



TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt

Neue Methoden zur Effizienzanalyse in verketteten Produktionslinien am
Beispiel von Getränkeabfüllanlagen

Stefan Walter Flad

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender:

Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Becker

Prüfende/-r der Dissertation:

1. Prof. Dr. rer. nat. Horst- Christian Langowski

2. Prof. Dr.-Ing. Hans Michael Eßlinger

Diese Dissertation wurde am 27.07.2017 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 29.11.2017 angenommen.

Vorwort

Diese Arbeit entstand im Wesentlichen in meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Lebensmittelverpackungstechnik der Technischen Universität München. Dort war ich 7 Jahre vom 1.1.2009 bis zum 31.12.2015 tätig. Die finale Überarbeitung fand dann in den Jahren 2016 und 2017 statt.

Ich möchte mich hiermit ganz herzlich bei allen bedanken, die auf ganz unterschiedliche Weise zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Mein erster Dank gilt dabei Prof. Dr. rer. nat. Horst-Christian Langowski. Er ermöglichte mir durch meine Anstellung erst die Erstellung dieser Dissertation. Besonders danke ich ihm für das Vertrauen, dass er mir während meiner ganzen Zeit am Lehrstuhl geschenkt hat. Ich konnte eigene Schwerpunkte setzen und bearbeitete diese selbstständig. Trotzdem stand seine Tür zu jeder Tages- und Nachtzeit offen, wenn es ein schwerwiegendes Problem zu lösen gab. Dieses Vertrauen formte mich für meine berufliche Laufbahn. Ein weiterer Dank geht an Prof. Dr.-Ing. Hans Michael Eßlinger als Zweitprüfer und an Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Becker als Prüfungsvorsitzenden.

Das Forschungsprojekt LineMET war eine wesentliche Grundlage der Inhalte dieser Dissertation. Ich danke allen, die daran mitgearbeitet haben. Prof. Dr. Peter Struss und Dr. Dressler für ihren Input beim Thema modellbasierte Diagnose, den Projektpartnern vom Fraunhofer AVV in Dresden (jetzt Fraunhofer IVV Dresden). Und natürlich Danke an Dr.-Ing. Axel Kather, der als mein Vorgänger am Lehrstuhl die Grundlagen für meine Arbeit geschaffen hat.

Mein zweiter Dank gilt unserem Lehrstuhl LVT. Dort im Besonderen Dr.-Ing. Tobias Voigt für die konstruktive Zusammenarbeit. Alle Mitarbeiter sind mir in meiner langen Lehrstuhlzeit sehr ans Herz gewachsen, sei es bei zahlreichen Lehrstuhlbesprechungen, legendären Ausflügen, köstlichen Feierabendbieren und allen anderen Dingen, die die Arbeit etwas erträglicher machten! Mein Dank gilt: Birgit Pichotta für die unermüdliche Unterstützung aus dem Verwaltungsbüro. Aus meiner Anfangszeit Julia Sterr, Axel Kather, Sven Franke, Andre Sorgatz, Christoph Nophut, Heiner Vogelpohl, Tobias Richter, Dipl.-Ing. „Tissi“ Matthias Ebner und Florian Loibl. Die Jahre über Isabell Osterroth, Xinyu Chen, Agnes Auer, Corinna Franke und Benedikt Fleckenstein.

Gefreut hat mich auch die gute Verbindung zu den Kollegen der Studienfakultät, bei denen man in schwierigen Zeiten ein offenes Ohr und etwas Ablenkung fand. Namentlich kann ich nicht alle nennen, aber unter anderem waren da Manuela Stöberl, Meike Meißner, Anita Balling, Roman Werner und Christine Gaudermann.

Des Weiteren konnte meine Arbeit nur das werden, was sie ist, durch die Zuarbeit meiner Studentinnen und Studenten. Ich möchte mich bei Christoph Dürr, Emanuel Jahl, Julius Langosch, Christoph Thürauf, Andreas Koch, Xinyu Chen, Diego Hincapie, Raban Hoffmann, Björn Kneibert, Moritz Kindlein, Christian Neukirchinger, Johanna Röther, Patrick Huber, Maria Sidon, Magdalena Giermann, Felix Braun, Lorenz Lachner, Robert Pompe, Paul Sagurna, und Andri Schrade bedanken, sowie bei Benedikt Naab, der leider viel zu früh von uns gegangen ist,.

Zu guter Letzt geht mein ganz besonderer Dank an meine Familie, meine Brüder Martin und Andreas, meine Mutter Inge und meinen Vater Walter. Ihr habt immer an mich geglaubt und mich unterstützt, und musstest auch so das ein oder andere ertragen, wenn's mal nicht so lief! Auf eure Unterstützung in jeglicher Hinsicht ist immer Verlass! Besonders möchte ich auch noch meinen Vater Walter herausheben, der mich nach meiner Zeit am Lehrstuhl am Technische Büro Weihenstephan GmbH einstellte und mich zum Mitgesellschafter machte. Und natürlich auch Danke an meine Frau Regina. Sie hat mich auch in der sehr intensiven Zeit am Ende der Arbeit angetrieben und mich zum Weitermachen ermutigt. Sie hat mir mit unserem kleinen Willi das größte Geschenk gemacht, dem ich diese Arbeit widmen möchte.

Diese Arbeit ist Willi Paul Flad gewidmet.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	II
Inhaltsverzeichnis.....	1
Abbildungsverzeichnis.....	4
Tabellenverzeichnis.....	6
1 Einleitung.....	8
1.1 Motivation und Problemstellung.....	8
1.2 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit.....	11
2 Stand des Wissens.....	13
2.1 Verkettete Produktionslinien.....	13
2.1.1 Definition und Aufbau verketteter Produktionslinien.....	13
2.1.2 Eigenschaften von Getränkeabfüllanlagen.....	14
2.1.3 Industrielle Automatisierung in der Produktionstechnik.....	16
2.1.4 Ontologisches und semantisches Informationsmodell in Verpackungs- und Getränkeabfüllanlagen.....	18
2.1.5 IT-Systeme in der Lebensmittelindustrie.....	23
2.1.6 Zusammenfassung und Bewertung.....	25
2.2 Effizienzbewertung in Abfüll- und Verpackungsanlagen.....	26
2.2.1 Kennzahlensysteme.....	26
2.2.2 DIN 8782.....	27
2.2.3 DIN 8743.....	28
2.2.4 OEE (Overall Equipment Effectiveness).....	28
2.2.5 Zusammenfassung und Bewertung.....	31
2.3 Schwachstellenanalyse von Getränkeabfüllanlagen.....	31
2.3.1 Schwachstellenanalyse zur Analyse der Planungseffizienzverluste (Planning Efficiency).....	32
2.3.2 Schwachstellenanalyse zur Analyse der Verfügbarkeitsverluste (Availability).....	32

2.3.3	Schwachstellenanalyse zur Verbesserung von Leistungsfaktorverlusten (Performance)	33
2.3.4	Schwachstellenanalyse zur Verbesserung des Qualitätsfaktorverlusten (Quality) 34	
2.3.5	Zusammenfassung.....	35
2.4	Modellbasierte Effizienzanalyse in Abfüllanlagen	35
2.4.1	Grundlagen der konsistenzbasierten Diagnose	35
2.4.2	Numerische Modellkomponenten zu Diagnosezwecken.....	36
2.4.3	Zeitliche Modellierung von Getränkeabfüllanlagen	39
2.4.4	Tool zur Diagnose	42
2.4.5	Grenzen der modellbasierten Diagnose nach Kather und Voigt [55; 128].....	44
2.5	Zusammenfassung der Grundlagen und daraus abgeleiteter Handlungsbedarf	46
3	Methode zur Schaffung einer verbesserten Datengrundlage für den Einsatz der modellbasierten Diagnose	48
3.1	Methoden zur standardisierten Abnahme von Maschinen in der Verpackungstechnik 48	
3.2	Experimentelle Validierung der Methode	50
3.2.1	Validierung der Methode Verbesserung der Datenqualität	50
3.2.2	Methoden zur Bewertung der Auswirkung der verbesserten Datenqualität auf die Effizienzanalyse.....	51
3.3	Ergebnisse und Diskussion der Methode Validierung der Datenbasis	52
3.3.1	Ergebnisse und Diskussion der Validierung der Abnahmemethoden.....	52
3.3.2	Bewertung der Auswirkung der verbesserten Datenqualität auf die Effizienzanalyse	53
4	Methoden und Modellierung der modellbasierten Diagnose	55
4.1	Qualitative Modellierung von Komponenten in Getränkeabfüllanlagen	55
4.1.1	Komponente - Machine Serial (MS).....	59
4.1.2	Komponente - Combine Element (CE)	61
4.1.3	Komponente - Separate Element (SE)	62
4.1.4	Komponente - Transportation Element.....	64
4.1.5	Komponente - Split.....	65

4.1.6	Komponente Merge.....	68
4.2	Diagnose von Minderleistungen	70
5	Methoden und Materialien zur Validierung der Modellbasierten Diagnose.....	75
5.1	Verifizierungs- und Validierungsmethoden der Komponenten Split and Merge.....	75
5.1.1	Verifizierung der Einzelkomponenten	75
5.1.2	Validierung von Split und Merge mittels simulierter Betriebsdaten.....	78
5.2	Validierung der modellbasierten Diagnose durch Versuchsanlagen	79
5.2.1	Anlage A	80
5.2.2	Anlage B	80
5.2.3	Anlage C	81
5.2.4	Aufnahme von manuellen Diagnosedaten zum Zwecke der Validierung.....	82
5.3	Validierungsmethoden der Modellkomponenten für Minderleistung.....	83
6	Ergebnisse der Validierung und Diskussion.....	85
6.1	Erweiterte Modelle Split and Merge.....	85
6.1.1	Ergebnisse und Diskussion der Verifikation der Einzelkomponenten.....	85
6.1.2	Ergebnisse und Diskussion der Diagnose mit simulierten Daten	86
6.2	Ergebnisse und Beurteilung der Validierung der modellbasierte Diagnose in realen Getränkeabfüllanlagen.....	89
6.2.1	Anlage A	89
6.2.2	Anlage B	92
6.2.3	Anlage C	97
6.2.4	Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse	98
6.3	Modellerweiterung auf Minderleistung	99
7	Zusammenfassung.....	101
8	Ausblick.....	103
9	Literaturverzeichnis	104
10	Anhang.....	i

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Schematische Struktur einer verketteten Anlage	9
Abbildung 1-2: Aufbau der Arbeit.....	12
Abbildung 2-1: Produktionslinie mit k-Arbeitsstationen n, m bzw. p parallel angeordneten Maschinen M und k Puffern B [82].....	13
Abbildung 2-2: Stufen des Verpackungsprozess nach [9].....	14
Abbildung 2-3: Verfahrensschema MW-Flaschen-Füllanlage nach [64].....	14
Abbildung 2-4: Berg'sches V-Diagramm für Abfüllanlagen [125].....	16
Abbildung 2-5: Die Automatisierungspyramide	16
Abbildung 2-6: Automatisierungsdiabolo nach [123]	18
Abbildung 2-7: WS Status Modell [56]	22
Abbildung 2-8 Funktionales Modell von MES [118].....	25
Abbildung 2-9: OEE-Zeitenmodell nach [72].....	29
Abbildung 2-10: Klassifikation von Produktionsverlusten zur Kennzahlenberechnung [71] ...	30
Abbildung 2-11: Lean - A framework [43].....	34
Abbildung 2-12: Prinzip der modellbasierten Diagnose [128].....	36
Abbildung 2-13: Komponente Material Transporter (MT)	38
Abbildung 2-14: Modellbasierte Diagnose, Beispiel Zeitmodell.....	40
Abbildung 2-15: Beispiel Zeitliche Modellierung (Lack-Model)	42
Abbildung 2-16: Architektur des Diagnosetools aus [108].....	43
Abbildung 2-17: Grenzen der modellbasierten Effizienzanalyse fehlende Objekttypen	46
Abbildung 3-1: Konzept Schnittstellenabnahme	48
Abbildung 3-2: Ablauf der standardisierten Schnittstellenabnahme	49
Abbildung 3-3 Zeichnung des Versuchsrundläufer	51
Abbildung 4-1: Allgemeiner Aufbau einer Modellkomponente.....	55
Abbildung 4-2: Beispiel Diagnose Komponente	57
Abbildung 4-3: Komponente - Machine Serial (MS)	59
Abbildung 4-4: Komponente - Combine Element.....	61
Abbildung 4-5: Komponente - Separate Element.....	63
Abbildung 4-6: Komponente - Transportation Element (with buffer).....	64
Abbildung 4-7: Schematische Darstellung der geführten Aufteilung von Objekten. a) Geführter Fluss zu einem Output bei geringem Fluss. b) Grenzbetrachtung Out1 kann Fluss gerade so alleinig aufnehmen c) Out 2 übernimmt Anteile des Flusses.....	65
Abbildung 4-8: Schematische Darstellung zufällige Aufteilung von Objekten	66
Abbildung 4-9: Komponente - Random Split Element.....	66
Abbildung 4-10: Komponente - Preferred Split Element.....	68

Abbildung 4-11: Schematische Darstellung zusammenführen von Flaschen	69
Abbildung 4-12: Komponente - Merge Element	69
Abbildung 4-13: Beispiel Diagnose von Minderleistung	71
Abbildung 5-1: Validierungsszenario A (Split) und B (Merge)	77
Abbildung 5-2: Validierungsszenario C	78
Abbildung 5-3: Validierung Split und Merge Beispiel Testfall 1	79
Abbildung 5-4: Struktur Anlage A	80
Abbildung 5-5: Struktur Anlage B	81
Abbildung 5-6: Struktur Anlage C	82
Abbildung 5-7: Struktur Validierungsobjekt (Modellerweiterung Minderleistung)	84
Abbildung 6-1: Ganttchart Betriebsdaten Szenario 5 (grün = Betrieb, blau = Mangel, gelb = Stau)	87
Abbildung 6-2: Diagnosediskussion Anlage B Fall 1	95
Abbildung 6-3: Diagnosediskussion Anlage B Fall 2	96

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: WS Communication Interface (nach ISO/OSI Referenzmodell).....	20
Tabelle 2-2: Übersicht Befehle nach WS	20
Tabelle 2-3: MES-Funktionen (-aufgaben) nach VDI 5600 [118].....	24
Tabelle 2-4: Definitionen von Leistungskennzahlen (Auswahl nach [131]).....	27
Tabelle 2-5: Modellkomponenten der modellbasierten Diagnose nach KATHER [55].....	38
Tabelle 2-6: State Variables, Parameters und Interfaces des MT aus [107].....	37
Tabelle 3-1: Ergebnisse der standardisierten Schnittstellenabnahmen. a) Versuchsrundläufer, b) Demobox, c) Falt- und Füllmaschine.....	52
Tabelle 3-2: Überprüfung des Betriebsstatus der Demomaschinen	53
Tabelle 3-3: Ergebnisse Auswirkungen invalide Datenbasis (Versuchsrundläufer)	54
Tabelle 4-1: Beispiel OK-Modell Komponente 1	57
Tabelle 4-2: Statusinformationen für die modellbasierte Diagnose	58
Tabelle 4-3: Komponenten der modellbasierte Diagnose nach Kather [55; 128].....	59
Tabelle 4-4: OK-Modell - Machine Serial	60
Tabelle 4-5: OK-Model - Combine Element	62
Tabelle 4-6: OK-Model - Separate Element	64
Tabelle 4-7: OK-Model - Transportation Element (with buffer)	65
Tabelle 4-8: OK-Model - Random Split Element	67
Tabelle 4-9: OK-Model - Preferred Split Element.....	68
Tabelle 4-10: OK-Model - Merge Element	69
Tabelle 4-11 Model component: Machine Serial (extended minor speed).....	72
Tabelle 4-12 Model component: Combine (extended minor speed)	72
Tabelle 4-13: Model component: Seperate (extended minor speed).....	72
Tabelle 4-14: Model component: Transportation Element (extended minor speed)	74
Tabelle 5-1: Validierungssätze Szenario A (Split)	76
Tabelle 5-2: Validierungssätze Szenario B (Merge)	78
Tabelle 5-3: Testfälle Validierungsszenario Split, Merge	79
Tabelle 5-4: Validierungsszenarien Modellerweiterung Minderleistung.....	83
Tabelle 6-1: Ergebnisse Verifizierungsszenario A (Split)	85
Tabelle 6-2: Ergebnisse Verifizierungsszenario B (Merge)	86
Tabelle 6-3: Ergebnisse Validierung (Szenario C)	87
Tabelle 6-4: Diskussion Szenarien C 1,2,5 und 6 (Daten in Anhang).....	88
Tabelle 6-5: Zusammenfassung Validierung Anlage A	90
Tabelle 6-6: Fehldiagnosen Abnahme Anlage A (Auszug aus Anhang Ei I))	91
Tabelle 6-7: Zusammenfassung Validierung Anlage B	92

Tabelle 6-8: Fehldiagnosen Abnahme Anlage B (Anhang Eii))	93
Tabelle 6-9: Zusammenfassung Validierung Anlage C	97
Tabelle 6-10: Fehldiagnosen Abnahme Anlage C (Anhang EiiiI))	98
Tabelle 6-11: Vergleich der Validierung mit veröffentlichten Diagnosevalidierungen nach [55; 128]	98
Tabelle 6-12: Ergebnisse Diagnosemodellerweiterung Minderleistung	100

1 Einleitung

1.1 Motivation und Problemstellung

Das Abfüllen und Verpacken sind zwei komplexe Schritte bei der Produktion von Lebensmitteln und Getränken. Da die Lebensmittelindustrie Güter für den menschlichen Verzehr produziert, werden besonders hohe Anforderungen an Qualität und Sicherheit der Produkte gestellt und vom Gesetzgeber gefordert. Diese Anforderungen werden durch immer wieder auftretende Lebensmittelskandale (siehe [25], [33], [50]) fortlaufend verschärft. So müssen nicht nur die gleichbleibende Produktqualität und der Schutz des Produkts gegen äußere Einflüsse gewährleistet, sondern auch die Rückverfolgbarkeit fast jedes einzelnen Inhaltsstoffes möglich sein. Der Markt verlangt darüber hinaus eine breite Produktpalette bei einem gleichzeitigen Höchstmaß an Flexibilität in der Produktion, Abfüllung und Verpackung.

Aber auch der Kostendruck ist ein entscheidender Faktor bei der Produktion von Lebensmitteln. Zur rentablen Abfüllung werden Anlagen mit Geschwindigkeiten von bis zu 90.000 Behältern pro Stunde betrieben. Der Ausnutzungsgrad liegt bei bestehenden Anlagen heutzutage zwischen 50 – 75 % [29; 36]. Durch technische Maßnahmen lassen sich häufig Verbesserungen um bis zu 5 % erzielen [124]. Das monetäre Potential durch eine beispielhafte Effizienzsteigerung von ca. 1% liegt bei ca. 38.000 - 50.000€ pro Jahr bei einer mittelgroßen Abfüllanlage [124; 127]. Gründe für die niedrige Effizienz können unter anderem komplexe Verpackungs- und Gebinde-Varianten, falsche Anlagendimensionierung, schlechte Produktionsplanung, Störungen und/oder Qualitätsdefizite sein. Die Komplexität der Anlagen macht es schwierig, Optimierungsmaßnahmen zu treffen, die die Effizienz erhöhen. Genau hier setzt diese Arbeit an. Es sollen Mechanismen entwickelt werden, um Schwachstellen in Anlagen zu identifizieren, die die Effizienz von Getränkeabfüllanlagen negativ beeinflussen können.

Die Effizienz von Anlagen kann durch die Overall Equipment Efficiency (OEE) [4; 71; 72; 85; 90] bewertet und gemessen werden. Bei den OEE-Kennzahlen werden Effizienzverluste in folgende Gruppen klassifiziert: geplante Stillstandzeiten, ungeplante Stillstände, Geschwindigkeitsverluste und Qualitätsverluste. Für die Verlustarten gibt es bereits Methoden, Schwachstellen im System zu finden und durch Optimierungen die Effizienz der Anlage zu erhöhen. Im Bereich der ungeplanten Stillstände und der Geschwindigkeitsverluste ist die Schwachstellenanalyse auf Grund der Anlagenkomplexität allerdings problematisch. Es ist nicht trivial zuzuordnen, welche Störungen an Maschinen verantwortlich für Effizienzverluste der ganzen Anlage sind [31; 55; 108].

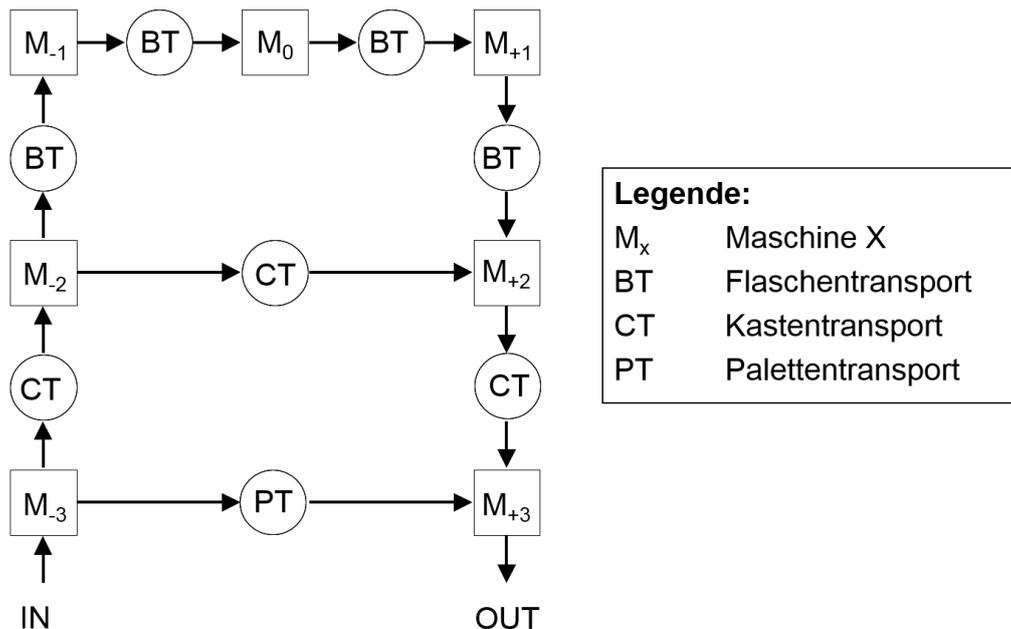


Abbildung 1-1: Schematische Struktur einer verketteten Anlage

Abbildung 1-1 zeigt die Struktur einer verketteten Anlage. Das zentrale und somit effizienzgebende Aggregat jetzt am Beispiel einer Getränkeabfüllanlage ist zumeist die Flaschenfüllmaschine (hier M_0). Störungen von anderen Maschinen wirken sich zeitlich versetzt auf die zentrale Maschine aus, da die Transporteure zwischen den Maschinen als Flaschenpuffer dienen. Somit kann zum Zeitpunkt der Störung am Zentralaggregat das verursachende Aggregat schon wieder in Betrieb sein. Auch können sich Störungen über sekundäre (z. B. Kasten) oder tertiäre (z. B. Paletten) Materialströme fortpflanzen. Für die Schwachstellenanalyse müssen die Ursachen gefunden werden, die den Stillstand oder auch den eingeschränkten Betrieb der zentralen Maschine erklären können. Dies kann beispielsweise die Störung einer expliziten Maschine sein, die zu einem Flaschenmangel an den folgenden Maschinen führt, bis es zum Stillstand des zentralen Aggregats kommt.

Zur Erkennung der Schwachstellen werden aktuell manuelle Abnahmen an Getränkeabfüllanlagen durchgeführt [124; 129]. Diese zeichnen sich durch einen Stichprobencharakter aus, sind zeit-, kosten- und personalintensiv und somit nicht zur dauerhaften Bewertung von Abfüllanlagen geeignet. Zwei kommerzielle Tools [62; 63] bieten ebenfalls die Möglichkeit der Füller-Stillstanddiagnose. Zum einen ist das der „Filler Stop Tracker“ [63], bei dem Störgründe durch manuelle Eingabe des Mitarbeiters zugewiesen werden. Die Qualität der Diagnose hängt damit stark von zahlreichen Faktoren wie der Ausbildung des Personals, dessen subjektiver Wahrnehmung oder der zur Verfügung stehenden Zeit (evtl. hat die Person weitere Tätigkeiten) ab. Das „Downalyse KID“ ist die zweite Lösung. Allerdings ist sie auf die Diagnose des primären Materialstroms beschränkt, so dass Fehler in Materialnebenströmen nicht berücksichtigt werden können.

Auch von wissenschaftlicher Seite wurden verschiedene Methoden entwickelt, um Schwachstellen in Getränkeabfüllanlagen automatisch zu identifizieren. Eine Methode wurde mit neuronalen Netzen realisiert [126]. Die Methode liefert Diagnoseergebnisse mit Erkennungsgenauigkeiten zwischen 98,3-100 %, allerdings stellte sich die Methode bei der Adaption an Neuanlagen bzw. bei Änderungen bestehender Anlagen als sehr aufwändig heraus, so dass sie nicht den Weg in die industrielle Praxis gefunden hat. Die „Route Cause Analysis“ ist eine weitere Methode, die von [55] und [113] beschrieben wird und die eine Fehlerdetektion auf Grund eines regelbasierten Algorithmus zulässt. Allerdings ist auch hier wegen der aufwendigen Adaption in neuen Anlagen keine Praxisrelevanz gegeben.

Die modellbasierte Diagnose (MBD) wird als der vielversprechendste Weg für die Schwachstellenanalyse gesehen [30; 55; 128]. Allerdings ist diese noch nicht vollständig entwickelt. Die Diagnosequalität liegt bei bis zu 95% [128] allerdings ist der Streuungsbereich im Bereich von 63,6 bis 95,4 % angegeben [55; 128]. Dazu kommt, dass die Absicherung der Ergebnisse nicht gegeben ist, da bisher lediglich eine simulierte Anlage und zwei reale Anlagen für die Validierung der modellbasierten Diagnose betrachtet wurden. Von den zwei Praxisanlagen wurde bei einer eine Diagnosegenauigkeit von 68% festgestellt. Auch die Definition der Komponentenbibliotheken ist nicht vollständig abgeschlossen. So werden in den existierenden Quellen Komponenten unterschiedlich bezeichnet und in den Bibliotheken sind nicht alle Komponenten enthalten, so dass es bisher nicht möglich ist alle Arten von Getränkeabfüllanlagen abzubilden. Auch fehlen beispielsweise Modelkomponenten, bei denen sich Materialströme teilen bzw. vereinigen. Prinzipiell ist die Tauglichkeit der Methode erwiesen und auch die Adaption an neue Anlagen ist in der modellbasierten Diagnose möglich, der experimentelle Nachweis der Anwendbarkeit muss aber noch erbracht werden. Ein weiterer Diagnoseaspekt, der in der Literatur als mögliche Erweiterung der modellbasierten Diagnose genannt ist, ist die Diagnose von Minderleistungen. Hier wurden allerdings noch keine Entwicklungen vorangetrieben [31].

Ein Problem, das die Validierung der modellbasierten Diagnose in der Vergangenheit behinderte, war die mangelnde Datenqualität in Getränkeabfüllanlagen [55]. Prinzipiell ist die Datenbasis in Getränkeabfüllanlagen zwar durch eine standardisierte, semantische und ontologische Schnittstelle („Weihenstephaner Standards“) [56] exakt definiert, allerdings entstehen Fehler in der Interpretation und der praktischen Umsetzung seitens des Maschinenbaus. Somit sollen in der vorliegenden Arbeit auch Methoden entwickelt werden, die eine Verbesserung der Datenqualität bringen, um künftig eine Validierung zu ermöglichen und die modellbasierte Diagnose anwendbar zu machen.

1.2 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit

Ziel der Arbeit ist es, neue Methoden zur modellbasierten Diagnose von Getränkeabfüllanlagen zu entwickeln bzw. bestehende Grundlagen derart weiterzuentwickeln, dass eine abgesicherte, experimentelle Validierung an Hand von realen Getränkeabfüllanlagen durchgeführt werden kann.

Als Grundlage für die Effizienzanalyse dient dazu die Vorarbeit von Kather [55], der die generelle Funktionsweise der modellbasierten Diagnose nachgewiesen hat (auch [128]). Aufgabe dieser Arbeit ist es, die Komponentenbibliotheken zu standardisieren und um Komponenten zu erweitern, die bisher nicht berücksichtigt wurden (z. B. Materialstromteilung und –Vereinigung). Des Weiteren muss eine experimentelle Validierung der neuen Komponentenbibliothek sowie der modellbasierten Diagnose mit Hilfe von verschiedenen realen Abfüllanlagen erfolgen, um die Praxistauglichkeit der Diagnosemethode nachzuweisen und die Übertragbarkeit der Methode auf unterschiedliche Anlagen bewerten zu können.

Ein weiterer Aspekt ist zu untersuchen, in wie weit die modellbasierte Methode erweitert werden kann. So wird die Minderleistung als weiterer Grund für Effizienzverluste in den Diagnosefokus gestellt und überprüft, ob eine Anwendung möglich ist.

Die Vorarbeiten sowie die Literatur zur modellbasierten Diagnose haben gezeigt, dass die Diagnoseergebnisse wesentlich durch schlechte Datenqualität beeinflusst werden. Deshalb wird zusätzlich eine grundlegende Methode entwickelt, die die Datenqualität und somit die Diagnosequalität verbessert. Dies soll durch eine standardisierte Abnahme der semantischen und ontologischen Schnittstelle geschehen.

