,

- die AWP als Instanz von AufweitPresse,
- die HBNO-BM als Instanz von BeladeMaschine,
- der HBNO als Instanz von HubBalkenNachwärmOfen,
- die HBNO-EM als Instanz von EntladeMaschine,
- die RAW-BM als Instanz von BeladeMaschine,
- die RAW als Instanz von RadialAxialWalze,
- die RAW-EM als Instanz von EntladeMaschine und die
- die SRP als Instanz von StempelRichtPresse.

Die Menge aktiver Objekte wird erweitert um

- eine Instanz von WalzPlanEingabe (WPE), die in der Lage ist, aus einer Folge einzulesender Aufträgen einer Walzfolge Ring-Objekte zu erzeugen,
- eine Instanz von WalzPlanProtokollant (WPP), der aus einer Folge von Ringen (mit gespeicherten Informationen ihrer Bearbeitung) ein Walzprotokoll zu erzeugen.

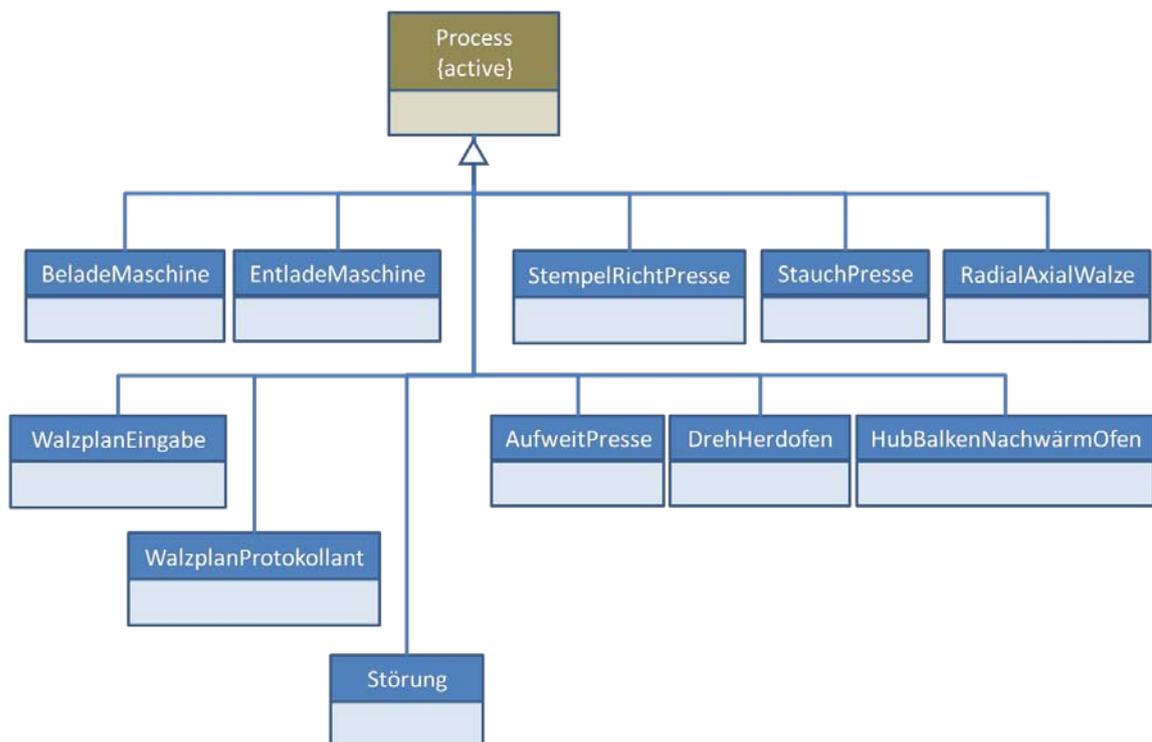


Bild 13 Hierarchie aktiver Klassen des Walzstreckenmodells

Alle diese Prozesse sind abhängig von einander, da sie Objekte (passiver Art) synchron oder asynchron austauschen bzw. für ihre Arbeitsgänge benötigen.

Die Objekte, die eine passive Rolle spielen, lassen sich entsprechend ihrer Bauart unterschiedlichen Gruppen zuordnen

1. Listenelemente

- Ringe (Objekte der Klasse Ring),
- Aufträge (Objekte der Klasse Auftrag) und
- Segmente (Objekte der Klasse Segment).

Diese Klassen gehen als Typparameter in die Port-Templates ein um verschiedene typgerechte Listen konstruieren zu können: RingPort, AuftragsListe, SegmentKarussell.

2. Listen

- RG-i (Objekte der Klasse RingPort),
als Nachbildung der Rollgänge zwischen den Stationen mit der Aufnahmekapazität von maximal einem Ring ausgelegt,
- Karussell (Objekt der Klasse SegmentKarussell)
als problemspezifischen Variation der ODEMX-Klassen Port zur Nachbildung des Segmentrings des DHO.
- neueAuftraege (Objekt der Klasse Auftragsliste)
- fertigeAuftraege (Objekt der Klasse Auftragsliste)..

Um einen **Werkzeugwechsel** an den Stationen RAW und AWP bei gleichzeitiger Anforderung sequenzialisieren zu können, wird ein ODEMX-Bin-Objekt zur Synchronisation eingeführt. Mit der Kapazitätsbeschränkung 1 wird erreicht, dass beide Stationen bei überlappenden Anforderungsintervallen um eine Ressource (hier Team zum Werkzeugwechsel) konkurrieren.

Zur Nachbildung potentieller **Störungen**, die im realen Betrieb an jeder Station auftreten können, wird zusätzlich ein Störungsprozess eingefügt. Dieser Prozess kann aus einer Eingabedatei austauschbare Störungsprofile einlesen und diese verhaltenswirksam machen, indem er die betreffenden Stationen zu bestimmten Zeitpunkten für vorgegebene Zeitbereiche aus dem Verkehr zieht, was zeitlich begrenzte rückwärtige Blockierungen nach sich ziehen wird.

Eine realistische Nachbildung von Störungen muss bei deren Beendigung jeweils anhand der eingetretenen Verzögerung für alle im System befindlichen Blöckchen ermitteln, ob diese nun (abweichend vom ursprünglichen Walzplan) im HBNO nachgeheizt werden müssen. Dies kann weitreichende Effekte auf den Ablauf haben.

Sämtliche strukturelevante Größen werden in der Klasse Walzstrecke als Zeiger dargestellt, die auf Objekte zeigen, die die **Systemkonfiguration** komplett repräsentieren.

tieren. Auch werden die einzelnen Prozess- und Datenobjekte durch die Walzstrecke in ihrer Instanziierung und Initialisierung beschrieben.

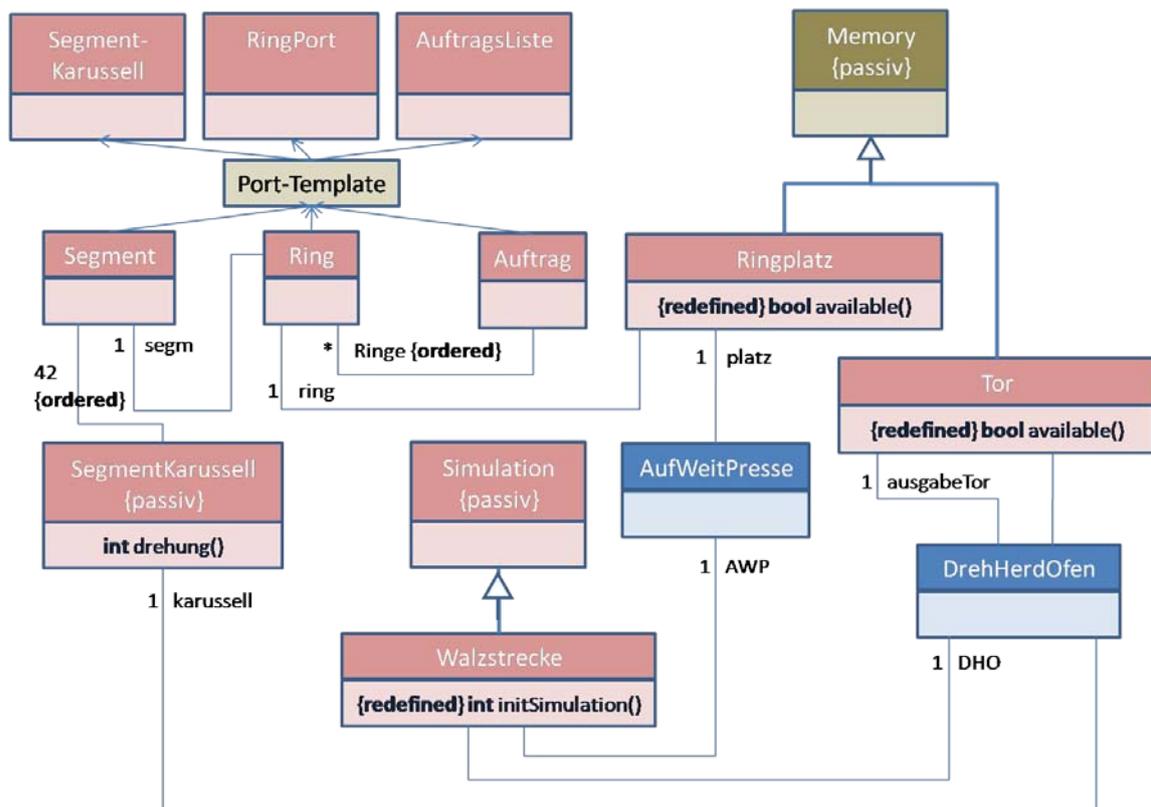


Bild 14 Relationen zwischen aktiven und passiven Klassen des Walzstreckenmodells (Auszug)

Von außerordentlicher Bedeutung für die einheitlich strukturierte Verhaltensdarstellung der einzelnen Walzstationen ist die Einführung spezifischer Memory-Ableitungen, deren Objekte als Parameter der leistungsstarken wait-Funktion der ODEMX-Bibliothek Verwendung finden werden. Damit kann ein beliebiger Prozess (z.B. eine Walzwerkstation) zustandsbedingt blockiert werden bis eine von mehreren Bedingungen erfüllt ist. Zu diesen Bedingungen gehören (Vorgegeben durch die ODEMX-Bibliothek):

- bislang leerer Eingangspuffer hat ein Objekt,
- bislang komplett gefüllter Ausgangspuffer stellt einen freien Platz zur Verfügung,
- ein gestarteter Timer hat seine Alarmzeit erreicht,
- ein gestarteter Prozess ist beendet.

Diese Liste wird nun durch folgende Bedingungen erweitert:

- ein bislang geschlossenes Ein- oder Ausgangstor eines Ofens ist offen
- ein bislang belegter Bearbeitungsplatz einer Walzstation ist frei.

4.2 Generelle Verhaltensfestlegungen des Simulationsmodells

Vorgegeben ist bereits durch das Strukturmodell sind bereits die Komponenten, die sich durch ein potientielles eigenständiges Verhalten (Process) auszeichnen. Das Verhalten ist nun klassenweise zu definieren.

Aus dem informalen Modell kann abgeleitet werden, dass folgende Process-Objekte zum **Zeitfortschritt** im Simulationsmodell beitragen:

- der DHO (per Verharren einer technologiebedingten Zeit bis zur nächsten Drehung und Vollführung eines Drehschrittes),
- der HNO (Bewegung der Ringe im Ofen vom Eingang zum Ausgang),
- die RAW (als Taktvorgeber der Walzstrecke) und
- die SRP (Bestimmung der Ringaustrittszeit, danach werden die Ringe auf den Rollgang zur Wärmebehandlung gebracht).
- Die Belade- und Entlademaschinen vom DHO, HBNO und von der RAW.

Vernachlässigt wird im Modell der Zeitverbrauch der Rollgänge, die in der Realität 30s betragen. Sollten Störungen berücksichtigt werden, so ist auch der Störungsprozess zeitbehaftet zu beschreiben.

Die gesamte Verhaltensmodellierung der Stationen ist durch die Anwendung der wait-Funktion geprägt, was ihr letztendlich eine sehr kompakte und strukturierte Beschreibungsart verleiht. Im folgenden wird nun für jedes ME das Verhalten konzeptuell vorgestellt, wofür eine selbsterklärende Pseudonotation benutzt wird.

4.3 Verhalten der aktiven Modellelemente

4.3.1 Das Klassenensemble Rollgang

Jeder Rollgangsabschnitt wird durch ein Objekt-Trio der Klassen RingPortHead, RingPortTail und RingPort gebildet. Diese Klassen werden unter Anwendung vorbereiteter **ODEMx-Templates** definiert, die speziell für die Verarbeitung von Objekten der Klasse Ring zugeschnitten worden sind. Die Kapazität eines Ports wurde auf 1 beschränkt. Eingangs- und Ausgangszeiger zu den RingPorts sind den jeweiligen Belade- und Entlademaschinen oder den Station direkt mitzuteilen.

Durch die Anwendung von cut() und splice() ist es darüber hinaus dynamisch möglich, einen beliebigen Prozess zwischen der Ein- und Ausgabe von Ring-Objekten einzuschleusen, der

- Nur Zeit verbraucht (falls doch die Transportzeit von 30s berücksichtigt werden muss) oder
- die Weitergabe zeitweilig blockiert (als Nachbildung einer konkreten Störung).

4.3.2 Die Klassen DrehHerdOfen, DHO-BeladeMaschine und DHO-EntladeMaschine

Der DHO wird im Modell durch zwei Klassen dargestellt (vgl. **Bild 13**), durch

- die Klasse SegmentKarussell, welche zur Verwaltung von 42 Objekten der Klasse Segment ausgerichtet ist, die ihrerseits der temporären Ablage von Ring-Objekten dient und durch
- die Klasse DrehHerdOfen, welche die Funktionalität einer zeitbehafteten Drehung in Kombination der Aktualisierung der Aufenthaltszeiten der einzelnen Ringe in den Heizzonen darstellt.

Das Verhalten des DHO wird in Gestalt der Redefinition der ererbten Process::main-Funktion kodiert. **Bild 14** liefert dafür eine abstrakte Beschreibung. Dabei wird angenommen, dass die Ein- und Ausgangstore während einer Drehung geschlossen sind. Zu einer zeitverbrauchenden Drehung kommt es nur, wenn für jeden abgelegten Ring gilt, dass seine vorgesehene Zeit für eine Heizzone mit der Drehung nicht unterschritten wird.

```
DrehHerdOfen

while true do {
    toreSchließen();
    karussell->drehen();           // mit Zeitverbrauch
    toreÖffnen();
    DHO-timer->set(mindestHeizzeit);
    wait (DHO-timer);           // Mindest-Heizzeit
}
```

Bild 15 Verhaltensmodell des DHO

Die Belademaschine des DHO (Objekt der Klasse DHO-BeladeMaschine) kommt mit einem Verhalten daher, das in **Bild 15** beschrieben worden ist. Zyklisch werden für jeden eingelesenen Auftrag entsprechende Ring-Objekte generiert, die ihrerseits in den

DHO geschoben werden. (Zeitweilig) unterbrochen werden kann der Prozess nur durch ein Ausbleiben des nächsten Auftrages oder durch ein geschlossenes EingabeTor.

```
DHO-BeladeMaschine

while true do {
    auftrag= neueAufträgeP->get();
    n= auftrag->maxRingNo;
    for i=1 step 1 until n do {
        ring= new Ring (...);
        wait (DHO->eingabeTor);
        DHO->belade(ring);    // mit Zeitverbrauch
    }
}
```

Bild 16 Verhaltensmodell der DHO-Belademaschine

Bild 16 beschreibt das Verhalten der Entlademaschine des DHO. Die Berechnung des DHO-Ausgabetaktes ist dabei entscheidend. Hier nicht weiter beschrieben, wird verlangt, dass bis zur RAW die durch einen kommenden Auftragswechsel bedingten Werkzeugtausch Zeiten summarisch in der Verzögerung des DHO Berücksichtigung finden. Drei Bedingungen müssen nun für eine stattfindende Entladung gegeben sein:

- das Ausgabetor des DHO ist offen (bedeutet auf dem Entladesegment befindet sich mindestens 1 Ring)
- der Arbeitsplatz der STP ist frei und
- die geforderte Verzögerungszeit (die ein unnötiges Warten des Ringes auf der Walzstrecke vermeidet) ist abgelaufen.

```
DHO-EntladeMaschine

while true do {
    entladeTakt= ...    // Berechnung einer RAW-abhängigen Verzögerungszeit
    taktTimer->set(entladeTakt)

    waitAll (DHO->ausgabeTor, STP->platz, taktTimer);
    ring= DHO->entlade(); // mit Zeitverbrauch
    STP->belege(ring);    // belegt STP->platz mit ring
}
```

Bild 17 Verhaltensmodell der DHO-Entlademaschine

4.3.3 Die Klassen HubBalkenNachwärmofen, HBNO-BeladeMaschine, und HBNO-EntladeMaschine

Der HBNO wird ähnlich wie der DHO durch zwei Klassen modelliert, durch

- die Klasse HubBalken, welche zur Verwaltung von 16 Objekten der Klasse Ring ausgerichtet ist, das am Eingang gefüllt am Ende geleert wird.
- die Klasse HubBalkenNachwärmOfen, welche die Funktionalität einer zeitbehafteten FIFO-Bewegung der Ringe im Ofen (Positionsänderung) in Kombination der Aktualisierung der Aufenthaltszeiten der einzelnen Ringe darstellt.

Der Lebenszyklus ist durch **Bild 17** umrissen.

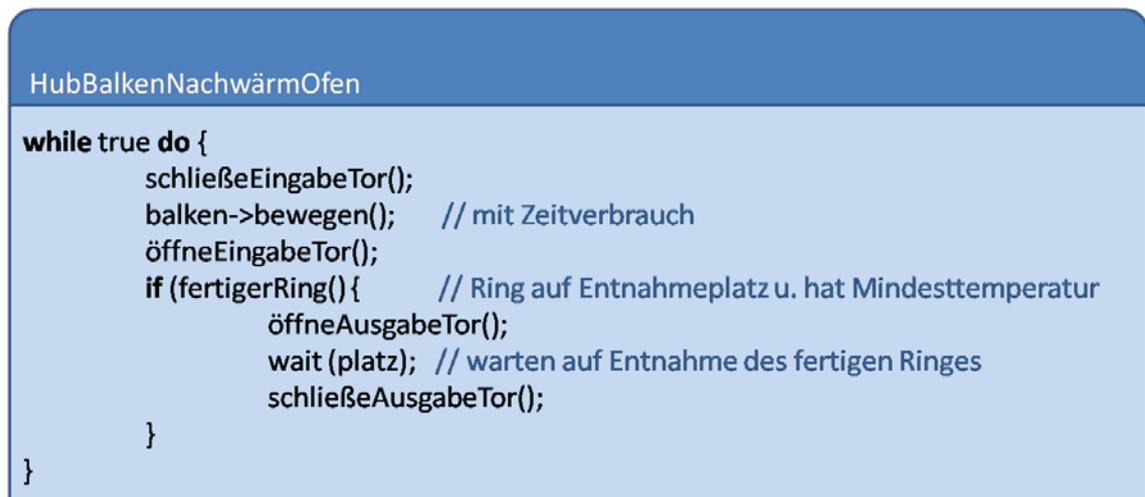


Bild 18 Verhaltensmodell des HBNO

Der Zyklus als Bewegung des Hubbalkens wird begleitet durch das Öffnen und Schließen der Ein und Ausgangstore. Das Eingangstor kann nur geöffnet werden, wenn zuvor eine Bewegung stattgefunden hat, die ihrerseits Platz auf der Eingabeseite geschaffen hat. Der Ausgabeplatz wird hingegen nur geöffnet, wenn sich ein Ring auf der Entnahmeposition befindet. Das Ausgabedor bleibt solange geöffnet und verhindert dabei eine weitere Eingangsbelegung bis die Entladeposition von der Entlademaschine des HBNO geräumt worden ist.

