

Beitrag zur Steuerung von arbeitsteiligen Demontagesystemen

Zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Ingenieurwissenschaften

von der Fakultät für Maschinenbau
der Universität Karlsruhe

genehmigte

Dissertation

von
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Jan Hrdina

aus Tamm

Tag der mündlichen Prüfung:	02.06.2014
Referent:	Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Gert Zülch
Korreferent:	Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer

ifab

Forschungsberichte
aus dem Institut für
Arbeitswissenschaft und
Betriebsorganisation der
Universität Karlsruhe

Herausgeber
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing.
Gert Zülch

Band 43 - 2014

Jan Hrdina

**Beitrag zur Steuerung von arbeitsteiligen
Demontagesystemen**

Shaker Verlag

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Karlsruhe, Karlsruher Institut für Technologie, Diss., 2014

Copyright Shaker Verlag 2015

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-3266-6

ISSN 0940-0559

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort des Herausgebers

Das Thema "Nachhaltigkeit" spielt in Wirtschaft und Gesellschaft Deutschlands bereits seit vielen Jahren eine wichtige Rolle. In der Stückgüterindustrie geht es dabei neben der Wiederverwertung oder Wiederaufbereitung von zuvor als Abfall deklarierten Alterzeugnissen, dem eigentlichen Recycling, auch um die Wiederverwendung von Komponenten dieser Alterzeugnisse. Um deren Teile und Baugruppen wieder zu verwenden, ist aber zuvor eine Demontage des Alterzeugnisses notwendig. Für diese Aufgaben gibt es in Deutschland bereits einige Vorschriften, die in Bezug auf die Demontage auch die Lagerung von Alterzeugnissen und die Beseitigung der darin enthaltenen Schadstoffe betreffen.

Die Praxis zeigt, dass es sich bei der Demontage von Alterzeugnissen zum größten Teil um manuelle Arbeitsvorgänge handelt. Die weitest gehend fehlende Automatisierung ist dadurch begründet, dass in Demontagesystemen kaum typenreine Alterzeugnisse zerlegt werden, sondern in aller Regel eine Vielfalt bestimmter Alterzeugnisarten vorherrscht, sodass sich mechanisierte und automatisierte Arbeitsprozesse kaum wirtschaftlich begründen lassen. Somit werden Demontagetätigkeiten im Kern manuell mit nur wenigen und zumeist handbetätigten Werkzeugen durchgeführt, und dies oft verbunden mit belastenden oder auch gefährdenden Arbeiten.

Trotzdem wächst die wirtschaftliche Bedeutung dieses Industriezweiges, wobei vielfach nicht die Hersteller der Erzeugnisse selbst die Demontage durchführen, sondern damit beauftragte Spezialbetriebe. Dies führt dann oftmals dazu, dass arbeitsteilige Demontagesysteme entstehen, in denen die gesamte Demontageaufgabe auf mehrere Stationen verteilt ist und nicht, wie oftmals in kleineren Demontagebetrieben, von einem Mitarbeiter komplett durchgeführt wird. Außerdem besteht eine gewisse Typenvielfalt, da in Demontagesystemen aus wirtschaftlicher Sicht nicht typenrein gearbeitet werden kann.

Dies führt schließlich zu der Problemstellung, der sich der Autor in seiner Dissertation widmet: Wie kann ein industrielles, arbeitsteilig

organisiertes Demontagesystem wirtschaftlich unter den Bedingungen der Typenvielfalt betrieben werden? Dabei geht der Autor davon aus, dass dieses System als getaktete Demontagelinie vorgegeben ist; weiterhin setzt er ein definiertes Demontageauftragsprogramm für einen bestimmten Zeitraum voraus. Somit ergibt sich das Problem der Steuerung dieses Auftragsprogramms innerhalb der vorgegebenen Periode.

Im Gegensatz zur Produktionsplanung und -steuerung in Montagebetrieben weist die Steuerung von Demontagesystemen jedoch einige Besonderheiten auf: So können sich zu demontierende Altbaugruppen oder teile als nicht lösbar herausstellen oder sogar als fehlend, sodass mit zunehmendem Demontagefortschritt die gewünschten Komponenten nicht mehr erreicht werden können und dafür benötigte Stationen und Mitarbeiter unbeschäftigt zu bleiben drohen. Dies aber bewirkt neue Möglichkeiten der Personalsteuerung, da die betreffenden Mitarbeiter an vorhergehenden Stationen mithelfen können.