Daraus ergibt sich folgendes Vorgehen für diese Arbeit (siehe Abbildung 1-2).

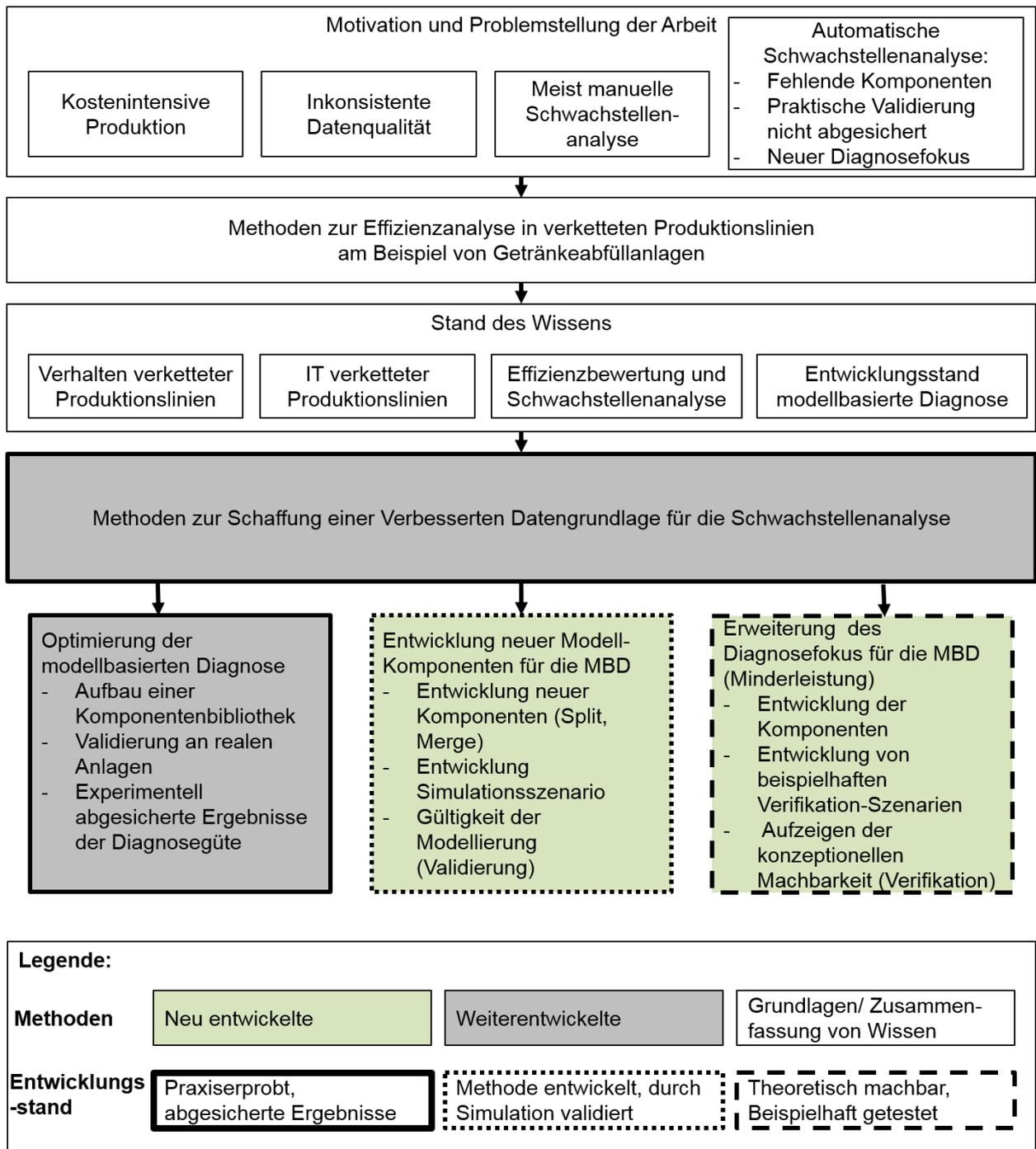


Abbildung 1-2: Aufbau der Arbeit

2 Stand des Wissens

2.1 Verkettete Produktionslinien

2.1.1 Definition und Aufbau verketteter Produktionslinien

Eine Produktionslinie aus produktionstheoretischer Sicht ist sie ein Subsystem eines Produktionssystems, das einen Produktionsprozess durchführt [84]. „Der Produktionsprozess ist der Vorgang, in dem durch geeignete Kombination und Transformation der Einsatzfaktoren die gewünschten Produkte entstehen. (...)“ [95]. Eine Produktionslinie (manufacturing flow line) ist aufgebaut aus Material, Arbeitsbereichen und Lagern [8]. Materialien werden von Arbeitsbereich zu Arbeitsbereich über die Lager transportiert und bearbeitet.

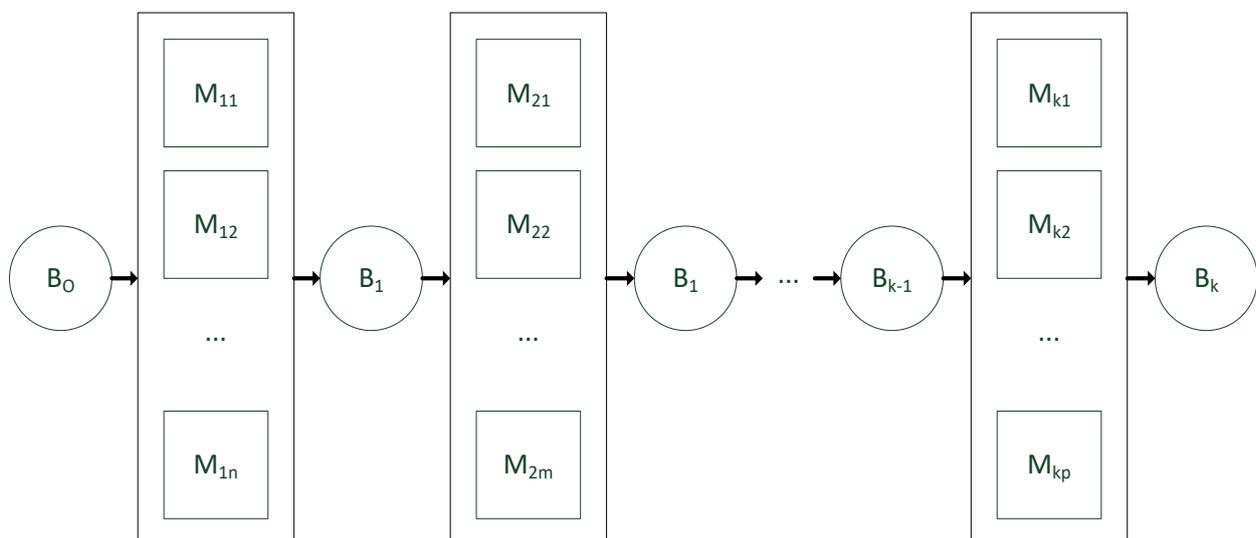


Abbildung 2-1: Produktionslinie mit k-Arbeitsstationen n, m bzw. p parallel angeordneten Maschinen M und k Puffern B [82]

In dieser Arbeit werden unter Material zumeist diskrete Werkstoffe, Betriebsmittel und Arbeitsleistungen gesehen. Arbeitsbereiche werden durch diskrete Maschinen repräsentiert und Lager durch Pufferstrecken zwischen den Maschinen. Maschinen sind hier im speziellen Geräte, die Verpackungsvorgänge (siehe unten) durchführen, in dem sie Energie-, Stoff- und Informationsflüsse zum Ausführen von Arbeitsvorgängen umwandeln. Ein Spezialfall an Produktionslinien sind Linien mit verzweigenden Materialnebenströmen. So treten in Anlagen, in denen z. B. Transporteinheiten zum An- und Abtransport verwendet werden, geschlossene Material-Nebenströme auf (Beispiel Europaletten).

2.1.2 Eigenschaften von Getränkeabfüllanlagen

Getränkeabfüllanlage sind spezielle Verpackungsanlagen, die aus einer Reihe hochspezialisierter Verpackungsmaschinen bestehen. Sie führen einen mehrstufigen Verpackungsprozess aus, um das Packgut bis zur fertigen Ladeeinheit zu verpacken (siehe Abbildung 2-2). Die Verpackung ist ein Produkt, das zur Aufnahme, zum Schutz, zur Handhabung, Lieferung und Darbietung von Waren dient [13].

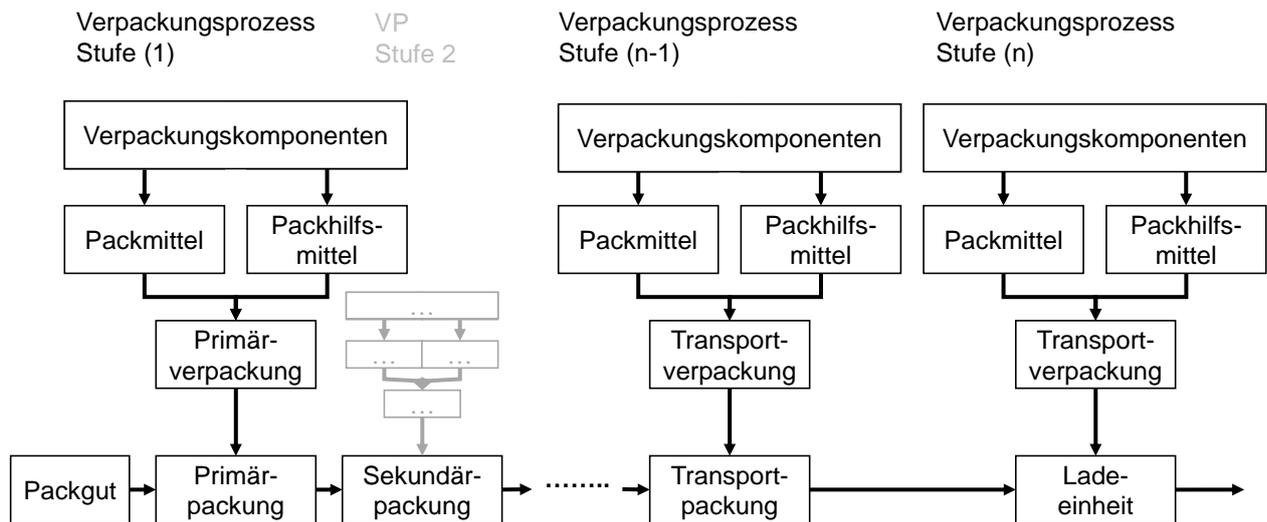
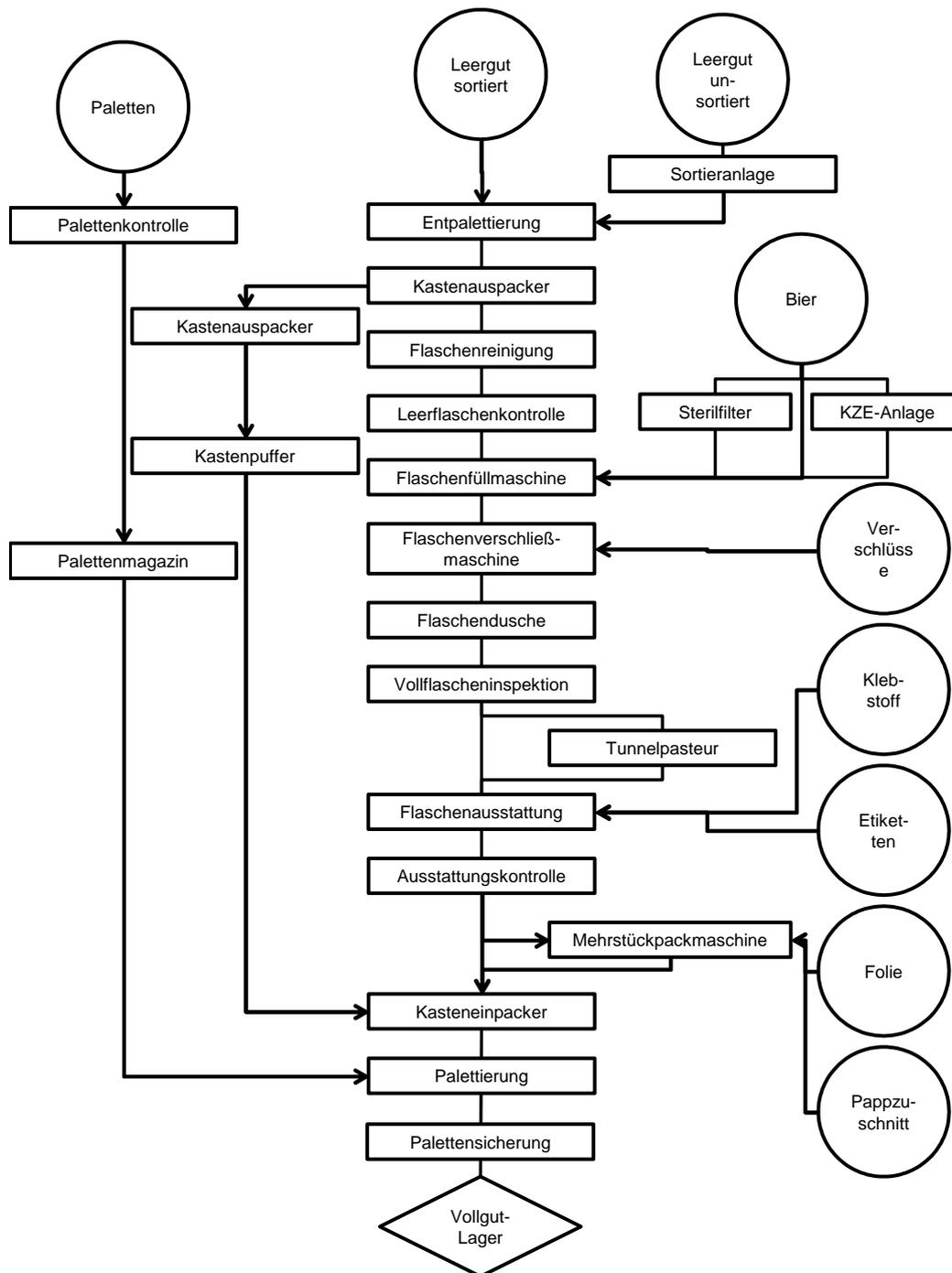


Abbildung 2-2: Stufen des Verpackungsprozess nach [9]

Im Folgenden wird exemplarisch eine Abfülllinie für Bier in Mehrwegflaschen genauer betrachtet (siehe Abbildung 2-3).

Abbildung 2-3: Verfahrensschema MW-Flaschen-Füllanlage nach [64]

Die wesentlichen Vorgänge des Verpackungsprozesses von MW-Flaschen sind das Auspacken, Reinigen, Füllen, Verschließen, Ausstatten und Einpacken von Flaschen (siehe Abbildung 2-3). Des Weiteren werden aber auch Bearbeitungsschritte abseits des Behälterstroms durchgeführt, wie das Bereitstellen von Füllgut, Pufferung und Transport von Sekundär- und Tertiärgebinden oder das Bereitstellen von Packhilfsmitteln. Alle Verfahrensschritte werden von einzelnen Verpackungsmaschinen bzw. auch mehrere Schritte von einer Maschine durchgeführt. Dabei kommt es zu Störungen, die die Effizienz der gesamten Anlage beeinträchtigen. Durch eine Entkoppelung der einzelnen Maschinen wird versucht, den Einfluss der einzelnen Aggregate aufeinander so gering wie möglich zu halten. Dies geschieht durch Transportbänder, die gleichzeitig als Puffer fungieren (vgl. auch Kapitel 1.1).



In der Getränkeabfülltechnik hat sich aus wirtschaftlichen sowie qualitativen Aspekten bewährt, die Flaschenfüllmaschine als effizienzgebendes Aggregat zu definieren. Um einen möglichst fehlerarmen (d. h. effizienten) Betrieb dieses Aggregats zu gewährleisten, müssen die Pufferstrecken vor der Flaschenfüllmaschine als Anti-starve und dahinter als Anti-block-Puffer betrieben werden [103]. Anti-starve-Puffer sind Pufferstrecken die im Normalbetrieb gefüllt betrieben werden, um die Versorgung des Nachfolgeaggregats sicher zu stellen (z. B. Puffer vor Flaschenfüllmaschine). Anti-block Puffer werden im Gegensatz dazu leer betrieben, um einen möglichst störungsfreien Betrieb der vorangestellten Maschine zu gewährleisten.

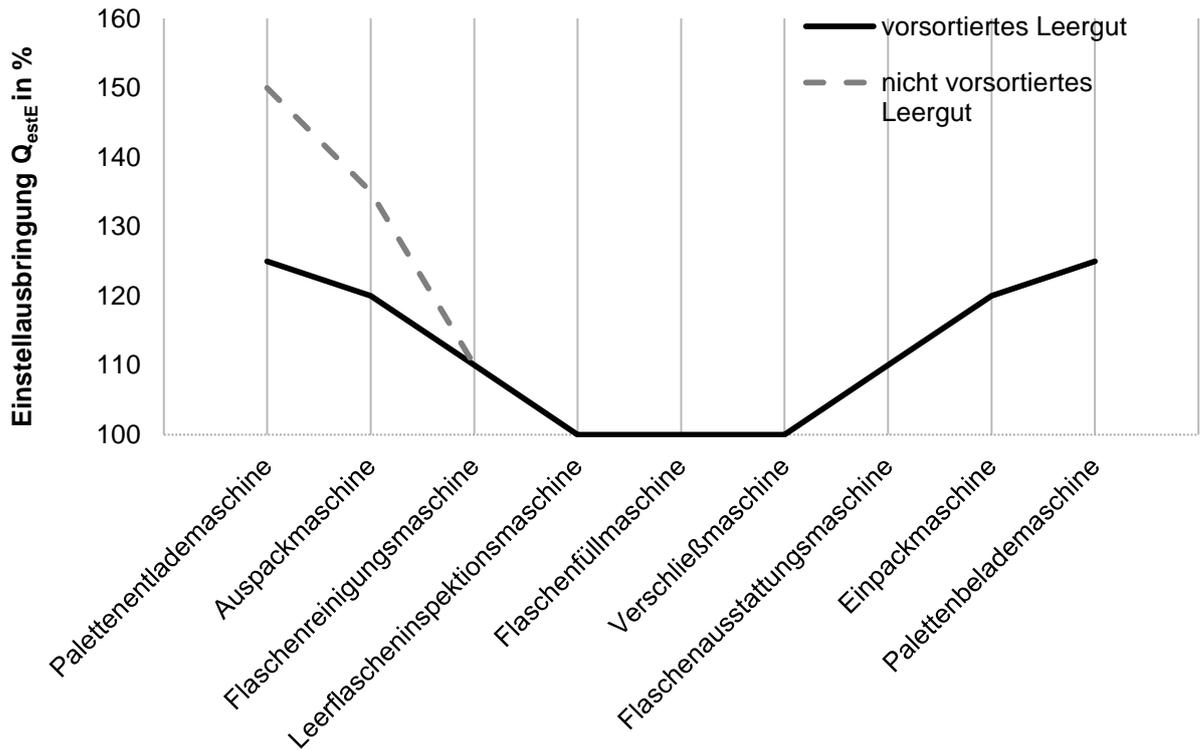


Abbildung 2-4: Berg'sches V-Diagramm für Abfüllanlagen [125]

Durch eine Überleistung der angrenzenden Maschinen kann die Regelung der Pufferstrecken erfolgen und der gewünschte Pufferzustand erreicht werden. Dieser Zusammenhang wurde bereits 1968 von Berg beschrieben und 2005 von Vogelpohl auf die aktuellen Gegebenheiten (Leergutvielfalt) angepasst (siehe Abbildung 2-4) [3], [124].

2.1.3 Industrielle Automatisierung in der Produktionstechnik

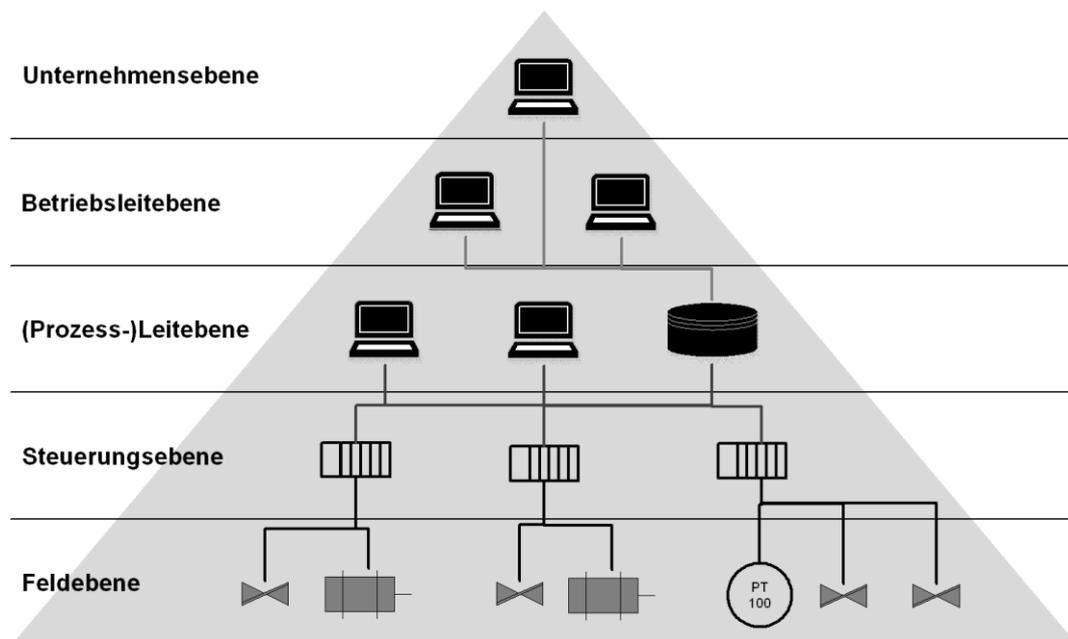


Abbildung 2-5: Die Automatisierungspyramide

Die industrielle Automatisierung begann vor ca. 45 Jahren mit der Geburt der speicherprogrammierbaren Steuerungen durch Richard Morley. Seit dem unterliegt die Automatisierungstechnik einem stetigen Wandel und einer rasanten Entwicklung von Komponenten und Methoden. Seit nunmehr 20 Jahren gilt für die Automatisierungstechnik die Automatisierungspyramide als Referenzmodell (Abbildung 2-5).

Dieses Konzept muss durch aktuelle Veränderungen in der Automatisierungstechnik überdacht werden. So schwimmt die klassische Ebenenstruktur durch Modularisierung und zunehmende Dezentralisierung. Zum anderen werden IT-Systeme zur Produktionskontrolle komplexer und benötigen vollständige virtuelle Abbildungen der Produktionssysteme. Die Literatur spricht hier von drei Dimensionen und Aufgabenfeldern der Interoperabilität (nach [94; 122; 123]):

1. Horizontale Integration:

Austausch von Informationen innerhalb der gleichen Ebene (z. B. Produktionssysteme oder IT-Applikationen)

2. Vertikale Integration:

Durchgängigkeit der Daten von der Produktion bis hin zur Unternehmensleitung

3. Integration im Lebenszyklus:

Stichwort Digitale Fabrik mit dem Ziel, eine Anlage über ihre gesamte Lebenszeit digital abzubilden und sie somit zu überwachen, zu optimieren oder zu steuern.

Das so genannte Automatisierungsdiabolo, ein neuartiges Referenzmodell der Automatisierungstechnik, berücksichtigt diese Herausforderungen (Abbildung 2-6).

Im oberen Teil des Diabolos (Digitale Fabrik) sind die sogenannten Fertigungsmanagementsysteme oder manufacturing execution systems (MES) angesiedelt. Das sind IT-Lösungen bzw. Systeme, die eine Verbindung zwischen der Unternehmensführung und der Produktion darstellen (vgl. Kapitel 2.1.5). Der untere Bereich beinhaltet die Produktionsanlage bestehend aus Produktionsmodulen. Verbunden werden die „zwei Welten“ über das Informationsmodell, das alle Informationen trägt, um zum einen die Produktion optimal zu steuern bzw. um Daten aus der Produktion zu akquirieren [123]. Es bildet reale Produktionsanlagen aus IT-technischer Sicht ab.

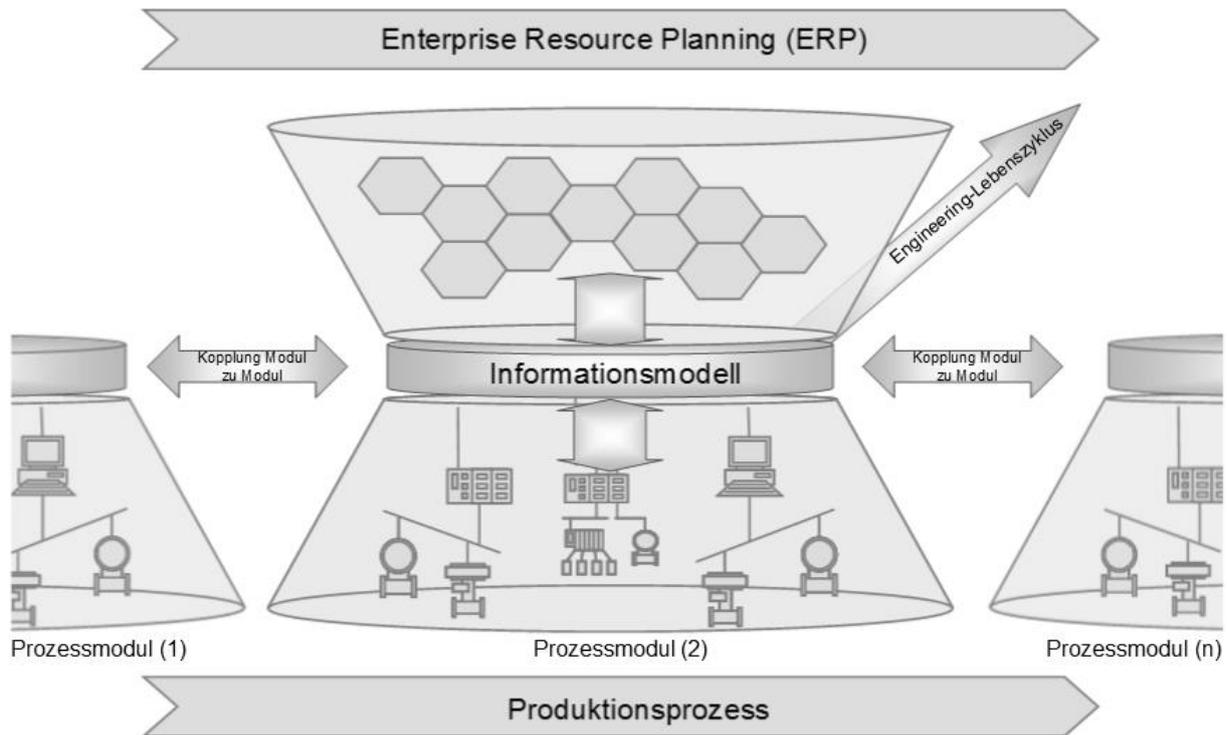


Abbildung 2-6: Automatisierungsdiabolo nach [123]

2.1.4 Ontologisches und semantisches Informationsmodell in Verpackungs- und Getränkeabfüllanlagen

Das Informationsmodell (aus Abbildung 2-6) unterstützt Interoperabilität in allen drei Dimensionen. Es entkoppelt die digitale Fabrik von der Produktionsebene. Dazu muss es zum einen den Kommunikationsweg und zum anderen standardisierte Kommunikationsinhalte (semantisches und ontologisches Modell) zur Verfügung stellen [94].