Die Belademaschine erwartet ein Ring-Objekt am Ausgang vom Rollgang-2.1 und ein geöffnetes Ofentor (**Bild 18**).

```

HBNO-BeladeMaschine

while true do {
    ring= RG-2.1->ausgangsP->get();// Blockierung falls Rollgang leer
    wait (HBNO->eingabeTor);      // Blockierung falls Tor geschlossen
    HBNO->beladung (ring);        // mit Zeitverbrauch
                                // Schließen des EingabeTores, falls voll
};

```

Bild 19 Verhaltensmodell der HBNO-Belademaschine

Die Entlademaschine des HBNO (**Bild 19**) erwartet zunächst ein offenes Ausgabator und dann eine freie Rollgangposition zur Ablage des zu entladenen Ring-Objektes.

```

HBNO-EntladeMaschine

while true do {
    waitAll(HBNO->ausgabeTor, RG-2.2->eingangsP);
    ring= HBNO->entnahme();
    RG-2.2->eingangsP->put(ring); // mit Zeitverbrauch
};

```

Bild 20 Verhaltensmodell der HBNO-Entlademaschine

4.3.4 Die Klassen StauchLochPresse, AufWeitPresse und StempelRichtPresse

Zur Nachbildung der verschiedenen Pressen als Stationen der Walzstrecke stehen die Klassen StauchLochPresse, AufWeitPresse und StempelRichtPresse zur Verfügung. Der Verhaltensbeschreibung der Klassen zur Nachbildung von STP und AWP ist gemeinsam, dass sie den Zeitverbrauch für evtl. Werkzeugwechsel zu berücksichtigen haben.

StauchLochPresse

```
while true {
  if (...) nächstesWerkzeug= ...// aus Auftrag des nachfolgenden Ringes
  if (nächstesWerkzeug <> aktuellesWerkzeug)
      werkzeugWechsel(); //mit Zeitverbrauch

  ring= aktuelleBelegung(platz); // mit Blockierung, falls platz frei
  ring->bearbeitung(); // mit Zeitverbrauch
  switch ring->nextStation {
    // Ablage von ring auf einen Rollgang
    case RWA:      RG-1  ->eingangsP->put(ring);
    case HBNO:    RG-2.1->eingangsP->put(ring);
    case RAW:     RG-2.2->eingangsP->put(ring);
  }
}
```

Bild 21 Verhaltensmodell der STP

Bild 20 zeigt das Verhaltensmodell der STP. Immer dann, wenn der unmittelbar folgende Ring einem neuen Auftrag angehört, ist die Werkzeuglage zu prüfen. Sollte ein Werkzeugwechsel erforderlich sein, wird dieser als Zustandsinformation und Zeitkonsum realisiert. Die Bearbeitung selbst ist ebenfalls ein Zeitkonsum und ein Zustandswechsel des Ringes (Bearbeitungszustand). Voraussetzung ist dafür jedoch die Existenz eines Ring-Objektes auf dem Arbeitsplatz der STP, wofür die DHO-Belademaschine zuständig ist. In Abhängigkeit der auftragsabhängigen Folgestation wird der Ring weitergereicht.

Das Verhalten der AWP zeigt **Bild 21**.

AufWeitPresse

```
while true {
    if (...) nächstesWerkzeug= ... ; // aus Auftrag des nachfolgenden Ringes
    if (nächstesWerkzeug <> aktuellesWerkzeug) {
        team-> take(1); // Blockierung falls ReparaturTeam nicht verfügbar
        werkzeugWechsel(); //mit Zeitverbrauch
        team-> give(1); // Freigabe des ReparaturTeams
    }
    ring= RG-1->ausgangsP->get(); // Blockierung falls Rollgang leer
    ring->bearbeitung(); // mit Zeitverbrauch
    switch ring->nextStation {
        // Ablage von ring auf einen Rollgang
        case HBNO: RG-2.1->eingangsP->put(ring);
        case RAW: RG-2.2->eingangsP->put(ring);
    }
}
```

Bild 22 Verhaltensmodell der AWP

Das Verhalten ähnelt dem Verhalten der vorigen Klasse. Beim Werkzeugwechsel werden jedoch Ressourcen benötigt, die evtl. auch von anderen Stationen angefordert werden können (s. RAW).

Die StempelRichtPresse (s. **Bild 22**) ist die Klasse zur vereinfachten Nachbildung einer Folge mehrerer Stationen. Im Verhalten ist der Abbruch der gesamten Simulation kodiert. Dieses Ereignis wird ausgelöst, sobald der letzte Ring des letzten Auftrages die Station passiert hat.

StempelRichtPresse

```
while true {
    ring= RG-3->ausgangsP->get();
    ring->bearbeitung(); // mit Zeitverbrauch
    if (ring->no == Ring->auftrag->maxRingNo) {
        fertigeAufträgeP->put(ring->auftrag);
        RG-4->eingangsP->put(ring); // zur Vergüterei
        if (ring->auftrag->auftragsNummer = last) exitSimulation();
    }
}
```

Bild 23 Verhaltensmodell der SRP

Hier ist eine Modelländerung vorzunehmen, falls Störungen, die Anzahl gefertigter Ringe dynamisch verändern können.

4.3.5 Die Klasse Radial-Axial-Walze

Als letzte Walzwerkstation wird die RAW in ihrem Verhalten beschrieben (s. **Bild 23**), die durch zugeordnete Belade- und Entlademaschinen ergänzt wird.

RadialAxialWalze

```
while true do {
    if (...) nächstesWerkzeug ... ; // aus Auftrag des nachfolgenden Ringes
    if (nächstesWerkzeug <> aktuellesWerkzeug) {
        team-> take(1); // Blockierung falls ReparaturTeam nicht verfügbar
        Werkzeugwechsel(); // mit Zeitverbrauch
        team-> give(1); // Freigabe des ReparaturTeams
    }
    ring= aktuelleBelegung(platz); // mit Blockierung, falls platz frei
    ring->Bearbeitung(); // mit Zeitverbrauch
    EM-RAW->activate(); // sorgt für Platzfreigabe
}
```

Bild 24 Verhaltensmodell der RAW

Offensichtlich ist das nahezu das gleiche Grundmuster wie bei der AWP zu beobachten.

```
RAW-BeladeMaschine

while true do {
    ring= RG-2.2->ausgangsP->get();
    wait (RAW->platz);
    RAW->belade (ring); // mit Zeitverbrauch
};
```

Bild 25 Verhaltensmodell der RAW-Belademmaschine

Ähnliches gilt für die Belademmaschine (**Bild 24**) und die Entlademaschine (**Bild 25**) im Vergleich zu den bisher betrachteten Maschinen.

```
RAW-EntladeMaschine

while true do {
    wait (RG-3->eingangsP);
    ring= RAW->entnahme();
    RG-3->eingangsP->put(ring); // mit Zeitverbrauch
};
```

Bild 26 Verhaltensmodell der RAW-Belademmaschine

4.3.6 Die Klasse Logger

Die Klasse Logger ist eine abstrakte Basisklasse. Sie spezifiziert eine Schnittstelle zur Visualisierung verschiedener Ereignisse während der Simulation. Folgende Arten von Ereignissen werden protokolliert:

- ein Blöckchen-Objekt betritt den Eingangspuffer des Walzwerks,
- ein Blöckchen-/Ring-Objekt wird von einer Bearbeitungsstation zur nächsten gereicht,
- eine Bearbeitungsstation führt einen Werkzeugwechsel durch,
- die Bearbeitung eines Ring-Objektes ist abgeschlossen.

Alle Instanzen von Modellelementen, die Ereignisse der genannten Arten erzeugen, protokollieren dies durch den Aufruf der entsprechenden Funktion an einer Instanz einer Ableitung der Klasse Logger.

Es gibt zwei instanzierbare Ableitungen der Klasse `Logger` mit unterschiedlichen Realisierungen der Schnittstelle.

- Die Klasse `LoggerFortschrittsbalken` stellt die Anzahl der abgearbeiteten Aufträge gegenüber der Gesamtanzahl von Aufträgen dar. Diese Art der Visualisierung vermittelt einen ungefähren Status über den Fortschritt des Simulationsexperimentes.
- Die Klasse `LoggerAnimator` leitet die Aufrufe an eine CORBA-Schnittstelle (4) weiter. Diese CORBA-Schnittstelle verbindet den Simulator mit einem in Java implementierten graphischen Animator (näher erklärt in Kapitel 5), der Bearbeitungsstation und Blöckchen-/Ring-Objekten graphische Symbol zuordnet. Ereignisse bei denen ein Blöckchen-/Ring-Objekt von einer Bearbeitungsstation zur nächsten gereicht wird, wird durch eine Bewegung des Blöckchen-/Ring-Symbols zum Symbol der empfangenen Bearbeitungsstation dargestellt. So kann während eines Experimentes beobachtet werden, bei welcher Bearbeitungsstation sich welches Blöckchen-/Ring-Objekt befindet.

4.4 Konfiguration des Simulationsmodells

Der von ODEmx geforderte Simulationskontext wird über eine Spezialisierung der ODEmx-Klasse `SIMULATION` erreicht:

- Diese Klasse, die den Namen `Walzstrecke` trägt, bestimmt zunächst über die Konstruktorsignatur mögliche Konfigurationen/Parametrisierungen von Simulationsmodellen der Walzstrecke.
- Objekte von `Walzstrecke` stellen dann jeweils ein Ensemble von ODEmx-Prozessen dar, die eine konkrete Walzstrecke nachbilden. Dazu enthält `Walzstrecke` als Attribute Zeiger zu allen Modellelementen, die die Konfiguration ausmachen. Andere Attribute sind die Parameter.
- Darüber hinaus bestimmt diese Klassen alle Phasen der Simulation der Walzstrecke(hier drei): Initialisierung – Simulation (von Anfang bis Ende) – Abbruch und Auswertung.

4.4.1 Initialisierung des Simulationsmodells

Die virtuelle Funktion `initSimulation` dieser Klasse wurde so redefiniert, dass sie die gewünschte Modellementekonfiguration aufbaut, indem sämtliche benötigten Objekte passiver und aktiver ME-Klassen erzeugt und per Zeiger/Referenzen miteinander verlinkt.

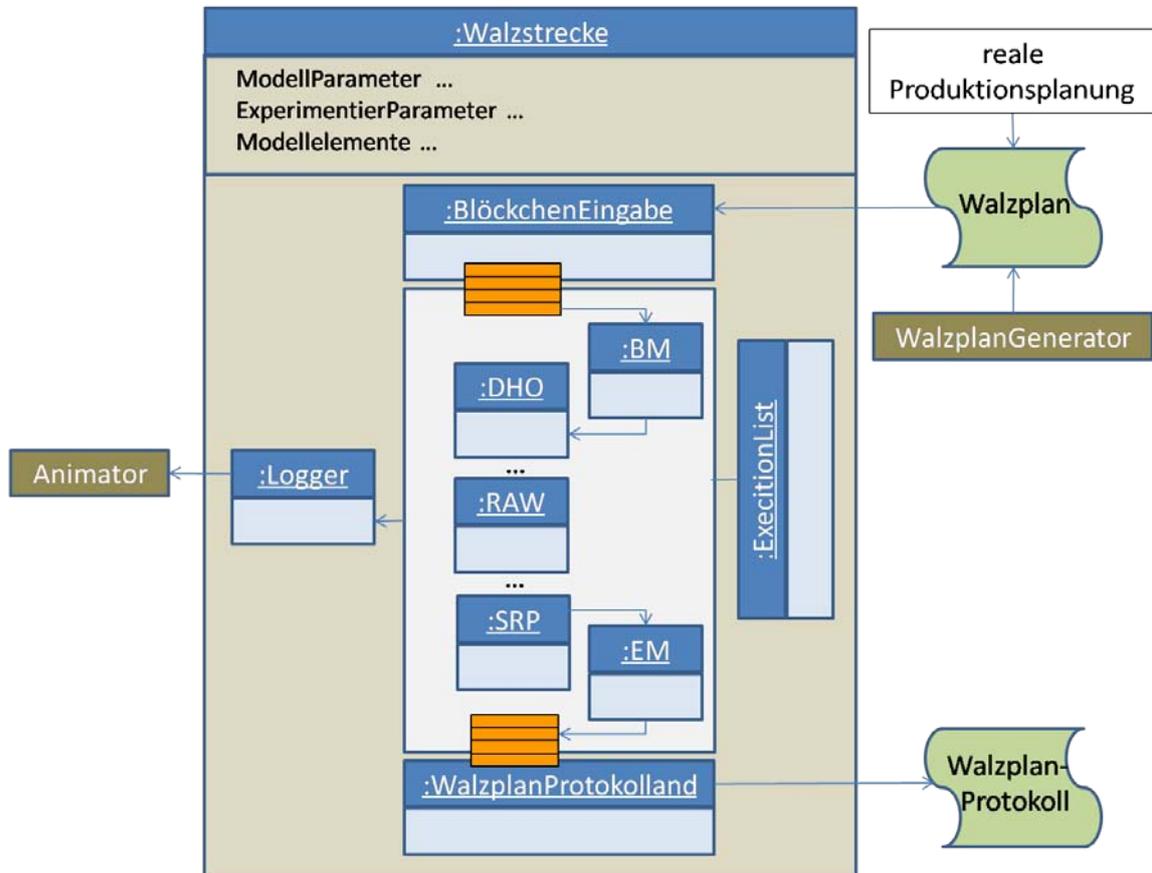


Bild 27 Die Simulation-Kontextklasse Walzstrecke

Per Vererbung stellt Walzstrecke insbesondere die Funktionalität einer ExecutionList bereit, wodurch sämtliche Prozesse nach einer Next-Event-Simulation-Methode abgearbeitet werden. InitSimulation hat demnach auch die Aufgabe, diese ExecutionList initial zu füllen. Objekte der Klassen BlöckchenEingabe, Logger und WalzplanProtokolland sorgen während der Simulation für eine Kommunikation mit der Umgebung. Die Klasse BlöckchenEingabe ist für das Lesen des jeweils aktuellen Walzplan verantwortlich, wobei es übrigens unabhängig davon ist, wie dieser erzeugt worden ist. Dabei wird Auftrag für Auftrag ermittelt und in einem Eingangspuffer der Walzstrecke abgelegt. Damit ist die Initialisierung der Walzstrecke (initSimulation) im Simulationsmodell abgeschlossen.

4.4.2 Start, Realisierung und Abbruch der Simulation

Gestartet wird die Simulation durch das C++ Hauptprogramm, das für die Generierung des Walzwerkobjektes zu sorgen hat, und die Abarbeitung mit Aufruf von run()

tatsächlich startet. Mit diesem Aufruf wird zunächst automatisch die bereits vorgestellte `initSimulation`-Funktion gerufen. Danach geht die Programmsteuerung an der ersten Prozess der `ExecutionList` über. Sämtliche Stationsprozesse werden aktiviert, aber sofort wieder in einen Schlafzustand versetzt, bis sie durch die Ankunft von Ring-Objekten wieder erweckt werden. Lediglich die BM des DHOs kommt am Anfang zum Zug.

Diese entnimmt nacheinander (unter Zeitverbrauch) dem Eingangspuffer Auftrag für Auftrag und generiert dementsprechend nacheinander Ring-Objekte (Modellabstraktion von Blöckchen, Ringscheibe, Endprodukt) um sie im DHO abzulegen, falls diese im DHO noch Platz finden. Attribute des Ring-Objektes werden genutzt um spezifische Ereignis-aktivierungen (Belegung und Verlassen einer Station u.ä.) zeitlich zu erfassen. Durch Eingabe von Ringen wird der DHO wieder aktiviert, der seinerseits bei Erreichen der Durchheizzeit des ersten Ringes seine Entlademaschine aktiviert und diese wiederum die Nachfolgerstation usw. Bei der Realisierung eines jeden Prozesses werden sämtliche Ereignisse einem `Logger`-Objekt gestellt, der wiederum mit einem Animatorwerkzeug zusammenarbeitet.

Hat der letzte Ring des letzten Auftrags des aktuellen Walzplans die Stauch- und Richtpresse (SRP) verlassen, wird mit Hilfe der Protokolland-Funktionalität ein Protokoll des realisierten Walzplans erstellt (s.Kapitel 6). Danach wird die Simulation per `exitSimulation`-Ruf beendet.

5 Animator der Walzstrecke

Der Animator besteht aus einem graphischen Java-Programm zur Visualisierung der Vorgänge in der Simulation welches die serverseitige Umsetzung der CORBA-Schnittstelle (4) zur Kommunikation mit dem Simulator implementiert. In der graphischen Darstellung können die Bewegungen der Ringe und die Abarbeitungszustände der Aufträge beobachtet werden, wobei jedes Modellelement der Walzstrecke einen graphischen Repräsentanten hat.

Mit Hilfe des Animators kann die Abarbeitung interaktiv beeinflusst werden, um den aktuellen Zustand der Simulation genauer zu betrachten, wodurch das Auffinden von Fehlern und das Verstehen der Vorgänge für den Entwickler der Simulation unterstützt wird. Der Anwender hingegen kann schon im Laufe einer Simulation erkennen, wo es z.B. zu Problemen bei der Abarbeitung von Aufträgen kommt.

Die CORBA-Schnittstelle basiert auf Seiten des Simulators auf der CORBA-Implementation MICO, während der Animator die CORBA-Bibliothek der Java-Laufzeitumgebung nutzt. Animator und Simulator kommunizieren über blockierende Funktionsaufrufe.

Beide Programme werden nacheinander gestartet. Erst der Animator, der die Interoperable Object Reference (IOR) in eine Datei schreibt, und anschließend der Simulator, der die IOR aus dieser Datei ausliest und so die Kommunikation der beiden Partner startet.

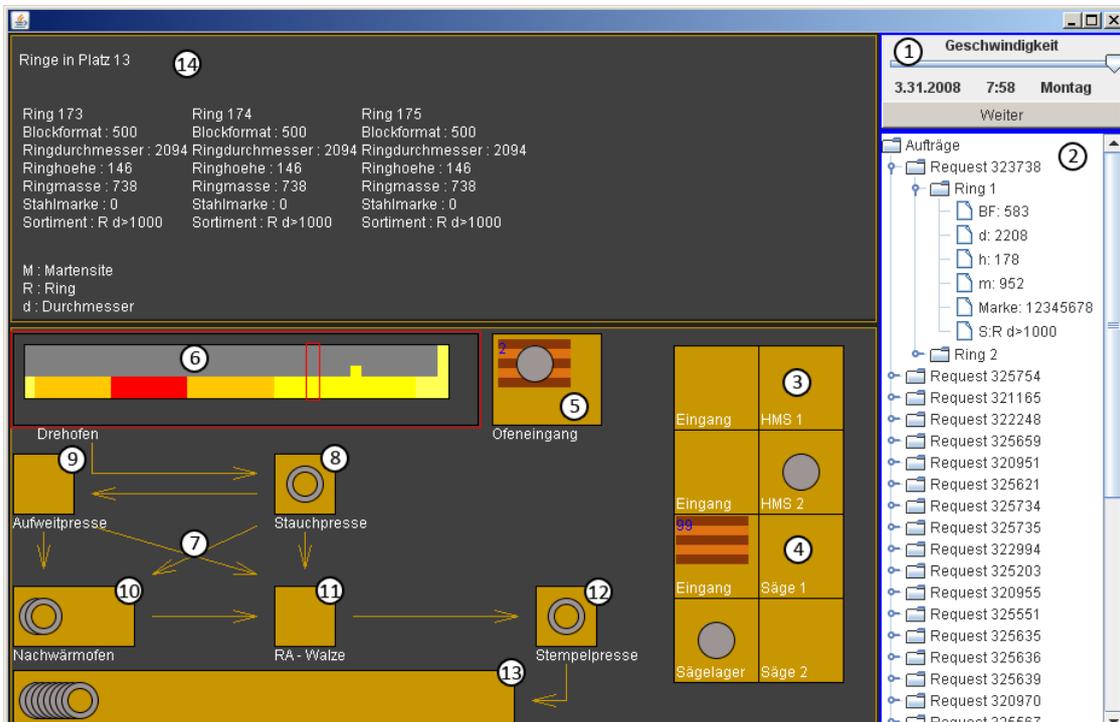


Bild 28 Bildschirmfoto des Walzwerk-Animators.

Im folgenden werden die einzelnen Bestandteile des Animators (**Bild 27**) erklärt:

1. Steuerfeld des Animators
Im Steuerfeld wird die aktuelle Simulationszeit angezeigt. Am Schieberegler darüber lässt sich die Geschwindigkeit der Animation einstellen. Der Knopf darunter unterbricht die Animation oder lässt sie weiterlaufen.
2. Auftragsliste des Animators
Hier werden alle Aufträge aufgelistet. Man kann in jedem einzelnen Auftrag genau nachsehen, welche Ringe er enthält.
3. Die Hartmetallsägen
4. Die Bandsägen
5. DHO - Eingangspuffer
Alle Blöckchen die in den DHO sollen, müssen mit einer Palette zum Ofeneingang gefahren werden. Oben im Bild liegt im Ofeneingang eine Palette deren Blöckchen gerade in den DHO geladen werden
6. DHO
Der DHO wird mit seinen Segmenten dargestellt. Der Animator stellt den Ofen vereinfachend von rechts nach links dar. Beginnend rechts mit der Beladezone

bis nach links zur Entnahme sind die einzelnen Zonen farblich von einander abgesetzt.