Somit stellt sich in arbeitsteiligen Demontagesystemen vorrangig das Problem der dynamisch-reaktiven Steuerung, in deren Rahmen sich eine Reihe von Möglichkeiten ergibt, die weit über die üblichen Steuerungsmaßnahmen in der Montage hinausreichen. Der Autor entwickelt hierfür prototypisch ein Demontagesteuerungsverfahren, das diese Fragestellungen im Sinne einer möglichst wirtschaftlichen Steuerung von Demontageaufträgen löst.

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing.
Gert Zülch

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Defizite bei der Steuerung von Demontagesystemen	7
1.1 Ausgangssituation und Problemstellung	7
1.2 Zielsetzung der Arbeit	11
1.3 Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit	13
2. Stand der Planung und Steuerung von Demontagesystemen	16
2.1 Begriffsbestimmung "Demontage"	16
2.2 Begriffsbestimmung "Demontagesystem"	19
2.3 Gestaltungsalternativen der Demontageorganisation	20
2.4 Möglichkeiten der Steuerung von Demontagesystemen	23
2.4.1 Eingrenzung der Begriffe "Planung" und "Steuerung"	23
2.4.2 Einordnung der Demontagesteuerung in die Arbeitsvorbereitung	25
2.4.3 Steuerungsverfahren in der Fertigung	27
2.4.4 Berücksichtigung demontagespezifischer Besonderheiten	29
2.5 Stand der Demontageforschung zur Planung und Steuerung von Demontageabläufen	30
2.5.1 Stand der Demontagevorgangfolgeplanung in Zusammenhang mit der Demontagesteuerung	32
2.5.2 Stand der Demontageplanungs- und -steuerungs-forschung	34
2.5.3 Stand der steuerungsorientierten Ansätze	37
2.6 Beurteilung bestehender Abbildungsansätze und deren Übertragung auf arbeitsteilige Demontagesysteme	42
2.6.1 Auswahl einer geeigneten Abbildungsform für Demontageabläufe	42
2.6.2 Vorgangsorientierte Abbildungsformen für Demontageabläufe	44

2.6.2.1	Möglichkeiten und Grenzen von Vorranggraphen	44
2.6.2.2	Erweiterung von Durchlaufplänen zu Stochastischen Demontage-Durchlaufplänen	46
3.	Steuerungsmodell für arbeitsteilige Demontagesysteme	49
3.1	Berücksichtigung arbeitsteiliger Strukturen bei Demontagesystemen	49
3.2	Prinzipien der Modellentwicklung	51
3.3	Elemente eines arbeitsteiligen Demontagesystems	52
3.3.1	Abbildung der Demontageaufgabe	53
3.3.1.1	Modellierung von Alterzeugnisarten als Durchlaufpläne	54
3.3.1.1.1	Definition von Alterzeugnisarten, Aktivitäten und Funktionen	54
3.3.1.1.2	Definition von Vorgangsfolgerestriktionen und Pfaden	56
3.3.1.2	Alterzeugnisse als instanziierte Durchlaufpläne	59
3.3.1.3	Modellierung der Demontage von Altbaugruppen und Altteilen	61
3.3.1.3.1	Definition von Komponenten	62
3.3.1.3.2	Monetärer Wert von Komponenten	63
3.3.1.3.3	Implizite Modellierung von Komponenten durch Modellierung von Demontagevorgängen	64
3.3.1.4	Definition von Demontageaufträgen	66
3.3.1.5	Definition der Demontagetiefe	68
3.3.1.6	Zeitlicher Kapazitätsbedarf für Demontagevorgänge und -aufträge	68
3.3.2	Abbildung von Ressourcen	73

3.3.2.1	Demontagespezifische Ressourcen	73
3.3.2.1.1	Demontagestationen und Demontageplätze	73
3.3.2.1.2	Demontagemitarbeiter und deren Qualifikationen	74
3.3.2.2	Zeitlicher Kapazitätsbestand von Mitarbeitern	77
3.3.2.3	Demontagespezifische Arbeitsmittel	78
3.3.3	Ausgangssituation für die Demontagesteuerung	80
3.3.4	Modellierung der Reihenfolge von Alterzeugnissen	82
3.4	Erweiterung des Durchlaufplankonzeptes zur Simulation arbeitsteiliger Demontagesysteme	84
3.4.1	Anforderungen an die Modellwelt	84
3.4.2	Auswahl eines geeigneten Modells	84
3.4.3	Integration demontagespezifischer Besonderheiten	87
3.4.3.1	Integration alternativer Demontagemethoden	87
3.4.3.2	Integration von Demontagezuständen	89
3.4.3.3	Integration von nicht beeinflussbaren Demontageschwierigkeiten in Durchlaufpläne	94
3.4.3.4	Typisierung von Demontageknoten	94
4.	Entwicklung eines Steuerungsverfahrens für arbeitsteilige Demontagesysteme	96
4.1	Anforderungen an das Demontagesteuerungsverfahren	96
4.2	Zielsetzung des Demontagesteuerungsverfahrens	100
4.3	Entwicklung auf die Demontage zugeschnittener Steuerungsmaßnahmen	101
4.3.1	Variation der Demontagemethode	101
4.3.1.1	Variation von Demontagevorgangsfolgen	101
4.3.1.2	Variation von Demontagevorgängen	102
4.3.1.3	Variation von Demontagewerkzeugen	102