Der Kommunikationsweg besteht aus einem Kommunikationsmedium sowie einem Kommunikationsprotokoll. Das Kommunikationsmedium verbindet die Prozessmodule mit der Digitalen Fabrik physikalisch. Hier hat sich das Ethernet etabliert. Ethernet ist das einzige Kommunikationsmedium, das sich sowohl in der Büro-, als auch der Produktionswelt verbreitet ist. Es genügt von seiner Natur als probabilistisches Netzwerk aber nicht der harten Echtzeitfähigkeit der Automatisierungstechnik. Echtzeitfähigkeit wird erst durch den Einsatz spezieller Protokolle erreicht [1]. Mit der Entwicklung echtzeitfähiger Kommunikationsprotokolle haben sich in den letzten 5-10 Jahren mehrere Firmen und Interessenvertretungen befasst. Diese sind verfügbar und in der Industrie etabliert. Echtzeitfähige Industrial Ethernet (IE)-Protokolle können bis auf die Feldebene oder für Motion-Anwendungen Verwendung finden. Die bekanntesten und meist verwendeten Standards sind [1]:

- ProfiNET: offenes IE-Protokoll entwickelt von der PROFIBUS & PROFINET International [86]

- EtherNET/IP: offenes IE-Protokoll entwickelt von Allen-Bradley (Rockwell Automation) und verwaltet von der Open DeviceNet Vendor Association (ODVA) [81]
- EtherCAT: offenes IE-Protokoll entwickelt von der Firma Beckhoff, seit 2003 verwaltet von der EtherCAT Technology Group [23]
- Sercor III: offener IE-Protokoll-Standard entwickelt federführend von der sercos International e.V. [98]
- Weitere: POWERLINK [24], FL-NET [45], VARAN [115], Modbus-TCP-IDA [69], SynqNet [110], INTERBUS [83], Rtnet [92]

Neben den echtzeitfähigen Protokollen haben sich auch nicht echtzeitfähige Protokolle für die industrielle Kommunikation etabliert. Die nicht echtzeitkritischen Protokolle werden für die Erfassung von nicht zeitkritischen Daten (<1 s) bzw. zur Übertragung von Prozessollwerten verwendet, also zumeist für die Kopplung zwischen Leitebene und Prozessmodul. Diese sind:

- OPC Unified Architecture: Protokoll entwickelt von der OPC Foundation. Definiert die Kommunikation sowie die Semantik, mit der die Daten verarbeitet werden. [47]
- Weihenstephaner Standards: Proprietäres Kommunikationsprotokoll, das die Kommunikation und die Semantik von Datenpunkten regelt, verbreitet in der Verpackungstechnik [56]
- BACNet: Definiert Kommunikationsprotokoll zur Übertragung von Diensten und Objekten auf TCP/IP-Basis, verbreitet in der Gebäudeautomation [41]
- SECS-II/ HSMS (High-Speed SECS Message Services) Definiert Kommunikationsprotokoll für die Halbleiterindustrie [6; 75]

Neben dem Kommunikationsweg sind für ein Informationsmodell gerade in Hinblick auf eine einfache Integration neuer Maschinen vor allem die Dateninhalte von Entscheidung. Hier muss zum einen die Ontologie (Struktur) und die Semantik (Bedeutung) standardisiert werden. Eine Vielzahl von Gremien bemüht sich um eine Standardisierung der Dateninhalte, wobei heute noch nicht von einem einheitlichen Standard gesprochen werden kann. Folgende Ansätze sind in diesem Zusammenhang von Bedeutung:

- PackML: Definiert die Semantik und die Ontologie von Tags, macht aber keine Angaben über das Datenangebot von Maschinen. [79; 80]
- EUROMAP: Europe's Association for plastics and rubber machinery manufacturers definiert Dateninhalte für Maschinen der Kunststoff- und Gummiindustrie. [26–28]
- SECS/GEM-Standards: Definiert Datenpunkte, Statusmaschinen und Dateninhalte für Maschinen der Halbleiterproduktion [5; 6]

- WSPack/WSFood: Definiert für Maschinen der Verpackungstechnik (WS Pack) und der Lebensmittelproduzierenden Industrie (WS Food) Datenpunkte für Maschinen bzw. Maschinenklassen [56] und schreibt ein Mindestdatenangebot vor. Geplant ist auch eine Umsetzung in der Backbranche, „WSBake“ [76]
- BAKELINK: Definiert maschinenbezogene Datenpunkte in der Backindustrie (wird nicht mehr gepflegt) [2]

Da diese Arbeit die Effizienzbewertung in der Abfüll- und Verpackungsindustrie aufgreift, werden die Weihenstephaner Standards (WS) als die Kommunikationsschnittstelle sowie die ontologische und semantische Schnittstelle der Lebensmittelindustrie detaillierter beschrieben (nach [61]).

Kommunikationsweg:

Die Kommunikation über das Weihenstephan-Protokoll wurde mit Hilfe eines Protokolls auf Ethernet-Basis realisiert (Aufbau siehe Tabelle 2-1):

Tabelle 2-1: WS Communication Interface (nach ISO/OSI Referenzmodell)

Schicht	Schichtname	Umsetzung
7	Application	Proprietary Application
6	Presentation	Binary Data Representation (intel format)
5	Session	Proprietary Commands
4	Transport	Transmission Control Protocol (TCP)
3	Network	Internet Protocol (IP)
2	Data Link	CSMA/CD
1	Physical	Ethernet

Im ISO/OSI-Referenzmodell werden die Schichten 1-4 durch Standard Ethernet Funktionalitäten realisiert. Die Schichten 5-7 wurden proprietär vom Industrieanwenderkreis entwickelt. Acht Befehle wurden definiert, mit denen sich Daten zwischen Systemen nach dem Polling-Prinzip übertragen lassen (Tabelle 2-2).

Tabelle 2-2: Übersicht Befehle nach WS

Nr	Name	Beschreibung
0x001	NOOP	Keine Funktion (No Operation) (für Verbindungstest)
0x002	READ_SVALUE	Lesen eines Wertes (Read Single Value)
0x003	WRITE_SVALUE	Schreiben eines Wertes (Write Single Value)

Nr	Name	Beschreibung
0x004	READ_LIST	Lesen einer Liste von Werten (Read List, ohne STRING16)
0x005	WRITE_LIST	Schreiben einer Liste von Werten (Write List, ohne STRING16)
0x006	READ_MVALUE	Lesen mehrerer Werte (Read Multiple Values)
0x007	WRITE_MVALUE	Schreiben mehrerer Werte (Write Multiple Values)
0x008	READ_STRING	Lesen einer Zeichenfolge (Read String)
0x009	WRITE_STRING	Schreiben einer Zeichenfolge (Write String)
0x00A	READ_CONFIG	Lesen der Gerätebeschreibungsdatei (Read Configuration File)
0x00B	READ_MIXED_LIST	Lesen einer Liste von Werten (inklusive STRING16)
0x00C	WRITE_MIXED_LIST	Schreiben einer Liste von Werten (inklusive STRING16)

Kommunikationsinhalte

Der Standards WS Food und WS Pack definiert die Ontologie der Schnittstelle. So legt er Bestandteile von Datenpunkten (Name, Nummer, Beschreibung, usw.) fest. Des Weiteren werden für spezifische Maschinen konkrete Instanzen (Datenpunkte werden definiert) festgelegt, die pro Maschine verpflichtend oder optional vorhanden sein müssen/können. Die verschiedenen Maschinentypen in einer hierarchisch aufgebauten Bibliothek hinterlegt. Datenpunkte liegen pro Maschine in einer flachen Hierarchie vor. Es können also keine Strukturen gebildet werden. Der WS besetzt Nummernbereiche, die für alle Maschinen bindend sind. Darüber hinaus existieren freie Bereiche, in denen weitere Datenpunkte definiert werden können. Das Datenangebot von Maschinen wird durch eine Gerätebeschreibungsdatei - die „PDACONF.xml“ - dokumentiert.

Die Semantik der Datenpunkte wird im Standard ebenfalls festgelegt. So wird jeder Datenpunkt eineindeutig definiert. Besondere Dateninhalte für die Diagnose und das Anlagen-Monitoring sind Informationen über das Programm und den Status von Maschinen. Das Programm definiert die Funktion, die die Maschine gerade ausführen soll. WS definiert hier

- Nicht bestimmt (Undefined)
- Produktion (Production)
- Produktion Anlaufen/Vollfahren (Start Up)
- Produktion Auslaufen/Leerfahren (Run Down)
- Reinigen (Clean)
- Rüsten (Changeover)

Musterdokumente hinterlegt, um Abnahmen durchzuführen und an Hand eines Beispiels wird das Vorgehen aufgezeigt.

Softwarewerkzeuge

Die WS stellen mit dem WS Testtool ein Softwarewerkzeug zur Verfügung, das es dem Benutzer ermöglicht, seine Kommunikationsschnittstelle zu testen, Werte für BDE-Systeme vorzugeben bzw. eine Maschinenschnittstelle zu entwickeln. Es kann auch zur Überwachung von Prozesswerten durch die eingebaute SQL-Kopplung verwendet werden.

Das Tool WS Edit dient zur Generierung von Gerätebeschreibungsdateien und zur Verwaltung von Datenpunktbibliotheken. WS Edit wird bei der Bestellung der WS Dokumente versendet und ist Teil des Standards.

2.1.5 IT-Systeme in der Lebensmittelindustrie

MES sind prozessnah operierende IT-Systeme, die die Unternehmensleitebene mit der Prozess- und Fertigungsleitebene verbinden, indem sie beispielsweise einerseits aus einer großen Menge Daten des technischen Prozesses in Echtzeit die für die Warenwirtschaftssystem (ERP) und Management wichtigen Informationen aggregieren, auswerten und für Entscheidungen zur Verfügung stellen, und andererseits grobe Produktionsvorgaben in eine operative Feinplanung umsetzen und ihre Durchführung steuern [105]. Dabei ist MES nie ein einzelnes System, sondern ein modular aufgebautes IT-System, das vom Funktionsumfang anwendungsspezifisch adaptiert werden muss. Die möglichen Funktionen von MES werden in zahlreichen Normen und Industriegremien diskutiert und standardisiert.

Folgende Aufzählung zeigt eine Zusammenfassung der aktuellen Normen und Standardisierungsbemühungen.

- ISA S88 Chargenorientierte Fahrweise [51; 52]
- ISA S95 Enterprise-Control System Integration- ISA [17; 15; 16]; [53; 54]
- MESA Industrievereinigung aus MES-Produzenten und Entwicklern, die in White papers MES-Konzepte veröffentlichen. Die 3 wesentlichen: MES-functional – Models V1(1997), cMES und Version #2.1(2008) [67; 68]
- Namur NA94/ NA128 MES-Beschreibung aus praktischer Sicht [73; 74]
- VDI 5600 Fertigungsmanagementsysteme [121; 120; 119]

- VDMA 66412 Manufacturing Execution Systems (MES) Kennzahlen [116]
- ZVEI Whitepaper MES [133]

Im Verlauf der Arbeit ist unter dem Begriff MES die Definition der VDI 5600 zu verstehen (Abbildung 2-8) [119]. Diese fasst die bestehenden Normen der MESA, der IEC 62264, der ISA94, ISA S88 und der Namur NA94 zusammen. Die funktionale Sicht ist zudem ausreichend für die Abstraktionsstufe dieser Arbeit. Tabelle 2-3 erklärt die nach VDI 5600 definierten MES-Funktionalitäten.

Tabelle 2-3: MES-Funktionen (-aufgaben) nach VDI 5600 [118]

Funktionen	Ziel
Feinplanung und Feinsteuerung	Erledigung eines Arbeitsvorrats unter Berücksichtigung der Produktionsrestriktionen
Betriebsmittelmanagement	Sicherstellung der termin- und bedarfsgerechten Verfügbarkeit und technischen Funktionsfähigkeit der Betriebsmittel
Materialmanagement	Termin- und bedarfsgerechte Ver- und Entsorgung der Fertigung mit Material
Personalmanagement	Personal mit geeigneter Qualifikation termingerecht für den Produktionsprozess bereitzustellen
Datenerfassung	Erfassung der Daten aus dem Prozess. Die MES-Aufgabe Datenerfassung leistet die Eingangsverarbeitung und die Vorverarbeitung/Verdichtung der Daten und stellt Statusinformationen bereit.
Leistungsanalyse	Performance- Indikatoren und Soll-Ist-Vergleiche führen, diese in Echtzeit aktualisieren sowie sie darzustellen
Qualitätsmanagement	Die MES-Aufgabe Qualitätsmanagement unterstützt die Sicherstellung der Produktqualität und der Fähigkeit des Prozesses (Prozessqualität).
Informationsmanagement	Schaltstelle zur Integration anderer MES-Aufgaben und der Durchführung aller Workflows bei der Abarbeitung des Auftragsvorrats und der Prozessoptimierung.

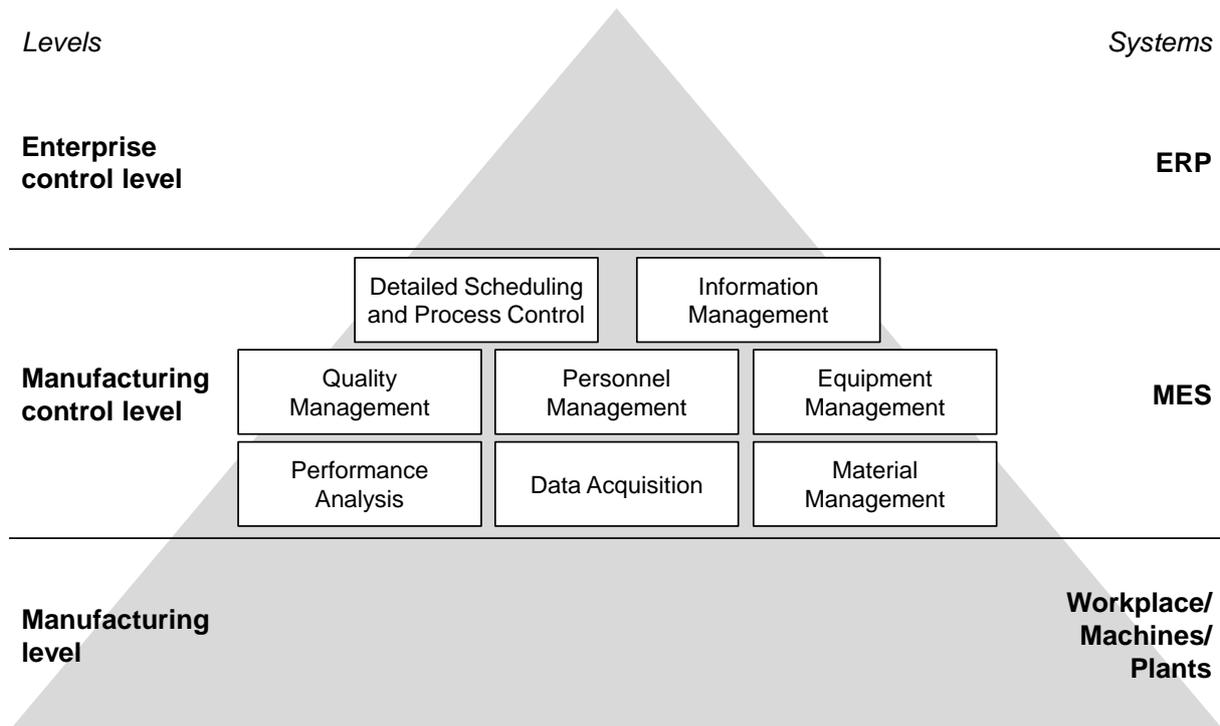


Abbildung 2-8 Funktionales Modell von MES [118]

Im Bereich Abfüllen und Verpacken sind sogenannte LMS (Line Management Systems) besonders verbreitet. Hauptaufgaben sind das Ressourcenmanagement, das Ausführungsmanagement, die Datenerfassung und die Analyse [133]. Aber auch das Qualitätsmanagement (Stichwort Rückverfolgung) ist eine entscheidende Funktion. In der Getränkeindustrie sind hier unter anderem verbreitet:

- INNOLINE MES (KHS GmbH) [58]
- Plant IT (ProLeiT AG) [87]
- QUALIFAX® (GQM mbH) [40]
- Simatic IT (Siemens AG) [101]
- SitePilot (Krones AG) [62]

2.1.6 Zusammenfassung und Bewertung

Getränkeabfüllanlagen sind verkettete Produktionslinien, deren Effizienz von einem zentralen Aggregat (zumeist Flaschenfüllmaschine) bestimmt ist. IT-Systeme, die zur Effizienzanalyse und –bewertung eingesetzt werden sind in der MES-Ebene anzusiedeln. Um eine automatische Effizienzanalyse durchzuführen wird ein Informationsmodell benötigt in der die Daten ontologisch und semantisch definiert werden. In der Lebensmittelindustrie ist diese Schnittstelle der Weihenstephaner Standard. In der Praxis zeigt sich aber, dass das Informationsmodell zwar definiert ist, allerdings kommt es trotzdem zu Fehlern in der Datenbasis auf Grund falscher Programmierung der Maschine oder Unterschiedenen in der Auslegung der semantischen Beschreibung [55].

2.2 Effizienzbewertung in Abfüll- und Verpackungsanlagen

Prozesstransparenz ist eine wichtige Anforderung in der Abfüll- und Verpackungstechnik (vgl. Kapitel 1.1). Ein Anlagenbetreiber muss die Möglichkeit besitzen, seine Anlage objektiv zu bewerten, um so die Kosten für den Verpackungsprozess abzuschätzen oder um Benchmarks mit anderen Abfülllinien durchführen zu können. Auch im Sinne eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses ist eine Messung der Anlageneffizienz unabdingbar, um den Einfluss von Verbesserungsmaßnahmen bewerten zu können. Dazu hat sich die Verwendung von Kennzahlen bewährt. „Kennzahlen im weiteren Sinne sind quantitative Informationen, die für die spezifischen Bedürfnisse der Unternehmensanalyse und –Steuerung aufbereitet worden sind. Dazu gehören Kennzahlen im eigentlichen Sinne und Indikatoren. [130]“

Definition Kennzahlen und Indikatoren nach [130]

Kennzahlen sind Maßgrößen, die willentlich stark verdichtet werden zu absoluten oder relativen Zahlen, um mit ihnen in einer konzentrierten Form über einen zahlenmäßig erfassbaren Sachverhalt berichten zu können.

Mit **Indikatoren** wird über eine Realität gezwungenermaßen unvollständig berichtet, die sich nur schwer abbilden lässt“.

2.2.1 Kennzahlensysteme

Definition Kennzahlensystem

„Ein **Kennzahlensystem** bezeichnet eine geordnete Menge von betriebswirtschaftlichen Kennzahlen, die miteinander in Beziehung stehen. Das Ziel eines Kennzahlensystems ist es, vollständig über einen Sachverhalt unter Verwendung geeigneter Instrumente zu informieren. In Unternehmen werden Kennzahlensysteme zum einen für den Erhalt schneller und verdichteter Informationen über die Leistung eines Unternehmens eingesetzt. Zum anderen können sie die Aufgaben der Planung, Kontrolle und Steuerung in einem Unternehmen unterstützen. [104]“

Für die Effizienzbewertung werden sogenannte Leistungsindikatoren bzw. Key Performance Indicators (KPIs) verwendet. Als KPIs werden in der Betriebswirtschaftslehre allgemein Kennzahlen bezeichnet, die sich auf den Erfolg, die Leistung oder Auslastung des Betriebs, seiner einzelnen organisatorischen Einheiten oder einer Maschine beziehen [37]“. Streng genommen sind diese Kennzahlen Indikatoren, allerdings hat sich der Begriff Kennzahlen etabliert und wird fortan auch anstatt Indikator verwendet.

In der Produktion gibt es eine Vielzahl von Kennzahlen bzw. Kennzahlensystemen für die Effizienzbewertung. Weigert [131] fasst die wichtigsten Richtlinien zusammen (siehe Tabelle 2-4).

Tabelle 2-4: Definitionen von Leistungskennzahlen (Auswahl nach [131])

	Richtlinie	Beschreibung	Quelle
VDI	VDI 2525	Praxisorientierte Logistikkennzahlen für kleine und mittlere Unternehmen	[78]
	VDI 3423	Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen	[117]
	VDI 4400-2	Logistikkennzahlen für die Produktion	[77]
SEMI	E10-0304	OEE-Kennzahlen in der Halbleiterindustrie	[97]
	E124-0307	Anleitung zum Berechnen von OEE-Kennzahlen in der Halbleiterindustrie	[97]
VDMA	VDMA 66412	Manufacturing Execution Systems (MES) - Kennzahlen	[116]
DIN	DIN 8743 (bis 2014)	Verpackungsmaschinen und Verpackungsanlagen - Zeitbezogene Begriffe, Kenngrößen und Berechnungsgrundlagen	[11; 10]
	DIN 8743 (ab 2014)	Verpackungsmaschinen und Verpackungsanlagen – Kennzahlen zur Charakterisierung des Betriebsverhaltens und Bedingungen für deren Ermittlung im Rahmen eines Abnahmelaufs	[11]
	DIN 8783	Getränke Abfülltechnik – Untersuchungen an abfülltechnischen Anlagen	[12]

Darüber hinaus existieren noch eine Vielzahl anderer Kennzahlen und Kennzahlensystemen, die durch Arbeitsgruppen, Firmen oder die Wissenschaft publiziert wurden. Entscheidend für die vorliegende Arbeit sind jedoch diejenigen, mit denen zum einen Aussagen über die Effizienz gemacht werden können, zum anderen müssen die Kennzahlen automatisch berechenbar sein und ein Hinweis darauf gegeben sein, wie der Effizienzverlust entsteht. Im Folgenden werden die DIN 8782, die DIN 8743 und das OEE- Kennzahlensysteme (inklusive verschiedener Ausprägungen) genauer erläutert.

2.2.2 DIN 8782

Die DIN 8782 ist eine Norm für die Abnahme von Abfüllanlagen. Sie definiert Kenngrößen für Anlagen und Aggregate. Die wesentlichen Größen sind:

- Liefergrad λ :

Gibt Aufschluss über Störanfälligkeit von Aggregat/ Maschine im Verhältnis zu garantierter Ausbringung

- Wirkungsgrad η :

Gibt Aufschluss über die Störanfälligkeit im Verhältnis zur eingestellten Ausbringung

- Ausnutzungsgrad φ :

Gibt Aufschluss, wie effizient die Anlage im Gesamtkontext arbeitet

Auf Grund der notwendigen Einteilung der Maschinenstörzeiten in maschinenbedingt und maschinenfremd ist eine vollständige automatische Erfassung nur schwer bzw. überhaupt nicht möglich. Auch die Stillstandsgründe werden nur nach Häufigkeit oder Dauer klassifiziert. Es können dann keine Aussagen über die Art, also z. B. organisatorische, technische Fehler getroffen werden. Die DIN 8782 ist noch zur Verwendung freigegeben soll aber vollständig durch die DIN 8743 abgelöst werden.

2.2.3 DIN 8743

Die DIN 8743 [11] (Verpackungsmaschinen und Verpackungsanlagen - Kennzahlen zur Charakterisierung des Betriebsverhaltens und Bedingungen für deren Ermittlung im Rahmen eines Abnahmelaufs) wurde 2014 neu aufgelegt. Sie löst damit die seit 2004 geltenden DIN 8743-2004 [10] (Verpackungsmaschinen und Verpackungsanlagen - Zeitbezogene Begriffe, Kenngrößen und Berechnungsgrundlagen) ab. Die DIN 8743-2014 soll zukünftig auch die DIN 8782 und DIN 8783 ablösen.

Die DIN fasst Leistungskennzahlen für die Bewertung des Betriebsverhaltens und zur Abnahme von Verpackungsanlagen zusammen. Des Weiteren definiert sie Anforderungen für eine ordnungsgemäße Durchführung von Abnahmeläufen. Für eine Abnahme relevante Kennzahlen sind:

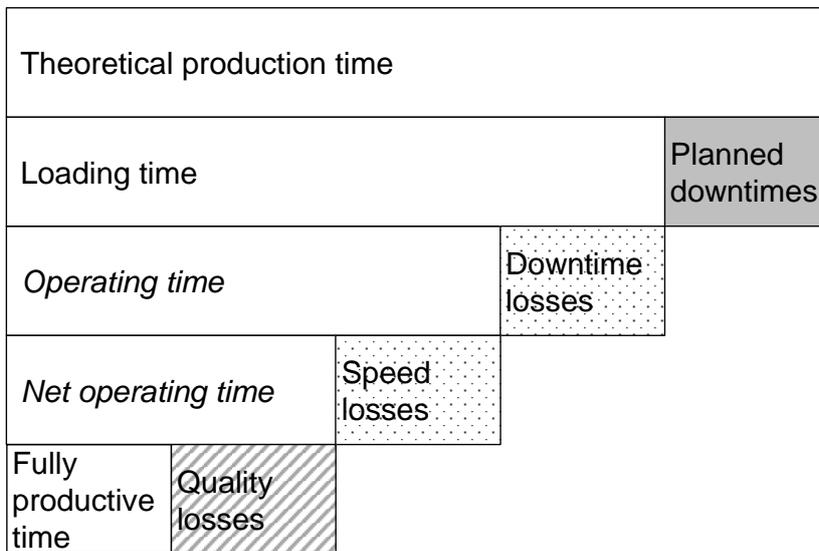
- Maschinentechnische Qualitätsausbringung p_{QS}
- Maschinentechnischer Wirkungsgrad E_S (nur für Gesamtanlagen)
- Maschinentechnische Verfügbarkeit R_S

2.2.4 OEE (Overall Equipment Effectiveness)

Die OEE ist zurückzuführen auf Nakajima (1988) [72] und ist die Schlüsselgröße von TPM (Total Productive Maintenance) [85]. Sie ist mittlerweile in der Industrie weit verbreitet [48]. "OEE is not a passive tool, but the driving force to improve, the use of OEE method can identify the loss of equipment efficiency of each process, release the hidden or lost capacity" [132]. Nakajima definierte in seiner Arbeit sechs große Verluste in der Produktion, die „SIX BIG LOSSES“.

The SIX BIG LOSSES (nach [114]):

- Downtime losses:
 - o Equipment failure/ breakdown losses: Zeitverluste durch „lange“ Stillstandszeiten bzw. Ausfällen von Maschinen/Anlagen
 - o Set-up/adjustment time losses: Zeitverluste durch Verluste beim Rüsten oder Anfahren
- Speed losses
 - o Idling and minor stop losses: “Kurze” Störungen von Maschinen, typischerweise schnell behebbar durch den Eingriff von Bedienern
 - o Reduced speed losses: Fehler die verhindern, dass die Produktion mit maximaler Geschwindigkeit durchgeführt wird
- Quality losses
 - o Reduced yield: Fehlerhafte Produkte, die in der Anlaufphase der Produktion entstehen
 - o Quality defects and rework: Produkte, die nicht qualitätsgerecht erzeugt wurden



Analysemethoden

- SMED
- 5s
- TPM
- TPM
- MTTR
- Modellbasierte Diagnose
- Neuronale Netze
- Fehlerbaum
- Six Sigma
- Lean

Fähigkeit der automatischen Analyse

-  Kennzahlenberechnung nur ohne Artikelbezug, keine automatische Analyse möglich
-  Automatische Berechnung, keine automatische Analyse
-  Auto. Berechnung und automatische Analyse

Abbildung 2-9: OEE-Zeitenmodell nach [72]

Abbildung 2-9 zeigt das Zeitenmodell von OEE, in dem die einzelnen verlustarten dargestellt sind. Des Weiteren wurden in der Darstellung bestehende Analysemethoden für die die Schwachstellenanalyse zusammengefasst (siehe Kapitel 2.3) und eine Einschätzung über Möglichkeiten einer automatische Schwachstellenanalyse gegeben.

Die OEE wurde immer wieder auf die Bedürfnisse verschiedener Industriesektoren und Anwendungsbereiche angepasst. So entstanden Kennzahlen wie overall performance indicator OPI, production equipment effectiveness (PEE), total equipment effectiveness performance (TEEP) und overall plant effectiveness (OPE). Eine Übersicht über die Ausprägung der Kennzahlen gibt [71], der die oben genannten Kennzahlen wie folgt einordnet.

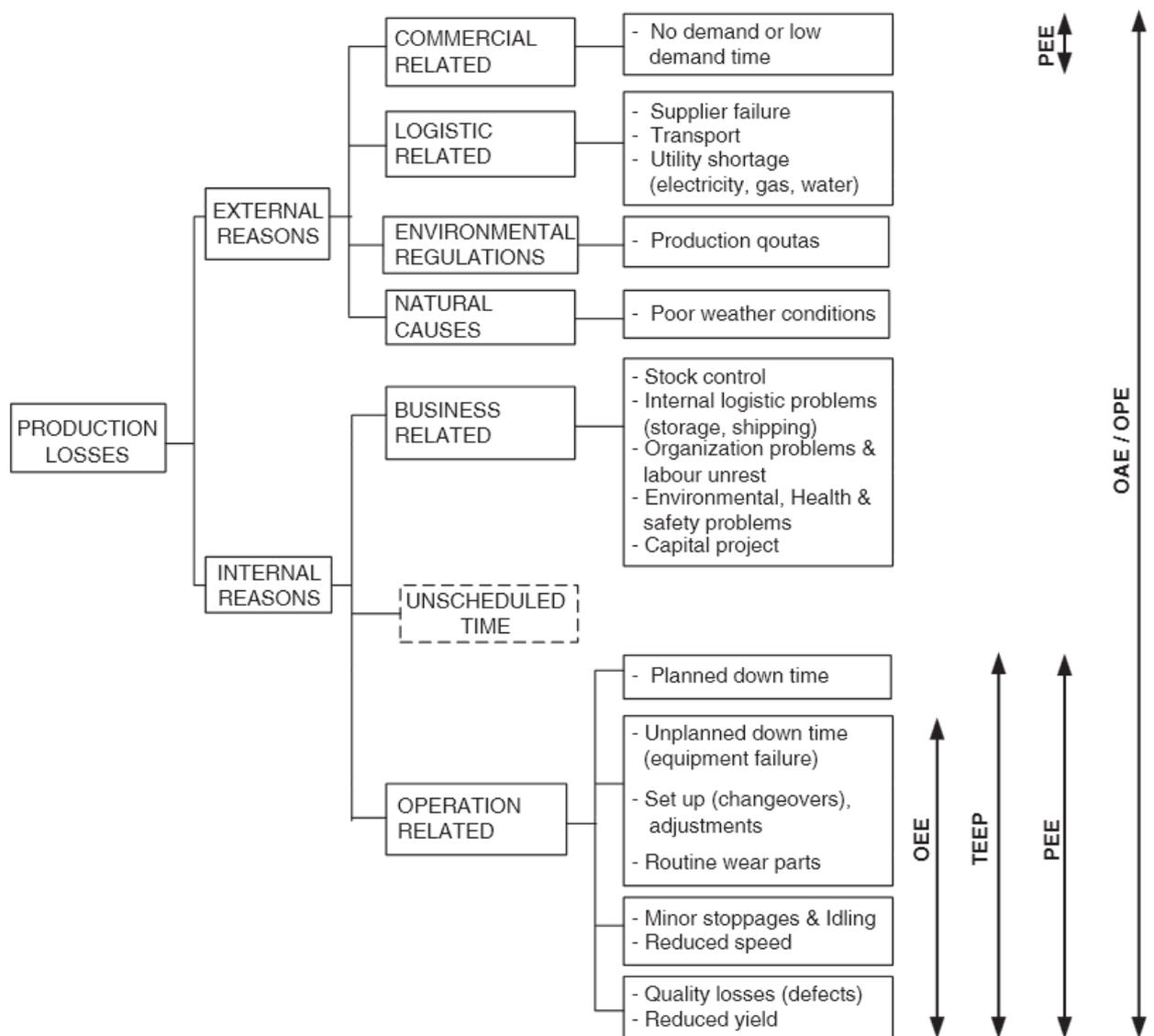


Abbildung 2-10: Klassifikation von Produktionsverlusten zur Kennzahlenberechnung [71]

In seinem Artikel beschreibt er die verschiedenen Kennzahlen und zeigt an zwei Industriebeispielen (chemische Anlage und Verpackungsanlage) die Unterschiede auf. Die

Hauptunterschiede sieht er bei der Typisierung der Produktionsverluste. So wird in der herkömmlichen OEE nicht nach geplanten und ungeplanten Stillständen unterschieden.