7. Pfeile zwischen den Stationen

Die Pfeile zwischen den Stationen zeigen mögliche Wege der Ringe an. Überall wo von einer Station ein Pfeil hinführt kann auch ein Ring von der Station aus direkt hingeschickt werden.

8. SP

9. AWP

10. HBNO

Der HBNO kann mehrere Ringe gleichzeitig beinhalten.

11. RAW

12. SRP

13. Das Lager fertiger Ringe

Liste fertig bearbeiteter Ringe.

14. Detailanzeige für Stationen

In der Detailanzeige kann man sich den Inhalt einer ausgewählten Station anzeigen lassen. Wenn man eine beliebige Station anklickt werden hier die von der ausgewählten Station gerade bearbeiteten Blöckchen-/Ring-Objekte mit einigen Detailinformationen angezeigt. Im **Bild 27** ist gerade der Drehherdofen ausgewählt. Dies ist am roten Rahmen um die Station im Bild erkennbar. Weil der Drehherdofen sehr groß ist kann man im Drehherdofen einzelne Plätze auswählen. Gerade ist Platz 13 ausgewählt, was im Bild durch einen kleinen roten Rahmen um Platz 13 zu erkennen ist. Und in der Detailanzeige auch noch einmal als Stationsname mit ausgegeben wird.

6 Simulator-Ansteuerung

Die Werkzeugkette besteht aus drei eigenständigen Programmen (s. **Bild 28**), dem Walzwerk-Simulator, dem Walzwerk-Animator und dem Walzplan-Generator². Mit Hilfe von verschiedenen Eingabedateien wird die Experimentausführung, die Modellkonfiguration und die Modelleingabe konfiguriert.

Die Parameter in der Experiment-Datei legen die Modellkonfiguration fest oder verweisen auf weitere Eingabedateien. So werden die Pfade für Ein- und Ausgabedateien festgelegt, die Auftrags-Datei referenziert und der zu simulierende Modellzeitraum konfiguriert. Das Parameter Logger-Variante legt fest, welche Logger-Implementation (vgl. Kapitel 4.3.6) verwendet wird.

Die Werkzeuge-Datei lässt sich in drei Bereiche untergliedern. Als Erstes werden die Umbauzeiten der einzelnen Werkzeuge an den Stationen eingestellt.

² Der prototypische Walzwerksimulator trennt Walzplan-Generator und -Simulator nicht in 2 eigenständige Programme.

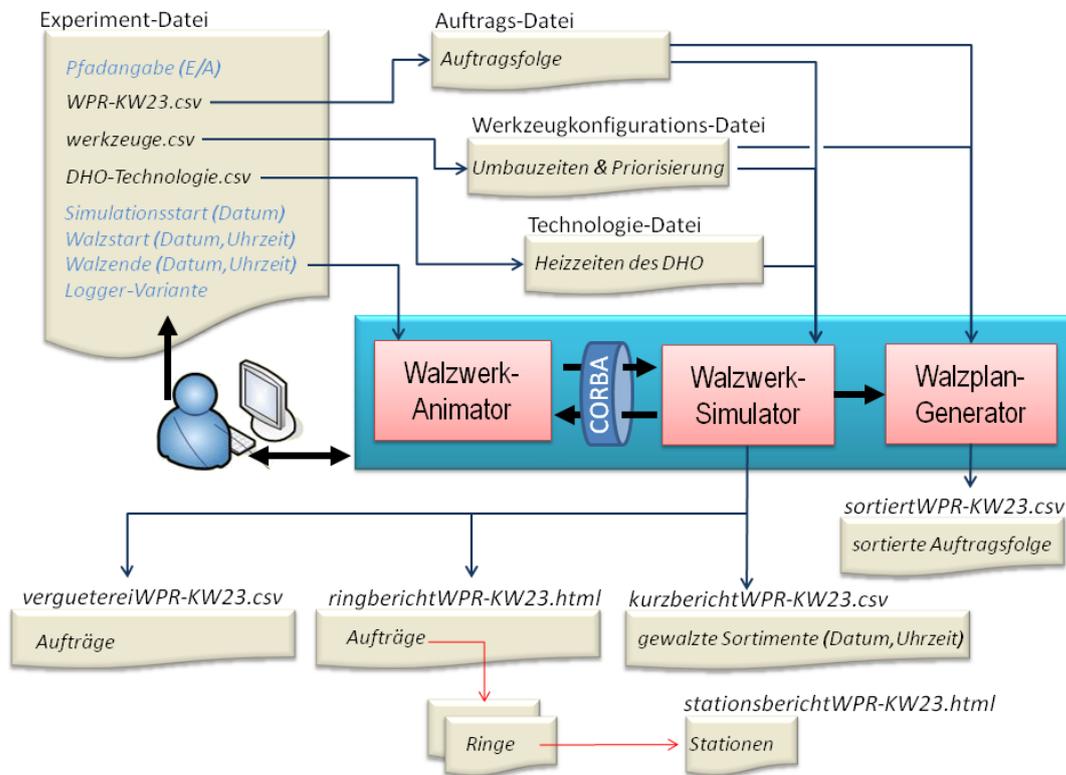


Bild 29 Ein- und Ausgabedateien des Walzwerksimulators mit Animator und Walplangenerator

Im zweiten Bereich werden die von den konkreten Aufträgen unabhängigen Bearbeitungszeiten an den einzelnen Stationen eingetragen. Nur die Bearbeitungszeit durch die RAW variiert je nach Auftrag und wird somit immer aktuell aus dem entsprechenden Auftrag gelesen.

Der dritte Teil der Werkzeugdatei enthält eine Liste mit Sortierprioritäten für die Erstellung des Walzplans durch den Walzplangenerator.

Eine weitere Eingabedatei, die Technologie-Datei, enthält Tabellen mit den Mindestverweildauern der unterschiedlichen Ringtypen in den Heizzonen des DHO.

Die Ausführung des Walzplan-Generators erzeugt aus der Auftragsfolge und gegebener Sortierprioritäten einen Walzplan. Dieser ist zusammen mit den anderen genannten Dateien die Eingabe für den Walzwerk-Simulator. Die Ausführung des Walzwerk-Simulator erzeugt einen Bericht, der für jeden Ring angibt, wann er auf welcher Station bearbeitet wurde. Dieser Ringbericht entspricht dem Walzprotokoll erzeugt vom Walzwerk-Simulator (vgl. Bild 2). Als Vorbereitung der späteren Kopplung an den Vergüterei-Simulator wird ein Vergüterei-Plan im entsprechenden

Format erzeugt. Die Reihenfolge der Aufträge im Vergüterei-Plan entspricht der Reihenfolge, wie die Aufträge in Walzstrecke fertiggestellt werden.

7 Erstellung von Walzplänen

7.1 Zielstellung

Das Ziel der Produktionsplanung im Walzwerk ist es, die zu Beginn einer jeden Woche vorliegende Menge von **Kundenaufträgen** in eine Reihenfolge zu bringen, die zu einer möglichst minimalen Realisierung auf der Walzstrecke führt. Im bisherigen realen Betrieb wird diese Aufgabe von Technologen mit einschlägiger Planungserfahrung nach bewährten Regeln realisiert.

Dabei kann davon ausgegangen werden, dass zunächst der Walzplan und dann der Sägeplan erstellt wird, der eine Realisierung des Walzplans zu garantieren.

Grundsätzlich gibt es (aus heutiger Sicht) zwei generelle Herangehensweisen um zu einer computergestützten Erstellung der beiden Pläne zu kommen:

1. Es gibt ein Simulator-Duo in Form eines Walzstrecken-Sägestation-Simulators, das in der Lage ist, alle möglichen Kombinationen zu berechnen und dabei die praktisch interessantesten zu identifizieren. Dies wird aufgrund der Komplexität des Problems mit einer hohen Rechenzeit verbunden sein.
2. Die bestehende Menge von Expertenregeln, die u.U. zu ergänzen wäre um klare Auswahlanweisungen zu erhalten, wird von einem Computerprogramm angewendet, um eine Menge von Aufträgen so zu sortieren, dass sie den Anforderungen eines Walzplans entspricht.

Die Erstellung des Sägeplans ist komplizierter, da sie etwas über die Dynamik der Realisierung des Walzplans für die bislang gesägten oder beabsichtigt zu sägenden Blöckchen wissen muss. Ohne einen Walzwerksimulator zur lokalen Entscheidungsfindung wird das jedoch nicht möglich sein.

Dieser Bericht konzentriert sich auf die Umsetzung der zweiten Herangehensweise. Als Ausgangsbasis liegen dazu Regeln vor, die im Ringwalzwerk benutzt werden, und darüber hinaus ein prototypisch implementiert Walzplangenerator, der leider strukturell mit den Regeln und dem Simulator verwoben wurde, und sich deshalb nur schwer pflegen lässt. Der Bericht beleuchtet den erreichten Entwicklungsstand kritisch und schlägt zahlreiche hoffnungsvolle Ansätze vor.

7.2 Regeln zur Säge- und Walzplanerstellung

Im Zuge der realen Planung des Produktionsablaufs wird von einem Technologen des Walzwerkes die Bearbeitungsfolge der Aufträge manuell festgelegt. Diese Festlegung erfolgt nach Regeln eines traditionellen Regelwerkes (5), das sich im Laufe der Zeit als zielführend und praktisch relevant herausgestellt hat. Die einzelnen Regeln sind nach ihrem Bezug zu bestimmten Stationen bereits unterteilt in Regeln für

- die Sägen (S1 bis S11),
- den Drehherdofen (O1 bis O4) und für
- die Stationen der Walzstrecke (W1 bis W12).

Während die S-Regeln für die Erstellung eines Sägeplans relevant sind, werden die O- und W-Regeln für die Erstellung von Walzplänen angewendet.

Zunächst wird (wie bereits erwähnt) der Walzplan erstellt, der letztendlich eine wohldefinierte Bearbeitungsfolge der Aufträge auf der Walzstrecke liefert. Entsprechend des festgelegten Walzplans kann nun der Sägeplan erstellt werden. Häufig weicht der Sägeplan in der Bearbeitungsreihenfolge der Aufträge partiell von der des Walzplans ab, um das Sägen inklusive notwendiger Block- und Palettenwechsel im Eingangslager der Sägestation vom Zeitverbrauch her minimal zu gestalten. Um dennoch eine Beschickung des DHO ohne durch Materialmangel ausgelöste Unterbrechungen zu gewährleisten, muss der Sägeprozess zeitlich signifikant vor der DHO-Beschickung beginnen. Problematisch erweist sich bei der Aufstellung des Sägeplans die Prognose von Zeiträumen, die der DHO zur Aufheizung von Blöckchen benötigt, wobei er nicht weitergedreht werden kann. In diesen Zeiträumen könnte dann also gesägt werden.

Diese Zeitabschnitte werden auch als Stillstandszeiten des DHO bezeichnet.

Die Expertenregeln liegen als informal beschriebene Richtlinien vor. Eine vollständige Regelübersicht befindet sich im Anhang B.

Im Rahmen der Erstellung eines Simulators müssen diese Regeln nun in einen Algorithmus überführt werden, mit dessen Hilfe der Produktionsplan, als abgestimmtes Paar von Walz- und Sägeplan automatisch generiert werden kann. Idealerweise sollte dieser dabei mit dem manuell erstellten Plan der Experten übereinstimmen.

7.3 Regeln zur Bestimmung einer Reihenfolge

Bei genauer Betrachtung der Regeln stellt man fest, dass diese weiter nach der Art ihrer Auswirkung unterteilt werden können, in Regeln, die

- (1) vorab eine Reihenfolge der Aufträge festlegen (Reihenfolgeregeln),
- (2) die Benutzung bestimmter Ressourcen erfordern (Ressourcenregeln),
- (3) der Vermeidung/Reduktion von Stillstandszeiten des DHO dienen (Effizienzregeln) und
- (4) Regeln anderer Art (sonstige Regeln).

Lediglich Regeln der Art (1) können für die automatische Erstellung des Produktionsplans benutzt werden. Die Regeln (2), (3) und (4) werden dagegen erst während der Produktion angewendet und führen dann zu einer finalen Reihenfolge der Aufträge.

Tabelle 9 Regeln nach der Art ihrer Auswirkung gruppiert

Art der Auswirkung	Betreffende Regeln
Reihenfolge	S2, S3, S4, S10, O1 - O4, W1 - W12
Ressource	S5 - S8, S11
Effizienzsteigerung	S1
Sonstige	S9

7.4 Anwendung der Reihenfolgeregeln

Da die meiste Zeit vor der Walzstrecke durch Stillstandszeiten während langer Erwärmungsphasen im DHO und beim Wechseln von Werkzeugen auf der Walzstrecke verloren geht, wird bei der Festlegung der Walzreihenfolge mit den Regeln des Ofens und der Walzstrecke **begonnen**.

7.4.1 Ofenregeln

Die Ofenregeln O1 bis O3 führen zu folgender Reihenfolge der Aufträge:

- (1) schwere bis mittelschwere Martensite,
- (2) leichte Martensite,
- (3) glatte Ringe,
- (4) Radreifen,

(5) Flansche und

(6) hochlegierte Flansche.

Die Ermittlung der Reihenfolge scheitert jedoch momentan im Modellansatz an folgenden fehlenden Informationen für einen Auftrag:

- Angabe der geförderten Martensit-(Härte-)Eigenschaft
- Unterscheidungskriterium für schwere, mittelschwere und leichte Martensite
- Angabe der Hochlegiert-Eigenschaft für Flansche

Aus diesem Grund werden die Aufträge zunächst nur nach ihrem **Sortiment** in folgende Reihenfolge gebracht: Ringe, Radreifen, Flansche.

Die Ofenregel O4 besagt: „Wenn zwischen zwei Aufträgen ein Produktionsstillstand auftritt - bedingt durch eine steigende Erwärmungsdauer, dann ist erhöhter Umbau zweitrangig“. Diese Regel wird so interpretiert, dass primär DHO-Stillstandszeiträume, die durch erhöhte Erwärmungszeiten zwischen Aufträgen auftreten, zu minimieren sind. Erst danach werden Stillstandszeiträume, die durch Umbau entstehen, berücksichtigt.

Für die Bestimmung einer Reihenfolge muss jedoch die Frage geklärt werden, wann und wie Stillstandszeiträume im DHO auftreten, um sie minimieren zu können.

Des Weiteren wird die Regel so interpretiert, dass Produktionspausen, die durch den DHO bedingt sind, zu Umbaumaßnahmen von der Sägestation benutzt werden sollten. Für die Anwendung der Regel muss

- (1) zunächst die Erwärmungsdauer zwischen je zwei Aufträgen ermittelt werden.
- (2) Danach müssen die Umbauzeiten zwischen den Aufträgen bestimmt werden.

Mit diesen Informationen werden die Aufträge nun so sortiert, dass lange Umbauzeiten in lange Erwärmungspausen fallen.

7.4.2 Walzstreckenregeln

Nachdem die Aufträge nun nach ihrem Sortiment sortiert sind, werden sie innerhalb der Sortimente mit dem Ziel der Minimierung der **Umbauzeiten** sortiert. Dazu werden die Regeln W1 bis W12 angewendet.

- (1) Zunächst werden Aufträge innerhalb eines Sortiments entsprechend der benötigten Walzen gruppiert (W1).
- (2) Danach werden Aufträge innerhalb einer Gruppe identischer Walzen nach den benötigten Walzdornen gruppiert (W5).

(3) Für Gruppen identischer Walzdorne erfolgt im Anschluss die Gruppierung nach den Zentrierrollen (W6).

(4) Diese Art der Sortierung wird nun in der Reihenfolge

- a. Aufweitsättel (W7),
- b. Aufweitdorne (W8),
- c. Tastrollen (W9),
- d. Gesenke (W10) und
- e. Lochdorne (W11)

in gleicher Weise fortgesetzt.

Die Regeln **W1** und **W5 bis W11** dienen lediglich der Gruppierung von Aufträgen mit gleichen Werkzeugen in einer Werkzeugart. Sie sagen jedoch nichts über die Sortierung der Werkzeuge innerhalb einer Werkzeugart aus.

Um nun eine solche Sortierung der Werkzeuge innerhalb einer Werkzeugart zu erreichen, werden die Werkzeuge nach einem zugewiesenen Sortierschlüssel in eine Reihenfolge gebracht. Die Wertemenge des Sortierschlüssels enthält dabei die Werte 1 ... n, wobei n die Anzahl der Werkzeuge ist. Die Abbildung ordnet jedem Werkzeug genau einen Schlüsselwert zu. Die Zuordnung ist willkürlich (Beispiel siehe **Tabelle 20** bis **Tabelle 25** Kodierung der Lochdorne im Anhang B).

Angenommen es gibt n Werkzeugarten 1, ..., i, i+1, ..., n und für jeden Auftrag gibt es eine Zuordnung a_k , die jeder Werkzeugart (WA) in einem Auftrag k ein Werkzeug (W) zuordnet $a_k : WA \rightarrow W$. Dann könnte sich nun folgende Sortierung (**Tabelle 10**) ergeben. Diese Art der Sortierung kann jedoch zu unnötigen Werkzeugwechseln führen.

Tabelle 10 Reihenfolge nach Werkzeug-Schlüssel-Zuordnung

Auftrag	WA i	WA i+1	...
a_1	1	1	
a_2	1	2	
a_3	2	1	
a_4	2	2	

Für die Sortierung der Gruppen einer Werkzeugart kann **Regel W12** angewendet werden. Diese besagt, dass Aufträge so anzuordnen sind, dass deren Werkzeugkonfigurationen möglichst identisch sind. Wenn sich also von einem Auftrag zu einem

anderen eine Werkzeugart ändert, so wird mit dem Auftrag fortgesetzt, der in möglichst vielen Werkzeugen mit dem aktuellen Auftrag übereinstimmt.

Angewendet auf die zuvor aufgeführte Tabelle, ergibt sich dann die in **Tabelle 11** dargestellte Reihenfolge, in der ein Werkzeugwechsel für die Werkzeugart $i+1$ eingespart werden konnte.

Tabelle 11 Verbesserte Reihenfolge nach Werkzeug-Schlüssel-Zuordnung

Auftrag	WA i	WA $i+1$...
a_1	1	1	
a_2	1	2	
a_4	2	2	
a_3	2	1	

Von ähnlicher Bauart wie die Regel W12 ist die **Regel W2**. Diese besagt, dass bei einem Sortimentwechsel, bei dem sich das nachfolgende Sortiment unmittelbar anschließt (also kein DHO-Stillstand auftritt), mit dem Auftrag fortzusetzen ist, der in möglichst vielen Werkzeugen mit dem aktuellen Auftrag übereinstimmt. Falls Regel W2 zutrifft, dann wird sie bereits durch Regel W12 abgedeckt. Sollte sie nicht zutreffen, weil ein Leerlauf bei der DHO-Entnahme auftritt, so kann die Leerlaufzeit entsprechend der Regel O4 für Umbauten benutzt werden.

Da jedoch nicht bekannt ist, wann und wie Stillstandszeiten im DHO auftreten, kann die Regel für die Sortierung bislang nicht angewendet werden.

Die verbleibende **Regel W3** besagt, dass dringliche Aufträge ungeachtet von Umbauzeiten unmittelbar einzuplanen sind. In der Sortierung werden diese Aufträge mit einem höheren Gewicht versehen und zu Beginn einer Walzwoche bearbeitet.

Da jedoch momentan in den Eingabedaten keine Markierung von dringlichen Aufträgen vorhanden ist, wird Regel W3 nicht zur Sortierung verwendet.

7.4.3 Sägeregeln

Da die Blöckchen für den DHO rechtzeitig gesägt werden müssen, dient der Walzplan als Vorlage für den Sägeplan. Der Sägeplan kann (wie bekannt) jedoch eine andere Reihenfolge der Auftragsbearbeitung aufweisen, da bestimmte Vorgaben durch die Sägeregeln eingehalten werden müssen.

Die **Regeln S3** und **S4** besagen, dass die Aufträge so anzuordnen sind, dass Blöcke möglichst komplett verbraucht werden und Restteile von Blöcken direkt für einen geeigneten Auftrag zu verwenden sind. **Regel S2** fordert zudem eine Gruppierung der

Aufträge in Gruppen gleicher **Stahlmarke** und gleichen **Blockformats**. Die Regel S2 begünstigt die Anwendung der Regeln S3 und S4, da durch S2 bereits Blöcke gleichen Formates zusammengefasst werden.