4.3.2	Variation der Auftragsreihenfolge	103
4.3.3	Variation der Demontagetiefe	103
4.3.4	Neuzuordnung von Demontagevorgängen zu Demontagestationen	104
4.3.5	Maßnahmen des Personaleinsatzes	106
4.3.5.1	Gegenseitiges Unterstützen von Mitarbeitern	107
4.3.5.2	Kurzfristige Anpassung der Personalkapazität	107
4.4	Integration der entwickelten Maßnahmen in ein Demontagesteuerungsverfahren	108
4.4.1	Ablauf der Demontagesteuerung	109
4.4.2	Beschreibung der Steuerungsalgorithmen	113
4.4.2.1	Generieren möglicher Ablaufalternativen für die verbleibende Taktzeit	113
4.4.2.2	Bestimmen der optimalen Demontagefolge im Entscheidungsbaum für die verbleibende Taktzeit	114
5.	Das Simulationsverfahren <i>OSim-DPS</i>	116
5.1	Modellierung von Demontagemethoden	116
5.2	Modellierung von Demontagestationen und Puffern	118
6.	Verifizierung der Wirksamkeit der Steuerungsmaßnahmen	120
6.1	Kurzfristige Neuzuordnung von Demontagevorgängen zu Demontagestationen und Variation der Demontagetiefe	121
6.1.1	Ausgangssituation und Problemstellung	121
6.1.2	Simulation der Ausgangssituation und der verbesserten Lösung	122
6.2	Erkennen einer Demontageschwierigkeit vor Demontageausführung und reaktive Steuerung	125
6.2.1	Ausgangssituation und Problemstellung	125
6.2.2	Simulation der Ausgangssituation und der verbesserten Lösung	126
6.3	Erkennen einer Demontageschwierigkeit nach Demontageausführung und reaktive Steuerung	129

6.3.1	Ausgangssituation und Problemstellung	129
6.3.2	Simulation der Ausgangssituation und der verbesserten Lösung	130
6.4	Wahl alternativer Werkzeuge mit unterschiedlichen Durchführungszeiten und Ausführbarkeitswahrscheinlichkeiten	133
6.4.1	Ausgangssituation und Problemstellung	133
6.4.2	Simulation der Ausgangssituation und der verbesserten Lösung	134
6.5	Einsatz eines Springers	136
6.5.1	Ausgangssituation und Problemstellung	136
6.5.2	Simulation der Ausgangssituation und der verbesserten Lösung	138
6.6	Fazit der Versuchsreihe	140
7.	Anwendung des Steuerungsverfahrens auf ein praxisnahes Beispiel	141
7.1	Eingangsdaten der Simulationsuntersuchung	141
7.2	Ausgangssituation und mögliche Verbesserungen	144
7.3	Ergebnisse der Simulation	146
7.3.1	Ergebnis der Ausgangssituation	146
7.3.2	Ergebnisdarstellung der ersten Verbesserungslösung	147
7.3.3	Ergebnisdarstellung der zweiten Verbesserungslösung	149
7.3.4	Ergebnisdarstellung der dritten Verbesserungslösung	150
7.4	Fazit der Simulationsuntersuchung	152
8.	Zusammenfassung und weiterführende Aspekte	153
8.1	Zusammenfassung	153
8.2	Weiterführende Aspekte der vorgestellten Arbeit	154
8.3	Betriebsorganisatorisches Forschungspotenzial	155
8.4	Arbeitswissenschaftliches Forschungspotenzial	158
9.	Literaturverzeichnis	161
9.1	Quellen	161

9.2	Verwendete Software	199
10.	Verzeichnis der Formelzeichen und Abkürzungen	200
10.1	Formelzeichen	200
10.2	Abkürzungen	208