[90] und [91] beschreiben wiederum eine Abwandlung der OEE mit dem Namen Equipment Effectiveness (E). Dabei gehen sie davon aus, dass die OEE die Gesamtheit aller Störursachen, also auch durch die Umwelt verursachte Störungen, berücksichtigt. E berücksichtigt nur Störungen des betrachteten Objekts. Er kann deswegen mit dem Maschinenwirkungsgrad nach DIN 8782 (vgl. Kapitel 2.2.2) gleichgesetzt werden.

Eine Erweiterung des OEE-Modells nimmt auch [56] vor. Es führt neben der SIX BIG LOSSES eine weitere Kategorie an Verlustzeiten die sogenannten planned downtimes (geplante Stillstände) ein. Dadurch ergibt sich eine weitere Kennzahl, die sog. Planning Efficiency, die eine Aussage über die Qualität der Planung gibt.

Eine weitere Ausprägung der OEE ist der Operational Performance Indicator (OPI) bzw. Operational Performance Indicator No Order No Activity (OPI NONA), der 1995 durch die Firma Heineken entwickelt wurde. Offizielle Quellen zu diesem Firmenstandard sind nicht verfügbar. Lediglich [57; 89] nutzen in ihren Dissertationen die OPI NONA, um ihre Versuche zu bewerten. Der OPI unterscheidet sich zur OEE in der Hinsicht, dass Verlustzeiten bis hin zur Kalenderzeit aufgeschlüsselt werden. Die OPI NONA, deckt sich mit den Definitionen der OEE.

2.2.5 Zusammenfassung und Bewertung

In der Literatur gibt es eine Reihe von Kennzahlen und Kennzahlensysteme, die eine Bewertung von Getränkeabfüllanlagen zulassen, DIN8743, DIN8783, OEE. Die OEE-Kennzahl ist das einzige Kennzahlensystem, das eine automatische Berechnung durch Betriebsdaten zulässt. Die OEE teilt Verluste in Verlustgruppen ein. Die Verluste können durch unterschiedliche Methoden untersucht werden und somit Schwachstellen identifiziert werden.

2.3 Schwachstellenanalyse von Getränkeabfüllanlagen

Durch OEE-Kennzahlen werden Effizienzverluste in der Produktion klassifiziert (siehe Abbildung 2-9). Nun müssen Schwachstellen die Gründe für Verluste darstellen identifiziert werden, um im nächsten Schritt Optimierungsmaßnahmen ergreifen zu können. Im Folgenden werden Methoden zur Schwachstellenanalyse von Getränkeabfüllanlagen beschrieben.

2.3.1 Schwachstellenanalyse zur Analyse der Planungseffizienzverluste (Planning Efficiency)

Die Planning Efficiency wird durch die genaue Analyse von Nebenzeiten (Planned Downtimes) und durch die anschließende Vermeidung von unnötigen Zeiten optimiert. Diese sind geplante Reinigungsvorgänge, Wartungsarbeiten, Material Bereitstellung, Material Abtransport, Pausen und Rüstzeiten. Nach [21] wird dieser Faktor zukünftig entscheidender, da sich die Produktion weg von der Massenproduktion hin zur flexiblen/agilen Produktion verlagert [49; 60].

Methoden zur Analyse von Nebenzeiten sind:

- Single-Minute Exchange of Die (SMED)-Methode [66; 100]: Die Philosophie ist zum ersten eine ausführliche Analyse des Umstellprozesses und das Erkennen von Schwachstellen (Verschwendungen), zum zweiten eine Veränderung in der Umstellorganisation (Ablauf der Umstellung) und letztlich die Verkürzung einzelner Umstellprozesse. Die Einsparungen durch SMED werden basierend auf Untersuchungen auf über 70 % beziffert z.B. [96; 100]. Ein Reihe von Publikationen zeigen den Einsatz in der Industrie [66; 70; 99], allerdings wird die Methode lediglich manuell durchgeführt.
- 5s-Arbeitsplatzgestaltung: Instrument, um den Arbeitsplatz sicher, sauber und übersichtlich zu gestalten.[44]
- Total productive maintenance (TPM): Methode für ideale Wartung. Das Thema geplante Wartung spielt bei Planning efficiency eine Rolle (siehe Kapitel 2.3.2)
- Lean Management (schlankes Management): Übergeordnetes Prinzip, mit dem allgemein Verschwendung vermieden werden soll (beinhaltet die oben benannten Methoden) [46]
- Optimierte Anlagendesign [66]

Im Bereich Schwachstellenanalyse zur Verbesserung der Planungseffizienz wäre eine automatische Analysemethoden von essentieller Bedeutung. Allerdings ist die automatische Datenbasis in diesem Umfeld nicht standardisiert vorhanden, so dass hier noch keine Ansätze existieren.

2.3.2 Schwachstellenanalyse zur Analyse der Verfügbarkeitsverluste (Availability)

Die Availability wird beeinflusst von langen Störungen und Verzögerungen beim Rüsten, Anfahren oder Reinigungsprozessen. Sie ist ein Indikator zur Bewertung der Instandhaltung eines Unternehmens [71]. Zur Schwachstellenanalyse werden die Methoden TPM (Total Productive Maintenance) und Maschinendatenauswertungen eingesetzt. Die modellbasierte Diagnose ist ein weiterer Weg zur automatischen Analyse.

- Schwachstellenanalyse mit TPM:

TPM hat als Ziel, die Maximierung der Anlageneffektivität. TPM lebt von der Einbindung der Mitarbeiter und dem Streben nach der perfekten Produktion. Es wird in etlichen Industriezweigen eingesetzt wie der Holzverarbeitung [18], Druckindustrie, Prozessindustrie und Versorgungstechnik [7]. Die Schwachstellenanalyse von TPM erfolgt zumeist durch den Mitarbeiter. Dazu werden in TPM eine Reihe von Methoden beschrieben, wie Anlagenzustandsanalyse oder Ursachen-Wirkungsdiagramm [42]. Allerdings werden keine automatischen Analysen von Schwachstellen vorgenommen.

- Erwartungswerte (MTTR, MTTF, MTBF, MTB)

MTBF (mean time between failure) ist der „Erwartungswert der Verteilung der Betriebsdauern zwischen zwei Ausfällen“ [14]. Die MDT (mean down time) ist der „Erwartungswert der Verteilung der Stördauern“ [14]. Darüber hinaus findet man in der Literatur noch die MTTR (mean time to repair), die den „Erwartungswert der mittleren Stördauer“ beschreibt [111], und MTTF (mean time to failure), die den „Erwartungswert der mittleren Dauer zwischen zwei Fehlern“ beschreibt.

Die Kennzahlen können zur Schwachstellenanalyse in Getränkeabfüllanlagen herangezogen werden. Es finden sich Quellen, in denen deren Verwendung zur Optimierung im Rüstbereich erwähnt ist. So beschreibt z. B. [38], dass die alleinige Betrachtung der Kennzahl Availability zwar aus betriebswirtschaftlicher Sicht sinnvoll ist, doch zur Lokalisierung von Schwachstellen müssen die Kennzahlen MTTR, MTTF und MTBF betrachtet werden. KATHER [55] beschreibt in seiner Arbeit den Zusammenhang zwischen MTBF bzw. MDT und der Stillstandszeit am Zentralaggregat. Dort kommt er zum Schluss, dass es keinen direkten Zusammenhang zwischen Störanfälligkeit der Einzelmaschine und der Effizienz der Gesamtanlage gibt.

- Modellbasierte Diagnose (siehe Kapitel 2.4)

2.3.3 Schwachstellenanalyse zur Verbesserung von Leistungsfaktorverlusten (Performance)

Die Performance berücksichtigt bei ihrer Berechnung Verluste durch kleinere Störungen und Zeiten, in denen die Ausbringung der Anlage unter der Nennausbringung arbeitet [72]. Methoden für die Schwachstellenanalyse und Optimierung der Performance sind das TPM (siehe 2.3.2) und der KVP (Kontinuierlicher Verbesserungsprozess). Im Bereich der Getränkeabfüllanlagen werden zum Kompensieren von kleinen Störungen durch [3] Vorgaben zur optimalen Gestaltung von Anlagen gegeben (vgl. Kapitel 2.1.2). Zur

automatischen Schwachstellenanalyse wurde die modellbasierte Diagnose entwickelt (siehe Kapitel 2.4)

2.3.4 Schwachstellenanalyse zur Verbesserung des Qualitätsfaktorverlusten (Quality)

Die Qualitätsrate wird durch zwei Verlustarten beeinflusst: fehlerhaft produzierte Güter zu Beginn der Produktion (startup rejects) und nicht qualitätsgerechte Güter während des normalen Produktionsbetriebs (production rejects). Schwachstellenanalysemethoden sind zumeist mit Optimierungsmethoden gekoppelt, da Fehler im Produktionsprozess an spezifischen Maschinen auftreten. Herauszuheben sind hier die Six Sigma Methode und das Lean Management. Häufig treten die Methoden auch in Mischform dem sogenannten LSS (lean Six Sigma) auf [93].

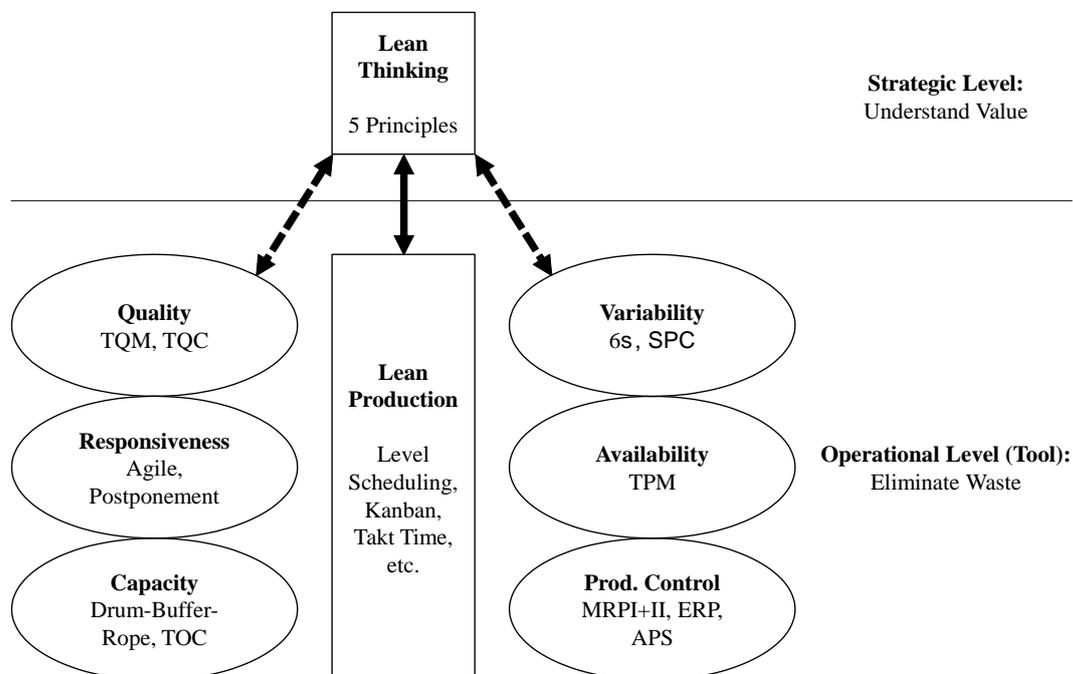


Abbildung 2-11: Lean - A framework [43]

- Six Sigma [102] setzt Zielwerte Richtung Null-Fehler und eine Streuungsminimierung von 6 Sigma bei einer zugrunde gelegten Normalverteilung, d. h. die Toleranz eines Qualitätsmerkmals beispielsweise die Breite eines Werkstücks soll in einem Bereich von 6-Sigma der Normalverteilung um einen Zielwert liegen. Dadurch ist eine quasi fehlerfreie Produktion gesichert. Six Sigma setzt im Gegensatz zu KVP oder Kaizen auf die Durchführung durch speziell ausgebildete Mitarbeiter [65]. Der Kernprozess ist der sogenannte DMAIC-Zyklus. Six Sigma ist auf Einzelprojekte beschränkt und hat nicht die gesamte Produktion im Fokus, trotzdem lassen sich durch Six Sigma „erstaunliche Einsparpotentiale ausschöpfen“ [4]. Six Sigma ist in

allen Industriezweigen weit verbreitet und gehört zu den Standardmethoden zur Qualitätsverbesserung [112].

- Lean Production Management (LPM): Zur Erreichung der Unternehmensziele setzt Lean auf verschiedene Werkzeuge (Tools), die Abbildung 2-11 zusammenfasst. Davon sind die Tool 6s und SPC zur Schwachstellenanalyse geeignet, da sie Fehler in der Produktion aufdecken können [4].

2.3.5 Zusammenfassung

Für die eigentliche Schwachstellenanalyse in verketteten Produktionslinien gibt es als status quo vor allem Konzepte bzw. Methoden, die auf eine standardisierte, manuelle Analyse setzen. Der Fokus dieser Methoden (z. B. SMED, SIX SIGMA, LEAN) liegt vorrangig auf der Effizienzverbesserung von Produktionslinien. Aber einige Methoden wie 5S-Prinzip, A3-Methode (aus LEAN) oder SMED sind Methoden, um Schwachstellen zu analysieren, allerdings zumeist durch manuelle Beobachtung.

2.4 Modellbasierte Effizienzanalyse in Abfüllanlagen

Mit der modellbasierten Effizienzanalyse ist eine Methode zur automatischen Erkennung von Schwachstellen in Abfüllanlagen entwickelt worden. Sie identifiziert Gründe für Stillstände in Getränkeabfüllanlagen und stellt somit eine Analysemethode für die Leistungs- und Verfügbarkeitsverluste dar. Die Grundlagen wurden von Kather [55] und Voigt [128] veröffentlicht und bilden die Basis dieser Arbeit. Im Folgenden werden die gelegten Grundlagen beschrieben und deren Grenzen aufgezeigt, wodurch der wissenschaftliche Handlungsbedarf für die weitere Entwicklung der modellbasierten Diagnose abgeleitet wird.

2.4.1 Grundlagen der konsistenzbasierten Diagnose

Kern der modellbasierten Diagnose ist zu überprüfen, ob eine Verhaltensbeobachtung einem zugrunde liegenden Modell widerspricht (konsistenzbasierte Diagnose), oder ob eine Verhaltensbeobachtung aus dem Modell folgt (abduktive Diagnose). Einfach ausgedrückt: „Diagnose beschäftigt sich damit, herauszufinden, dass und warum etwas sich nicht so verhält wie es eigentlich sollte“ [39].

Abbildung 2-12 zeigt das Prinzip der konsistenzbasierten Diagnose. Das Untersuchungsobjekt (in diesem Fall eine Abfüllanlage) wird in einem Modell abgebildet. Dies geschieht durch die Verknüpfung von Einzelkomponentenmodellen (hier Maschinen), die jeweils das OK-Verhalten der Komponente abbilden. Dadurch kann eine Vorhersage getroffen werden, wie sich das Gesamtmodell korrekt verhält (entspricht Modell OK). Auf der anderen Seite steht das zu untersuchende System. Von diesem können in einer beliebigen Form Beobachtungen gemacht werden (hier Betriebsdaten der Einzelmaschinen). Nun werden die Beobachtungen des Systems mit den Vorhersagen des OK-Modells verglichen.

Wenn Konsistenz zwischen Beobachtungen und Vorhersagen besteht, liegt im System kein Fehler vor (vorausgesetzt die Modellierung ist korrekt). Wird Inkonsistenz festgestellt muss im System ein Fehler vorliegen. Nun werden durch die konsistenzbasierte Diagnose mögliche Szenarien errechnet, deren Vorhersagen wiederum mit den Beobachtungen des realen Systems übereinstimmen. Diese Szenarien nennt man Fehlermodelle. Alle konsistenten Fehlermodelle sind dann mögliche Fehlermodelle des Szenarios und sind somit die Diagnoseergebnisse eines Fehlerszenarios. Da bei der modellbasierten Diagnose alle möglichen Systemzustände mathematisch bestimmt und betrachtet werden, kann durch die Diagnose jedes Fehlerszenario diagnostiziert werden, ohne diese vorher explizit zu modellieren. Somit können auch Kombinationen von Fehlern von Einzelkomponenten als mögliche Diagnose erkannt werden.

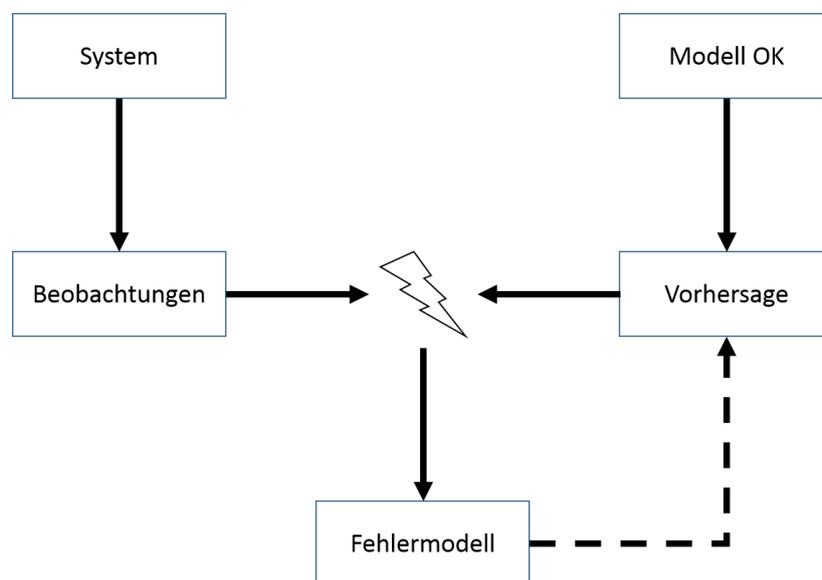


Abbildung 2-12: Prinzip der modellbasierten Diagnose [128]

2.4.2 Numerische Modellkomponenten zu Diagnosezwecken

Für die modellbasierte Diagnose werden wie oben beschrieben Diagnosemodelle benötigt. Kather [55] entwickelte vier Komponentenmodelle um Abfüllanlagen abzubilden. Diese zeigt Tabelle 2-6.

Tabelle 2-5: State Variables, Parameters und Interfaces des MT aus [107]

Material Transporter		
		
State Variables		Domains
B	Anzahl gespeicherter Objekte	$=\{0, \dots, C_{MT}\} C_{MT} = \text{Kapazität von MT}$
B_{out}	Anzahl gespeicherter Objekte, die am Ausgang verfügbar sind	$=\{0, \dots, C_{MT}\} C_{MT} = \text{Kapazität von MT}$
Bar_{IN}	mechanische Sperre am Eingang	$=\{0, 1\}$ 1= Barriere gesetzt
Bar_{OUT}	mechanische Sperre am Ausgang	$=\{0, 1\}$ 1= Barriere gesetzt
v_{in}	Geschwindigkeit des Objektflusses in die Komponente [m/s]	$=\{R_0^+\}$
v_{out}	Geschwindigkeit des Objektflusses aus der Komponente [m/s]	$=\{R_0^+\}$
t_d	“Totzeit” [s]	$=\{R_0^+\}$
Parameters		
A_b	Fläche der Komponente [m ²]	$=\{R_0^+\}$
C_{por}	Porositätskorrekturfaktor	$=\{0, \dots, 1\}$
$f_{in,i}$	Verteilungsfunktion der Objekte an den i Eingängen der Komponente	$=\{0, \dots, 1\}$
$f_{out,i}$	Verteilungsfunktion der Objekte an den i Ausgängen der Komponente	$=\{0, \dots, 1\}$
Interfaces		
$in.A_e$	Projektionsfläche der Objekte [m ²]	$=\{R_0^+\}$
$out.A_e$	Projektionsfläche der Objekte [m ²]	$=\{R_0^+\}$
$in.d_0$	größte Ausdehnung der Objekte in Flussrichtung am Eingang [m]	$=\{R_0^+\}$
$out.d_0$	größte Ausdehnung der Objekte in Flussrichtung am Ausgang [m]	$=\{R_0^+\}$
$in.q_{pot}$	potentieller Fluss in MT [^{elements} /s]	$=\{0, \dots, v_{in} / in.d_0\}$
$out.q_{pot}$	potentieller Fluss aus MT [^{elements} /s]	$=\{0, \dots, -v_{out} / out.d_0\}$
$in.q_{act}$	aktueller Fluss in MT [^{elements} /s]	$=\{0, \dots, v_{in} / in.d_0\}$
$out.q_{act}$	aktueller Fluss aus MT [^{elements} /s]	$=\{0, \dots, -v_{out} / out.d_0\}$
$in.type$	Objekttyp am Eingang	$=\{\text{objects}\}$ in der Anlage vorkommende
$out.type$	Objekttyp am Ausgang	$=\{\text{objects}\}$ Objekte, z. B. Flaschen, Kästen

Tabelle 2-6: Modellkomponenten der modellbasierten Diagnose nach KATHER [55]

Komponente	Beschreibung	Beispiele
Material Transporter (MT)	Objektstrom läuft durch Komponente	Flaschenfüllmaschine, Flaschenausstattungsmaschine, Flaschenpuffer, Transporteure
Transportation Connector (TC) (Anhang Ai)	Virtuelle Komponente zur Verbindung der Komponenten	-
Combine Element (CE) (Anhang Aii)	2 unterschiedliche Objektströme (OS) werden zu einem OS zusammengefasst	Einpackmaschine, Palettenbelademaschine
Seperate Element (SE) (Anhang Aiii)	1 OS wird in 2 unterschiedliche OS aufgeteilt	Auspackmaschine, Palettenentlademaschine

Am Beispiel der Komponente „Material Transporter“ wird die Modellierung der Komponenten genauer erläutert. Analog dazu wurden die anderen Komponenten entwickelt (siehe Anhang A und [55; 128]).

Die Komponenten verfügen zu ihrer Charakterisierung über folgende Elemente:

- Parameter, die die Konstanten in den Gleichungssystemen repräsentieren
- State Variables, die sich auf Basis der Gleichungssysteme dynamisch ändern können
- Terminals/Interfaces, die die Verbindungskanäle zwischen den einzelnen Komponenten darstellen
- Mode Assignments, die die verschiedenen Verhaltensweisen der Komponenten symbolisieren. Da in der vorliegenden Arbeit lediglich eine Fehlerlokalisierung durchgeführt werden soll, handelt es sich bei den MA ausschließlich um die Zustände *okay* und *–okay*

Die Komponente „Material Transporter“ repräsentiert Aggregate/Komponenten, die Objekte befördern. Darunter fallen sowohl Transporteure als auch Maschinen wie Flaschenfüll- oder Flaschenausstattungsmaschinen. Die schematische Darstellung der Komponente zeigt Tabelle 2-5 und Abbildung 2-13 zeigt das Modell der Komponente „Material Transporter“.

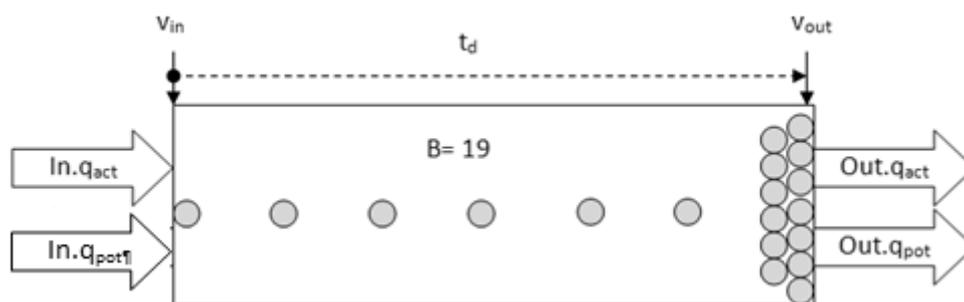


Abbildung 2-13: Komponente Material Transporter (MT)

Das OK-Modell wurde im nächsten Schritt durch Kather formalisiert und durch Simulation validiert, so dass die Gültigkeit der Modelle gezeigt wurde. Allerdings erfolgte keine konsequente Verknüpfung zu Beobachtungen, so werden im oben beschriebenen Modell als Interface lediglich Flüsse abgebildet, nicht aber Statusinformationen die mit den Flüssen korrespondieren.

2.4.3 Zeitliche Modellierung von Getränkeabfüllanlagen

Die modellbasierte Diagnose (konsistenzbasierte Diagnose) geht von einem stationären Zustand aus, berücksichtigt also keine Veränderungen des Systems über die Zeit [128]. Das heißt für ein Diagnoseszenario wird ein stationäres Abbild des Anlagenstatus erstellt. Konkret muss für jede Maschine ein Statusabbild zu einer bestimmten, relevanten Zeit ermittelt werden.

In Getränkeabfüllanlagen haben Störungen einer Maschine aber eine zeitlich versetzte Auswirkung auf die Störungen anderer Maschinen. Das Beispiel in Abbildung 2-14 soll dies verdeutlichen. Die Maschine M_2 hat eine Störung (zum Beispiel die Reinigungsmaschine in einer Getränkeabfüllanlage). Dadurch werden keine Objekte (Flaschen) über den Transporteur T_2 zur Maschine M_1 (z. B. Leerflascheninspektor) transportiert. Maschine M_1 hat deshalb einen Mangel an Flaschen. Die Störung, die einen Mangel auslöst muss genau zeitlich vor der Totzeit $t_{d,T-2}$ des Transporteurs T_2 liegen (praktisch ergibt sich ein Intervall $t_{d,T-2} + s$, da der Objekttransport nicht ideal abläuft). Wenn die Maschine zu diesem Zeitpunkt Flaschen produziert hätte, hätte die Maschine M_1 Flaschen zur Verarbeitung und es wäre nicht zu einem Mangel gekommen. Auf Grund des Mangels an der Maschine M_1 kommt es dann zu einem Mangel an M_0 (z. B. Flaschenfüllmaschine).

Für die Diagnose muss nun aus dem oben genannten Szenario ein stationäres Abbild generiert werden, also die relevanten Systemzustände selektiert werden. In diesem Fall sind das die Zustände der Maschine, die sich gegenseitig bedingen. Also hier bedingt die Störung an M_2 , den Mangel an M_1 und der wiederum den Mangel an M_0 .