Aus den **Regeln S3 und S4 lässt** sich eine Reihenfolge der Aufträge festlegen.

Da jedoch momentan keine Informationen über die Abmessungen von Blöcken vorhanden sind, können diese Regeln nicht angewendet werden.

Bei einer möglichen Anwendung der Regeln S2 bis S4 muss jedoch auch immer beachtet werden, dass Aufträge nicht beliebig im Sägeplan verschoben werden dürfen, da sonst der Walzplan nicht mehr eingehalten werden kann. Wann dieser Fall auftreten würde, ist jedoch aufgrund der komplexen Abhängigkeiten (vier Sägen als Ressourcen und das Blöckchenlager als Puffer) nur durch Experimente mit einem Simulator der Walzstrecke zu bestimmen.

Die Sägeregeln fließen daher nicht in einen Algorithmus zur Vorabberechnung eines Sägeplans ein, sondern werden für die Verhaltensmodellierung der Sägerei verwendet. Durch die Simulation wird dann erst experimentell je nach Ressourcenverfügbarkeit ein Sägeplan abgeleitet.

7.5 Prototyp eines Walzplangenerators

Im Rahmen der Diplomarbeit (1) entstand eine prototypische Umsetzung des beschriebenen Regelwerks für die automatische Erstellung von Walzplänen. Der Prototyp wird als Walzplangenerator bezeichnet und besteht aus einem Sortieralgorithmus, der eine Menge von Aufträgen in eine neue Reihenfolge bringt. Der Algorithmus beachtet dabei die Regeln O1 bis O3, W1 und W5 bis W11.

7.5.1 Implementierung des Walzplangenerators

Aus einer einzulesenden Eingabedatei einer unsortierten Menge von Auftragspezifikationen (Beispiel dazu s. Anhang D) ist eine sortierte Menge von Aufträgen zu erzeugen. Die Sortierung der Aufträge erfolgt nach folgenden Auftragseigenschaften in der angegebenen Reihenfolge: Sortiment, Walze, Walzdorn, Zentrierrolle, Aufweitsattel, Aufweitdorn, Tastrolle, Gesenk und Lochdorn.

Wenn dabei zwei Aufträge in einer Auftragseigenschaft i übereinstimmen, so erfolgt die weitere Sortierung nach Eigenschaft $i+1$. Da die Werte der Eigenschaften Bezeichner für Sortimente und Werkzeuge sind, wird zunächst eine Abbildung der möglichen Bezeichner für jede der Eigenschaften auf natürliche Zahlen definiert (siehe **Tabelle 20** bis **Tabelle 25** Kodierung der Lochdorne im Anhang B). Danach werden diese Abbildungen auf die Auftragseigenschaften eines jeden Auftrags

angewendet. Man erhält so für jeden Auftrag einen Sortierschlüssel, der sich aus den Zahlenwerten der ausgewählten Eigenschaften zusammensetzt. Nach diesem Schlüssel werden nun alle Aufträge sortiert. So entsteht zum Beispiel für die Auftragspezifikationen aus Anhang D ein Walzplan, der in **Anhang E** erfasst worden ist.

7.5.2 Probleme der Implementierung

Die Ofenregeln O1 bis O3 wurden von Helbing in (1) so interpretiert, dass Ringe mit großem Durchmesser vor Ringen mit kleinem Durchmesser generell zu bevorzugen sind, unabhängig davon welche Auswirkungen dies auf die Werkzeugwechsel hat.

Die Regeln besagen jedoch lediglich, dass schwere Martensite vor leichteren Martensiten zu behandeln sind, wobei unklar ist, wann ein Martensit schwer oder leicht ist. Helbing geht davon aus, dass es sich bei Martensiten um Sortimente handelt.

Helbing verwendet ferner zur Gruppierung der Aufträge nach ihrem Sortiment zusätzlich die Durchmesser der Ringe.

Es ist unklar ob die Einordnung nach dem Ringdurchmesser (dargestellt in Tab 12) willkürlich erfolgte oder nach Vorgaben der Stahlwerker entstanden ist.

Der Walzplangenerator nimmt die Sortierung der Aufträge nach der Sortimenteigenschaft tatsächlich mit der folgenden Abbildung vor.

Tabelle 12 Reihenfolge nach Sortiment und Ringdurchmesser

Wert der Sortimenteigenschaft	Ringdurchmesser d in mm	Zahlenwert für die Sortimenteigenschaft
Martensite	$600 < d \leq 900$	1
	$400 < d \leq 600$	2
	$d \leq 400$	3
Ring	$1000 < d$	4
	$500 < d \leq 1000$	5
	$d \leq 500$	6
Radreifen	-	7
Flansch	-	8
Hochlegierte Flansche	-	9

Durch die Nichtbeachtung der Regeln **W2** und **W12** können mit dem prototypischen Generator Walzpläne entstehen, bei denen mehr Werkzeugwechsel auftreten als

notwendig wären. Ein Beispiel ist in **Tabelle 13** zu sehen. Das Beispiel zeigt, dass Auftrag 328766 noch mit dem Walzdorn 215 produziert wird, während der nachfolgende Auftrag den Walzdorn 180 verwendet. Bei diesem Wechsel des Walzdorns ändern sich das Sortiment und alle anderen Werkzeuge bis auf die Tastrollen nicht. Die schwarze Umrandung markiert nun diejenigen Aufträge, die die gleiche Werkzeugkonfiguration verwenden und sich lediglich in den Tastrollen unterscheiden. Es ist zu erkennen, dass eine unmittelbare Fortsetzung mit den Aufträgen 328767, 329074 und 329081 besser wäre als eine Fortsetzung mit Auftrag 328779, da diese alle die gleichen Tastrollen (20er) verwenden. Man würde also einen Werkzeugwechsel einsparen, wenn die unteren drei Aufträge des markierten Bereichs an den Anfang verschoben werden würden

Tabelle 13 Beispiel für einen nicht optimalen Walzplan

Auftragsnummer	Sortiment	Walze	Walzdorn	Zentrierrollen	Aufweitsattel	Aufweidorn	Tastrollen	Gesenk	Lochdorn	Schneidering
...										
329116	glatte Ringe (>500-1000)	0	215	38	G2	175	40,50,80er	1	180	0
329084	glatte Ringe (>500-1000)	0	215	38	G2	175	20,40,50er	1	180	0
328780	glatte Ringe (>500-1000)	0	215	38	G2	175	20,40er	1	180	0
328766	glatte Ringe (>500-1000)	0	215	38	G2	155	20er	1	160	0
328779	glatte Ringe (>500-1000)	0	180	38	G2	155	10er	1	160	0
327312	glatte Ringe (>500-1000)	0	180	38	G2	155	40,50,80er	1	160	0
327313	glatte Ringe (>500-1000)	0	180	38	G2	155	40,50,80er	1	160	0
329083	glatte Ringe (>500-1000)	0	180	38	G2	155	40,50,80er	1	160	0
329096	glatte Ringe (>500-1000)	0	180	38	G2	155	40,50,80er	1	160	0
327315	glatte Ringe (>500-1000)	0	180	38	G2	155	20,40,50er	1	160	0
327316	glatte Ringe (>500-1000)	0	180	38	G2	155	20,40,50er	1	160	0
328089	glatte Ringe (>500-1000)	0	180	38	G2	155	20,40,50er	1	160	0
328769	glatte Ringe (>500-1000)	0	180	38	G2	155	20,40,50er	1	160	0
329088	glatte Ringe (>500-1000)	0	180	38	G2	155	20,40,50er	1	160	0
329097	glatte Ringe (>500-1000)	0	180	38	G2	155	20,40er	1	160	0
329098	glatte Ringe (>500-1000)	0	180	38	G2	155	20,40er	1	160	0
329099	glatte Ringe (>500-1000)	0	180	38	G2	155	20,40er	1	160	0
329100	glatte Ringe (>500-1000)	0	180	38	G2	155	20,40er	1	160	0
328767	glatte Ringe (>500-1000)	0	180	38	G2	155	20er	1	160	0
329074	glatte Ringe (>500-1000)	0	180	38	G2	155	20er	1	160	0
329081	glatte Ringe (>500-1000)	0	180	38	G2	155	20er	1	160	0
323508	Radreifen	55	180	39	0	0	0	150R	190	0

8 Simulationsexperimente und Resultate

Mit dem prototypischen Simulator [x] wurde ein Reihe von Experimenten angestellt, die die prinzipielle Funktionsfähigkeit des Simulators unter Beweis stellen konnten. Dabei wurden als Auftragsprofile Originaldaten aus Produktionswochen des Jahres 2008 verwendet:

Tabelle 14 Auftragsprofile als Simulator-Eingabe

Woche	Anzahl Ringe	Anzahl Aufträge
3	1386	97
48	1413	165
49	1521	146
50	1459	109
51	1180	123

Die als Resultat der Experimente erzeugten Walzprotokolldateien zeigen in ihren zeitlichen Abläufen eine große Nähe zu den real für diese Wochen festgehaltenen Abläufen. Dennoch sind diese Ergebnisse zukünftig einer kritischen Analyse zu unterziehen, wobei die Vergleichbarkeit der Modellergebnisse mit der Realität von bisher noch nicht verfügbaren Informationen beeinflusst wird:

1. Einige Modellelemente basieren noch auf vereinfachenden Annahmen, die in Zukunft entweder validiert oder aber verfeinert werden müssen.
2. Die automatisierte Anwendung der Expertenregeln auf die Auftragsprofile führte partiell zu einer anderen Bearbeitungsreihenfolge der Aufträge im Simulator gegenüber der Realität. Dies könnte ein Indiz dafür sein, dass in dem bisher benutzten Regelwerk noch nicht alle Kriterien erfasst sind, die in die manuelle bzw. halbautomatische Planung der Auftragsfolge einfließen.
3. Störzeiten werden im Simulator zwar nachgebildet, allerdings liegen hier reale Daten nur in Form der (zeitlich nicht quantifizierten) Anzahl pro Schicht vor. Der Simulator ist gezwungen, Störungen mit konkreten Zeitpunkten und -dauern abzubilden. Durch Variation dieser Störungen war es zumindest möglich, die Endzeitpunkte der Wochenproduktion im Modell plausibel an die real beobachteten Zeiten anzugleichen.
4. Einige Annahmen über den zeitlichen Verlauf einzelner Aktionen basieren auf konkreten Messungen vor Ort. Die Variation dieser Parameter in der Realität insbesondere unter dem Einfluss von Störungen ist derzeit nicht bekannt.

5. Eine Walzprotokoll, so wie es vom künftigen Simulator angestrebt wird, existiert im realen Walzwerk nicht.

9 Formales Modell der Sägerei (Entwurf)

Aufgrund von Modellvereinfachungen (s. Kapitel 4) und fehlenden Informationen zu den Formaten von Blöcken ist die Sägerei zur Zeit nicht Teil des Simulationsmodells. In der Zukunft könnte es jedoch notwendig sein, auch die Sägerei zu modellieren (s. Kapitel 7). In diesem Kapitel soll dazu vorbereitend ein Entwurf für ein formales Modell erarbeitet werden. Das Modell wird dabei nicht mit Hilfe von C++ und ODEMX beschrieben, sondern in einer anderen Modellierungssprache erstellt, die sich an UML-Aktivitäten orientiert und von deren Verwendung wir uns Vorteile versprechen. Mit dieser Sprache sollen Systeme aus einer ablauforientierten Sicht beschrieben und für die simulative Ausführung automatisiert in ein ODEMX-Programm übersetzt werden. Das Kapitel beschreibt dabei nur die aktivitätenorientierte Sprache und ihren Einsatz für den Entwurf eines Sägereimodells.

9.1 Einleitung

Die Modellierung von Systemen mit dem Ziel der Simulation erfolgt heute meistens in objektorientierten Programmiersprachen, die um spezielle Simulationsbibliotheken erweitert wurden (z.B. C++ als Sprache und ODEMX als Bibliothek). Die Simulationsbibliothek stellt dabei jene Konzepte bereit, die für die Entwicklung von Simulationsmodellen notwendig sind, jedoch in der verwendeten Sprache nicht vorkommen. Dazu gehören z.B. Konzepte der ereignisorientierten Modellierung, aber auch abstraktere Konzepte der Prozesssynchronisation in prozessorientierten Modellen. Die so angereicherten Sprachen werden auch als externe domänenspezifische Sprachen (DSLs) mit der Domäne Systemmodellierung und Simulation bezeichnet.

Positive Aspekte bei der Verwendung objektorientierter Sprachen sind die hohe Strukturgleichheit der Modelle zu realen Systemen, die Möglichkeit der Verwendung bestehender Standardbibliotheken und Entwicklungsumgebungen, sowie die universellen Konzepte der Sprachen selbst, die es einem Modellierer erlauben, geeignete Abstraktionen selbst zu entwerfen und zu verwenden. Demgegenüber stehen jedoch auch eine Reihe von Nachteilen. So können die Modelle nur durch Programmierer der entsprechenden Sprachen erstellt und verstanden werden. Sie sind damit als Mittel der Kommunikation zwischen Systemmodellierern und Systemexperten ungeeignet. Des Weiteren sind die Modelle abhängig von einer bestimmten Ausführungsplattform und können damit nur schwer auf andere Anwendungsbereiche, wie z.B. die Verwendung in anderen Simulationsprachen und -Frameworks, übertragen werden.

Neben der Verwendung bestehender Sprachen wurden auch spezielle Sprachen für die Erstellung von ausführbaren Simulationsmodellen entwickelt. Dazu zählt z.B. die Sprache GPSS (6), die bereits in den 1960er Jahren entstanden ist und adäquate Konzepte für die Beschreibung der Abläufe in einem System bereitstellt. Modelle in GPSS bestehen aus Blöcken, die mögliche Objektflüsse in einem System beschreiben. Konkrete Objektflüsse werden als Transaktionen bezeichnet, die sich durch die verschiedenen Blöcke bewegen und das Systemverhalten beeinflussen. Blöcke sind dabei entweder Repräsentationen für reale Systemelemente (z.B. Verarbeitungsstationen) oder Anweisungen für die Auswertung und Änderung von Zustandsinformationen (z.B. Transaktionsattribute lesen und schreiben). Obwohl die Sprache GPSS wegen ihrer wenigen klaren Konzepte einfach zu erlernen ist, werden Modelle durch die nicht vorhandene Objektorientierung und die textuelle Darstellung schnell komplex und behindern so das Verständnis.

Unser Ziel ist die Entwicklung einer Sprache, die wir als **Flow** bezeichnen und bei der die Beschreibung der Abläufe in einem System im Vordergrund steht. Modelle in dieser Sprache sollen sowohl von Systemmodellierern, als auch von Systemexperten gleichermaßen gut verstanden werden. Wir wollen dabei die Ideen der objektorientierten Programmierung und der Ablaufmodellierung aus GPSS zusammenführen und eine Sprache entwickeln, die als Grundlage für die Kommunikation zwischen verschiedenen Projektteilnehmern dienen kann.

Wir glauben, dass die Sprache UML (7) hierfür eine geeignete Basis darstellt, da sie bereits mit dem Ziel entwickelt wurde, die Verständigung der verschiedenen Teilnehmer in einem Projekt durch graphische Modelle zu fördern. Leider besitzen diese Modelle häufig einen informalen Charakter, da die Semantik von UML an vielen Stellen nicht genau spezifiziert ist. Die Modelle können daher häufig nur als informale Veranschaulichungen von Systemaspekten dienen.

Neben dem Problem der unklaren Semantik, ist auch der Umfang der UML-Sprachbeschreibung als problematisch anzusehen.

9.2 Die Sprache Flow

Flow wird als Erweiterung der UML-Teilsprachen UML-Klassendiagramme und UML-Aktivitäten definiert. Die Erweiterung enthält Präzisierungen semantischer Unklarheiten, zusätzliche Semantik für bestehende Sprachelemente und die Definition eines Profils mit Stereotypen. Zunächst wird die Semantik der verwendeten Teilmenge der zugrundeliegenden UML-Teilsprachen erklärt. Danach wird auf die Erweiterung durch Flow eingegangen.

9.2.1 UML-Aktivitäten

Aktivitäten beschreiben den Objektfluss in einem System, der zur Ausführung von Systemverhalten führt. Objektflüsse im realen System werden in einer Aktivität als Tokenflüsse bezeichnet. Das Vorhandensein von Token an bestimmten Stellen in einer Aktivität (als Abstraktion von Objekten im realen System) führt zur Freischaltung von Aktionen, die zur Ausführung von Systemverhalten in Form von Zustandsänderungen und weiteren Tokenflüssen führen.

Aktionen sind für die Ausführung freigeschaltet, wenn bestimmte Vorbedingungen erfüllt sind. Diese Vorbedingungen werden durch die Angabe von Flusskanten zwischen Aktionen und Objektknoten festgelegt. Flusskanten treten dabei als Objektflusskanten und Kontrollflusskanten auf und Token als Objekttoken und Kontrolltoken. Während Objekttoken in Objektknoten gespeichert werden, erfolgt die Speicherung von Kontrolltoken an Aktionen. Aktionen sind ausführbar, wenn an allen eingehenden Kontrollfluss- und Objektflusskanten eine festgelegte Tokenanzahl vorhanden ist. Die Token werden dann in einem atomaren Schritt konsumiert und stehen für andere Aktionen nicht mehr zur Verfügung.

Objektflusskanten werden dabei nicht direkt mit einer Aktion, sondern mit Pins, die zu einer Aktion gehören, verbunden. Die Pins stellen Objekte für eine Verarbeitung innerhalb der Aktion zur Verfügung. Pins werden in Eingangspins und Ausgangspins unterschieden. Während Eingangspins die Ausführbarkeit der Aktion festlegen und Objekte für die Aktion bereitstellen, dienen Ausgangspins der Bereitstellung von Objekttoken als Ergebnis der Aktionsausführung für nachgelagerte Aktionen und Objektknoten. Dabei können sich in den Ausgangspins einer Aktion durch mehrfache Aktionsausführung Token sammeln. Der Pin dient dabei als Puffer.

Ein Beispiel für eine Aktivität ist in Bild 29 zu sehen. Die Aktivität enthält einen Initialknoten, zwei Aktionen $a1$ und $a2$ und zwei Objektknoten X und Y . Der Initialknoten stellt zu Beginn der Aktivitätsausführung ein Kontrolltoken bereit. Danach ist die Aktion $a1$ für die Ausführung freigeschaltet. Aktion $a2$ kann dagegen erst dann ausgeführt werden, wenn im Objektknoten X ein Objekttoken vorliegt und die Aktion $a1$ beendet wurde. Bei Beendigung der Aktion $a1$ wird ein Kontrolltoken an der eingehenden Kontrollflusskante der Aktion $a2$ bereitgestellt. Als Ergebnis der Ausführung von Aktion $a2$ wird ein Objekttoken am Ausgangspin hinterlegt. Dieses wird danach im Objektknoten Y gespeichert.

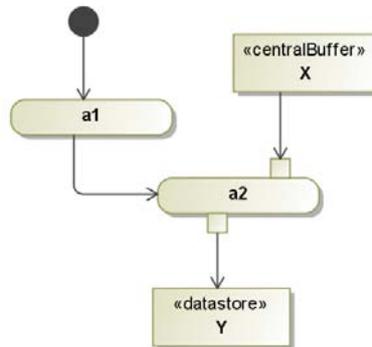


Bild 30 Beispielaktivität

Kontrollknoten

Neben der direkten Verbindung zwischen Aktionen, Pins und Objektknoten ist es zudem möglich, Kontrollknoten als weiteres Mittel der Flusssteuerung zwischen diesen einzusetzen. Kontrollknoten werden unterteilt in Knoten für: Entscheidung, Vereinigung, synchrone Zusammenführung und Duplizierung (siehe Tabelle 14 Kontrollknoten).

Tabelle 15 Kontrollknoten

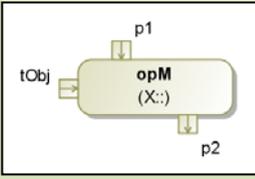
Knotenart	Notation	Bedeutung
Entscheidung		Token werden nur für die ausgehenden Kanten bereitgestellt für die die an der Kante hinterlegte Bedingung erfüllt ist.
Vereinigung		Token, die an den eingehenden Kanten anliegen werden für die ausgehende Kante bereitgestellt.
Synchrone Zusammenführung		Ein Token wird erst dann an der ausgehenden Kante bereitgestellt, wenn an allen eingehenden Kanten ein Token vorliegt.
Duplizierung		Ein Token, das an der eingehenden Kante vorliegt wird vervielfältigt und den ausgehenden Kanten zur Verfügung gestellt.

