

# **Advanced Approach for model-based Scheduling of the Gasoline Production Line of Refineries**

Vom Promotionsausschuss der  
Technischen Universität Hamburg-Harburg  
zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor-Ingenieur  
genehmigte Dissertation

von

Sven Orłowski

aus Hannover

2005

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. Günter Gruhn  
Technische Universität Hamburg-Harburg
2. Gutachter; Prof. Dr. rer. nat. Dr. h.c. Frerich Keil  
Technische Universität Hamburg-Harburg

Tag der mündlichen Prüfung: 22.07.2005

Berichte aus der Verfahrenstechnik

**Sven Orłowski**

**Advanced Approach for model-based Scheduling  
of the Gasoline Production Line of Refineries**

Shaker Verlag  
Aachen 2005

**Bibliographic information published by Die Deutsche Bibliothek**

Die Deutsche Bibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data is available on the internet at <http://dnb.ddb.de>.

Zugl.: Hamburg-Harburg, Techn. Univ., Diss., 2005

Copyright Shaker Verlag 2005

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-4464-6

ISSN 0945-1021

Shaker Verlag GmbH • P.O. BOX 101818 • D-52018 Aachen

Phone: 0049/2407/9596-0 • Telefax: 0049/2407/9596-9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • eMail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## Danksagung

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Arbeitsbereich Prozess- und Anlagentechnik der Technischen Universität Hamburg-Harburg.

An erster Stelle danke ich meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. Günter Gruhn. Er hat mir die Möglichkeit für die Erstellung dieser Arbeit gegeben sowie durch sein stetes Interesse und seine systematische Denkweise entscheidend zu ihrem Gelingen beigetragen. Ich bin davon überzeugt, dass das von ihm verfolgte Konzept der computerunterstützten Simulation und Optimierung verfahrenstechnischer Prozesse auch zukünftig eine entscheidende Rolle bei der Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen der verfahrenstechnischen Industrie einnehmen wird.

Herrn Prof. Dr. rer. nat. Frerich Keil danke ich für die Übernahme des Koreferats und Herrn Prof. Dr.-Ing. Gerd Brunner für das Führen des Prüfungsvorsitzes.

Das der vorliegenden Dissertation zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde durch die Siemens AG gefördert. Hier möchte ich mich insbesondere bei Dr.-Ing. Thomas Peuker für seine Unterstützung bedanken. Die erforderliche Nähe zur betrieblichen Praxis war durch die Mitarbeiter der Holborn Europa Raffinerie GmbH und der Wilhelmshavener Raffineriegesellschaft mbH gegeben. Ihren Mitarbeitern und vor allem Frau Prof. Dr.-Ing. Gordana Ciric gilt mein Dank.

Wichtige Grundlage für meine Arbeit war das weit über Kollegialität hinausgehende Verhältnis zwischen den Mitarbeitern des Arbeitsbereiches Prozess- und Anlagentechnik. Corinna Ullmer und Ingo von Poser gebührt hierbei besonderer Dank für ihre Rolle als fachliche Diskussionspartner. Desweiteren war auf Susanne Stankowitz und Holger Fitschen stets Verlass, wenn es darum ging, im Umfeld meiner Arbeit auftretende Probleme zu lösen.

Zu der vorliegenden Arbeit haben mehrere Diplomanden und Studienarbeiter durch ihren Einsatz und ihre Kreativität beigetragen. Besonders seien hierbei Jannis Stemmann, Daniel Eggers, Jan Koch, Thies Albrecht, Marco Drazic, Arne Block und Yün Kryzanowskyj genannt.

Mein ganz persönlicher Dank gilt meinen Eltern und Großeltern, die mir meine akademische Ausbildung ermöglicht haben. Besonders dankbar bin ich weiterhin Kathrin Runkel, die mich während des gesamten Entstehungsprozesses dieser Arbeit motiviert und unterstützt hat.



**Contents**

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
1.1	PROBLEM DESCRIPTION AND OBJECTIVE OF THESIS.....	1
1.2	OUTLINE OF THESIS.....	2
<b>2</b>	<b>PRODUCTION OF GASOLINE .....</b>	<b>3</b>
2.1	REFINERY PROCESSES .....	3
2.2	PRODUCTION OF GASOLINES.....	6
2.2.1	<i>Specifications of gasoline.....</i>	<i>6</i>
2.2.2	<i>Gasoline production process.....</i>	<i>8</i>
<b>3</b>	<b>REFINERY PRODUCTION MANAGEMENT.....</b>	<b>19</b>
3.1	DECOMPOSITION OF PRODUCTION MANAGEMENT.....	20
3.2	APPLIED DECOMPOSITION OF PRODUCTION MANAGEMENT IN REFINERIES.....	22
<b>4</b>	<b>APPROACH FOR COMPUTER-AIDED SCHEDULING OF THE GASOLINE PRODUCTION LINE.....</b>	<b>28</b>
4.1	ASPECTS OF SCHEDULING OF THE GASOLINE PRODUCTION LINE.....	28
4.1.1	<i>Decisions.....</i>	<i>29</i>
4.1.2	<i>Constraints.....</i>	<i>32</i>
4.1.3	<i>Objectives .....</i>	<i>34</i>
4.2	EXISTING APPROACHES FOR COMPUTER-AIDED SCHEDULING OF THE GASOLINE PRODUCTION LINE.....	36
4.2.1	<i>Requirements .....</i>	<i>36</i>
4.2.2	<i>Evaluation of methods for solving scheduling problems.....</i>	<i>36</i>
4.2.3	<i>Evaluation of existing approaches for scheduling of the gasoline production by mathematical optimisation .....</i>	<i>38</i>
4.3	NEW APPROACH FOR COMPUTER-AIDED SCHEDULING OF THE GASOLINE PRODUCTION LINE.....	42
4.3.1	<i>Overview Long-term Scheduling .....</i>	<i>43</i>
4.3.2	<i>Overview Short-term Scheduling.....</i>	<i>45</i>
4.3.3	<i>Overview Coordination .....</i>	<i>50</i>
<b>5</b>	<b>LONG-TERM SCHEDULING .....</b>	<b>54</b>
5.1	MODELLING CONCEPT.....	54
5.1.1	<i>Representation of time.....</i>	<i>55</i>
5.1.2	<i>Characterization of material streams .....</i>	<i>56</i>
5.1.3	<i>Process unit models.....</i>	<i>58</i>
5.1.4	<i>Blending models.....</i>	<i>65</i>
5.1.5	<i>Simplifications and assumptions.....</i>	<i>69</i>
5.2	MATHEMATICAL FORMULATION OF THE LTS PROBLEM.....	70