Ausgehend vom Symptom wird der stationäre Anlagenzustand in der zeitlichen Modellierung abgebildet. D. h. man geht vom Beginn des Stillstands des Symptoms aus und versucht die verursachenden Maschinenzustände zu ermitteln. Zur Ermittlung der korrekten Betriebsdaten wurden Regeln zur Auswahl der stationären Betriebsdaten erstellt. Diese sind:

- (1) Auswahl der störungsrelevanten Maschine
- (2) Auswahl des störungsrelevanten Zeitfensters
- (3) Auswahl des relevanten Betriebszustandes

(1) Die Auswahl der relevanten Maschine geschieht auf Grund des Symptoms an der gestörten Maschine. Symptome, die überprüft werden sind der *Mangel* und der *Stauzustand* an der Maschine. Im Falle eines *Staus* wird die nächste Maschine M_1 betrachtet, im Falle eines *Mangels* die vorherige M_{-1}

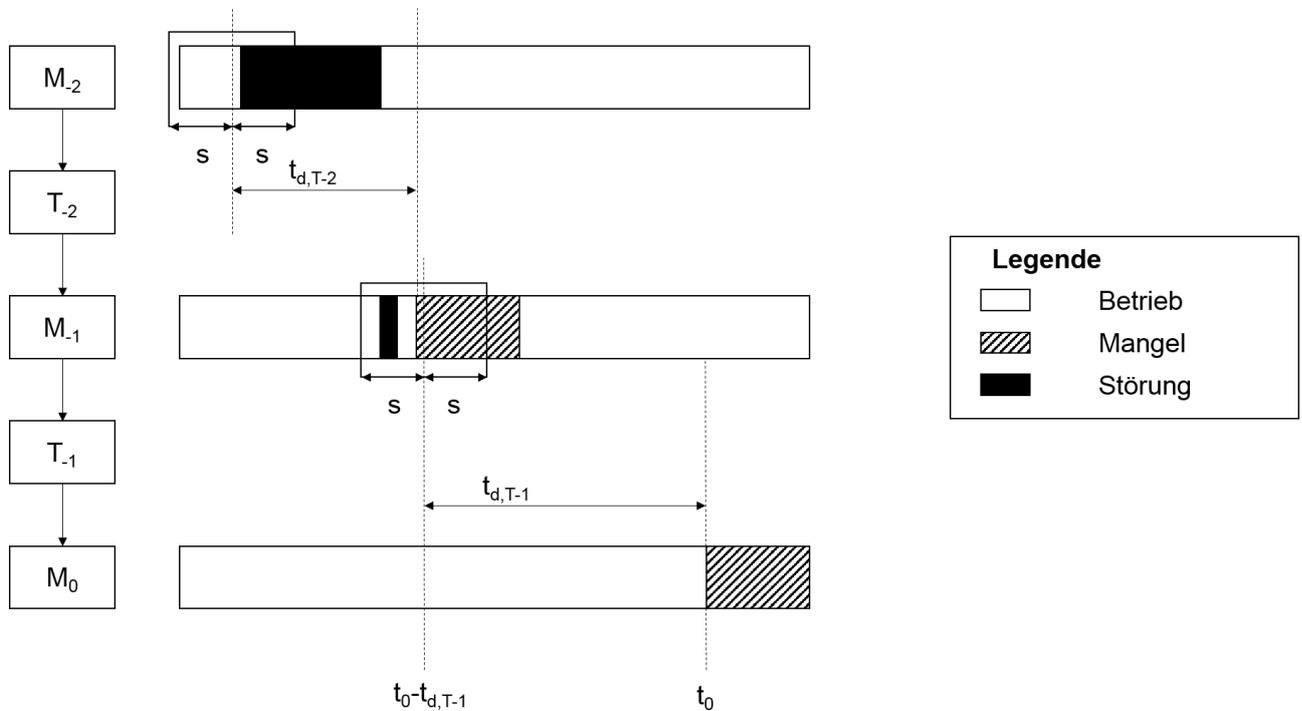


Abbildung 2-14: Modellbasierte Diagnose, Beispiel Zeitmodell

(2) Nun wird das Zeitfenster/Zeitpunkt bestimmt, in dem der relevante Status auftritt.

(2.a) Im Falle des *Staus* wird davon ausgegangen, dass ein Stau nur dann entstehen kann, wenn die folgende Maschine ebenfalls nicht in Betrieb ist. Somit ist das Zeitfenster im Staufall genau ein Zeitpunkt, nämlich der Zeitpunkt, zu dem das Symptom beginnt.

$$t = t_0$$

(mit t = ausgewählter Zeitpunkt der Beobachtung, t_0 = Diagnosezeitpunkt)

(2.b) Im Falle des Symptoms *Mangel* wird die vorherige Maschine betrachtet. Auf Grund der Totzeit des vorhergehenden Transporteurs wirkt sich ein Stillstand der vorgeschalteten Maschine erst nach der Totzeit t_d auf das zu untersuchende aus. Somit ist der entscheidende Zeitpunkt

$$t = t_0 - t_d$$

In der Realität kann die Totzeit von Transporteuren aber nicht exakt bestimmt werden, da der Laufweg von Flaschen variieren kann. Somit hat sich die Einführung eines Sicherheitsfaktors s bewährt. Um diesen wird ein Intervall um die Totzeit aufgespannt, in dem die darin liegenden Betriebszustände ausgewertet werden. Somit liegt der relevante Zeitpunkt t im Intervall:

$$t \in [t_0 - t_{d,T-1} - s; t_0 - t_{d,T-1} + s]$$

(3) Nun muss der relevante Betriebszustand im Zeitintervall ausgewählt werden.

(3.a) Zur Auswahl des korrekten Betriebszustands wird im *Staufall* der Status zum Zeitpunkt t betrachtet.

(3.b) Im Falle des *Mangels* können verschiedene Statusinformationen im oben definierten Intervall liegen. Es wird eine Priorisierung der Betriebszustände vorgenommen. Die Priorisierung erfolgt in folgender Reihenfolge: *Mangel->Stau->Störung->Betrieb*.

Im Beispiel liegen im Betrachtungszeitraum die Zustände *Mangel*, *Störung* und *Betrieb* an. Somit wird auf Grund der Priorisierung *Mangel* als relevanter Betriebszustand ausgewählt.

Wurde an der betrachteten Maschine ein Mangel oder Stau als relevanter Betriebszustand ausgewählt, so wird dieser zum Symptom und die Analyse des Symptoms erfolgt analog zur beschriebenen Vorgehensweise. Also im Beispiel für Symptom *Mangel* an $M_{.1}$:

(1) *Mangel* an $M_{.1}$ -> Betrachtung der vorgeschalteten Maschine $M_{.2}$.

(2) Störungsrelevanter Zeitfenster ist (mit t_1 = Startzeitpunkt des *Mangels* an $M_{.1}$):

$$t \in [t_1 - t_{d,T-2} - s; t_1 - t_{d,T-2} + s].$$

(3) Nach Priorisierung wird *Störung* an $M_{.2}$ ausgewählt.

Für die zeitliche Modellierung der Anlage müssen somit die Materialströme der Anlage mit dem zugehörigen Symptom und deren zeitlichem Versatz abgebildet werden (siehe Abbildung 2-15).

Hier wird beispielhaft gezeigt wie die zeitliche Modellierung erfolgt. Für die Maschine M_0 wird der kausale Weg modelliert, wie sich ein Mangel bis hin zu M_0 fortpflanzt. So werden jeweils die relevante Maschine, die zu einem Mangel an M_0 führen können, und der relevante Beobachtungszeitraum, in dem die Maschinen beobachtet werden müssen, definiert. Im Falle der Verzweigung an M_2 wird M_2 von M_4 nicht durch einen Mangel sondern durch

einen Rückstau angehalten (Beispiel: Auspackmaschine (M-2) kann angehalten werden wegen fehlenden ankommenden Kästen vom Entkorker (M-3) oder durch Rückstau von leeren Kästen von der Kastenreinigungsmaschine). Somit muss hier das störungsrelevante Zeitfenster für Rückstau gewählt werden, das immer der Zeitpunkt des Symptomstarts ist.

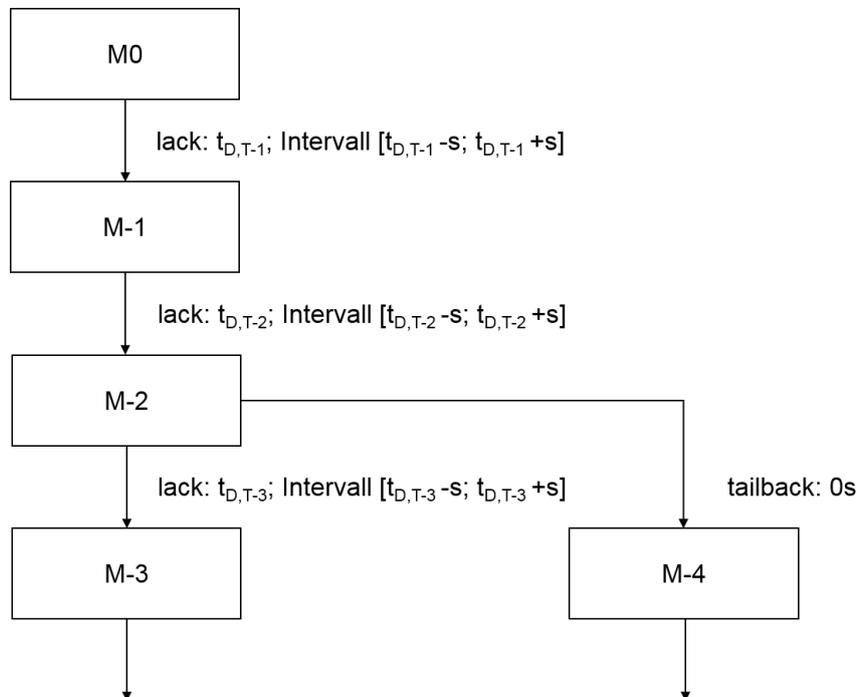


Abbildung 2-15: Beispiel Zeitliche Modellierung (Lack-Modell)

2.4.4 Tool zur Diagnose

2.4.4.1 Diagnosemaschine Razor

Für die Durchführung der modellbasierten Diagnose gibt es eine Reihe von Software-Tools, die die mathematische Lösung der modellbasierten Diagnose errechnen können. Eine Übersicht wurde von Kather [55] zusammengestellt:

- Algorithmus basierend auf Conflicts und Hitting Sets nach Reiter [88]
- Default-based Diagnostic Engine (DDE) nach Dressler und Struss [19; 20]
- DRUM (II) nach Fröhlich [34; 35]
- General Diagnostic Engine (GDE) nach de Kleer [59]
- GDE+ nach Struss [106]
- Structure Based Abduction (SBA) nach Dechter [22]
- TREE nach Stumptner [109]

Um Diagnoseprobleme in Getränkeabfüllanlagen zu lösen wurde von Kather die DDE-Diagnosemaschine ausgewählt. Diese ist im Tool Razor der Firma OCC'M Software GmbH integriert. Die Software besteht im Wesentlichen aus zwei Teilen: Eine Diagnosemaschine

zur mathematischen Lösung von modellbasierten Diagnoseproblemen und ein Frontend. Im Frontend lassen sich Komponenten definieren, diese zu Modellen zusammensetzen und Diagnosen (mit der Diagnosemaschine) durchführen. Durch Force-Mechanismen lassen sich Systemvariablen beeinflussen (setzen von Signalen, Wertvorgaben etc.) und so können Testszenarien aufgebaut und manuelle Tests durchgeführt werden. Das Tool eignet sich beispielsweise zur Verifizierung von Modellkomponenten. So können erwartete Werte an Ein- und Ausgängen der Komponenten gesetzt werden und überprüft werden, ob das modellierte Systemverhalten dem erwarteten entspricht. Die Diagnosemaschine geht dabei immer von einem statischen Zustand des Systems aus, betrachtet also das Problem immer zu genau einem Zeitpunkt. Zur Lösung dieses Problems wurde die Diagnosemaschine in ein Diagnosetool integriert, das auch die zeitliche Modellierung wie in Kapitel 2.4.3 beschrieben verarbeiten kann.

2.4.4.2 Modellbasiertes Diagnosetool

Das Diagnosetool besteht im Kern aus der oben beschriebenen Diagnosemaschine. Hinzu kommen verschiedene Elemente zum Datenhandling und die Integration des zeitlichen Modells.

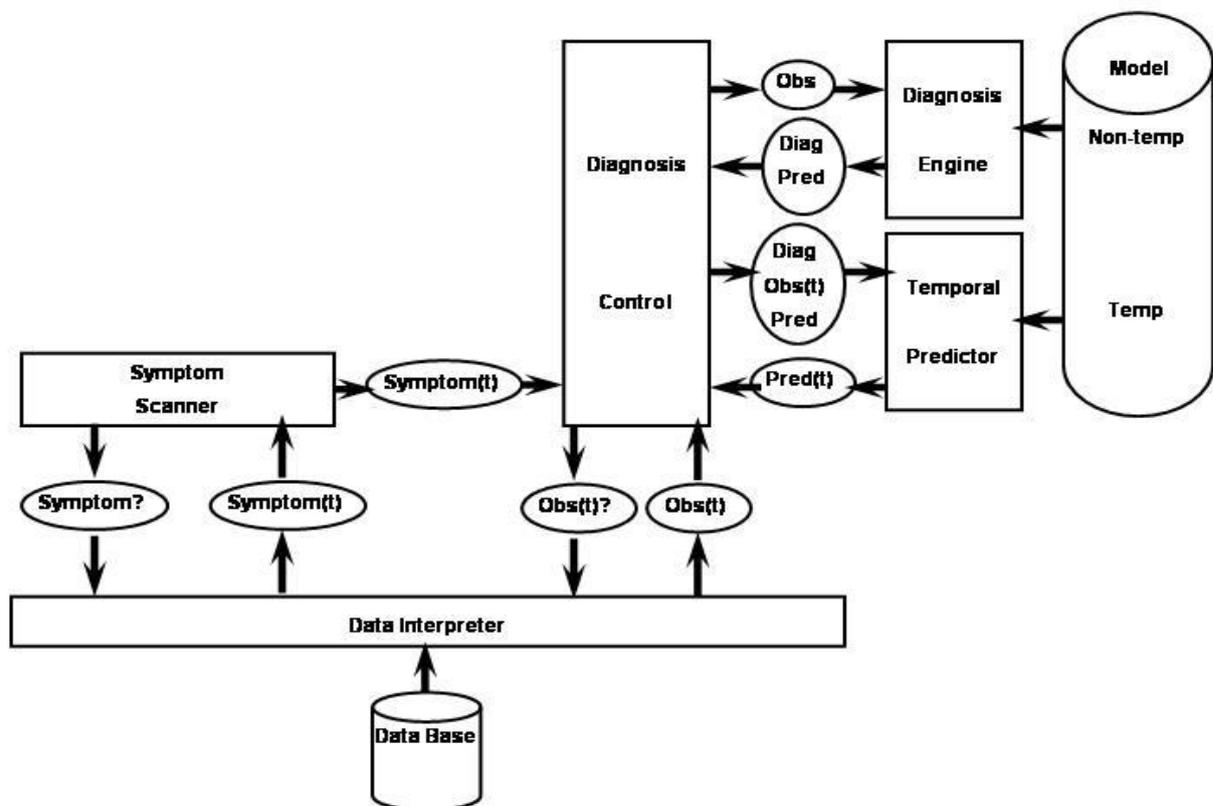


Abbildung 2-16: Architektur des Diagnosetools aus [108]

Abbildung 2-16 zeigt die allgemeine Architektur, die einzelnen Module sowie den Informationsfluss des modellbasierten Diagnosetools. Zu allererst fordert der *Symptom Scanner* beim *Data Interpreter* die Überprüfung der Präsenz einer Menge von *Symptomen* in einem gleitenden Zeitfenster an, d.h. Mangel und Stausituationen des zentralen Aggregats in einem gewählten Zeitfenster. Der *Data Interpreter* nimmt die Anfrage an, sucht diese Symptome in einer standardisierten Datenbank und gibt sämtliche Zeitintervalle der bestätigten *Symptome* zurück (z.B. Mangel von X bis Y). Immer wenn ein *Symptom* entdeckt wurde, wird es samt zeitlicher Information zum Modul *Diagnosis Control* geschickt. Dann generiert *Diagnosis Control* eine Diagnoseaufgabe für jedes Symptom als Anfangsbeobachtung und ruft die **nicht** zeitliche *Diagnosis Engine* (Diagnosemaschine) mit den Features (Beobachtungen aus der Anlage, z. B. Störung Reinigungsmaschine) **ohne** deren zeitliche Informationen auf. Das Modul *Temporal Predictor* wird ebenfalls von *Diagnosis Control* aufgerufen. Dieses enthält die zeitliche Modellierung der Anlage. Es gibt entsprechende Zeitintervalle pro Maschine aus, um die *Features* (z.B. gab es eine Störung der Reinigungsmaschine im Zeitintervall X bis Y) im betreffenden Zeitintervall zu bestätigen oder zu entkräften. Über den *Data Interpreter* werden die entsprechenden Beobachtungen in der Datenbank gesucht. Bei Übereinstimmung der Beobachtungen mit der Diagnose aus der *Diagnosis Engine* ist ein konsistentes Fehlermodell gefunden und somit der Verursacher einer Störung identifiziert.

2.4.5 Grenzen der modellbasierten Diagnose nach Kather und Voigt [55; 128]

Der gegenwärtige Entwicklungsstand der modellbasierten Diagnose wurde durch Kather und Voigt [55; 128] beschrieben. Folgende Grenzen wurden aus der Literatur identifiziert:

- Validierung der modellbasierten Diagnose [55; 128]
 - o Definition von Diagnosegenauigkeit: Zur Validierung der modellbasierten Diagnose wurden die Diagnosen mit händischen Schwachstellenanalysen verglichen. D.h. es wurden Beobachtungen in realen Anlagen gemacht, welche Störgründe zum Stillstand der Anlage führten. Als korrekte Diagnose wurde gewertet, wenn die Beobachtung mit der Diagnose übereinstimmte, aber auch, wenn nach manueller Begutachtung der Datenbasis davon ausgegangen wurde, dass die Diagnose auf Grund der Datenlage korrekt ist. Somit konnte hier kein Nachweis der tatsächlichen Korrektheit der Diagnose erbracht werden.
 - o Kather [55] führte die Validierung an Hand von zwei Beispielanlagen durch. Dabei ergaben sich folgende Diagnosegenauigkeiten:
 - Anlage A (40%): Eine Diagnosegenauigkeit von 40% kann als nicht ausreichende Validierung der Methode herangezogen werden.

- Anlage B (84%): Die Validierung ergab eine relativ hohe Diagnosegenauigkeit. Allerdings beschränkt sich die Validierung lediglich auf eine Anlage, so dass hier noch weitere Untersuchungen anzustreben sind.

Kather zeigt in seiner Arbeit die grundsätzliche Eignung der Modellbasierten Diagnose für die Schwachstellenanalyse von Getränkeabfüllanlagen. Er empfiehlt hier eine Optimierung und Anpassung der Diagnosemaschine für zukünftige Arbeiten [55].

- Validierung der modellbasierten Diagnose nach Voigt [128]

Die Validierung wurde an zwei realen Anlagen durchgeführt. Im Falle von Anlage A ergab sich eine Genauigkeit von 63,6 % bei Anlage B von 88,7 %.

Damit zeigt Voigt ebenfalls die prinzipielle Anwendbarkeit der Diagnose für Anlage B, die Validierung von Anlage A ist nur bedingt gültig, da nur elf Diagnosefälle untersucht wurden und die Diagnosegenauigkeit auf Grund der Datenlagegrundlage bei lediglich 63,6 % liegt.

- **Fazit:** die beschriebenen Arbeiten zeigen grundsätzlich die Eignung der Modellbasierten Diagnose zur Lokalisierung von Schwachstellen in Getränkeabfüllanlagen. Allerdings zeigt sich bei den bisherigen Ergebnissen, dass die Diagnosegenauigkeit oft unbefriedigend ist und auch die Messung der Diagnosegenauigkeit nicht standardisiert ist.

- Beschreibung von abstraktem Störverhalten und verteilter Störursachen

Die Modellbasierte Diagnose lässt nur den Rückschluss auf den Erstfehler zu, der eine Störung in der Getränkeabfüllanlage auslöst. Allerdings können Fehler zum einen durch mehrere Maschinen verursacht werden und zum anderen durch eine Reihe von Einzelfehlern (komplexe Störmuster) verursacht werden, was durch die bisher entwickelten Modelle nicht abgebildet werden kann.

- Fehlende Modellkomponenten zur Objektverzweigungen

Abbildung 2-17 zeigt eine beispielhafte Anlagenkonfiguration, die nicht mit den bisher verfügbaren Komponenten der modellbasierten Diagnose abbildbar ist.

In diesem Beispiel werden je zwei Parallelmaschinen zur Inspektion von Leerflaschen und zum Etikettieren von Vollgut betrieben. Das heißt, der Flaschenstrom muss an verschiedenen Stellen geteilt bzw. zusammengeführt werden (siehe Markierung Abbildung 2-17). Entsprechende Modelle für Transportkomponenten sind bisher nicht verfügbar.

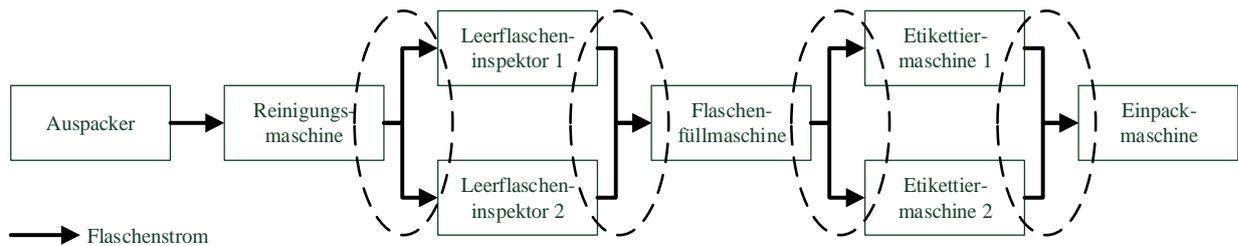


Abbildung 2-17: Grenzen der modellbasierten Effizienzanalyse fehlende Objekttypen

- Diagnose von Minderleistungen

Minderleistungen am zentralen Aggregat sind ein weiterer Effizienzverlust, der durch Diagnose untersucht werden kann. Die Idee ist die bisherige Modellierung der Komponenten zu erweitern, um diesen Aspekt zu betrachten. Die bisherige Modellierung der Maschinen unterscheidet in Objektfluss und kein Objektfluss. Für die Diagnose der Minderleistung könnte ein dritter Zustand „verminderter Objektfluss“ ergänzt werden.

- Fehlerhafte Betriebsdaten beeinflussen die Kennzahlenberechnung und Diagnosefunktionalität

Die Diagnosefunktionalität wurde durch Kather umfangreich validiert. Eine wesentliche Einflussgröße auf die Diagnosequalität war die Korrektheit bzw. fehlende Korrektheit von Betriebsdaten. Diese waren im Fall der Diagnose häufig durch fehlerhafte Status- und Programminformationen beeinflusst.

2.5 Zusammenfassung der Grundlagen und daraus abgeleiteter Handlungsbedarf

Kapitel 2 beschreibt den wissenschaftlichen und technischen Methoden, um die Effizienz von verketteten Produktionslinien zu messen bzw. zu bewerten und Schwachstellen zu identifizieren. Verkettete Produktionslinien in der Lebensmittelindustrie sind hybride Fertigungsanlagen, die zwar spezifische Stückgüter herstellen, auf Grund der großen Stückzahl wird das Produktionsergebnis als einheitliche Charge gesehen.

Zur Effizienzbewertung von Abfüllanlagen gibt es eine Reihe von Kennzahlensystemen (z. B. OEE, DIN8782, DIN8743). Dabei hat sich insbesondere die OEE als brauchbar erwiesen, da sie automatisch bestimmbar, leicht verständlich und leicht zu erfassen ist. Sie erlaubt auch eine Zuordnung von Verlustzeiten zu verschiedenen Aufgabenbereichen des Unternehmens, was ein erster Schritt der Schwachstellenerkennung darstellt.

Eine automatische Methodik, um Schwachstellen in verketteten Produktionslinien zu analysieren, ist die modellbasierte Diagnose nach KATHER. Dieser modellierte

Getränkeabfüllanlagen numerisch und leitete daraus qualitative Modelle ab, um sie in der modellbasierten Diagnose zu verwenden. Diese wurden vorrangig durch Simulationsdaten validiert. Eine abgesicherte, experimentelle Validierung durch reale Anlagen wurde nicht durchgeführt, sie erfolgte nur beispielhaft.

Wesentlicher Handlungsbedarf bei der Entwicklung der modellbasierten Diagnose:

- Fehlende Modellkomponenten (Objektstromteilung, Objektstromvereinigung)
- Praxisrelevante Validierung
 - o Mangelnde Ergebnisse auf Grund unzureichender Datenqualität
 - o Nicht durchgängige Definition der Diagnosegenauigkeit
 - o Praxisnahe Validierung nur mit Stichprobencharakter
- Diagnose von Verlusten auf Grund verminderter Geschwindigkeit

Somit wird in dieser Arbeit die Methode der Modellbasierten Diagnose, um die oben beschriebenen Handlungsfelder weiterentwickelt. Dazu sind die Schaffung einer Modellbibliothek, die Ergänzung von Modellkomponenten und die praxisnahe Modellierung nötig. Um die modellbasierte Diagnose als Methode im Praxistest validierbar zu machen, wird eine Methode zur Verbesserung der Datenqualität entwickelt, um korrekte Betriebsdaten zu erhalten.

3 Methode zur Schaffung einer verbesserten Datengrundlage für den Einsatz der modellbasierten Diagnose

3.1 Methoden zur standardisierten Abnahme von Maschinen in der Verpackungstechnik

Kapitel 2.1.4 zeigt, dass die Betriebsdatenerfassung in Verpackungsanlagen sowie im Besonderen in Getränkeabfüllanlagen hoch automatisiert ist und sich durch Standardisierung auch eine hohe Datenqualität erreichen lässt. Trotzdem zeigen Datenevaluierungen Fehler wie falsch angezeigte, falsch erfasste bzw. falsch interpretierte Daten [55; 128]. Grundlage einer korrekten und aussagekräftigen Effizienzbewertung und im speziellen einer Schwachstellenanalyse ist eine valide Datenbasis (siehe auch Kapitel 2.4.5).

Die Methode der standardisierten Abnahme soll zukünftig vor der Integration neuer Aggregate in eine Gesamtanlage angewandt werden. Es wird das Datenangebot sowie deren Validität (Korrekte Versorgung der Datenpunkte) von Maschinen abgeprüft. Dazu werden diagnoserelevante Informationen sowie Informationen, die zur Berechnung von Kennzahlen notwendig sind, betrachtet. Eine Abnahme weiterer Informationen zu anderer Zwecke kann analog durchgeführt werden, ist aber nicht im Fokus dieser Arbeit. Nach der Anwendung der Methode, soll ein Anlagenbauer in der Lage sein, erkannte Fehler zu beheben und nach erneuter Abnahme die Validität der Schnittstelle zu bestätigen.

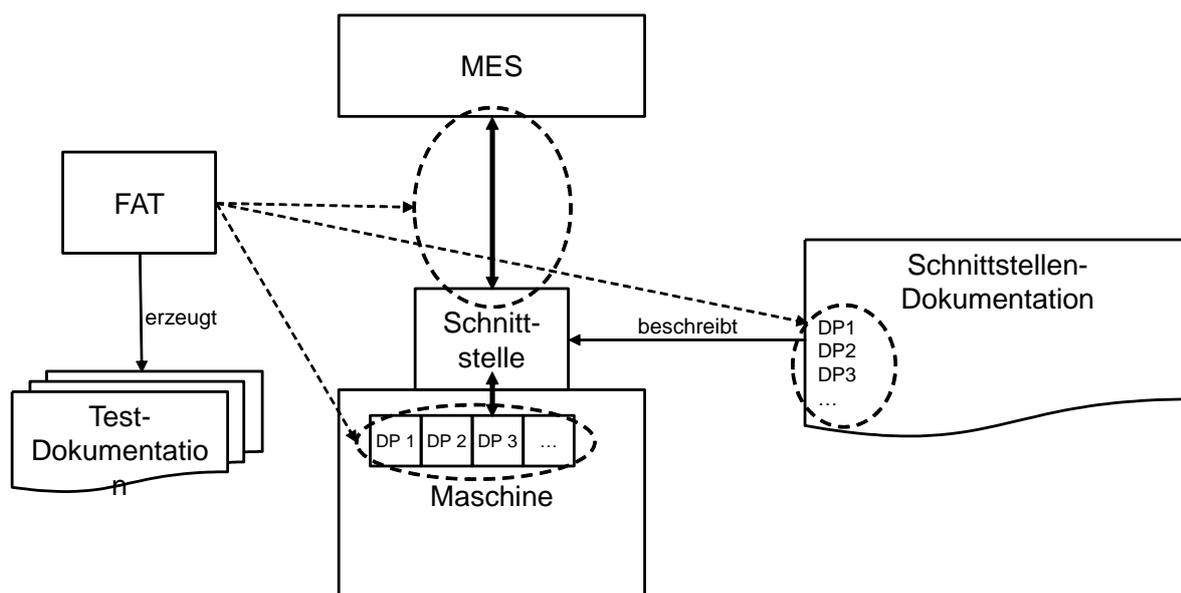


Abbildung 3-1: Konzept Schnittstellenabnahme

Das Konzept der standardisierten Abnahme zeigt Abbildung 3-1. Der Test (Factory acceptance test FAT) verlangt einen zweistufigen Ablauf. So müssen zum einen die Datenpunkte (Überprüfung Informationsmodell) auf Existenz (Abgleich Dokumentation<-> Maschine), zum anderen muss der Inhalt auf Konsistenz geprüft werden, d. h. ob korrekte Dateninhalt von der Maschine über die Schnittstelle (Optimierung der Datenqualität für Diagnoseverbesserung) bereitgestellt werden. Die anschließende Dokumentation hilft dann der systematischen Behebung der Fehler, steht aber nicht im Fokus der Arbeit.

Die standardisierte Abnahme verlangt zwei Entwicklungsschritte. Zum einen muss ein standardisierter Ablauf vorgegeben werden, zum anderen müssen für die Effizienzanalyse relevante Testinhalte definiert werden.