Aktionen

Aktionen existieren in UML in vielen verschiedenen Ausprägungen. In Flow werden derzeit jedoch nur Aktionen mit Zeitbrauch, Aktionen für den Aufruf von Operationen

an Objekten (siehe **Tabelle 15**) und Opaque-Aktionen verwendet (siehe **Abschnitt** zu Flow-Erweiterungen).

Tabelle 16 Aktionsknoten

Aktionsart	Notation	Bedeutung
Operationsaufruf		Aktion für den Aufruf der Operation <i>opM</i> mit dem Eingangsparameter <i>p1</i> und dem Ausgangsparameter <i>p2</i> an einem Objekt des Typ <i>X</i> , das am Eingangspin <i>tObj</i> bereitgestellt wird.
Zeitverbrauch		Aktion für die Modellierung eines Zeitverbrauchs von <i>t</i> Zeiteinheiten.

Objektknoten

Objektknoten existieren als Puffer- und als Speicherknotten (siehe Tabelle 16). Pufferknotten sind Zwischenspeicher für Token und stellen diese für eine einmalige Entnahme bereit. Speicherknotten sind dagegen Permanentspeicher. Abgelegte Token stehen hier immer wieder für eine Entnahme bereit.

Tabelle 17 Objektknoten

Knotenart	Notation
Pufferknotten	
Speicherknotten	

9.2.2 UML-Klassendiagramme

Klassendiagramme werden verwendet, um die möglichen Datenstrukturen der Objekte zu beschreiben, die als Token in der Aktivität fließen und deren Attributwerte durch Aktionen verändert werden. Der Anfangszustand wird mit einem Objektdiagramm beschrieben, das Modelle von Objekten inklusive ihrer Attributwerte und Verbindungen zu anderen Objekten enthält.

9.2.3 Flow-Erweiterungen

Aktionen für Operationsaufrufe

Die Aktion zum Aufruf von Operationen (CallOperationAction) wird dahingehend erweitert, dass diese das Objekt an dem die Operation aufgerufen wurde (*tObj*) nach Beendigung der Operationsausführung in einem Output-Pin mit der Bezeichnung *tObj*

wieder bereitstellt (siehe Bild 30). Auf diese Weise kann die Ausführung von Aktionen an die Verfügbarkeit von Ressourcen in Form von Token gekoppelt werden. Nach Beendigung der Aktionsausführung können diese Token dann in einem Pufferknoten wieder zur Verfügung gestellt werden.

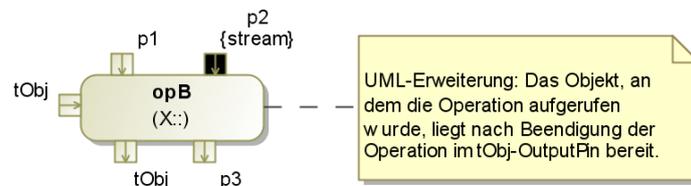


Bild 31 Aktion für Operationsaufrufe

Elementare Aktionen

Aktionen, die elementare Operationen wie z.B. den Zugriff auf eine Variable oder die Änderung eines Variablenwertes beschreiben, werden zur Vereinfachung nicht durch die von UML vordefinierten Aktionen (z.B. ReadStructuralFeatureAction) sondern mit speziellen OpaqueActions modelliert. Diese gibt es in zwei Ausprägungen: Eval- und Exec-Aktionen. Unterschieden werden sie im Körper der OpaqueAction durch das Prefix "eval:" bzw. "exec:".

Eine Eval-Aktion dient der Berechnung von Werten aus OCL-Ausdrücken (8), die auf Variablen, Attribute im aktuellen Objektcontext und Werte von Eingangspins zugreifen (siehe **Bild 31**). Die Bereitstellung von Werten erfolgt dabei an einem Ausgangspin.



Bild 32 Eval-Aktion

Exec-Aktionen enthalten Anweisungen für die Zuweisung von Werten an Variablen oder Attribute im aktuellen Objektcontext (siehe Bild 32). Diese werden in einer Aktionssprache formuliert, deren Syntax noch genau zu beschreiben ist. Im Moment enthalten die Aktionen lediglich Zuweisungen der Form „A := B“. Dabei ist A ein Bezeichner für die Wertzuweisung an eine Variable oder ein Attribut und B ein OCL-Ausdruck, der ausgewertet wird. In B darf dabei auf Variablen, Attribute und Eingangspins zugegriffen werden.

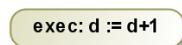


Bild 33 Exec-Aktion

9.3 Flow-Modell der Sägerei

Das Flow-Modell beginnt mit einer Aktivität, die den Gesamtablauf der Produktion von Blöckchen an den verschiedenen Sägen und deren Transport zum Blöckchenlager beschreibt (siehe Bild 33). Das Modell abstrahiert dabei noch von Blöcken, da bislang keine Informationen über deren Format vorliegen. Es wird angenommen, dass jederzeit Blöcke des benötigten Formates vor jeder der Sägen verfügbar sind. Des Weiteren wird angenommen, dass Aufträge, deren Ringe über den entsprechenden Durchmesser verfügen, auf jeder der Sägen verarbeitet werden können. Dabei werden die HMS vor den BS nicht bevorzugt behandelt. Sollten die HMS also belegt sein, so wird ein Auftrag mit Ringen kleinen Durchmessers auch auf einer BS gesägt.

Die Aktivität startet mit der Entnahme von Aufträgen, die vor Beginn der Aktivitätsausführung entsprechend eines Walzplans im Pufferknoten *Walzplan* bereitgestellt werden. Aus diesem Knoten werden nun Auftrags-Token (Token, die Auftragsobjekte referenzieren) durch die Aktionen mit der Bezeichnung *auftragSägen* entsprechend der Verfügbarkeit von Sägen entnommen.

Die Sägen stellen knappe Ressourcen dar. Ihre Verfügbarkeit wird mit weiteren Pufferknoten *HMS1*, *HMS2*, *BS1* und *BS2* modelliert, die zu Beginn der Ausführung jeweils ein Token des entsprechenden Typs enthalten. Die Aktionen *auftragSägen* werden erst dann ausgeführt, wenn sowohl ein Auftrags-Token als auch ein Säge-Token vorliegt (bei den HMS muss zusätzlich noch ein Palettentoken vorliegen). Das Säge-Token liegt jedoch nur für die Säge vor, die auch in der Lage ist die Ringe des Auftrags zu sägen. Daher befindet sich vor der Zuführung der Säge-Token an die Aktion ein Entscheidungsknoten. Dieser lässt ein Säge-Token nur dann passieren, wenn das Attribut *ringDurchmesser* des ebenfalls am Entscheidungsknoten anliegenden Auftrags-Token innerhalb eines bestimmten Wertebereichs liegt. Das Auftrags-Token wird dazu vorher mit Hilfe von Duplizierungsknoten vervielfältigt, um so jedem Entscheidungsknoten vor den Sägen als auch den Eingangspins der Aktionen *auftragSägen* ein Token zur Verfügung zu stellen. Mit Beginn der Ausführung der Aktion *auftragSägen* wird ein Säge-Token konsumiert und steht damit nicht länger zur Verfügung. Erst nachdem die Aktionsausführung beendet ist, wird es wieder bereitgestellt und in dem zugehörigen Pufferknoten hinterlegt.

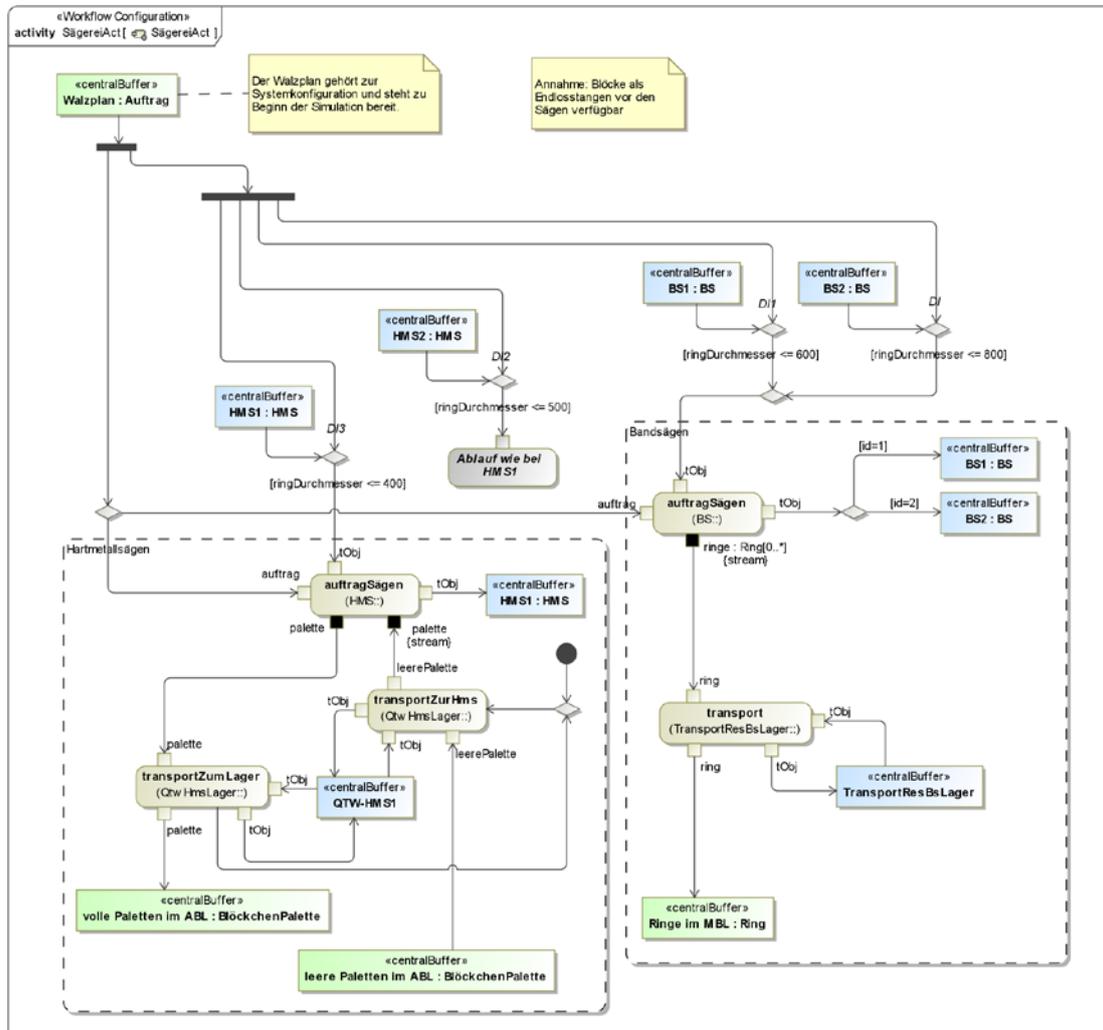


Bild 34 Beschreibung des Gesamtablaufs in der Sägerei

Bei der Aktion *auftragSägen* handelt es sich um eine *CallOperationAction*. Diese wird an dem Objekt, das über den Eingangspin *tObj* vorliegt ausgeführt. Die Aktionsausführung führt dabei zur Ausführung der Verhaltensbeschreibung, die für die Operation *auftragSägen* einer entsprechenden Säge-Klasse hinterlegt ist. Die Verhaltensbeschreibung erfolgt wiederum als Aktivität und ist im nachfolgenden Abschnitt beschrieben.

Die Ausführung der Aktion *auftragSägen* an den HMS benötigt zusätzlich ein Palettentoken. Dieses muss initial durch die Aktion *transportZurHms* bereitgestellt werden. Diese Aktion ist durch eine weitere Aktivität beschrieben. Sie kann nur dann ausgeführt werden, wenn ein QTW-Token und ein Palettentoken für leere Paletten aus dem ABL vorhanden sind. Des Weiteren muss ein Kontrolltoken anliegen, das entweder initial bereitsteht oder nach dem Transport einer befüllten Palette in das

ABL bereitgestellt wird. Mit jedem Transport einer befüllten Palette zum ABL wird also immer eine leere Palette aus dem ABL zur Säge zurücktransportiert.

Die Aktivität für das Sägen von Aufträgen beschreibt einen schrittweisen Sägevorgang, der eine leere Palette befüllt und erst fortgesetzt wird, wenn wieder eine leere Palette bereitsteht. Die Konsumierung und Bereitstellung von Token während der Aktivitätsausführung wird mit den Stream-Pins mit der Bezeichnung *palette* modelliert.

Aktivität für das Sägen von Aufträgen

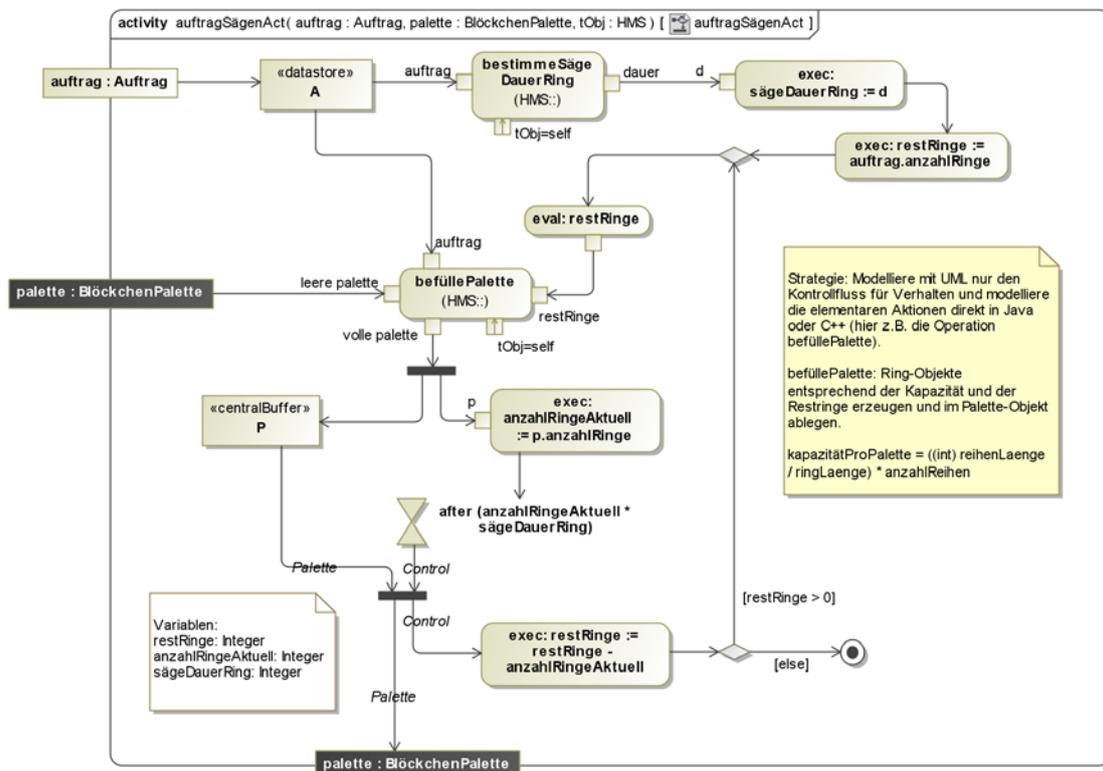


Bild 35 Aktivität für das Sägen von Aufträgen

Die Ausführung der Aktivität (siehe Bild 34) beginnt mit der Hinterlegung des Auftrags token im Speicherknoten A. Bevor nun das eigentliche Sägen beginnen kann, wird zunächst die Dauer dieses Vorgangs in Abhängigkeit der Ringdurchmesser mit Hilfe der Operation *bestimmeSägeDauerRing* berechnet. Der so bestimmte Werte wird danach in der Variablen *sägeDauerRing* hinterlegt. Im Anschluss wird die Anzahl der noch zu sägenden Ringe berechnet und in der Variablen *restRinge* gespeichert. Danach wird der Wert mit Hilfe einer Eval-Aktion für die Aktion *befüllePalette* zur Verfügung gestellt.

Die Aktion *befüllePalette* beschreibt eine Folge elementarer Aktionen, die die erforderlichen Änderungen am BlöckchenPalette-Objekt vornehmen. Dazu gehört die Erzeugung einer Menge von Ring-Objekten entsprechend der Anzahl, die über den Eingangspin *restRinge* bereitgestellt wurde, und die Hinterlegung dieser Objekte in einem Attribut des BlöckchenPalette-Objektes. Diese Art der Beschreibung von elementaren Aktionen wird nicht in Form von Aktivitäten, sondern in einer anderen geeigneten und noch näher zu spezifizierenden Sprache vorgenommen.

Nachdem das BlöckchenPalette-Objekte nun vorbereitet wurde und am Ausgangspin *volle Palette* anliegt, kann es nicht sofort für den Abtransport bereitgestellt werden. Dieser kann erst nach Ablauf der notwendigen Sägezeit geschehen. Aus diesem Grund wird das Palettetoken im Pufferknoten *P* zwischengespeichert und erst nach Ablauf einer Zeit, die sich aus der Anzahl der Ringe in der Palette und der Sägedauer für einen Ring berechnet, wieder bereitgestellt. Letzteres ist durch einen synchronen Zusammenführungsknoten beschrieben.

Sofern danach noch weitere Ringe zu produzieren sind, wird das Befüllen einer leeren Palette wiederholt. Die Ausführung der Aktivität endet nachdem alle Ringe des Auftrags produziert wurden.

Für ein vollständiges Flow-Modell der Sägerei fehlt zurzeit die Beschreibung einer initialen Systemkonfiguration, die Beschreibung der Objekt- und Datenstrukturen über die operiert wird und die vollständige Beschreibung der Implementierungen der verschiedenen anderen Operationen in Form von Aktivitäten bzw. einer Sprache für die Formulierung von Folgen elementarer Aktionen.

10 Offene Probleme und Ausblick

Ausgangsbasis dieses Berichtes bilden Arbeiten von Helbing und Preuss aus den Jahren 2008 und 2009. Die Diplomarbeit von Helbing (1) zum Thema „Modellierung und Simulation eines Ringwalzwerkes mit der Simulationsbibliothek ODEmx“ stellt neben einem prototypischen Simulator der Walzstrecke einen prototypischen Walzplangenerator zur Verfügung, die leider programmtechnisch miteinander verwoben worden sind und sich deshalb nur schwer pflegen und weiterentwickeln lassen. Der Animator ist eine Arbeit von Preuss (9), die der Animator-Konzeption von Kunert (10) folgt.

Mit diesem Programm-Ensemble konnten beispielhaft Walzpläne erstellt und simulativ abarbeitet werden. Eine präzise Validierung des Simulationsmodells hinsichtlich der eingangs formulierten Untersuchungsziele ist dagegen bislang ausgeblieben.

Der Bericht identifizierte eine Reihe von Problemen, die allein aus einer systematischen Analyse der Konzeption des Simulators herrühren. Diese müssen in Kombination mit detaillierten experimentellen Modell-Ist-Vergleichen insbesondere dann aufgegriffen werden, wenn der Einsatz der Software-Werkzeuge (Programme) planungstechnisch für folgende mögliche Zielstellungen eingesetzt werden sollte:

- eigenständige Verwendung des Walzwerk-Simulators mit Animator zur Erstellung prognostischer Walzpläne bei Annahme von Produktionsstörungen,
- kombinierter Einsatz der drei Software-Werkzeuge zur automatischen Generierung und Validierung von Walzplänen, die eine optimale Fahrweise der Walzstrecke erlauben,
- Nutzung des Walzplan-Simulators um die automatische Erstellung von Sägeplänen zu unterstützen,
- Kopplung der Simulatoren der Walzstrecke und der Vergüterei um Walzpläne zu validieren, die einen optimalen Betrieb von Walzwerk und Vergüterei erlauben (**Bild 35**).

Selbstverständlich müssen die Werkzeuge vorab, jedes für sich validiert werden. Entscheidend für die Simulatoren jeglicher Bauart ist, dass eine akzeptable Validierung nur auf der Basis eines Modell-Ist-Vergleiches von Protokollen

- der Sägestation (Sägeprotokoll),
- der Walzstrecke (Walzprotokoll) und der
- Vergüterei (Vergütungsprotokoll)

durchgeführt werden kann. Dabei müssen die Protokolle der realen Werkteile in etwa die Informationen aufnehmen, die im Anhang F (als Beispiel für ein Walzprotokoll) identifiziert worden sind.