5.2.1	<i>Indices</i> .....	70
5.2.2	<i>Sets</i> .....	70
5.2.3	<i>Constants</i> .....	71
5.2.4	<i>Variables</i> .....	73
5.2.5	<i>Constraints</i> .....	74
5.2.6	<i>Objective function</i> .....	75
5.3	DECOMPOSITION OF THE LTS PROBLEM.....	79
5.3.1	<i>Review on approaches for decomposition and coordination of LTS optimisation problems</i> .....	80
5.3.2	<i>Used approach for decomposition and coordination on the LTS layer</i> .....	83
5.4	LTS SOFTWARE ENVIRONMENT.....	102
<b>6</b>	<b>SHORT-TERM SCHEDULING</b> .....	<b>104</b>
6.1	MODELLING CONCEPT.....	105
6.1.1	<i>Representation of time</i> .....	105
6.1.2	<i>Discrete modes of operation of gasoline production line upstream units</i> .....	106
6.1.3	<i>Areas of variable recipes and linearised blending models</i> .....	106
6.1.4	<i>Simplifications and assumptions</i> .....	109
6.2	MATHEMATICAL FORMULATION.....	110
6.2.1	<i>Indices</i> .....	110
6.2.2	<i>Sets</i> .....	110
6.2.3	<i>Constants</i> .....	111
6.2.4	<i>Continuous variables</i> .....	113
6.2.5	<i>Binary variables</i> .....	113
6.2.6	<i>Constraints</i> .....	114
6.2.7	<i>Objective function and additional constraints</i> .....	119
6.3	STS SOFTWARE ENVIRONMENT.....	125
<b>7</b>	<b>COORDINATION OF REFINERY PRODUCTION MANAGEMENT</b> .....	<b>127</b>
7.1	MEASURES FOR COORDINATION .....	128
7.2	COORDINATION PROCEDURE .....	130
<b>8</b>	<b>CASE STUDIES</b> .....	<b>138</b>
8.1	COMMON PREDEFINED DATA.....	138
8.2	LONG-TERM SCHEDULING PROBLEM 1.....	142
8.2.1	<i>Predefined LTS data</i> .....	142
8.2.2	<i>Partition of LTS horizon</i> .....	144
8.2.3	<i>LTS data aggregation</i> .....	145
8.2.4	<i>Determination of LTS objective</i> .....	147
8.2.5	<i>Solution</i> .....	147



8.2.6	<i>Analysis</i> .....	154
8.3	LONG-TERM SCHEDULING PROBLEM 2.....	157
8.3.1	<i>Solution</i> .....	158
8.3.2	<i>Analysis</i> .....	164
8.4	SHORT-TERM SCHEDULING PROBLEM 1.....	166
8.4.1	<i>Data for coordination</i> .....	166
8.4.2	<i>Partition of STS horizon</i> .....	167
8.4.3	<i>STS data aggregation</i> .....	167
8.4.4	<i>Determination of STS objective</i> .....	167
8.4.5	<i>Linearization of blending recipes</i> .....	169
8.4.6	<i>Solution</i> .....	171
8.4.7	<i>Analysis</i> .....	177
8.5	SHORT-TERM SCHEDULING PROBLEM 2.....	179
8.5.1	<i>Solution</i> .....	179
8.5.2	<i>Analysis</i> .....	185
<b>9</b>	<b>SUMMARY AND OUTLOOK</b> .....	<b>188</b>
<b>10</b>	<b>APPENDIX</b> .....	<b>192</b>
10.1	ABBREVIATIONS.....	192
10.2	EXAMPLE PROBLEM FOR THE USED APPROACH FOR DECOMPOSITION AND COORDINATION OF LTS PROBLEMS.....	196
10.3	STREAM CHARACTERISTICS.....	200
10.4	PROCESS UNIT MODEL MREF.....	202
10.4.1	<i>Feed stream characteristics</i> .....	202
10.4.2	<i>Product stream characteristics</i> .....	202
10.4.3	<i>Process variables</i> .....	203
10.4.4	<i>Model equations</i> .....	203
10.5	PROCESS UNIT MODEL MCOL4.....	205
10.5.1	<i>Feed stream characteristics</i> .....	205
10.5.2	<i>Product stream characteristics</i> .....	205
10.5.3	<i>Process variables</i> .....	206
10.5.4	<i>Model equations</i> .....	206
10.6	BLENDING MODELS.....	209
10.7	REFERENCES.....	211