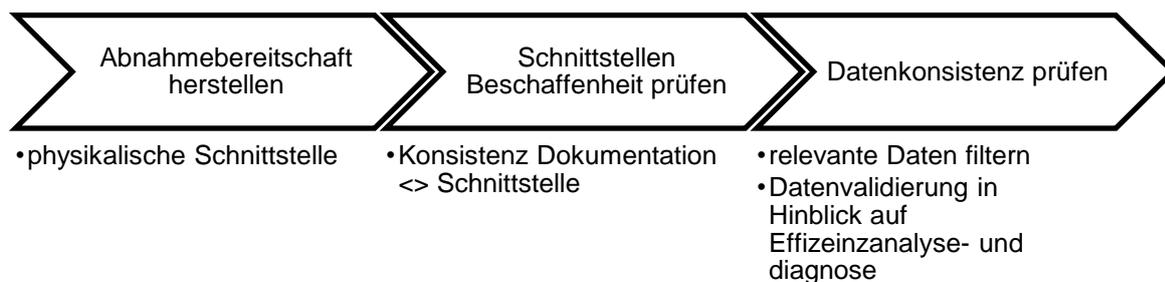


Abbildung 3-2: Ablauf der standardisierten Schnittstellenabnahme

Der Ablauf der Schnittstellenabnahme lässt sich in drei Schritte unterteilen. Im ersten Schritt wird die Abnahmebereitschaft hergestellt. Das heißt, es wird überprüft, ob eine Maschine an ein IT-System koppelbar ist. Im zweiten Schritt wird die Dokumentation der Schnittstelle mit den angebotenen Datenpunkten verglichen, um so Fehler bzw. Unstimmigkeiten aufzudecken. Für Diagnosezwecke muss dann eine Verdichtung aller Datenpunkte auf die für die Diagnose relevanten erfolgen. Dies geschieht auf Basis der Methoden, die für die Effizienzanalyse verwendet werden.

Für die Diagnose von Getränkeabfüllanlagen müssen für folgende Datengruppen Überprüfungsmethoden entwickelt werden.

- Zählerinformationen
 - o Gesamt Produktionszähler:
 - o Gutproduktionszähler
- Nennausbringung
- Betriebsartinformationen

- Programminformationen
- Statusinformationen

Mit Ausnahme der Statusinformationen ist die Überprüfung trivial. So muss ein Vergleich zwischen tatsächlichem Betriebsverhalten mit dem auf der Schnittstelle übertragenden Variablenwert erfolgen.

Zur Überprüfung der Statusinformationen kann die Statusinformation in diagnoserelevante Statuswerte aufgeteilt werden. So müssen Maschinen, um diagnosefähig (nach Kapitel 2.4) zu sein, folgende Statusunterscheidungen aufweisen:

- Operating (Betrieb): Die Maschine führt ihre vorgesehene Tätigkeit aus
- Mangel am Einlauf: Die Maschine steht still auf Grund von Mangel am Produkthauptstroms in die Maschine
- Stau am Auslauf: Maschine steht still auf Grund eines Staus im nachgelagerten Produkthauptstroms aus der Maschine
- Mangel bzw.- Stau am Nebenstrom: Maschine steht still auf Grund von Mangel/Stau am Materialeinstrom der Maschine (bei Maschinen mit Nebeneinlauf bzw. –auslauf)
- Störung: Maschine steht still, wegen eines Fehlers, der durch die Maschine begründet ist.

3.2 Experimentelle Validierung der Methode

Die experimentelle Validierung soll die Gültigkeit der Methode aufzuzeigen und zum anderen die Auswirkung auf die Verbesserung der Diagnose zu untersuchen.

3.2.1 Validierung der Methode Verbesserung der Datenqualität

Aus diesem Grund wurde die entwickelte Abnahmeprozedur an Hand verschiedener Validierungsobjekte geprüft, um daraus eine Aussage über die allgemeine Anwendbarkeit zu erhalten und um zu evaluieren, ob Fehler in der Datenerfassung konsequent identifiziert werden.

Getestet wurde die Methode an folgenden Validierungsobjekten:

- Inspektionsmaschine am Versuchsrundläufer

Der Versuchsrundläufer besteht aus einer segmentierten Pufferstrecke (9) einem Massenpuffer (10) einer Vereinzelungsstrecke (3) und einer Inspektionsmaschine (7) mit dazugehörigem Ausscheideband (G). Konzipiert ist der Rundläufer für Pufferversuche auf der Pufferstrecke. So lassen sich Geschwindigkeiten von Bändern anpassen. Die integrierte Inspektionsmaschine verfügt über eine Datenschnittstelle nach Weihenstephaner Standards, die diagnoserelevante Informationen bereitstellt (wie in 3.1 beschrieben).

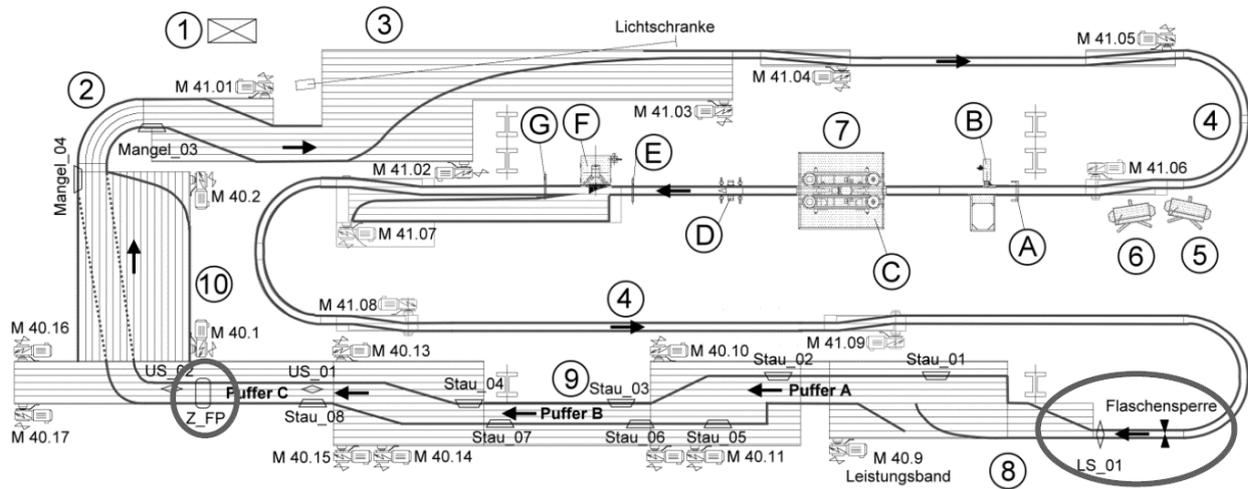


Abbildung 3-3 Zeichnung des Versuchsrundläufer

- Demomaschine

Die Demomaschine ist eine fiktive Maschine, die keine praktische Funktion besitzt. Sie besteht aus einer Steuerung mit Bedienpanel und einem Servomotor, an dem eine Scheibe befestigt ist. Die Scheibe dreht sich und die Umdrehungen der Scheibe werden als produziertes Gut innerhalb der Steuerung gezählt. Des Weiteren kann über einen Notausschalter der Status der Maschine beeinflusst werden. Die Steuerung verfügt über eine Schnittstelle nach Weihenstephaner Standards, die über ein externes Gerät angesprochen werden kann. So eignet sich diese Maschine, als experimentelles Versuchsobjekt zur Durchführung eines Abnahmeversuchs.

- falt- und Abfüllmaschine

Die aseptische falt- und Abfüllmaschine für Getränkekartons wird im Betrieb eines Fruchtsaftherstellers betrieben. Sie stellt vollautomatisch aus Kartonrollen Getränkeverpackungen her, befüllt diese und verschließt sie. Dann werden die Verpackungen über ein Transportband den weiteren Anlagenteilen zur Kommissionierung bereitgestellt. Die falt- und Abfüllmaschine verfügt über Datenpunkte nach den Vorgaben der Weihenstephaner Standards sowie eine Datenschnittstelle, an der Betriebsdaten abgegriffen werden können. Auch hier war es die Aufgabe, die oben beschriebenen diagnoserelevanten Informationen auf Konsistenz zu überprüfen.

3.2.2 Methoden zur Bewertung der Auswirkung der verbesserten Datenqualität auf die Effizienzanalyse

Zur Bewertung der Auswirkung der Abnahmemethoden müssten idealerweise Vergleiche angestellt werden, in wie weit sich die Anlagendiagnose verbessert, dadurch dass eine Optimierung der Maschinen auf Grund der Abnahme durchgeführt wurde im Gegensatz zur

nicht überprüften Maschine. In der Praxis ist dieses Vorgehen nicht anwendbar, da keine Anlage zur Verfügung stand, die fehlerhafte Betriebsdaten über einen längeren Zeitraum aufzeichnet, dann optimiert wird und später ein weiteres Mal für die Auswertung zur Verfügung steht. Deshalb wird für die Bewertung eine Abschätzung getroffen in wie weit sich die Diagnose verbessern kann. Dabei wird davon ausgegangen, dass Fehler nach ihrer Erkennung vollständig behoben werden.

Als Kriterium zur Bewertung der Methode wird herangezogen in wie weit die standardisierte Abnahme eine Verbesserung der Diagnose, wie sie durch Kather (siehe Kapitel 2.4) entwickelt wurde, stattfinden würde. Hier werden zwei Kategorien zur Bewertung herangezogen. Zum einen, ob die Diagnose auf Grund der Datenqualität möglich oder nicht möglich ist und zum anderen, ob qualitative Diagnoseverbesserung zu erwarten sind.

3.3 Ergebnisse und Diskussion der Methode Validierung der Datenbasis

3.3.1 Ergebnisse und Diskussion der Validierung der Abnahmemethoden

Die Abnahmemethode wurde an den drei Testobjekten durchgeführt. Dazu wurden die drei Testmaschinen an jeweils einem Abnahmetag untersucht. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 3-1.

Tabelle 3-1: Ergebnisse der standardisierten Schnittstellenabnahmen. a) Versuchsrundläufer, b) Demobox, c) falt- und Füllmaschine

	Dateninhalte valide	Dateninhalte nicht valide	Dateninhalte nicht valide in [%]
Versuchsrundläufer	30	6	17%
Demomaschine	6	0	0%
Falt- und Füllmaschine	24	1	4%
Summe	60	7	10%

Anhang Bi) zeigt das Abnahmeprotokoll des Versuchsrundläufers, Anhang Bii) der Demomaschine und Anhang Biii) der falt- und Abfüllmaschine, Anhang Biv) fasst die Protokolle zusammen.

Bei den Abnahmeversuchen wurden jeweils 3 Aspekte (Abbildung 3-2) der Schnittstelle beleuchtet. Zum einen, ob sich eine Abnahmebereitschaft herstellen lässt. Also kann eine physikalische Verbindung zur Maschine aufgebaut werden. Zum Zweiten war die Überprüfung der semantischen und ontologischen Schnittstelle von Bedeutung, also stehen alle diagnoserelevanten Dateninhalte zur Verfügung. Zum dritten, und das ist für die Überprüfung der Methode aus Sicht der Diagnose entscheidend, können durch die

Abnahmemethodik Fehler identifiziert werden, die die Diagnosequalität beeinflussen und können diese derart identifiziert werden, so dass eine Behebung der Fehler möglich ist.

Tabelle 3-2 zeigt die Ergebnisse der Überprüfung des Betriebsstatus für die betrachteten Maschinen (Zusammenfassung aus Anhang B). Dazu wurden jeweils die diagnoserelevanten Betriebszustände an den Maschinen herbeigeführt und mit der Datenmeldung verglichen.

Tabelle 3-2: Überprüfung des Betriebsstatus der Demomaschinen

	Versuchsrundläufer	Demobox	Falt- und Füllmaschine
Betrieb	Nicht Valide (es liegt Betrieb trotz Not-Aus-Situation an)	Valide	Valide
Mangel	Valide	Valide	Valide
Stau	Valide	Valide	Valide
Störung	Nicht valide	Valide	Valide
Gesamt	Nicht valide	Valide	valide

Unabhängig vom Einzelergebnis, dass hier nur eine begrenzte, wissenschaftliche Aussagekraft hat, ist entscheidend, dass sich mit der Methode Fehler identifizieren lassen, die einen negativen Einfluss auf die Diagnose haben und die Identifizierung auch eine Fehlerbehebung zulässt. So ließen sich beim Versuchsrundläufer falsche Meldungen feststellen, die nun behoben werden können.

3.3.2 Bewertung der Auswirkung der verbesserten Datenqualität auf die Effizienzanalyse

Die Ergebnisse der Abnahmen werden unter dem Diagnoseaspekt bewertet. Für die Bewertung werden die Datenpunkte des Betriebsstatus betrachtet.

Tabelle 3-2 zeigt die konkreten Ergebnisse der Abnahme des Betriebsstatus und Anhang Biv) die Ergebnisse des Maschinenprogramms. Tabelle 3-3 fasst nun die Auswirkungen der Fehler auf die Diagnosefunktionalität der Maschinen zusammen

Die Ergebnisse zeigen, dass durch die standardisierte Abnahme Fehler in der Betriebsdatenerfassung aufgedeckt werden. Beim Versuchsrundläufer wurden kritische Fehler gefunden, die eine korrekte Diagnose der betreffenden Maschine verhindern. An der Falt- und Füllmaschine kann man erkennen, dass durch die standardisierte Abnahme eine Integration in ein MES zur Diagnose realisierbar ist. In Hinblick auf den Einsatz der modellbasierten Diagnose ist somit die Methode zur standardisierten Abnahme von

Maschinen eine wesentliche, um den Einsatz der Modellbasierten Diagnose in der betrieblichen Praxis zu gewährleisten.

Tabelle 3-3: Ergebnisse Auswirkungen invalide Datenbasis (Versuchsrundläufer)

		Versuchsrundläufer	Demobox	Falt- und Füllmaschine
Beeinflussung Diagnosefunktionalität durch	Betriebs-zustand	Da der Betriebszustand Störungen als Betrieb meldet, ist eine Diagnose mit der vorliegenden Datenbasis nicht möglich	Diagnose wird nicht beeinträchtigt, da Zustand valide	Diagnose wird nicht beeinträchtigt, da Zustand valide
	Betriebs-programm	Programminformationen fehlen, deswegen, kann nicht der korrekte Diagnosezeitraum ausgewählt werden und es kann zu Falschdiagnosen kommen	Diagnose wird nicht beeinträchtigt, da Programm valide	Diagnose wird nicht beeinträchtigt, da Programm valide

4 Methoden und Modellierung der modellbasierten Diagnose

Im Folgenden wird die modellbasierte Diagnose nach KATHER für den Einsatz in der betrieblichen Praxis neu modelliert. Dafür wird die bestehende Modellbibliothek vereinheitlicht und mit Statusinformationen verknüpft. Des Weiteren werden neue Komponenten zur Materialstromteilung und –vereinigung entwickelt. Am Ende des Kapitels werden die bestehenden Modellkomponenten um den Diagnoseaspekt „Minderleistung“ erweitert.

4.1 Qualitative Modellierung von Komponenten in Getränkeabfüllanlagen

Die generelle Idee der Qualitativen Modellierung ist die Einteilung der Modelle in Komponenten. Diese repräsentieren jeweils verschiedene Maschinentypen. Durch das Zusammensetzen der verschiedenen Komponenten können dann Anlagenmodelle aufgebaut und parametrisiert werden, um Diagnosen in realen Abfüllanlagen durchführen zu können. Komponenten bestehen jeweils aus n Eingängen (reale und potentielle Flüsse von Objekten in die Komponente), m Ausgängen (reale und potentielle Flüsse von Objekten aus der Komponente) (vgl. KATHER [55]) und einer Statusinformation, die den Komponentenzustand beschreibt. Verallgemeinert zeigt das Abbildung 4-1.

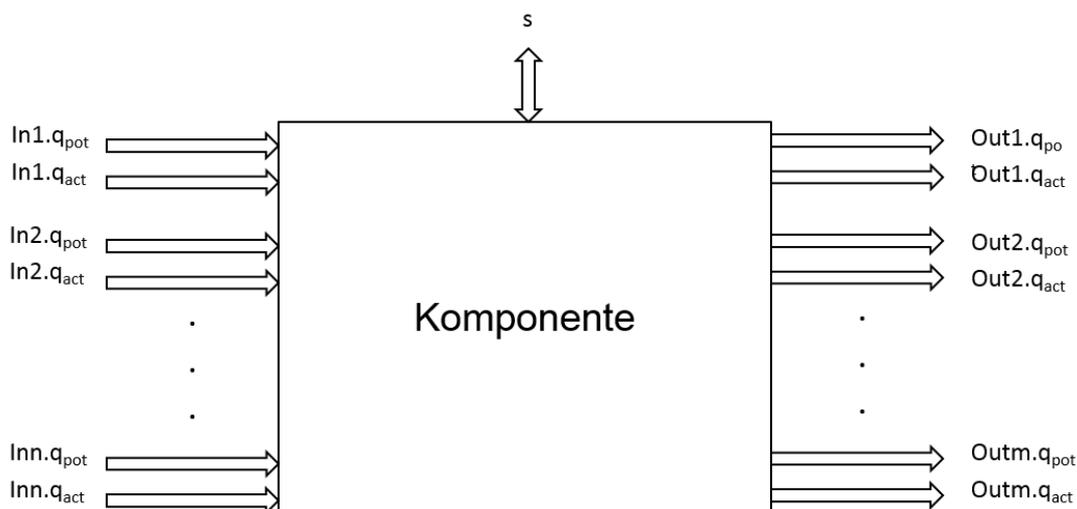


Abbildung 4-1: Allgemeiner Aufbau einer Modellkomponente

Durch die Modellierung der Einzelkomponenten wird das Verhalten der in Anlagen befindlichen Maschinen in der Realität vorgegeben. Die verschiedenen Komponenten werden in eine Bibliothek abgelegt, wo sie für die Anlagenmodellierung zur Verfügung stehen. Für die eigentliche Anlagenmodellierung (Zusammenfügen der Modellkomponenten)

interessiert somit die mathematische Modellierung des Systemverhaltens nicht mehr und die einzelne Komponente kann als Blackbox betrachtet werden. Die Ein- und Ausgänge der Komponenten können zur Verbindung der einzelnen Komponenten genutzt werden. Je nach Komponententyp steht hier eine definierte Anzahl von Ein-/Ausgängen zur Verfügung.

Zur Modellierung wurden flussorientierte Modelle gewählt. Das heißt die Ein- und Ausgänge repräsentieren Flüsse von Objekten, die entweder positiv (+) oder null (0) sind. Bei den Ein- und Ausgängen werden prinzipiell 2 Flüsse unterschieden.

- Potenzieller Fluss q_{pot} : kann die Komponente potentiell Elemente (z. B. Flaschen) aufnehmen bzw. abgeben (befindet sich beispielsweise Platz für Flaschen auf einem Puffer bzw. wenn sie mit Objekten versorgt wird kann sie arbeiten)
- Aktueller Fluss q_{act} : die Komponente nimmt gerade Elemente auf bzw. gibt sie ab

Zur Verdeutlichung: Wenn die Komponente MT keine Objekte aufnehmen kann, weil beispielsweise ihre Kapazität erschöpft ist, gilt:

$\text{In.}q_{\text{pot}} = 0$ Potentieller Input ist null; es können keine Elemente aufgenommen werden, da kein Platz mehr in der Komponente ist.

und

$\text{Out.}q_{\text{pot}} = +$ Potentieller Output ist positiv; Elemente zur Abgabe stehen zur Verfügung

Für den aktuellen Fluss gilt

$\text{In.}q_{\text{act}} = 0,$ Aktuelle Input ist null; kein Fluss am Eingang, da der potentielle Fluss Null ist und somit die Komponente voll ist.

Für den Output gibt es zwei Möglichkeiten:

1. $\text{Out.}q_{\text{act}} = +$ Aktueller Output ist positiv; Komponente ist in Betrieb und gibt Elemente ab

oder

2. $\text{Out.}q_{\text{act}} = 0,$ Aktueller Output ist null; Komponente ist gestört oder die Folgekomponente kann keine Objekte aufnehmen und somit gibt die Komponente keine Objekte ab.

Vereinfacht geschrieben gilt die Konvention $\text{Out.}q_{\text{act}} = *$. Wobei * bedeutet, dass der Fluss entweder Null 0 oder positiv + sein kann.

dem Tupel der Beobachtung überein). Somit sucht die modellbasierte Diagnose nach einem konsistenten Fehlermodell, das die Situation erklärt. Diese würde heißen State = An und Out=0. Somit ist dieses ein konsistentes Fehlermodell und gleichzeitig die Diagnose des Beispiels.

Tabelle 4-2: Statusinformationen für die modellbasierte Diagnose

Status	Bedeutung	Erklärung
Operating	Betrieb	Komponente arbeitet funktionsgemäß
Lack	Objektmangel	Komponente arbeitet nicht wegen des Mangels an zu verarbeitenden Objekten (z. B. Flaschen, Produkt)
Tailback	Objektrückstau	Komponente arbeitet nicht wegen eines Rückstaus an zu verarbeiteten Objekten am Komponentenauslauf
Lack branch line	Objektmangel im Nebenstrom	Komponente arbeitet nicht wegen eines Mangels an zu verarbeitenden Objekten im Nebenstrom (z. B. fehlende Kästen beim Kastenpacker)
Tailback branch line	Objektrückstau im Nebenstrom	Komponente arbeitet nicht wegen eines Rückstaus an zu verarbeiteten Objekten am Komponentenauslauf des Nebenstroms (z. B. Kastenrückstau an der Auspackmaschine)

Für Getränkeabfüllanlagen liegt im standardisierten semantischen und ontologischen Modell bereits eine Vielzahl von Status-Informationen vor, die für die modellbasierte Diagnose verwendbar sind, um OK-Modelle für Komponenten zu definieren. Als geeignet stellen sich hier die Betriebszustände heraus, da sie Aufschluss geben, ob eine Komponente arbeitet oder nicht. Und im Falle, dass sie nicht arbeitet, unterscheidet, ob die Maschine an sich gestört ist oder auf Grund fehlendes In- und Output still steht. In diesem Fall ist auch „Kein Input“/„Kein Output“ im OK-Modell vorzusehen, da die Maschine sich korrekt verhält. Im OK-Modell werden alle Zustände modelliert, in denen Maschinen ein korrektes Betriebsverhalten einnehmen. Tabelle 4-2 zeigt die wesentlichen fünf Statusinformationen nach dem Weihenstephaner Standard, die diese Bedingungen erfüllen:

Kather [55; 128] identifizierte für die Modellierung von Getränkeabfüllanlagen vier Komponenten, die zur Modellierung nötig sind (vgl. Kapitel 2.4 und Tabelle 4-3). Im Folgenden erfolgte die Modellierung auf Grundlage dieser Vorarbeiten, allerdings mussten noch Veränderungen an den Komponenten vorgenommen werden, um die modellbasierte

Diagnose einheitlich durchführen zu können und die Verknüpfung mit Betriebszuständen nach Weihenstephaner Standards zu realisieren.

Tabelle 4-3: Komponenten der modellbasierte Diagnose nach Kather [55; 128]

Komponente	Maßnahmen
Material Transporter (MT)	<ul style="list-style-type: none"> - Aufteilung in Maschinen (Machine Serial) und Transporteure Komponente (Transportation Element), da im Falle von Transporteuren eine Pufferwirkung berücksichtigt werden muss - Fehlende Verknüpfung zu Betriebszuständen
Transportation Connector (TC)	<ul style="list-style-type: none"> - Durch geeignete Modellierung der Komponenten kann die Funktionalität in die anderen Modelle integriert werden
Combine Element (CE)	<ul style="list-style-type: none"> - Fehlende Verknüpfung zu Betriebszuständen
Seperate Element (SE)	<ul style="list-style-type: none"> - Fehlende Verknüpfung zu Betriebszuständen

4.1.1 Komponente - Machine Serial (MS)

Die Komponente MS wird zur Abbildung von linearen Maschinen verwendet. Dabei besitzt die Maschine einen Input, einen Output und Zustandsinformationen gemäß dem Weihenstephaner Standard (Abbildung 4-3). Die numerische Modellierung und das daraus abgeleitete qualitative Modell ohne Bezug zum Betriebsstatus zeigt Kapitel 2.4.3(siehe auch [55; 128]).

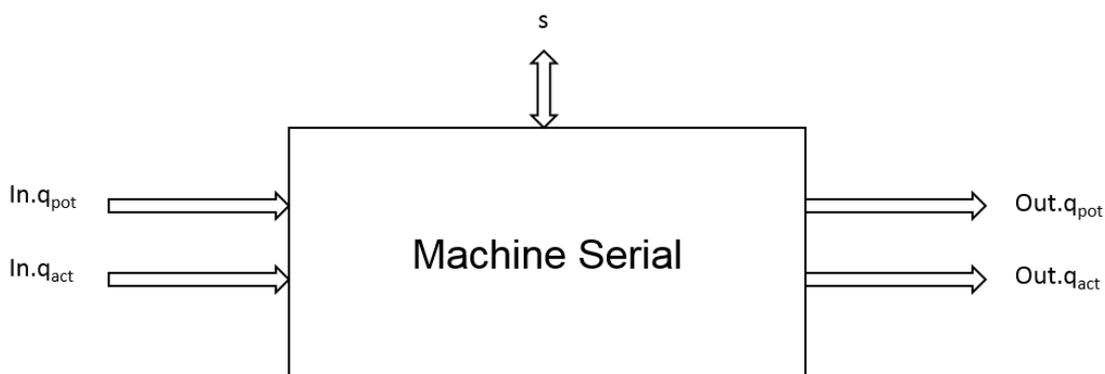


Abbildung 4-3: Komponente - Machine Serial (MS)

Beispiele für Komponenten, die diesem Typ entsprechen, sind Flaschenfüllmaschine, Leerflaschenreinigungsmaschine, Kastenwaschmaschine, Flaschenausstattungsmaschinen oder Inspektionsmaschinen. Das OK-Modell dieser Maschinen umfasst drei Zustände, die die Maschinen einnehmen können.

1. Die Maschine arbeitet. Das heißt sie nimmt Objekte am Input auf, verarbeitet diese und gibt sie am Output wieder ab. Die qualitative Modellierung ergibt das Tupel

Formel 4-1

$$\text{in.q}_{\text{act}} = +; \text{in.q}_{\text{pot}} = +; \text{out.q}_{\text{act}} = +; \text{out.q}_{\text{pot}} = +; \text{s} = \text{Operating}$$

Das heißt, die Komponente ist im Zustand Operating (gemäß WS), demnach ist sowohl der aktuelle und der potentielle Fluss am Input und Output +.

2. Die Maschine hat einen Behältermangel; sie kann also nicht arbeiten, da keine Objekte vor der Maschine zur Verarbeitung zur Verfügung stehen. Das zugehörige Tupel ist

Formel 4-2

$$\text{in.q}_{\text{act}} = 0; \text{in.q}_{\text{pot}} = +; \text{out.q}_{\text{act}} = 0; \text{out.q}_{\text{pot}} = 0; \text{s} = \text{Lack}$$

Die Komponente kann Objekte aufnehmen, da aber keine zur Verfügung stehen, ist der aktuelle Fluss in die Komponente 0. Da keine Objekte in die Maschine einlaufen und die Maschine deswegen nicht arbeitet, können auch keine Objekte abgegeben werden und damit ist der aktuelle Fluss auch 0. Dies entspricht dem WS-Zustand Lack (Mangel).

3. Die Maschine hat einen Behälterrückstau. Im Gegensatz zum Mangel kann die Maschine auf Grund anstehender Objekte am Ausgang keine Objekte abgeben. Das entspricht dem Tupel:

Formel 4-3

$$\text{in.q}_{\text{act}} = 0; \text{in.q}_{\text{pot}} = 0; \text{out.q}_{\text{act}} = 0; \text{out.q}_{\text{pot}} = +; \text{s} = \text{Tailback}$$

Die Komponente könnte Objekte abgeben, auf Grund der anstehenden Objekte am Komponentenoutput ist der aktuelle Fluss aber 0. Damit kann die Komponente auch keine Objekte aufnehmen.

Die Zusammenfassung der Tupel ergibt das qualitative OK-Modell der Komponente, das hier aus drei Tupel besteht (Tabelle 4-4).

Tabelle 4-4: OK-Modell - Machine Serial

in.q_{act}	in.q_{pot}	out.q_{act}	out.q_{pot}	state
+	+	+	+	Operating
0	+	0	0	Lack
0	0	0	+	Tailback

Das Komponentenmodell beschreibt das $MODEL_{OK}$. Alle anderen Anderen möglichen Tupel des In- und Outputs gilt als $MODEL_{Failure}$.

4.1.2 Komponente - Combine Element (CE)

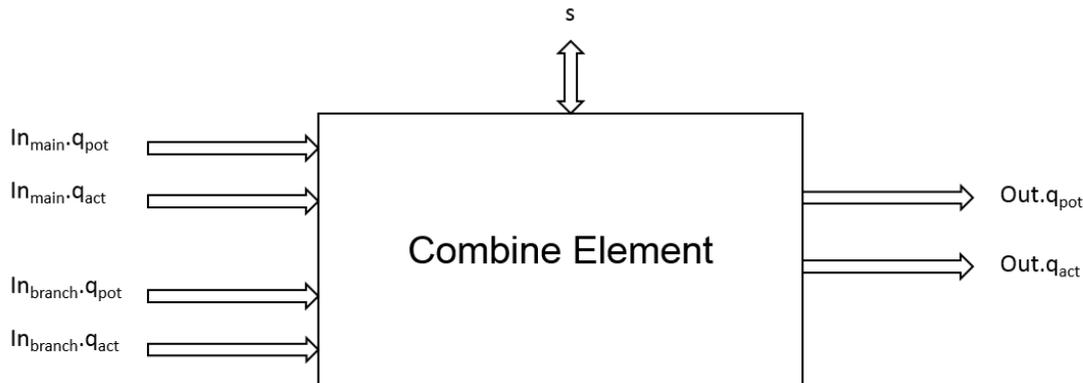


Abbildung 4-4: Komponente - Combine Element

Analog werden die Modelle der anderen Komponenten gebildet, deswegen wird bei den weiteren Komponenten nur auf wesentliche Unterschiede eingegangen. Das Combine Element ist eine Komponente zum Zusammenführen von zwei unterschiedlichen Objekte, beispielsweise Flaschen und Kästen oder Kästen und Paletten. Dazu benötigt die Komponente zwei Inputs, Hauptstrom In_{main} und einen Nebenstrom In_{branch} . Die Ströme werden in der Komponente „zusammengefügt“ und man erhält einen Output aus der Komponente. Über den State s wird der Status der Komponente beschrieben und es kommt ein Output aus der Komponente (siehe Abbildung 4-4).