Offen in ihrer Umsetzung sind folgende thematische Schwerpunkte:

- (1) Untersuchung der Leistungsfähigkeit der Simulatoren, um komplette Walzplanvarianten von Aufträgen eines bestimmten Zeitraums analysieren zu können.
- (2) Bisher fehlt eine geeignete Konzeption zur Berücksichtigung, Darstellung und Behandlung von Störungen in Werkteilen in den Simulatoren, die dynamische Eingriffe verlangen und möglicherweise nur interaktiv bearbeitet werden können.
- (3) Neuartig ist der vorgestellte Flow-Ansatz zur Beschreibung von Abläufen und deren automatische Transformation in ausführbaren Simulationscode. Dieser ist auf seine Praxistauglichkeit bei gleichzeitiger Konsolidierung der Konzepte weiter zu untersuchen.
- (4) Mit der Kopplung der Simulatoren und Produktionsplangeneratoren mit einem Experiment-Managementsystems (11) kann aufgrund vorliegender Prototyplösungen begonnen werden.
- (5) Die Umstellung auf eine aktuelle ODEmx-Version sollte unproblematisch sein, muss aber dennoch realisiert werden.
- (6) Die Identifikation von ausgezeichneten Anfangsbelegungen der Simulatoren sollte gekoppelt mit der Möglichkeit einer interaktiven Nachbesserung unterstützt werden.

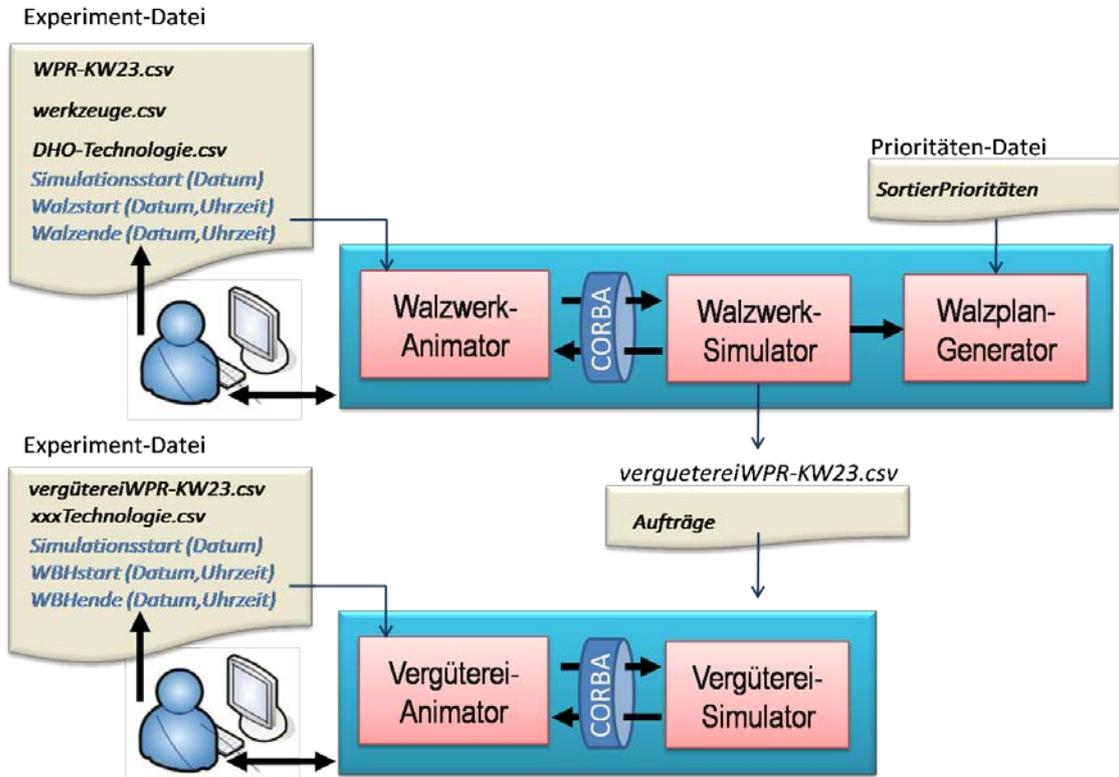


Bild 36 Kopplung des Walzwerk- und Vergütere-Simulators

11 Literaturverzeichnis

1. **Helbing, Chris.** Modellierung und Simulation eines Ringwalzwerkes mit der Simulationsbibliothek ODEMx. Berlin : Humboldt-Universität zu Berlin, November 2009.
2. **Stroustrup, Bjarne.** *The C++ Programming Language - Special Edition.* New Jersey : Addison-Wesley, 2000.
3. **Fischer, Joachim, et al.** ODEMx - Object oriented Discrete Event Modelling. s.l. : <http://odemx.sourceforge.net>.
4. **MICO.** MICO, Open Source Corba Implementation V2.3.12. [Online] <http://www.mico.org>.
5. **Hendrich, Frank.** Erarbeitung einer Wissensbasis für ein Expertensystem im Säge- und Walzprogramm unter Beachtung der technologischen Durchsetzbarkeit im Bereich des Walzwerkes. 1997.
6. **Chisman, James A.** *Introduction to Simulation Modeling using GPSS/PC.* New Jersey : Prentice-Hall, 1992.
7. **OMG.** *Unified Modeling Language (UML), Superstructure, formal/2009-02-02.* <http://www.omg.org> : OMG, 2009.
8. **OMG2.** *Object Constraint Language (OCL), V2.0, formal/2006-05-01.* <http://www.omg.org> : OMG, 2006.
9. **Preuß, Karl-Heinz.** *Animator der Vergütereie.* 2008.
10. **Fischer, Joachim, Ahrens, Klaus und Kunert, Andreas.** *Abschlussbericht zum Forschungs- und Entwicklungsvertrag zwischen der Humboldt-Universität zu Berlin und der Edelstahl Gröditz GmbH (SimRing3).* 2002.
11. *Model-driven Engineering for Transparent Environmental Modeling and Simulation.* **Kühnlentz, Frank, Theisselmann, Falko und Fischer, Joachim.** Vienna : s.n., 2009. MathMod Vienna 2009.

ANHANG A: Glossar

Abkühlen	Bearbeitungsvorgang in der Vergütereie, der im Wasserbad, Polymerbad, auf dem Luftabkühlplatz oder im offenen NTO (mit Ventilator, früher Ventilatorabkühlplatz) realisiert werden kann
ABL	automatisiertes Blöckchenlager, Station der <i>Sägestation</i>
Anlassen	Bearbeitungsvorgang in der <i>Vergütereie</i> , der die zweite Heizphase ausmacht
ATK	Automatischer Transportkran, Transporteinrichtung der <i>Sägestation</i>
Auftrag	Informationseinheit zur Spezifikation einer endlichen Menge nach einer einheitlichen <i>Bearbeitungstechnologie</i> zu fertiger <i>Ring</i> e mit Kardinalität ≥ 1 , für den es einen Kundenauftrag gibt
Austenitisieren	Bearbeitungsvorgang der <i>Vergütereie</i> als erste Heizphase, die heißer und kürzer ist als das Anlassen
Austenit	Bezeichnung eines Ringes aus dem <i>Produktsortiment</i> mit einer besonderen Materialeigenschaft, die man durch <i>Vergütung</i> des Ringes mit dem Bearbeitungsvorgang <i>Austenitisieren</i> erhält
AWP	Aufweitpresse, Bearbeitungsstation der Walzstrecke
BSi	Bandsäge i (i= 1, 2), Bearbeitungsstation der Walzstrecke
Block	hat <i>Blockformat</i>
Blöckchen	...
Blöckchenpalette	Palette zur Aufnahme von Blöckchen-im ASL
Blockformat	?(Materail, Durchm, Gießtechnologie)
DHO	Drehherdofen, Bearbeitungsstation der Walzstrecke, besteht aus 42 <i>DHO-Segmenten</i>

DHO-Segment Stahlwerk: Sonnenstrahl	Separate Beschickungs-, Aufheiz- und Entnahmekammer des <i>DHO</i>
DHTO	Doppelkammer-Hochtemperaturofen, Bearbeitungsstation der Vergütereier
Härteprüfstrecke	...
HMSi	Hartmetallsäge i ($i=1, 2$), Bearbeitungsstation der Walzstrecke, Stahlwerk: Kaltkreissäge
HBNO	Hubbalken-Nachwärmofen, Bearbeitungsstation der Walzstrecke
HTO	Hochtemperaturofen, Bearbeitungsstation der Vergütereier
Kundenauftrag	eine endliche Menge von <i>Aufträgen</i> eines Kunden (innerhalb einer bestimmten Zeit), die dem angebotenen <i>Produktsortiment</i> entspricht
Martensit	Bezeichnung eines Ringes aus dem <i>Produktsortiment</i> mit einer besonderen Materialeigenschaft, die man durch <i>Vergütung</i> des Ringes mit dem Bearbeitungsvorgang <i>Abschrecken</i> erhält
MSK	Manueller Stapelkran; wird zur Stapelung von <i>Ringen</i> zu <i>Ringstapeln</i> vor der <i>Pufferstrecke</i> und zur Ablage des Stapels auf einem Platz (<i>Palette</i>) der <i>Pufferstrecke</i> zur Fertigstellung einer <i>Palettenbelegung</i> benutzt
MTK	Manueller Transportkran; dient der ein- und ausgabeseitigen Versorgung der beiden Bandsägen der Sägestation
Gabelstapler	Blöckchen (BS → manuelles Lager)
MBL	manuelles Blöckchenlager, freie Ablagefläche vor dem Rollgang zum DHO
NTO	Niedrigtemperaturofen, Bearbeitungsstation der Vergütereier
Ofenreise	realierste Vergütungstechnologie gesamter

Bearbeitungsablauf, den eine Palettenbelegung nach Betreten der Pufferstrecke zur *Wärmebehandlung* durchläuft (z.B.: Austenitisieren, Abkühlen im Polymerbad, Anlassen)

Ofenreise ist die Realisierung der zu einer Palettenbelegung zugeordneten *VergütungsTechnologie* bei Konkretisierung der tatsächlich zu benutzenden Ressourcen und der dafür tatsächlich benötigten Zeitkontingente

Palette

1. Bedeutung (Sägestation): Bezeichnung für eine Aufnahmevorrichtung von Blöckchen, die im ABL zum Einsatz kommt

2. Bedeutung (Vergütere): Bezeichnung für eine rostartige Aufnahmevorrichtungen der Größe $l \times b$ von *PalettenBelegungen*;

unterschiedliche Ausprägungen ausgestattet mit einer Palette ist jeder Platz der *Pufferstrecke*, jede einzelne Ofenkammer, jede Hub-/Senkvorrichtungen der Bäder, sowie die Greifvorrichtung des *ZentralenTransportKrans* und temporäre Ablageplätze bei Einsatz von *Zwischeneisen*

PalettenBelegung

(kurz **Belegung**): eine zulässige Menge von *RingStapeln*, die
a) entsprechend der jeweiligen größten Durchmesser, der Gesamtmasse und der maximalen Höhe der Ringstapel auf einer *Palette* untergebracht werden kann
b) die eine identische *Wärmebehandlung* (trotz möglicherweise einer unterschiedlichen *Auftrags-Zuordnung*) erfahren dürfen und demzufolge eine gemeinsame *Ofenreise* antreten.

Produktsortiment

Ring, Radreifen, Flansch (Rohling), Hochlegierter Flansch (Rohling), hochlegierter Ring (Austensit), hochlegierter Ring (Martensit)

Pufferstrecke

Stahlwerk:

Speicherstrecke

Ringstapelpuffer zwischen Walzwerk und Vergütere, besteht aus 2 mal 6 direkt beladbaren und im Uhrzeigersinn rotierbaren Palettenpositionen in der Walzwerkshalle sowie 2 mal 6 in beider Richtungen rotierbaren Palettenpositionen in der Vergütereihalle

RAW	Radial-Axial-Walze, Bearbeitungsstation der Walzstrecke
RGi	Rollgang i (i= 1, 2, ...), Transporteinrichtung der Walzstrecke
Ring	<p>Element eines Auftrages, welches sich während seiner Produktion (<i>Ringproduktion</i>) nacheinander in verschiedenen <i>Bearbeitungszuständen</i> /geometrischen Formen befinden kann: Blöckchen, Lochscheibe, Ring/Flansch/Radreifen;</p> <p>Ring wird damit auch als Generalisierung unterschiedlichster Endprodukte wie Stahlring, Flansch und Radreifen usw. benutzt</p>
Ringproduktion	Die Produktion eines <i>Ringes</i> beginnt mit Vollendung des <i>Sägens</i> eines Blöckchens aus einem zylindrischen <i>Block</i> auf der <i>Sägestrecke</i> , der Erhitzung und Wandlung des Blöckchens zu einer Lochscheibe durch die Stauchpresse (<i>STP</i>) der Walzstrecke, die Verformung der Lochscheibe auf der <i>Walzstrecke</i> zur geforderten Endgestalt, der Zusammenstellung von Ringen zu <i>Ringstapeln</i> , der Konfiguration von Ringstapeln zu (<i>Paletten-</i>) <i>Belegungen</i> auf der <i>Pufferstrecke</i> , die Realisierung einer Ofenreise mit abschließendem Passieren der <i>Härteprüfstrecke</i>
RingStapel	eine zulässige vertikale Anordnung von <i>Ringen</i> einer <i>PalettenBelegung</i>
Sägeplan	Folge von Aufträgen eines Walzplans, deren geänderte Reihenfolge gegenüber dem Walzplan einen maximalen Durchsatz der Sägestrecke garantiert (Minimierung von Transport und Werkzeugwechselzeiten). Dies setzt jedoch erstens einen Vorabstart des Sägens vor Beschickung des DHO von ca. 8 h voraus, sowie zweitens die Bereitstellung entsprechender Pufferkapazität zu Lagerung gesägter Blöckchen.
Sägestation	...
SRP	Stempel- und Richtpresse, Bearbeitungsstation der Walzstrecke

Stahlmarke

normierte mehr-stellige Werkstoffnummer, die in Europa vom Stahlinstitut VDEh vergeben wird.

Bezeichnung: **X.YYZZ.AA** mit

- X: Hauptgruppe
- Y: Sortennummern
- Z: Zählnummern
- A: Anhängenummern

Die Hauptgruppe X für Stahl und Stahlgusssorten lautet „1“. Die Sortennummern YY dienen der Klassifizierung, die beiden Zählnummern ZZ werden chronologisch vergeben. Die erste Anhängenziffer A bezeichnet das Stahlgewinnungsverfahren, während die zweite den Behandlungszustand charakterisiert. In der Regel wird auf die Anhängenziffern verzichtet.

Beispiele:

1.7218.95 übersetzt sich in *[Stahl].[Edelstahl mit Cr und < 0,35 Massenprozent Mo].[0,25 Massenprozent C, 1,0 % Cr, 0,65 % Mn].[Elektrostahl].[vergütet]*. Der Kurzname wäre 25 CrMo 4.

Die sicherlich bekannteste Werkstoffnummer in der Stahlbranche ist die **1.4301**, die dem ersten nichtrostendem Stahl zugeordnet wurde. Sein Kurzname lautet X5CrNi18-10.

Stapelgestell

eine Vorrichtung, die zur Statikverbesserung von Ringstapeln einer Palettenbelegung zum Einsatz kommt, deren Ringe besonders kleine Durchmesser aufweisen; es stehen Stapelgestelle für maximal drei Belegungen zur Verfügung

STP

Stauchpresse, Bearbeitungsstation der Walzstrecke

Ultraschallplatz

Abstellplatz der Vergüterei (erreichbar nur Quertransport) , auf dem eine Belegung, bevor sie im Ofen erwärmt wird, einer Ultraschalluntersuchung unterzogen wird. Dieser Platz wird je Belegung, die eine solche Untersuchung laut

	ihrer zugeordneten Auftragsvergütungstechnologie verlangt, für 48 Stunden blockiert. Danach wird die Belegung in den Vergütungsprozess eingeordnet.
Umbauzeit Rüstzeit	Zeitliche Dauer eines Umbauvorgangs an einer Bearbeitungsstation des Walzwerkes
VergütungsTechnologie	Bearbeitungstechnologie der Vergüterei, die je Auftrag festzulegen ist ; definiert eine kausale (aber noch nicht zeitlich quantifizierte sowie noch ressourcenvariable) Abfolge von Bearbeitungsvorgängen der zum betreffenden <i>Auftrag</i> gehörenden <i>Ringe</i>
WalzTechnologie	Bearbeitungstechnologie des Walzwerkes; die je Auftrag festzulegen ist ; Bestandteil einer <i>Auftrags</i> (z.Z. ergibt sich dieser indirekt aus anderen Auftrags-Attributen); definiert eine kausale (aber noch nicht zeitlich quantifizierte sowie z.T. ressourcenvariable) Abfolge von Bearbeitungsvorgängen der zum betreffenden <i>Auftrag</i> gehörenden <i>Ringe</i>
Vergüterei	...
Walzplan Rüstzeit	Aufstellung der geplanten Bearbeitungsreihenfolge von Walzaufträgen vor deren Realisierung
Walzprotokoll	
Walzstrecke	zur Walzstrecke gehören die Stationen HMSi, BSi, ASL, MSL, DHO, STP, HNO, AWP, RAW und SRP, die von den <i>Ringen</i> eines <i>Auftrages</i> angelaufen werden
Wärmebehandlung	...
ZTK	Zentraler Transportkran, Transporteinrichtung der Vergüterei
Zwischeneisen	eine Vorrichtung, die zwischen zwei Ringen bei Stapelung eingesetzt werden kann; es gibt Wärmebehandlungsverfahren, die eine Auflockerung der Ringstapel zum Zwecke einer verbesserten Umlüftung beim Heizen verlangen - bei einer Zwischeneisen-Verwendung ist lediglich die sich

vergrößernde Stapelhöhe zu beachten;
Eine solche Belegung entsteht innerhalb von 24 Stunden
nach Fertigstellung ihrer Ringe im Walzwerk. Es gibt
beliebig viele Zwischeneisen

Zwischenbalken

eine Vorrichtung, die zum Aufbau eines *Ringstapels*, der
sich aus Teilstapeln zusammensetzt, dient. (Ursache:
Traglastproblem des SK)

zu ebener Erde eingesetzt wird und als Ersatz für eine
Palette angesehen werden kann;
So entsteht neben der *Pufferstrecke* auf einem Ablageplatz
eine *Belegung*.

ANHANG B: Regeln zur Erstellung von Walz- und Sägeplänen

Tabelle 18 Regeln für die Sägereihenfolge

Nr	Sägeregeln
S1	Die Aufträge sind im Sägeplan ³ so anzuordnen, dass das Sägen spätestens 8 h vor dem Einlegen in den DHO beginnt.
S2	Fasse die einzuplanenden Aufträge in Blöcke gleicher Stahlmarke und gleichen Blockformats zusammen.
S3	Bilde innerhalb der Blöcke Gruppen von Scheiben ⁴ , die zusammen mit den Spanabfällen möglichst den ganzen Block ergeben.
S4	Bei Vorhandensein eines Restblocks ist als erstes dieser möglichst abfallarm aufzuteilen.
S5	Blöcke der Formate IR 110, IR 150, IR 220 und IR 310 lassen sich auf der HMS-1 trennen.
S6	Blöcke der Formate IR 110, IR 150, IR 220, IR 310, IR 370 und IR 600 lassen sich auf der HMS-2 trennen.
S7	Blöcke der Formate IR 110, IR 150, IR 220, IR 310, IR 370, IR 600 und IR 500 lassen sich auf der Bandsäge 1 trennen.
S8	Blöcke aller Formate IR 110, IR 150, IR 220, IR 310, IR 370, IR 600, IR 500, IR 700 und IR 710 lassen sich auf der BS-2 trennen.
S9	Zum Sägen auf den Hartmetallsägen ist eine minimale Restblocklänge von 30mm erforderlich.
S10	Muss ein Auftrag (oder nur eine Scheibe daraus) auf einer Bandsäge gesägt werden, so ist bei der zeitlichen Abstimmung zwischen Säge- und Walzplan mit einer Sägezeit von 180 Minuten pro Schnitt zu kalkulieren.
S11	Zu zeitiges Sägen von Scheiben ist zu vermeiden, um die Kapazität des Palettenlagers nicht zu überschreiten.