Die Tupel für Operating und Tailback sind analog zur Machine Serial gebildet.

1. Die Maschine arbeitet. Das heißt, sie nimmt Objekte am Hauptstrom und Nebenstrom auf, vereint die Ströme (einpacken von Flaschen in Kästen) und gibt wieder einen Objektstrom aus:

Formel 4-4

$$in_{main}.q_{act} = +; in_{main}.q_{pot}=+; in_{branch}.q_{act} = +; in_{branch}.q_{pot}=+; out.q_{act}=+; out.q_{pot}=+;$$

$$s=Operating$$

2. Rückstau

Formel 4-5

$$in_{main}.q_{act} = 0; in_{main}.q_{pot}=0; in_{branch}.q_{act} = 0; in_{branch}.q_{pot}=0; out.q_{act}=0; out.q_{pot}=+;$$

$$s=Tailback$$

Im Fall eines Objektemangels am Eingang wird unterschieden in folgende zwei Tupel:

- Die Maschine hat einen Mangel am Einlauf des Hauptstromes¹ (z. B. keine Flaschen vor der Einpackmaschine).

Formel 4-6

$$in_{main} \cdot q_{act} = 0; in_{main} \cdot q_{pot} = +; in_{branch} \cdot q_{act} = 0; in_{branch} \cdot q_{pot} = *^2; out \cdot q_{act} = 0; out \cdot q_{pot} = 0; s = Lack$$

Keine Komponenten am Input- Hauptstrom, deswegen kann die Komponente nicht arbeiten. Daraus folgt der Input für den Nebenstrom ist ebenfalls 0, auch wenn dort Objekte zur Verfügung stehen. Der Wert des potentiellen Inputs im Nebenstroms kann entweder 0 oder + (entspricht *) sein. Der Output muss 0 sein, da keine Objekte aus der stehenden Maschine fließen können.

- Die Maschine hat einen Mangel am Einlauf Nebenstrom (z. B. keine Kästen vor der Einpackmaschine).

Formel 4-7

$$in_{main} \cdot q_{act} = 0; in_{main} \cdot q_{pot} = *; in_{branch} \cdot q_{act} = 0; in_{branch} \cdot q_{pot} = +; out \cdot q_{act} = 0; out \cdot q_{pot} = 0; s = Lack \text{ branch line}$$

Logisches Gegenpart zu Formel 4-6, nur dass in diesem Fall keine Objekte am Nebenstrom zur Verfügung stehen.

Das OK-Modell des Combine Elements ist in Tabelle 4-5 beschrieben.

Tabelle 4-5: OK-Model - Combine Element

$in_{main} \cdot q_{act}$	$in_{main} \cdot q_{pot}$	$in_{branch} \cdot q_{act}$	$in_{branch} \cdot q_{pot}$	$out \cdot q_{act}$	$out \cdot q_{pot}$	state
+	+	+	+	+	+	Operating
0	+	0	*	0	0	Lack
0	*	0	+	0	0	Lack branch line
0	0	0	0	0	+	Tailback

4.1.3 Komponente - Separate Element (SE)

Die Separate Element beschreibt die Komponenteneigenschaft, wenn aus einem Objektfluss zwei unterschiedliche Flüsse generiert werden, wie es in der Auspackmaschine oder der Entpalettierung geschieht. Somit hat die Separate Element einen Input, ein s-

¹ „Hauptstrom, d. h. auf das Gut (Kasten, Flasche), welches in Richtung der Füllmaschine (zentrale Maschine) geführt wird bzw. von der Füllmaschine weggeführt wird“

² * bedeutet, dass der Wert entweder + oder 0 sein kann.

Terminal und zwei Outputs, einen Hauptstrom (out_{main}) und einen Nebenstrom (out_{branch}) (siehe Abbildung 4-1).

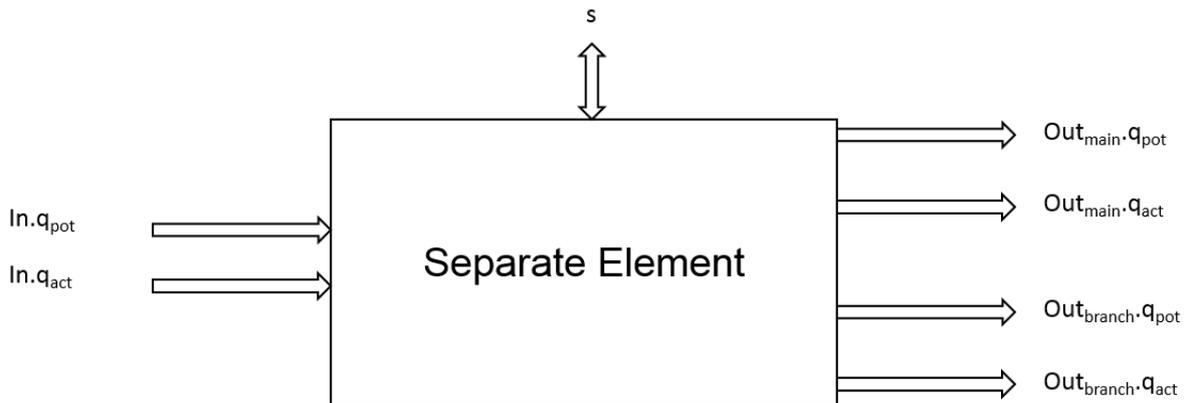


Abbildung 4-5: Komponente - Separate Element

Folgende Tupel bilden das OK-Modell der Separate Komponente ab.

1. Die Maschine arbeitet. Das heißt sie nimmt Objekte am Hauptstrom auf, teilt den Strom auf (z. B. Auspacken von Flaschen aus Kästen) und gibt zwei Objektströme aus:

Formel 4-8

$$in.q_{act}=+; in.q_{pot}=+; out_{main}.q_{act} = +; out_{main}.q_{pot}=+; out_{branch}.q_{act} = +; out_{branch}.q_{pot}=+; \\ s=Operating$$

2. Objektmangel (Fehlen von Kästen):

Formel 4-9

$$in.q_{act}=0; in.q_{pot}=+; out_{main}.q_{act} = 0; out_{main}.q_{pot}=0; out_{branch}.q_{act} = 0; out_{branch}.q_{pot}=0; \\ s=Lack$$

Im Fall eines Objektstückstaus können zwei Fälle unterschieden werden:

3. Die Maschine hat einen Rückstau am Auslauf des Hauptstromes³ (z. B. Flaschentransport nach Auspackmaschine voll).

Formel 4-10

$$in.q_{act}=0; in.q_{pot}=0; out_{main}.q_{act} = 0; out_{main}.q_{pot}=+; out_{branch}.q_{act} = 0; out_{branch}.q_{pot}=+; \\ s=Tailback$$

³ „Hauptstrom, d. h. auf das Gut (Kasten, Flasche), welches in Richtung der Füllmaschine (zentrale Maschine) geführt wird bzw. von der Füllmaschine weggeführt wird“

4. Die Maschine hat einen Rückstau am Auslauf Nebenstrom (z. B. Kastenrückstau nach der Einpackmaschine).

Formel 4-11

$$\text{in.q}_{\text{act}}=0; \text{in.q}_{\text{pot}}=0; \text{out}_{\text{main.q}_{\text{act}}} = 0; \text{out}_{\text{main.q}_{\text{pot}}}=*; \text{out}_{\text{branch.q}_{\text{act}}} = 0; \text{out}_{\text{branch.q}_{\text{pot}}}=*; \\ s=\text{Tailback branch line}$$

Das OK-Modell ist in Tabelle 4-6 zusammengefasst.

Tabelle 4-6: OK-Model - Separate Element

in.q_{act}	in.q_{pot}	$\text{out}_{\text{main.q}_{\text{act}}}$	$\text{out}_{\text{main.q}_{\text{pot}}}$	$\text{out}_{\text{branch.q}_{\text{act}}}$	$\text{out}_{\text{branch.q}_{\text{pot}}}$	state
+	+	+	+	+	+	Operating
0	+	0	0	0	0	Lack
0	0	0	+	0	*	Tailback
0	0	0	*	0	+	Tailback branch line

4.1.4 Komponente - Transportation Element

Das Transportation Element bildet Komponenten ab, die Objekte verarbeiten jedoch keine Statusinformationen bereitstellen. Zumeist handelt es sich dabei um Transportelemente und/oder Pufferstrecken. Die Komponente ist modelltechnisch ähnlich mit der Maschine Serial-Komponente. Der Unterschied ist, dass das Transportation Element nicht über ein s-Terminal verfügt, da Transpoteure wegen der fehlenden Stausmeldungen nicht beobachtbar ist. Das Modell des TE wird in Abbildung 4-6 und Tabelle 4-7 gezeigt.

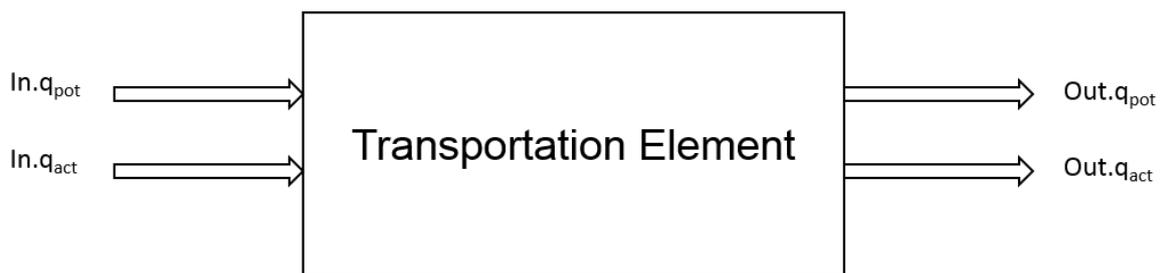


Abbildung 4-6: Komponente - Transportation Element (with buffer)

Die Komponente besitzt 3 Zustände in denen ein OK-Verhalten abgebildet wird. Zum einen im Normalbetrieb und im Stillstand der Komponente, wenn ein Mangel oder ein Stau an Objekten anliegt. Dieser ist durch Beobachtungen nicht identifizierbar, kann aber durch die Verknüpfung zwischen In- und Output benachbarter Komponenten abgeleitet werden.

Tabelle 4-7: OK-Model - Transportation Element (with buffer)

$in.q_{act}$	$in.q_{pot}$	$out.q_{act}$	$out.q_{pot}$	Verhaltensbeschreibung
0	0	0	+	Rückstau weitergeben
0	+	0	0	Mangel weitergeben
+	+	+	+	Normaler Betrieb

4.1.5 Komponente - Split

Die bisher beschriebenen Modellkomponenten bauen auf die bestehenden Komponenten von Kather auf. Die Komponenten Split und Merge sind neu entwickelte Komponenten, die mit derselben Systematik modelliert sind.

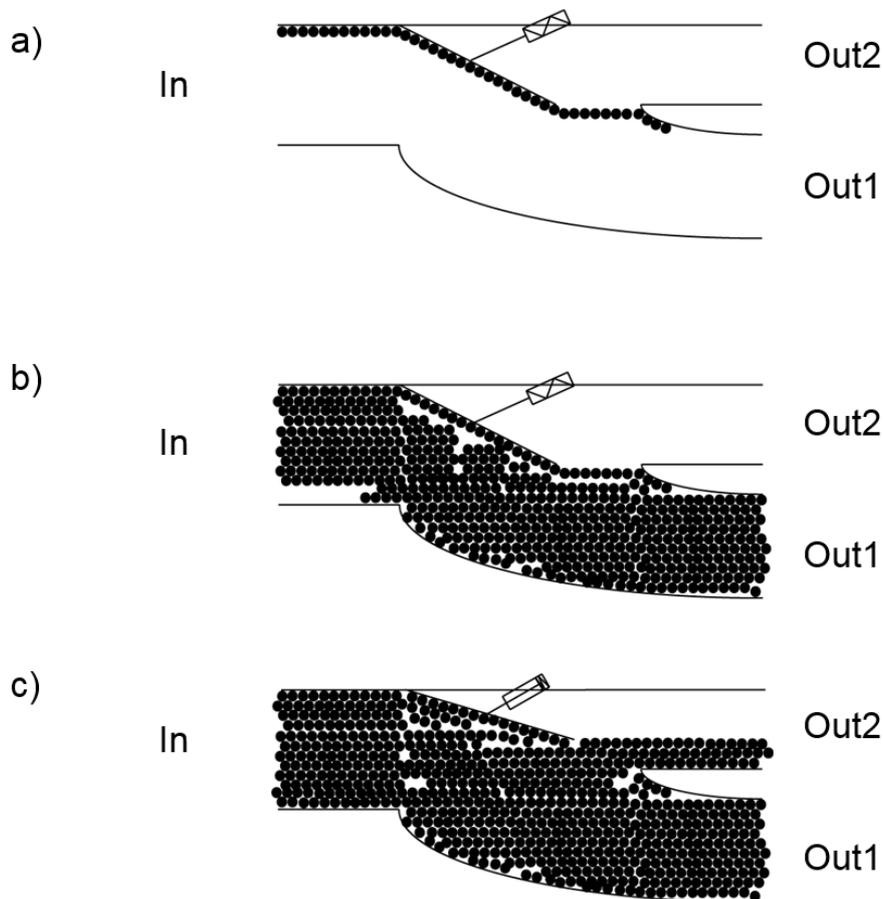


Abbildung 4-7: Schematische Darstellung der geführten Aufteilung von Objekten. a) Geführter Fluss zu einem Output bei geringem Fluss. b) Grenzbetrachtung Out1 kann Fluss gerade so allein aufnehmen c) Out 2 übernimmt Anteile des Flusses

Die Komponente Split bildet die Objektstromteilung ab, d. h. Aufteilung eines Stroms in zwei Ströme gleicher Objekte. Diese findet zumeist auf einem Massentransporteur für Behälter statt, kann aber z. B. auch für die Verteilung von Gebinden auf verschiedene Packer erfolgen. Bei der Analyse verschiedener Anlagenkonfigurationen wurden zwei Arten von Aufteilungen von Objekten gefunden. Zum einen die mehr oder weniger gleichmäßige

Aufteilung von Objekten, wobei durch die Anlage nicht vorgegeben wird, welcher Ausgang bevorzugt mit Objekten bedient wird (Abbildung 4-8).

Im Gegensatz dazu gibt es Aufteilungen, die klar eine bestimmte Aufteilung bevorzugen (Abbildung 4-7). In der Abbildung ist das durch eine bewegliche Behälterführung, die deren Auslenkung durch einen Federmechanismus gelagert ist, dargestellt. Ist der Staudruck der Objekte auf die Behälterzuführung zu groß, lässt sie Objekte in den zweiten Output, ansonsten wird nur Out 1 bedient. In der Praxis können derartige Aufteilungen auch durch die Transporteur Geometrie oder durch die Steuerung eines Verteilersterns erfolgen.

Die Modellierung der Split-Komponente wird als virtuelle Komponente durchgeführt. Die Komponente enthält keinen Speicher. Dieser ist durch angrenzende Transportation Elements zu modellieren. Beide Komponenten müssen jeweils aus einem Input und zwei Outputs bestehen. Ein s-Terminal ist nicht vorzusehen, da die Komponente nicht beobachtbar ist.

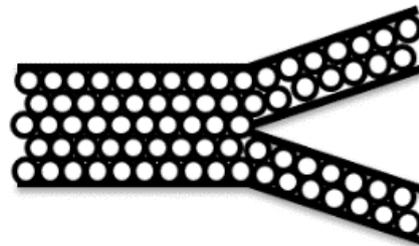


Abbildung 4-8: Schematische Darstellung zufällige Aufteilung von Objekten

4.1.5.1 Random Split Element

Für die Komponente random split element (RSE) gilt folgendes Komponentenmodell (Abbildung 4-9).

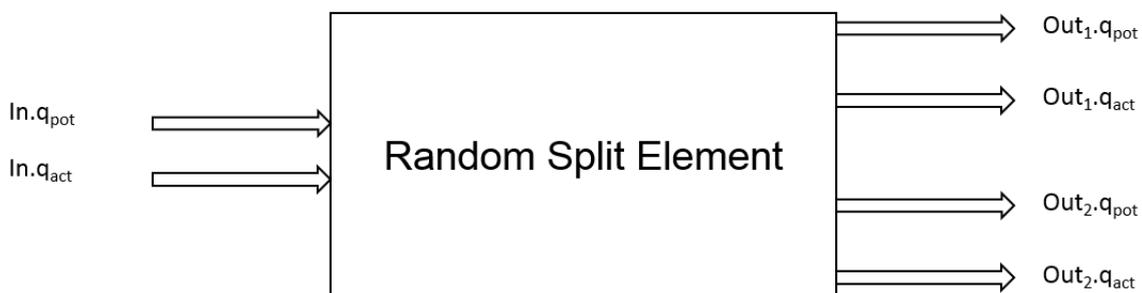


Abbildung 4-9: Komponente - Random Split Element

Beim Betrieb der Komponente können folgende Betriebsarten unterschieden werden

1. Komponente in Betrieb (Operating)

Die Betriebsweise der Komponente hängt vom Objektfluss in die Komponente ab. So kann/können durch den Input:

- a) Beide Outputs bedient werden
 $In.q_{pot}=+$; $In.q_{act}=+$; $Out1.q_{pot}=+$; $Out1.q_{act}=+$; $Out2.q_{pot}=+$; $Out2.q_{act}=+$
 - b) Nur Out 1 bedient werden
 $In.q_{pot}=+$; $In.q_{act}=+$; $Out1.q_{pot}=+$; $Out1.q_{act}=+$; $Out2.q_{pot}=0$; $Out2.q_{act}=0$
 - c) Nur Out 2 bedient werden
 $In.q_{pot}=+$; $In.q_{act}=+$; $Out1.q_{pot}=0$; $Out1.q_{act}=0$; $Out2.q_{pot}=+$; $Out2.q_{act}=+$
 - d) Nur Out 1 bedient werden, da Out 2 blockiert ist
 $In.q_{pot}=+$; $In.q_{act}=+$; $Out1.q_{pot}=+$; $Out1.q_{act}=+$; $Out2.q_{pot}=+$; $Out2.q_{act}=0$
 - e) Nur Out 2 bedient werden, da Out 1 blockiert ist
 $In.q_{pot}=+$; $In.q_{act}=+$; $Out1.q_{pot}=+$; $Out1.q_{act}=0$; $Out2.q_{pot}=+$; $Out2.q_{act}=+$
2. Komponente im Rückstau (Tailback)
 $In.q_{pot}=0$; $In.q_{act}=0$; $Out1.q_{pot}=+$; $Out1.q_{act}=0$; $Out2.q_{pot}=+$; $Out2.q_{act}=0$
 3. Komponente im Mangel (Lack)
 $In.q_{pot}=+$; $In.q_{act}=0$; $Out1.q_{pot}=0$; $Out1.q_{act}=0$; $Out2.q_{pot}=0$; $Out2.q_{act}=0$

Daraus ergibt sich folgendes Modell (Tabelle 4-8).

Tabelle 4-8: OK-Model - Random Split Element

$In.q_{pot}$	$In.q_{act}$	$Out1.q_{pot}$	$Out1.q_{act}$	$Out2.q_{pot}$	$Out2.q_{act}$	description
+	+	+	+	+	+	Out1 und Out2 versorgt
+	+	+	+	+	0	Out2 kann nicht abführen
+	+	+	+	0	0	In reicht nur für Out1
+	+	+	0	+	+	Out1 kann nicht abführen
+	+	0	0	+	+	In reicht nur für Out2
+	0	0	0	0	0	Komponente Leer
0	0	+	0	+	0	Komponente voll

4.1.5.2 Preferred Split Element

Abbildung 4-10 zeigt die Komponente Preferred Split Element (PSE).

Im Gegensatz zu random split hat die Komponente einen bevorzugten Output (Out1). Modellierungstechnisch bedeutet das, dass der potentielle Fluss für Out1 aus der Komponente im Betrieb immer positiv ist ($Out1.q_{pot}=+$).

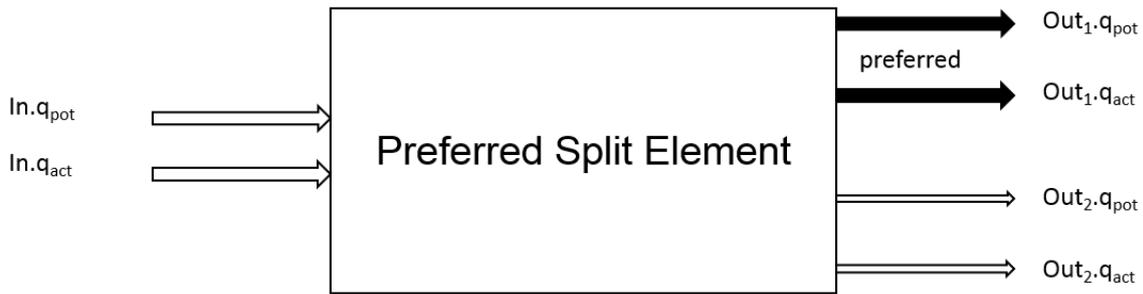


Abbildung 4-10: Komponente - Preferred Split Element

Folgende Tupel müssen modelliert werden:

1. Komponente in Betrieb (Operating)
 - a) Abfuhr über Out1 und optional über Out2
 $In.q_{pot}=+; In.q_{act}=+; Out1.q_{pot}=+; Out1.q_{act}=+; Out2.q_{pot}=*; Out2.q_{act}=*$
 - b) Out 2 ist blockiert. Objektabfuhr über Out2
 $In.q_{pot}=+; In.q_{act}=+; Out1.q_{pot}=+; Out1.q_{act}=0; Out2.q_{pot}=+; Out2.q_{act}=+$
2. Komponente im Rückstau (Tailback)
 $In.q_{pot}=0; In.q_{act}=0; Out1.q_{pot}=+; Out1.q_{act}=0; Out2.q_{pot}=+; Out2.q_{act}=0$
3. Komponente im Mangel (Lack)
 $In.q_{pot}=+; In.q_{act}=0; Out1.q_{pot}=0; Out1.q_{act}=0; Out2.q_{pot}=0; Out2.q_{act}=0$

Daraus ergibt sich das Modell in Tabelle 4-9.

Tabelle 4-9: OK-Model - Preferred Split Element

In.q _{pot}	In.q _{act}	Out1.q _{pot}	Out1.q _{act}	Out2.q _{pot}	Out2.q _{act}	description
+	+	+	+	*	*	Mind. Objektabfuhr an Out1
+	+	+	0	+	+	Abfuhr über Out2, Out1 blockiert
+	0	0	0	0	0	Komponente leer
0	0	+	0	+	0	Komponente voll

4.1.6 Komponente Merge

Merge Element ist das logische Gegenstück der Split Komponente. Merge vereinigt zwei Objektströme In1 und In2 zu einem Strom Out (Abbildung 4-11).

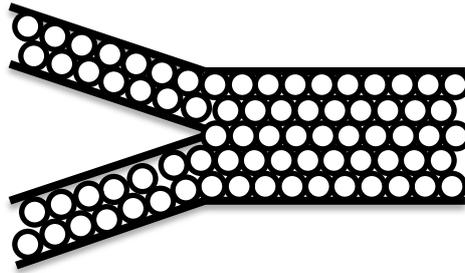


Abbildung 4-11: Schematische Darstellung zusammenführen von Flaschen

Im Falle der Komponente Merge muss keine Unterscheidung in Objekttypen getroffen werden. Wenn $In1.q$ sehr viel kleiner als $In2.q$, dann kann der Objektstrom von $In2.q$ vernachlässigt werden und es wird ein TE anstatt des Merge Element verwendet (z.B. Rückführung Ausschleusung Leerflascheninspektionsmaschine vor die Flaschenreinigungsmaschine). Der Grund dafür ist, dass ein Fluss an Input 2 nicht den Fluss an Output 2 aufrecht erhalten kann.

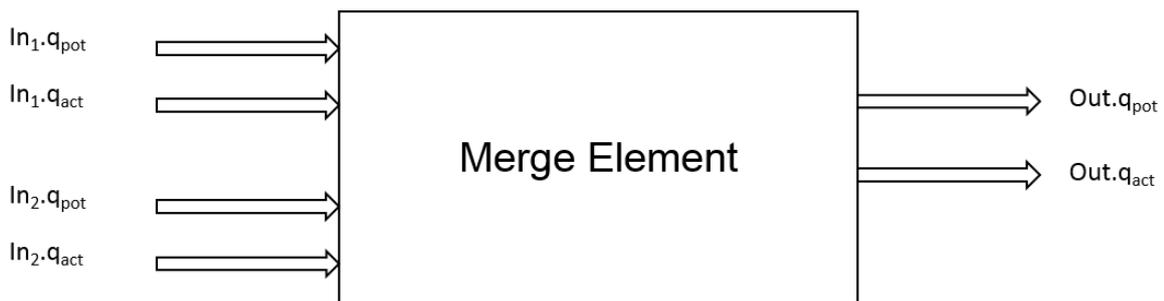


Abbildung 4-12: Komponente - Merge Element

ME wurde derart modelliert, dass im Betrieb die Objektzufuhr von einem Input gegeben sein muss. Analog zu den anderen Modellen wurde ebenfalls der Rückstau, sowie der Mangel-Fall implementiert, wenn keine Objekte abgeben wird können bzw. keine Objekte in die Komponente abgegeben werden.

Tabelle 4-10: OK-Model - Merge Element

$In1.q_{pot}$	$In1.q_{act}$	$In2.q_{pot}$	$In2.q_{act}$	$Out.q_{pot}$	$Out.q_{act}$	$In1.q_{pot}$
+	+	+	*	+	+	Mind. Objektzufuhr an In1
+	*	+	+	+	+	Mind. Objektzufuhr an In2
+	0	+	0	0	0	Komponente Leer
0	0	0	0	+	0	Komponente voll

4.2 Diagnose von Minderleistungen

Durch die modellbasierte Diagnose lassen sich Stillstände des Zentralaggregats analysieren. Für die genauere Analyse von Geschwindigkeitsverlusten (vgl. 2.3.3) müssen aber auch Gründe für verminderte Ausbringungen an der Flaschenfüllmaschine untersucht werden. Dazu werden die bestehenden Modelle der modellbasierten Diagnose konsequent um den Aspekt der Minderleistung ausgeweitet. Dazu ist eine einfache Erweiterung der Modelle (also Hinzufügen von Tupeln) nicht möglich, da es keine allgemeingültige, generische Definition von Minderleistung gibt. So ist Minderleistung am Zentralaggregat relativ einfach zu definieren, als eine Leistung, die unterhalb der Nennausbringung liegt. Im Falle von vor- und nachgeschalteten Maschinen, die im Normalfall nach V-Modell ausgelegt sind (vgl. Kapitel 2.1.2), kann eine Minderleistung nicht als Ausbringung unterhalb der Nennausbringung der Maschine definiert werden, da diese in Bezug auf die Gesamtanlage eventuell keine Minderleistung ist. Es ist also nicht ohne weiteres möglich Minderleistung durch einen Zustand zu beschreiben. Auf der anderen Seite ist durch die Anlagenregelung die Minderleistung an vor- bzw. nachgelagerten Maschinen sogar ein „gewollter“ Zustand, da versucht wird die Puffer als Anti-Starve- bzw. Anti-Block-Puffer zu betreiben. Somit kann Minderleistung sowohl ein gewollter als auch ein ungewollter „Zustand“ sein, der entweder Grund für eine Störung ist oder auch nicht. Somit muss hier für die Modellierung ein neuer Weg gegangen werden.