Tabelle 19 Regeln für die DHO-Einlagerung

Nr	Dreh-Herdofen-Einlagerungsregeln
O1	Martensite sind aufgrund ihres schlechten Aufheizverhaltens sonntags in den DHO einzulegen und montags zu walzen.
O2	Mittelschwere und schwere martensitische Scheiben bilden die erste Ofenbelegung für die Woche. Leichtere Martensite werden anschliessend nachgelegt.
O3	Ordne die Aufträge für ein Wochenprogramm nach Sortimenten in der Reihenfolge Martensite, glatte Ringe, Radreifen, Flansche und hochlegierte Flansche.

³ ursprünglich: Sägeprogramm

⁴ ursprünglich: Blöckchen

O4	Wenn zwischen zwei Aufträgen ein Produktionsstillstand auftritt - bedingt durch eine steigende Erwärmungsdauer, dann ist erhöhter Umbau zweitrangig.
----	--

Tabelle 20 Regeln für die Walzennutzung

Nr	Walzregeln
W1	Sind in der Menge der zu planenden Aufträge unterschiedliche Walzen enthalten, dann fasse Aufträge mit gleichen Walzen zusammen.
W2	Kommt es zum Sortimentswechsel und schließt sich das nachfolgende Sortiment unmittelbar an, dann beginne mit dem Auftrag, der von der Walzstreckenkonfiguration mit dem letzten des vorangegangenen Sortiments am ähnlichsten ist.
W3	Drängt ein Termin zur Fertigung eines Auftrages, so ist dieser - falls nicht anders realisierbar - ungeachtet seines Umbauaufwands einzuplanen.
W4	Feuern die Regeln W2 und W3 nicht, dann plane einen Auftrag als erstes ein, der als einziger eine bestimmte Walze verlangt oder aufgrund seiner besonderen Werkzeugkonfiguration schwer mit anderen Aufträgen kombinierbar ist.
W5	Ordne die Aufträge innerhalb eines Blockes gleicher Walzen nach den Walzdornen, und zwar so, dass der letzte Dorn weiterverwendet werden kann.
W6	Ordne die Aufträge innerhalb eines Blockes gleicher Walzdorne nach den Zentrierrollen, und zwar so, dass die letzten eingebauten Zentrierrollen weiterverwendet werden können.
W7	Ordne die Aufträge innerhalb eines Blockes gleicher Zentrierrollen nach den Aufweitsätteln, und zwar so, dass der letzte eingebaute Aufweitsattel weiterverwendet werden kann.
W8	Ordne die Aufträge innerhalb eines Blockes gleicher Aufweitsättel nach den Aufweidornen, und zwar so, dass der letzte eingebaute Aufweidorn weiterverwendet werden kann.
W9	Ordne die Aufträge innerhalb eines Blockes gleicher Aufweidorne nach den Tastrollen, und zwar so, dass die letzten eingebauten Tastrollen weiterverwendet werden können.
W10	Ordne die Aufträge innerhalb eines Blockes gleicher Tastrollen nach den Gesenken, und zwar so, dass das letzte eingebaute Gesenken weiterverwendet werden kann.
W11	Ordne die Aufträge innerhalb eines Blockes gleicher Gesenke nach den Lochdornen, und zwar so, dass der letzte eingebaute Lochdorn weiterverwendet werden kann.
W12	Beim Übergang auf einen Block anderer Werkzeugkonfiguration ist mit dem Auftrag zu beginnen, der dem vorangegangenen in den folgenden Werkzeugen möglichst ähnlich ist.

Nachfolgende **Tabelle 20** gibt eine Übersicht der verschiedenen Walzdorne.

ANHANG C: Werkzeug-Codierungstabellen

Tabelle 21 Kodierung der Walzdorne

Nummer	71.0	34.1	34.1	34.1	34.1	34.2	34.2
Länge	300 lang	250 lang	215 lang	200 lang	180 lang	250 kurz	215 kurz
Code	1	2	3	4	5	6	7

Nummer	34.2	34.2	34.2	27.2	27.2	27.2	27.2
Länge	180 kurz	150 kurz	100 kurz	300/280 kurz	250/230 kurz	215/195 kurz	180/160 kurz
Code	8	9	10	11	12	13	14

Nummer	27.2	27.3	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2
Länge	DS	215/195 verk	180/160 verk	250/236 kurz	180/166 kurz	185 kurzkegelig	215/175 kurz
Code	15	16	17	18	19	20	21

Nummer	41	43.1	43.2	44	45	47	48
Länge	174/160 kurz	215/203 kurz	180/168 kurz	185/135 kurz	180/162 kurz	240/202 kurz	180/174 kurz
Code	22	23	24	25	26	27	28

Nummer	49	50	26.1	26.2
Länge	180 kurz	150 kurz	100 kurz	300/280 kurz
Code	29	30	31	32

Tabelle 22 Kodierung der Tastrollen

Bezeichnung	ohne	B1	B3	B6	G1	G2	G3	F	FB	FB1
Code	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Tabelle 23 Kodierung der Aufweitsattel

Bezeichnung	ohne	B1	B3	B6	G1	G2	G3	F	FB	FB1
Code	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Tabelle 24 Kodierung der Aufweitdorne

Bezeichnung	ohne	155	175	205	240
Code	1	2	3	4	5

Tabelle 25 Kodierung der Formgesenke

Bezeichnung	ohne	90R	100R	105R	115R	130R	135R	150R	165R	185R
Code	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Bezeichnung	205R	245R	125S	150S	1U	2U	3U	4U	1MF	2MF
Code	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Bezeichnung	3MF	4MF	5MF	6MF	7MF	8MF	9MF	10MF	11MF	12MF
Code	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

Bezeichnung	13MF	14MF	15MF	16MF
Code	31	32	33	34

Tabelle 26 Kodierung der Lochdorne

Bezeichnung	80	95	110	120	135	160	180	190
Code	1	2	3	4	5	6	7	8

Bezeichnung	210	230	250	270	190 (schmaler Kopf)	210 (schmaler Kopf)	230 (schmaler Kopf)	270 (schmaler Kopf)
Code	11	12	13	14	15	16	17	18

ANHANG D: Auftragspezifikation

AUFNR	PSM NG	Z_TR _RA DMR	Z_TR _RHO EHE	Z_V MAS SE	Z_BESTST M	Z_KMA TNR	Z _ P R W	Z_TR _WD	Z_TR _ZRO LLE	Z_TR _AW S	Z_TR _AW D	Z_TR_ ROLLE	Z_T R_F GES EN K	Z_LDO	Z_TR _RIN G	Z_N MAS SE	Z_DM R_NBL	Z_W ZEIT	Z_ HB N	Z_T R_D L
319659	27	1163	273	1423	42 CrMo 4	RING		215				40,50, 80er		230	240	1510	600	3,65	W	890
321411	10	1553	96	398	42CrMo4+ QT	RING		250	38	G2	205	20,40e r		210	220	435	400	2,85	N	750
322750	76	2285	191	1480	42CrMo4+ QT	RING		250	38	G2	205	40,50, 80er		230	240	1580	583	5,65	W	960
323634	107	618	128	164	S5	RADREI FEN	6	180	39			50er	150 R	190	200	190	320	1,6	N	480
324960	15	1714	161	724	42CrMo4+ QT	RING		250	38	G2	205	40,50, 80er		230	240	785	500	3,75	W	805
324973	63	1922	164	861	42CrMo4+ QT	RING		250	38	G2	205	40,50, 80er		230	240	925	500	4,25	W	865
324974	63	1922	164	861	42CrMo4+ QT	RING		250	38	G2	205	40,50, 80er		230	240	925	500	4,25	W	865
325430	4	975	202	295	25 CrMo 4	RING		215	38	G2	175	40,50, 80er		180	190	325	385	2	N	495
325629	3	1347	110	74	X 20 Cr 13	RING		215	38	G2	175	20,40, 50er		180	200	255	385	3,65	N	555
325955	2	1250	70	166	42 CrMo 4	RING		215	38	G2	175	20er		180	190	190	316	2,15	N	560
325956	3	1115	90	161	42 CrMo 4	RING		215	38	G2	175	20,40e r		180	190	185	316	2	N	515
326179	2	924	295	220	Ck 22	RING		215	38	G2	175	40,50, 80er		180	190	515	400	2,35	N	525
326798	51	625	230	354	42 CrMo 4	RING		215	38	G2	175	40,50, 80er		180	190	385	400	1,6	N	520
326799	51	625	230	354	42 CrMo 4	RING		215	38	G2	175	40,50, 80er		180	190	385	400	1,6	N	520
327173	4	912	162	485	42 CrMo 4	RING		215	38	G2	175	40,50, 80er		180	190	515	400	2,1	N	680
327214	4	977	151	563	C45V	RING		250	38	G2	205	40,50, 80er		210	220	605	406	2,2	N	770
327365	12	1774	164	1030	42CrMo4+	RING		250	38	G2	205	40,50,		230	240	1105	600	4,15	W	940

										QT									80er
327377	12	1499	149	583	42CrMo4+ QT	RING	250	38	G2	205	40,50, 80er	230	240	630	400	3,2	N	770	
327379	12	1654	152	525	42CrMo4+ QT	RING	250	38	G2	205	40,50, 80er	210	220	570	400	3,45	N	720	
327443	4	866	245	605	42CrMo4+ QT	RING	215	38	G2	175	40,50, 80er	180	190	650	400	2,3	N	640	
327469	76	576	131	150	S5T	RADREI FEN	5 5	180	39		80	165 R	190	200	185	320	1,5	N	465
327745	103	580	112	133	S5T	RADREI FEN	6	180	39		40	165 R	190	200	163	320	2	N	460
327888	2	1886	111	487	42 CrMo 4	RING	250	38	G2	205	20,40, 50er	230	240	540	400	3,5	N	760	
327889	2	1713	106	547	42 CrMo 4	RING	250	38	G2	205	20,40, 50er	230	240	600	400	3,4	N	825	
327943	6	1540	135	387	P 275 NH / WSTE 285	RING	215	38	G2	175	40,50, 80er	180	190	425	385	2,95	N	630	
328048	30	1922	180	1104	42CrMo4+ QT	RING	250	38	G2	205	40,50, 80er	230	240	1185	600	4,55	W	940	
328087	8	1258	170	488	S 355 J2 G3	RING	250	38	G2	205	40,50, 80er	230	240	540	400	2,55	N	675	
328088	5	865	115	105	S 355 J2 G3	RING	180	38	G2	155	20,40, 50er	160	170	120	273	1,65	N	395	
328090	8	1106	117	201	S 355 J2 G3	RING	215	38	G2	175	20,40, 50er	180	190	225	316	2,05	N	515	
328140	3	804	296	398	X46Cr13	RING	215	38	G2	175	40,50, 80er	180	200	435	385	2,85	N	490	
328156	8	870	70	78	X 20 Cr 13	RING	180	38	G2	155	20er	160	180	150	316	2,35	N	540	
328179	20	804	250	346	X46Cr13	RING	215	38	G2	175	40,50, 80er	180	200	380	385	2,7	N	495	
328249	6	1055	325	817	X46Cr13	RING	250	38	G2	205	40,50, 80er	210	230	890	583	4,05	W	655	
328268	4	1055	293	556	X46Cr13	RING	250	38	G2	205	40,50, 80er	210	230	620	492	3,6	W	575	
328295	1	596	156	241	F 1	RING	180	38	G2	155	40,50, 80er	160	170	265	316	1,4	N	510	
328296	1	1014	88	186	F 1	RING	215	38	G2	175	20er	180	190	205	316	1,85	N	550	
328326	4	610	165	216	42CrMo4 Q+T	RING	215	38	G2	175	40,50, 80er	180	190	245	400	1,5	N	480	
328327	4	610	159	208	42CrMo4 Q+T	RING	215	38	G2	175	40,50, 80er	180	190	235	400	1,5	N	485	

328359	10	645	75	109	X 38 CrMoV 5.1	RING		180	38	G2	155	20er	160	170	125	316	1,45	N	495	
328360	10	645	85	123	X 38 CrMoV 5.1	RING		180	38	G2	155	20er	160	170	140	316	1,35	N	485	
328386	4	744	239	369	X46Cr13	RING		215	38	G2	175	40,50, 80er	180	200	405	385	2,55	N	520	
328424	1	633	216	262	X46Cr13	RING		215	38	G2	175	40,50, 80er	180	200	295	385	2,15	N	465	
328425	10	683	223	240	X46Cr13	RING		215	38	G2	175	40,50, 80er	180	200	270	385	2,25	N	440	
328426	19	725	103	105	15Mo3/16 Mo3	FLANSC H	2 9	180	38			20	10 MF	210	220	127	273	1,5	N	540
328428	10	824	182	288	X46Cr13	RING		215	38	G2	175	40,50, 80er	180	200	315	385	2,6	N	520	
328429	10	593	194	218	X46Cr13	RING		215	38	G2	175	40,50, 80er	180	200	245	316	1,95	N	455	
328430	2	824	210	332	X46Cr13	RING		215	38	G2	175	40,50, 80er	180	200	365	385	2,7	N	520	
328450	2	1485	165	556	P 265 GH	RING		250	38	G2	205	40,50, 80er	230	240	605	492	3,2	N	705	
328451	2	1284	139	397	P 265 GH	RING		215	38	G2	175	40,50, 80er	180	190	430	385	2,55	N	640	
328458	1	563	232	277	X46Cr13	RING		180	38	G2	155	40,50, 80er	160	180	300	316	2	N	460	
328459	4	563	225	206	X46Cr13	RING		215	38	G2	155	40,50, 80er	160	180	230	316	1,95	N	410	
328460	2	585	233	213	X46Cr13	RING		180	38	G2	155	40,50, 80er	160	180	240	316	2,05	N	410	
328461	1	739	304	533	X46Cr13	RING		215	38	G2	175	40,50, 80er	180	200	575	492	2,8	N	550	
328469	4	942	174	429	St 52-3	RING		215	38	G2	175	40,50, 80er	180	190	460	406	2,2	N	620	
328474	15	566	106	113	S5T	RADREI FEN	1 0	180	39			50er	130 R	190	200	142	320	1,5	N	440
328476	2	699	248	300	X46Cr13	RING		215	38	G2	175	40,50, 80er	180	200	335	385	2,4	N	465	
328481	2	665	193	291	X46Cr13	RING		215	38	G2	175	40,50, 80er	180	200	320	385	2,15	N	515	
328482	5	814	304	451	X46Cr13	RING		215	38	G2	175	40,50, 80er	180	200	485	385	2,95	N	515	
328483	1	874	304	637	X46Cr13	RING		250	38	G2	205	40,50, 80er	210	230	700	492	3,25	W	605	

328484	1	703	195	280	X46Cr13	RING	215	38	G2	175	40,50, 80er	180	200	310	385	2,3	N	500
328485	1	854	229	432	X46Cr13	RING	250	38	G2	205	40,50, 80er	210	230	480	385	2,85	N	575
328486	2	884	300	661	X46Cr13	RING	250	38	G2	205	40,50, 80er	210	230	725	492	3,3	W	620
328487	2	498	156	154	X46Cr13	RING	180	38	G2	155	40,50, 80er	160	180	175	316	1,6	N	425
328488	11	646	216	192	X46Cr13	RING	180	38	G2	155	40,50, 80er	160	180	215	316	2,15	N	405
328489	1	572	202	211	X46Cr13	RING	180	38	G2	155	40,50, 80er	160	180	235	316	1,95	N	435
328490	2	572	195	191	X46Cr13	RING	180	38	G2	155	40,50, 80er	160	180	215	316	1,95	N	420
328491	3	592	195	219	X46Cr13	RING	215	38	G2	175	40,50, 80er	180	200	250	316	1,95	N	455
328492	4	643	195	184	X46Cr13	RING	180	38	G2	155	40,50, 80er	160	180	205	316	2,15	N	410
328493	4	663	195	215	X46Cr13	RING	215	38	G2	155	40,50, 80er	160	180	240	316	2,2	N	445
328494	5	643	227	215	X46Cr13	RING	180	38	G2	155	40,50, 80er	160	180	240	316	2,2	N	415
328495	1	683	227	288	X46Cr13	RING	215	38	G2	155	40,50, 80er	160	180	315	385	2,35	N	470
328496	4	764	224	277	X46Cr13	RING	215	38	G2	175	40,50, 80er	180	200	310	385	2,5	N	475
328497	9	764	274	338	X46Cr13	RING	215	38	G2	175	40,50, 80er	180	200	375	385	2,65	N	470
328498	1	794	317	433	X46Cr13	RING	215	38	G2	175	40,50, 80er	180	200	470	385	2,9	N	495
328499	8	804	250	346	X46Cr13	RING	215	38	G2	175	40,50, 80er	180	200	380	385	2,7	N	495
328500	8	804	300	416	X46Cr13	RING	215	38	G2	175	40,50, 80er	180	200	455	385	2,85	N	500
328501	2	816	326	490	X46Cr13	RING	215	38	G2	175	40,50, 80er	180	200	530	385	3	N	520
328502	1	830	337	553	X46Cr13	RING	250	38	G2	205	40,50, 80er	210	230	615	492	3,1	W	545
328503	4	904	339	785	X46Cr13	RING	250	38	G2	205	40,50, 80er	210	230	855	492	3,6	W	635
328504	5	984	299	634	X46Cr13	RING	250	38	G2	205	40,50, 80er	210	230	700	492	3,55	W	610

328505	9	751	278	427	50 CrMo 4	RING	250	38	G2	205	40,50, 80er	210	220	615	492	1,85	N	595	
328507	1	1128	108	330	16 Mo 3	RING	215	38	G2	175	20,40, 50er	180	190	360	385	2,1	N	665	
328509	4	722	71	89	P 250 GH / C 22.8	RING	180	38	G2	155	20er	160	170	105	273	1,3	N	440	
328510	4	1955	115	511	P 250 GH / C 22.8	RING	250	38	G2	205	20,40, 50er	230	240	560	400	3,85	N	765	
328513	1	1024	159	262	16 Mo 3	RING	215	38	G2	175	40,50, 80er	180	190	290	385	2	N	515	
328514	2	1079	102	243	16 Mo 3	RING	215	38	G2	175	20,40, 50er	180	190	270	385	2	N	600	
328516	2	1934	101	369	15 Mo 3	RING	250	38	G2	205	20,40, 50er	230	240	415	385	3,45	N	690	
328517	4	1781	182	1472	P 355 QH 1	RING	250	38	G2	205	40,50, 80er	230	240	1560	583	4,7	W	985	
328524	2	985	282	1146	S 355 J2 G3	RING	250	38	G2	205	40,50, 80er	230	240	1225	583	3	W	820	
328526	4	833	248	434	X46Cr13	RING	215	38	G2	175	40,50, 80er	180	200	470	385	2,9	N	550	
328527	1	994	304	681	X46Cr13	RING	250	38	G2	205	40,50, 80er	210	230	745	492	3,65	W	620	
328528	6	661	231	237	X46Cr13	RING	215	38	G2	175	40,50, 80er	180	200	270	316	2,2	N	435	
328529	2	1087	358	1167	20 MnCr 5	RING	250	38	G2	205	40,50, 80er	230	240	1250	583	3,4	W	740	
328530	20	660	227	224	20 MnCr 5	RING	180	38	G2	155	40,50, 80er	160	170	245	316	1,65	N	415	
328531	10	660	260	256	20 MnCr 5	RING	180	38	G2	155	40,50, 80er	160	170	280	316	1,7	N	420	
328533	1	1473	150	732	X 6 CrNiTi 18.10	RING	250	38	G2	205	40,50, 80er	230	250	785	492	4,85	W	830	
328547	20	573	202	212	X46Cr13	RING	180	38	G2	155	40,50, 80er	160	180	235	316	1,95	N	435	
328550	51	670	103	140	B4T	RADREI FEN	6	180	39		50	150 R	190	200	168	310	1,5	N	490
328553	1	1384	138	473	13 CrMo 4.5	RING	250	38	G2	205	40,50, 80er	230	240	520	492	2,7	N	715	
328554	4	1073	133	261	P 265 GH	RING	215	38	G2	175	40,50, 80er	180	190	290	385	2,05	N	540	
328555	4	727	102	176	P 265 GH	RING	180	38	G2	155	20,40, 50er	160	170	195	316	1,35	N	510	

328557	10	724	162	177	P 275 NH / WSTE 285	RING	180	38	G2	155	40,50, 80er	160	170	200	316	1,5	N	430
328558	2	824	250	396	X46Cr13	RING	215	38	G2	175	40,50, 80er	180	200	435	385	2,85	N	525
328559	10	804	300	416	X46Cr13	RING	215	38	G2	175	40,50, 80er	180	200	455	385	2,85	N	500
328560	1	1115	293	787	X46Cr13	RING	250	38	G2	205	40,50, 80er	210	230	855	583	4,1	W	675
328561	2	764	234	340	X46Cr13	RING	215	38	G2	175	40,50, 80er	180	200	370	385	2,6	N	505
328562	1	1014	289	662	X46Cr13	RING	250	38	G2	205	40,50, 80er	210	230	730	492	3,65	W	625
328563	1	824	278	461	X46Cr13	RING	250	38	G2	205	40,50, 80er	210	230	515	385	2,9	N	550
328564	5	653	195	246	X46Cr13	RING	215	38	G2	175	40,50, 80er	180	200	275	385	2,15	N	480
328565	14	1065	265	700	X46Cr13	RING	250	38	G2	205	40,50, 80er	210	230	765	492	3,8	W	665
328566	10	824	179	283	X46Cr13	RING	215	38	G2	175	40,50, 80er	180	200	315	385	2,6	N	520
328567	6	874	273	484	X46Cr13	RING	250	38	G2	205	40,50, 80er	210	230	540	492	3,05	N	565
328568	2	706	216	298	X46Cr13	RING	215	38	G2	175	40,50, 80er	180	200	335	385	2,35	N	495
328569	2	1671	131	534	C 22.8 / P 250 GH	RING	250	38	G2	205	40,50, 80er	230	240	580	400	3,4	N	760
328570	5	687	107	160	P 250 GH	RING	180	38	G2	155	20,40, 50er	160	170	175	273	1,3	N	490
328571	1	550	191	170	X46Cr13	RING	180	38	G2	155	40,50, 80er	160	180	190	316	1,85	N	405
328572	2	581	178	196	X46Cr13	RING	180	38	G2	155	40,50, 80er	160	180	220	316	1,9	N	440
328573	2	827	259	438	X46Cr13	RING	215	38	G2	175	40,50, 80er	180	200	485	385	2,9	N	540
328574	2	864	273	455	X46Cr13	RING	215	38	G2	175	40,50, 80er	180	200	490	385	3,05	N	540
328575	2	663	248	304	X46Cr13	RING	215	38	G2	175	40,50, 80er	180	200	335	385	2,3	N	475
328576	2	965	281	503	X46Cr13	RING	250	38	G2	205	40,50, 80er	210	230	555	492	3,3	N	565
328577	2	693	235	226	X46Cr13	RING	215	38	G2	155	40,50, 80er	160	180	250	316	2,35	N	415

328578	3	1055	325	817	X46Cr13	RING	250	38	G2	205	40,50, 80er	210	230	890	583	4,05	W	655	
328579	2	533	178	139	X46Cr13	RING	180	38	G2	155	40,50, 80er	160	180	160	316	1,8	N	385	
328580	10	708	290	345	X46Cr13	RING	215	38	G2	175	40,50, 80er	180	200	385	385	2,5	N	465	
328581	4	804	300	416	X46Cr13	RING	215	38	G2	175	40,50, 80er	180	200	455	385	2,85	N	500	
328582	3	819	309	437	X46Cr13	RING	215	38	G2	175	40,50, 80er	180	200	480	385	2,95	N	500	
328583	8	549	195	160	X46Cr13	RING	180	38	G2	155	40,50, 80er	160	180	185	316	1,85	N	390	
328584	1	838	277	524	St 52-3	RING	250	38	G2	205	40,50, 80er	210	220	570	406	2,2	N	575	
328586	2	1067	116	345	SA 105	RING	215	38	G2	175	20,40, 50er	180	190	375	406	2,05	N	655	
328587	10	1510	180	685	P245GH	FLANSC H	4 5	250	38		40,50e r	5M Fm R	270	280	750	492	3,5	W	880
328588	1	1734	139	633	42CrMo4+ QT	RING	250	38	G2	205	40,50, 80er	230	240	690	400	3,65	W	810	
328589	7	1931	171	1306	C 22.8	RING	250	38	G2	205	40,50, 80er	230	240	1400	583	4,75	W	995	
328590	1	934	93	194	20 MnCr 5	RING	215	38	G2	175	20,40e r	180	190	215	316	1,7	N	560	
328591	1	874	70	93	20 MnCr 5	RING	180	38	G2	155	20er	160	170	105	316	1,6	N	450	
328592	1	792	86	134	20 MnCr 5	RING	180	38	G2	155	20er	160	170	150	316	1,45	N	490	
328593	1	740	70	71	20 MnCr 5	RING	180	38	G2	155	10er	160	170	85	273	1,35	N	400	
328594	2	817	86	142	20 MnCr 5	RING	180	38	G2	155	20er	160	170	160	316	1,5	N	505	
328595	2	763	68	73	20 MnCr 5	RING	180	38	G2	155	10er	160	170	90	273	1,4	N	405	
328596	1	934	93	194	20 MnCr 5	RING	215	38	G2	175	20,40e r	180	190	215	316	1,7	N	560	
328597	1	874	70	93	20 MnCr 5	RING	180	38	G2	155	20er	160	170	105	316	1,6	N	450	
328598	1	982	94	205	20 MnCr 5	RING	215	38	G2	175	20,40e r	180	190	230	316	1,8	N	565	
328599	1	921	71	97	20 MnCr 5	RING	180	38	G2	155	20er	160	170	110	273	1,65	N	445	
328600	19	1163	273	1423	42 CrMo 4	RING	215				40,50, 80er	230	240	1510	600	3,65	W	890	
328603	3	1163	273	1423	42 CrMo 4	RING	215				40,50,	230	240	1510	600	3,65	W	890	

ANHANG E Walzplan (von Walzplan-Generator erzeugt)

Anzahl der verarbeiteten Auftrage:165																
Auftragsnummer	Anzahl der Ringe	Ringhöhe	Ringmasse	Sortiment		Ringformat	Walze	Walzdorn	Zentrierringen	Aufweitsattel	Aufweitsporn	Tastrollen	Gesenk	Lochdorn	Schneiderring	Einsatzmasse
322750	76	191	1480	glatte (>1000)	Ringe	583	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	230	0	230
324960	15	161	724	glatte (>1000)	Ringe	500	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	230	0	230
324973	63	164	861	glatte (>1000)	Ringe	500	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	230	0	230
324974	63	164	861	glatte (>1000)	Ringe	500	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	230	0	230
327365	12	164	1030	glatte (>1000)	Ringe	600	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	230	0	230
327377	12	149	583	glatte (>1000)	Ringe	400	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	230	0	230
328048	30	180	1104	glatte (>1000)	Ringe	600	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	230	0	230
328087	8	170	488	glatte (>1000)	Ringe	400	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	230	0	230
328450	2	165	556	glatte (>1000)	Ringe	492	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	230	0	230
328517	4	182	1472	glatte (>1000)	Ringe	583	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	230	0	230
328529	2	358	1167	glatte (>1000)	Ringe	583	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	230	0	230
328533	1	150	732	glatte (>1000)	Ringe	492	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	230	0	230
328553	1	138	473	glatte (>1000)	Ringe	492	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	230	0	230
328569	2	131	534	glatte (>1000)	Ringe	400	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	230	0	230
328588	1	139	633	glatte (>1000)	Ringe	400	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	230	0	230
328589	7	171	1306	glatte (>1000)	Ringe	583	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	230	0	230

327379	12	152	525	glatte (>1000)	Ringe	400	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	210	0	210
328249	6	325	817	glatte (>1000)	Ringe	583	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	210	0	210
328268	4	293	556	glatte (>1000)	Ringe	492	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	210	0	210
328560	1	293	787	glatte (>1000)	Ringe	583	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	210	0	210
328562	1	289	662	glatte (>1000)	Ringe	492	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	210	0	210
328565	14	265	700	glatte (>1000)	Ringe	492	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	210	0	210
328578	3	325	817	glatte (>1000)	Ringe	583	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	210	0	210
327888	2	111	487	glatte (>1000)	Ringe	400	0	250	38	G2	205	20,40, 50er	1	230	0	230
327889	2	106	547	glatte (>1000)	Ringe	400	0	250	38	G2	205	20,40, 50er	1	230	0	230
328510	4	115	511	glatte (>1000)	Ringe	400	0	250	38	G2	205	20,40, 50er	1	230	0	230
328516	2	101	369	glatte (>1000)	Ringe	385	0	250	38	G2	205	20,40, 50er	1	230	0	230
328610	1	116	753	glatte (>1000)	Ringe	500	0	250	38	G2	205	20,40, 50er	1	230	0	230
328631	5	120	442	glatte (>1000)	Ringe	400	0	250	38	G2	205	20,40, 50er	1	230	0	230
328636	5	105	509	glatte (>1000)	Ringe	492	0	250	38	G2	205	20,40, 50er	1	230	0	230
328647	2	115	515	glatte (>1000)	Ringe	406	0	250	38	G2	205	20,40, 50er	1	230	0	230
321411	10	96	398	glatte (>1000)	Ringe	400	0	250	38	G2	205	20,40 er	1	210	0	210
328617	1	96	398	glatte (>1000)	Ringe	400	0	250	38	G2	205	20,40 er	1	210	0	210
328634	2	62	149	glatte (>1000)	Ringe	400	0	215	38	G2	175	10er	1	180	0	180
327943	6	135	387	glatte (>1000)	Ringe	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328451	2	139	397	glatte (>1000)	Ringe	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328513	1	159	262	glatte (>1000)	Ringe	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180

328554	4	133	261	glatte (>1000)	Ringe	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
325629	3	110	74	glatte (>1000)	Ringe	385	0	215	38	G2	175	20,40, 50er	1	180	0	180
328090	8	117	201	glatte (>1000)	Ringe	316	0	215	38	G2	175	20,40, 50er	1	180	0	180
328507	1	108	330	glatte (>1000)	Ringe	385	0	215	38	G2	175	20,40, 50er	1	180	0	180
328514	2	102	243	glatte (>1000)	Ringe	385	0	215	38	G2	175	20,40, 50er	1	180	0	180
328586	2	116	345	glatte (>1000)	Ringe	406	0	215	38	G2	175	20,40, 50er	1	180	0	180
325956	3	90	161	glatte (>1000)	Ringe	316	0	215	38	G2	175	20,40 er	1	180	0	180
325955	2	70	166	glatte (>1000)	Ringe	316	0	215	38	G2	175	20er	1	180	0	180
328296	1	88	186	glatte (>1000)	Ringe	316	0	215	38	G2	175	20er	1	180	0	180
328628	1	70	206	glatte (>1000)	Ringe	406	0	215	38	G2	175	20er	1	180	0	180
328600	19	273	1423	glatte (>1000)	Ringe	600	0	215	0	0	0	40,50, 80er	1	230	0	230
328603	3	273	1423	glatte (>1000)	Ringe	600	0	215	0	0	0	40,50, 80er	1	230	0	230
328604	2	273	1423	glatte (>1000)	Ringe	600	0	215	38	0	0	40,50, 80er	1	230	0	230
328605	1	273	1423	glatte (>1000)	Ringe	600	0	215	0	0	0	40,50, 80er	1	230	0	230
328524	2	282	1146	glatte (>500-1000)	Ringe	583	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	230	0	230
328612	2	212	853	glatte (>500-1000)	Ringe	492	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	230	0	230
328644	1	155	619	glatte (>500-1000)	Ringe	492	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	230	0	230
327214	4	151	563	glatte (>500-1000)	Ringe	406	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	210	0	210
328483	1	304	637	glatte (>500-1000)	Ringe	492	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	210	0	210
328485	1	229	432	glatte (>500-1000)	Ringe	385	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	210	0	210
328486	2	300	661	glatte (>500-1000)	Ringe	492	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	210	0	210

328502	1	337	553	glatte Ringe (>500-1000)	492	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	210	0	210
328503	4	339	785	glatte Ringe (>500-1000)	492	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	210	0	210
328504	5	299	634	glatte Ringe (>500-1000)	492	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	210	0	210
328505	9	278	427	glatte Ringe (>500-1000)	492	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	210	0	210
328527	1	304	681	glatte Ringe (>500-1000)	492	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	210	0	210
328563	1	278	461	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	210	0	210
328567	6	273	484	glatte Ringe (>500-1000)	492	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	210	0	210
328576	2	281	503	glatte Ringe (>500-1000)	492	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	210	0	210
328584	1	277	524	glatte Ringe (>500-1000)	406	0	250	38	G2	205	40,50, 80er	1	210	0	210
325430	4	202	295	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
326179	2	295	220	glatte Ringe (>500-1000)	400	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
326798	51	230	354	glatte Ringe (>500-1000)	400	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
326799	51	230	354	glatte Ringe (>500-1000)	400	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
327173	4	162	485	glatte Ringe (>500-1000)	400	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
327443	4	245	605	glatte Ringe (>500-1000)	400	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328140	3	296	398	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328179	20	250	346	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328326	4	165	216	glatte Ringe (>500-1000)	400	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328327	4	159	208	glatte Ringe (>500-1000)	400	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328386	4	239	369	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328424	1	216	262	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180

328425	10	223	240	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328428	10	182	288	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328429	10	194	218	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328430	2	210	332	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328461	1	304	533	glatte Ringe (>500-1000)	492	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328469	4	174	429	glatte Ringe (>500-1000)	406	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328476	2	248	300	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328481	2	193	291	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328482	5	304	451	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328484	1	195	280	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328491	3	195	219	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328496	4	224	277	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328497	9	274	338	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328498	1	317	433	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328499	8	250	346	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328500	8	300	416	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328501	2	326	490	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328526	4	248	434	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328528	6	231	237	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328558	2	250	396	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328559	10	300	416	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180

328561	2	234	340	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328564	5	195	246	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328566	10	179	283	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328568	2	216	298	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328573	2	259	438	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328574	2	273	455	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328575	2	248	304	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328580	10	290	345	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328581	4	300	416	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328582	3	309	437	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328626	4	222	370	glatte Ringe (>500-1000)	406	0	215	38	G2	175	40,50, 80er	1	180	0	180
328624	1	101	246	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	175	20,40, 50er	1	180	0	180
328625	2	115	276	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	175	20,40, 50er	1	180	0	180
328635	2	115	316	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	175	20,40, 50er	1	180	0	180
328590	1	93	194	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	215	38	G2	175	20,40 er	1	180	0	180
328596	1	93	194	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	215	38	G2	175	20,40 er	1	180	0	180
328598	1	94	205	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	215	38	G2	175	20,40 er	1	180	0	180
328629	2	95	257	glatte Ringe (>500-1000)	406	0	215	38	G2	175	20,40 er	1	180	0	180
328459	4	225	206	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	215	38	G2	155	40,50, 80er	1	160	0	160
328493	4	195	215	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	215	38	G2	155	40,50, 80er	1	160	0	160
328495	1	227	288	glatte Ringe (>500-1000)	385	0	215	38	G2	155	40,50, 80er	1	160	0	160

328577	2	235	226	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	215	38	G2	155	40,50, 80er	1	160	0	160
328593	1	70	71	glatte Ringe (>500-1000)	273	0	180	38	G2	155	10er	1	160	0	160
328595	2	68	73	glatte Ringe (>500-1000)	273	0	180	38	G2	155	10er	1	160	0	160
328295	1	156	241	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	180	38	G2	155	40,50, 80er	1	160	0	160
328458	1	232	277	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	180	38	G2	155	40,50, 80er	1	160	0	160
328460	2	233	213	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	180	38	G2	155	40,50, 80er	1	160	0	160
328488	11	216	192	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	180	38	G2	155	40,50, 80er	1	160	0	160
328489	1	202	211	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	180	38	G2	155	40,50, 80er	1	160	0	160
328490	2	195	191	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	180	38	G2	155	40,50, 80er	1	160	0	160
328492	4	195	184	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	180	38	G2	155	40,50, 80er	1	160	0	160
328494	5	227	215	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	180	38	G2	155	40,50, 80er	1	160	0	160
328530	20	227	224	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	180	38	G2	155	40,50, 80er	1	160	0	160
328531	10	260	256	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	180	38	G2	155	40,50, 80er	1	160	0	160
328547	20	202	212	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	180	38	G2	155	40,50, 80er	1	160	0	160
328557	10	162	177	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	180	38	G2	155	40,50, 80er	1	160	0	160
328571	1	191	170	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	180	38	G2	155	40,50, 80er	1	160	0	160
328572	2	178	196	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	180	38	G2	155	40,50, 80er	1	160	0	160
328579	2	178	139	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	180	38	G2	155	40,50, 80er	1	160	0	160
328583	8	195	160	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	180	38	G2	155	40,50, 80er	1	160	0	160
328639	10	162	177	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	180	38	G2	155	40,50, 80er	1	160	0	160
328088	5	115	105	glatte Ringe (>500-1000)	273	0	180	38	G2	155	20,40, 50er	1	160	0	160

328555	4	102	176	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	180	38	G2	155	20,40, 50er	1	160	0	160
328570	5	107	160	glatte Ringe (>500-1000)	273	0	180	38	G2	155	20,40, 50er	1	160	0	160
328645	1	102	128	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	180	38	G2	155	20,40, 50er	1	160	0	160
328646	8	122	256	glatte Ringe (>500-1000)	400	0	180	38	G2	155	20,40, 50er	1	160	0	160
328156	8	70	78	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	180	38	G2	155	20er	1	160	0	160
328359	10	75	109	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	180	38	G2	155	20er	1	160	0	160
328360	10	85	123	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	180	38	G2	155	20er	1	160	0	160
328509	4	71	89	glatte Ringe (>500-1000)	273	0	180	38	G2	155	20er	1	160	0	160
328591	1	70	93	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	180	38	G2	155	20er	1	160	0	160
328592	1	86	134	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	180	38	G2	155	20er	1	160	0	160
328594	2	86	142	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	180	38	G2	155	20er	1	160	0	160
328597	1	70	93	glatte Ringe (>500-1000)	316	0	180	38	G2	155	20er	1	160	0	160
328599	1	71	97	glatte Ringe (>500-1000)	273	0	180	38	G2	155	20er	1	160	0	160
328487	2	156	154	glatte Ringe (<=500)	316	0	180	38	G2	155	40,50, 80er	1	160	0	160
327469	76	131	150	Radreifen	320	55	180	39	0	0	0	165 R	190	0	190
328648	42	139	275	Radreifen	410	55	0	39	B1	205	0	1U	210	0	210
328474	15	106	113	Radreifen	320	10	180	39	0	0	50er	130 R	190	0	190
323634	107	128	164	Radreifen	320	6	180	39	0	0	50er	150 R	190	0	190
328550	51	103	140	Radreifen	310	6	180	39	0	0	50er	150 R	190	0	190
327745	103	112	133	Radreifen	320	6	180	39	0	0	0	165 R	190	0	190
328587	10	180	685	Flansche	492	45	250	38	0	0	0	1	270	0	270
328426	19	103	105	Flansche	273	29	180	38	0	0	0	10M	210	0	210

												F				
328630	11	165	438	Flansche	406	20	215	38	0	0	0	11M	230	0	230	
												F				

ANHANG F Walzprotokoll (als Vorschlag)

Ringnummer	Auftrag	ADM.	IDM.	Höhe	Masse	Gesamzeit	1. Bearbeitungsschritt						2. Bearbeitungsschritt					
							Beginn	Ende	Dauer	Vorgang	Aggregat	Werkzeug	Beginn	Ende	Dauer	Vorgang	Aggregat	Werkzeug
1	327	97	59	15	563	08:04:	24.11.200	24.11.200	08:0	Heiz	DHO	-	24.11.200	24.11.200	00:0	Stauchen/	STP	71.0,
	214	7	1	1		30	8 08:03	8 16:06	3:00	en			8 16:06	8 16:07	1:30	Pressen		300 lang
2	327	97	59	15	563	08:04:	24.11.200	24.11.200	08:0	Heiz	DHO	-	24.11.200	24.11.200	00:0	Stauchen/	STP	71.0,
	214	7	1	1		30	8 08:06	8 16:09	3:00	en			8 16:09	8 16:10	1:30	Pressen		300 lang
3	327	97	59	15	563	08:04:	24.11.200	24.11.200	08:0	Heiz	DHO	-	24.11.200	24.11.200	00:0	Stauchen/	STP	71.0,
	214	7	1	1		30	8 08:09	8 16:12	3:00	en			8 16:12	8 16:13	1:30	Pressen		300 lang
4	328	11	89	29	787	08:20:	24.11.200	24.11.200	08:1	Heiz	DHO	-	24.11.200	24.11.200	00:0	Stauchen/	STP	34.1,
	560	15	4	3		30	8 08:12	8 16:31	9:00	en			8 16:31	8 16:32	1:30	Pressen		235 lang