Um die bestehenden Modelle zumindest weitestgehend zu nutzen und die Komplexität der Aufgabe im Rahmen zu halten, werden folgende Arbeitshypothesen formuliert:

- Eine Erkennung der Minderleistung wird nur am Zentralen Aggregat (z.B. Füllmaschine) vorgenommen
- Es wird nicht vorausgesetzt, dass die Minderleistung auch an anderen Aggregaten ermittelt werden kann
- Eine Minderleistung an Maschinen (außer zentrales Aggregat) ist zumeist ein Zustand, der auf Grund der Anlagenregelung erwünscht ist und nur selten fehlerhaft auftritt, deswegen scheidet eine Minderleistung als Ursache einer Störung/Minderleistung eines anderen Aggregats aus.
- Die Minderleistung des Füller kann sich zwar über Minderleistung benachbarter Maschinen ergeben haben, letztlich muss sie aber auf einen „harten“ Fehler, d.h. Stopp einer anderen Komponenten zurückzuführen sein (wobei unzureichende Zufuhr von Leergut, bzw. stockender Abtransport ebenfalls dazu gezählt wird), bzw. umgekehrt, dass Minderleistung keinen Stopp einer anderen Maschine verursachen kann (siehe Abbildung 4-11)

Beispiel zur Verdeutlichung

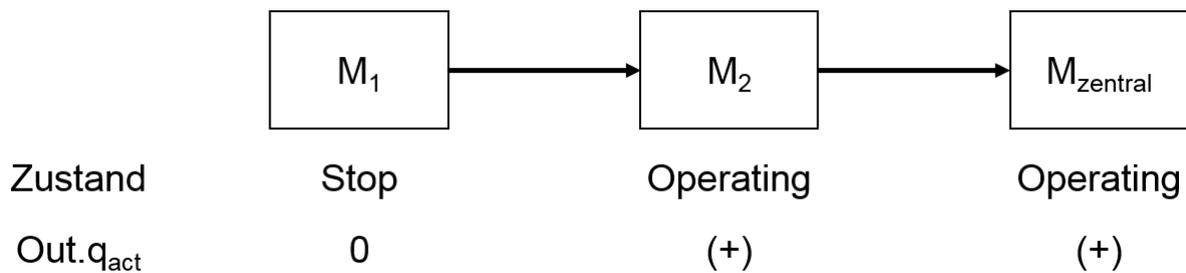


Abbildung 4-13: Beispiel Diagnose von Minderleistung

Abbildung 4-13 zeigt eine Anlagenkonfiguration von 3 Maschinen M₁, M₂ und M_{zentral}. Die Diagnose des Beispiels wird von M_{zentral} angestoßen. Zur Diagnose von Minderleistung ist das Symptom nicht Störung der Maschine (Out.q_{act} = 0), sondern es muss eine Konvention geschaffen werden, die eine Unterscheidung von vollem zu vermindertem Fluss zulässt. Aus diesem Grund wird (+) eingeführt. (+) bedeutet: Die Maschine produziert mit einer verminderten Leistung. So muss zur Erkennung des Symptoms „Minderleistung“ am zentralen Aggregat die Ausbringung überwacht werden, ob sie unter einen zu definierenden Schwellenwert sinkt.

Für M₁ und M₂ gilt das laut Arbeitshypothese nicht, d. h. hier wird die Ausbringung nicht dediziert überwacht, da aus den oben genannten Gründen auch eine Entscheidung getroffen werden müsste, ob die Minderleistung auf Grund des Regelverhaltens (kein Grund für eine Störung) oder auf Grund eines Fehlers (Grund für eine Störung) anliegt. Somit bleibt die einzige beobachtbare Größe von M₁ bzw. M₂ der Betriebszustand. Im Beispiel liegt der Wert „Operating“ an. Die Modellerweiterung muss nun so gestaltet werden, dass „Operating“ an M₂ auch bedeuten kann, dass M₂ in Minderleistung arbeitet, die durch einen „harten“ Fehler im vorgeschalteten Prozess bedingt ist. Im Beispiel vom „Stop“ an M₁.

Auf dieser Basis wurde eine Modellerweiterung der in Kapitel 4.1 entwickelten Modellkomponenten vorgenommen, die verminderte Flüsse berücksichtigt. Das Modell wird dadurch schwächer, da der Status „Operating“ nicht mehr nur mit vollem Fluss konsistent ist. Technisch gesehen wurde der qualitative Wertebereich (DOM(q)) um den Wert (+) für einen positiven, aber verminderten Fluss erweitert: DOM(q) = {0, (+), +}. Für die Komponente Machine Serial bleiben die bisherigen Tupel unberührt (vgl. Tabelle 4-4). Durch ein zusätzliches Tupel muss abgebildet werden, das die Komponente im Falle Operating nicht nur mit vollem, sondern auch mit vermindertem Fluss arbeiten kann.

Formel 4-12

$$\text{in.q}_{\text{act}} = (+); \text{in.q}_{\text{pot}} = (+); \text{out.q}_{\text{act}} = (+); \text{out.q}_{\text{pot}} = (+); s = \text{Operating}$$

Dieses Tupel sagt aus, dass sich die Maschine im Betriebszustand Operating befindet. Der Fluss in die Maschine und aus der Maschine ist aber verringert.

In der Verbindung mit Tupel 1 $in.q_{act} = +$; $in.q_{pot} = +$; $out.q_{act} = +$; $out.q_{pot} = +$; $s = Operating$ erkennt man, dass der Zustand Operating nicht mehr klar abzugrenzen ist. Er kann bedeuten Maschine arbeitet entweder mit voller oder verminderter Leistung.

Daraus folgt die Modellkomponente in Tabelle 4-12 mit Berücksichtigung des verminderten Flusses:

Tabelle 4-11 Model component: Machine Serial (extended minor speed)

$in.q_{act}$	$in.q_{pot}$	$out.q_{act}$	$out.q_{pot}$	state
+	+	+	+	Operating
0	+	0	0	Lack
0	0	0	+	Tailback
(+)	(+)	(+)	(+)	Operating

Tabelle 4-12 Model component: Combine (extended minor speed)

$in.q_{act}$ main	$in.q_{pot}$ main	$in.q_{act}$ branch	$in.q_{pot}$ branch	$out.q_{act}$	$out.q_{pot}$	State
+	+	+	+	+	+	Operating
0	+	0	0	0	0	Lack
0	0	0	+	0	0	Lack Branch Line
0	0	0	0	0	+	Tailback
(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	Operating

Analog zum Modell der Machine Serial ändern sich auch die nicht seriellen Komponenten Combine Element und Separate Element (Tabelle 4-12 bzw. Tabelle 4-13). Sie werden jeweils um ein Tupel erweitert, das den verminderten Fluss durch die Komponente zulässt.

Tabelle 4-13: Model component: Seperate (extended minor speed)

$in.q_{act}$	$in.q_{pot}$	$out_{main}.q_{act}$	$out_{main}.q_{pot}$	$out_{branch}.q_{act}$	$out_{branch}.q_{pot}$	state
+	+	+	+	+	+	Operating
0	+	0	0	0	0	Lack
0	0	0	+	0	0	Tailback
0	0	0	0	0	+	Tailback

						branch line
(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	Operating

Das Modell für ein transportation element (Tabelle 4-7) wird auf Grund der Pufferwirkung der Komponente hingegen umfangreicher. So muss berücksichtigt werden, dass ein Pufferelement bei einem reduzierten Input trotzdem den vollen Output bzw. bei keinem Input einen reduzierten Output liefern kann. Da beim Transportation Element kein s-Terminal existiert, wird auch in der erweiterten Modellierung keines berücksichtigt. Folgende Tupel werden zur ursprünglichen Modellierung hinzugefügt:

Formel 4-13

$$\text{in.q}_{\text{act}} = (+); \text{in.q}_{\text{pot}} = +; \text{out.q}_{\text{act}} = +; \text{out.q}_{\text{pot}} = +$$

→ Reduzierter Input trotzdem voller Output

Formel 4-14

$$\text{in.q}_{\text{act}} = (+); \text{in.q}_{\text{pot}} = +; \text{out.q}_{\text{act}} = (+); \text{out.q}_{\text{pot}} = +$$

→ Reduzierter Input dadurch reduzierter Output

Formel 4-15

$$\text{in.q}_{\text{act}} = 0; \text{in.q}_{\text{pot}} = 0; \text{out.q}_{\text{act}} = (+); \text{out.q}_{\text{pot}} = +$$

→ Kein Input trotzdem reduzierter Output

Formel 4-16

$$\text{in.q}_{\text{act}} = +; \text{in.q}_{\text{pot}} = +; \text{out.q}_{\text{act}} = (+); \text{out.q}_{\text{pot}} = +$$

→ Voller Input, aber reduzierter Output

Formel 4-17

$$\text{in.q}_{\text{act}} = (+); \text{in.q}_{\text{pot}} = +; \text{out.q}_{\text{act}} = 0; \text{out.q}_{\text{pot}} = 0$$

→ Reduzierter Input, kein Output

Die Vollständige Modellierung zeigt Tabelle 4-14.

Tabelle 4-14: Model component: Transportation Element (extended minor speed)

Z	in.q _{act}	in.q _{pot}	out.q _{act}	out.q _{pot}	State
1	0	0	0	+	No specific state; all lines are Model _{OK}
2	0	+	0	0	
3	+	+	+	+	
4	(+)	+	+	+	
5	(+)	+	(+)	+	
6	0	0	(+)	+	
7	+	+	(+)	+	
8	(+)	+	0	0	

5 Methoden und Materialien zur Validierung der Modellbasierten Diagnose

Die Verifizierung und Validierung der vorher beschriebenen Methoden wurde an Hand eigens entwickelter Methoden durchgeführt. Je nach Methode konnte die Validierung in unterschiedlichen Detailierungsgraden durchgeführt werden (Übersicht siehe auch Abbildung 1-1). Die Verifizierung der Komponenten Split und Merge wurde eine Simulationsanlage entworfen. Die Modellbasierte Diagnose wurde in der Praxis mit Hilfe von Versuchsanlagen validieren. Die Verifizierung der Diagnose von Minderleistungen erfolgte manuell über Die Diagnosemaschine Razor.

5.1 Verifizierungs- und Validierungsmethoden der Komponenten Split and Merge

Die Verifizierung der Komponenten Split und Merge (Kapitel 4.1.5 und 4.1.6) wird mit dem Tool Razor der Firma OCCM durchgeführt. Dazu werden in einem ersten Schritt die Komponenten in einem einfachen Verbund (Szenario A, B) verifiziert und später durch eine komplexere Struktur (Szenario C) validiert. Szenario A, B verifiziert das Verhalten von Split und Merge als Einzelkomponente auf Richtigkeit.

5.1.1 Verifizierung der Einzelkomponenten

Aufgabe der Verifizierung der Einzelkomponenten ist die Überprüfung, ob das modellierte Verhalten der Komponenten Split und Merge, dem tatsächlich erwarteten entspricht. Dazu wurden 2 Testszenarien (A, B) im Razor implementiert (siehe Abbildung 5-1).

Testszenario A besteht aus 3 Maschinen M_{1-3} , diese sind über Transporteure jeweils mit der zu testenden Split-Komponente verbunden. Das heißt der Objektfluss geht von M_0 aus über TE_0 in die Split Komponente. Dort erfolgt eine Aufteilung des Objektflusses auf Out_1 über TE_1 in Maschine M_1 und Out_2 über TE_2 in Maschine M_2 .

Testszenario B beinhaltet eine Merge-Komponente. Diese wird von 2 Maschinen M_0 und M_1 mit Objekten versorgt und vereint den Objektstrom zur Maschine M_2 .

In der Modellierungsumgebung werden dann Verifizierungsszenarien modelliert, die mittels der Diagnosemaschine auf Konsistenz geprüft werden können. Dabei werden sowohl konsistente, als auch inkonsistente Szenarien vorgegeben, d. h. Szenarien, die nicht in der Realität nicht plausibel sind, entsprechen. Diese müssen auch von der Diagnosemaschine als inkonsistent identifiziert werden, um die Modellierung zu verifizieren.

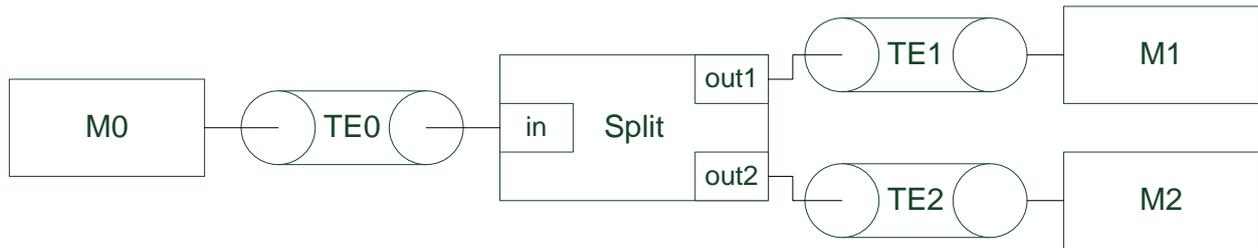
Tabelle 5-1: Validierungssätze Szenario A (Split)

Nr	M0	TE0	Split	TE1	M1	TE2	M2	C/I ⁴	Erläuterung
1	Op	Op	Op	Op	Op	Op	Op	C	Maschinen laufen
2	Op	Op	Op		TB		Op	C	Out2 führt Gebinde ab
3	Op		Op		Lack		Op	C	Split versorgt einen Output
4	TB		TB		TB		TB	C	Kein Output in Anlage
5	Lack		Lack		Lack		Lack	C	Kein Input in Anlage
6	Op		Op	BI	TB	BI	TB	I	Split kann nichts abführen, läuft aber trotzdem
7	Op		Op	BI	TB		Lack	I	M2 müsste arbeiten, (da out1 blockiert) bzw. Split muss stehen
8	Lack	BI	Op		TB		TB	I	Split bekommt keinen Input -> darf nicht arbeiten
9	Op		Op		Lack	BI	TB	I	(Fall 7 Output vertauscht)
10	Op		Op		TB		TB	C	Puffer TE1 und TE2 wird gefüllt

Op = Operating, TB = Tailback, BI = Blocked (ist Vorgabewert)

⁴ C = Für diesen Testfall wird Konsistenz erwartet
 I = Für diesen Testfall wird Inkonsistenz erwartet

A: Split



B: Merge

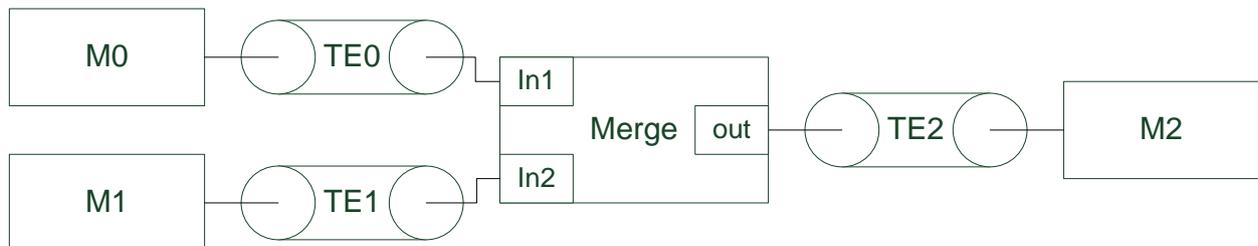


Abbildung 5-1: Validierungsszenario A (Split) und B (Merge)

Tabelle 5-1 und Tabelle 5-2 zeigt die vorgegebenen Zustände für das Validierungsszenario und den erwarteten Diagnosewert. Durch die Konsistenz des erwarteten Diagnosewertes und dem durch die Diagnosemaschine ermittelten wird die Komponente Merge verifiziert.

Am Beispiel von Tabelle 5-2 Zeile 4 wird das Vorgehen erläutert:

Vorgegeben wird: Maschine M2 (hinter der Merge-Komponente) arbeitet, M0 hat einen Behältermangel und M1 einen Behälterrückstau. Zusätzlich ist TE1 blockiert bei gleichzeitiger Funktion der Merge-Komponente.

Dieses Szenario ist nicht plausibel, da M2 nur unter der Voraussetzung arbeiten kann, wenn es Objekte aus der Merge-Komponente erhält. Dies ist aber nur dann der Fall, wenn die merge-Komponente entweder durch M0 und/oder M1 mit Flaschen versorgt wird. Da sich M0 im Lack befindet (also keine Flaschen abgibt) und TE1 blockiert ist (also auch keine Flaschen abgibt) ist die Vorgabe des Zustandes von Merge „Operating“ nicht konsistent. D. h. bei der Überprüfung mit der Diagnosemaschine muss das OK-Model der Versuchsanordnung nicht mit dem vorgegeben Szenario konsistent sein.

Für die Validierung der Komponente werden alle in den Tabellen definierten Szenarien abgefahren und verglichen, ob die Diagnosemaschine das jeweilige Szenario als konsistent bzw. inkonsistent erkennt. Dieses Ergebnis wird mit dem erwarteten Ergebnis aus Tabelle 5-1 bzw. Tabelle 5-2 verglichen. Die Verifizierung ist erfolgreich, wenn alle Ergebnisse übereinstimmen.

Tabelle 5-2: Validierungssätze Szenario B (Merge)

Nr	M0	TE0	M1	TE1	Merge	TE2	M2	C/I ⁵	Erläuterung
1	Op		Op		Op		Op	C	Maschinen laufen
2	Lack	Bl	Op	Op	Op		Op	C	1 Input versorgt Merge
3	TB		Lack		Op		Op	I	Nicht möglich das M1 und M2 lack and TB aufweisen
4	Lack		TB	Bl	Op		Op	I	Merge kann nicht laufen, wenn Lack an TE0
5	TB		TB		Op		TB	I	Merge kann nicht laufen, wenn Anlage komplett TB

Op = Operating, TB = Tailback, Bl = Blocked

5.1.2 Validierung von Split und Merge mittels simulierter Betriebsdaten

Die Validierung der Komponenten Split und Merge konnte nicht mit Hilfe realer Betriebsdaten durchgeführt werden, da keine geeignete Produktionsanlage zur Verfügung stand, die die entsprechenden Komponenten beinhaltet bzw. die Betriebsdaten mit ausreichender Qualität zur Verfügung stellte. Stattdessen wurde eine Anlage in Plant Simulation modelliert, die die entsprechenden Szenarien abbilden konnte, und es wurden manuell Störfälle produziert. Die Struktur der Anlage zeigt Abbildung 5-2.

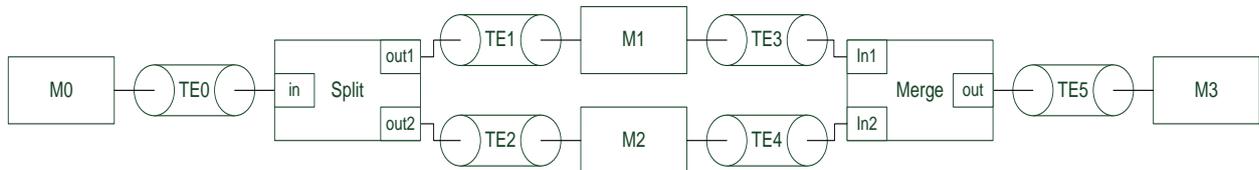


Abbildung 5-2: Validierungsszenario C

Um die Validierung durchführen zu können, wurden die Testfälle (Validierungsszenarien) in der Simulation nachgestellt. Dazu wurden der Reihe nach Komponenten gestört, bis die Maschine M3 (Zentralaggregat) auf Grund eines Mangels stand. Tabelle 5-3 zeigt zusammengefasst die erzeugten Szenarien. Abbildung 5-3 zeigt beispielhaft die Daten von Testfall 1, bei dem die Störung von M1 zu drei Mangelfällen an M3 führt. Die zugehörigen

⁵ C/I = Für diesen Testfall wird Konsistenz/Inkonsistenz erwartet

Betriebsdaten (Simulationszeit von 00:00:00 – 07:34:04) sind in Anhang C angefügt sowie in einem Ganttchart visualisiert.

Tabelle 5-3: Testfälle Validierungsszenario Split, Merge

Case	Machine Failure	Starting Time	Ending Time
1	M1 (8001)	00:16:50	00:23:53
2	M2 (8002)	00:33:37	00:47:59
3	M3 (9001)	00:56:53	02:23:30
4	M0 (7001)	02:30:28	06:18:54
5	TE5 (17033)	06:32:49	06:44:22
6	TE4 (17032)	06:57:12	07:13:21

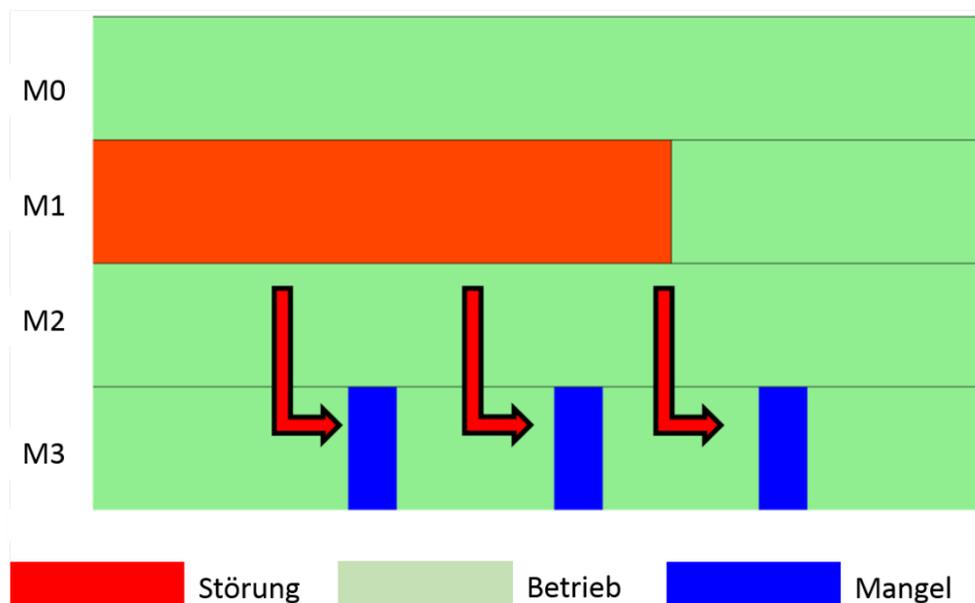


Abbildung 5-3: Validierung Split und Merge Beispiel Testfall 1

Zur Validierung der Komponenten Split und Merge wird das oben gezeigte Diagnosemodell entworfen und über die simulierten Betriebsdaten die Diagnose mit Hilfe des Diagnosetools gestartet. Als Symptom wird jeweils der Mangel an Maschine M3 (Bottle Filler) verwendet. Die ermittelten Diagnoseergebnisse werden dann mit den konstruierten Szenarien auf Konsistenz geprüft.

5.2 Validierung der modellbasierten Diagnose durch Versuchsanlagen

Die Validierung der modellbasierten Diagnose erfolgte unter Praxisbedingungen durch [55] und [128] exemplarisch. Im Folgenden werden die Praxisanlagen und die Validierungsmethoden für die vollständige experimentelle Validierung beschrieben.

5.2.1 Anlage A

Bei Anlage A handelt es sich um eine Glas-Mehrweganlage im Leistungsbereich von 50.000 FI/h, die 0,5l-NRW und 0,5l-Ale-Flaschen verarbeitet. Die Struktur zeigt Abbildung 5-4.

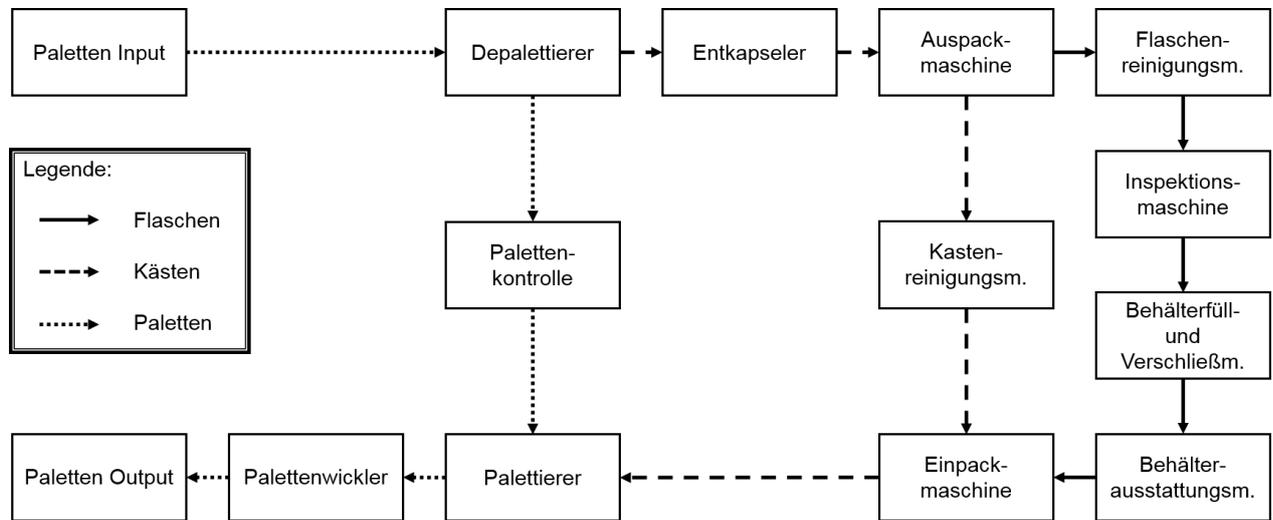


Abbildung 5-4: Struktur Anlage A

Alle Aggregate von Anlage A verfügen über eine Weihenstephaner Standards Schnittstelle, die an ein Betriebsdatenerfassungssystem angeschlossen sind und in einer Datenbank archiviert werden. Damit lassen sich die Betriebsdaten der Anlage für Diagnosezwecke verwenden.

Die Erstellung der Diagnosemodelle erfolgte wie in den Vorarbeiten von [55], [107] und [128] beschrieben. Die dazugehörigen Anlagendaten, die für die Modellierung aufgenommen werden mussten sind in Anhang Ci) zusammengefasst.

5.2.2 Anlage B

Anlage B ist eine PET-Mehrweg-Linie (Abbildung 5-5), deren Betriebsdaten ebenfalls nach den Weihenstephaner Standards vorliegen. Sie verarbeitet die 1l-PET-Brunnenflasche. Auch diese Linie ist an ein Betriebsdatenerfassungssystem angeschlossen, das Betriebsdaten in einer Datenbank speichert. Eine Besonderheit der Anlage ist der Snifferblock. Dabei handelt es sich um drei direkt verblockte Inspektionsmaschinen. Diese können aus Datensicht zu einer Maschine zusammengefasst werden, da nur der Parallelbetrieb aller Maschinen möglich ist.

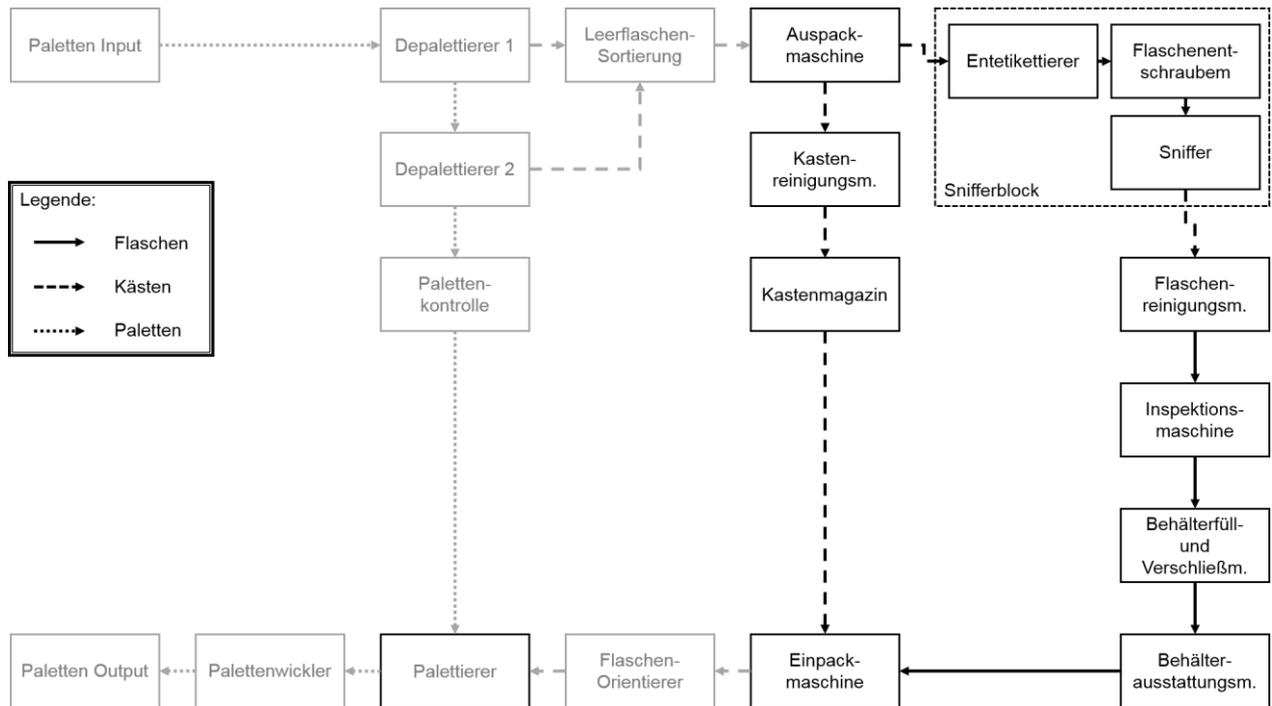


Abbildung 5-5: Struktur Anlage B

Zur Diagnose wurden die Systemgrenzen ab dem Auspacker bis zum Einpacker gesetzt. Die Analyse der Betriebsdaten außerhalb der Systemgrenzen zeigte Betriebsdaten, die nicht mit den Vorgaben der Weihenstephaner Standards konform waren und auch nicht in eine geeignete Form überführbar waren. Die Anlagendaten zur Modellierung sind in Anhang Cii) zusammengefasst.

5.2.3 Anlage C

Anlage C ist eine Abfülllinie für 0,5l-Euroflaschen und 0,33l-Vichyflaschen. Sie ist über 2 Weichen mit einer zweiten Linie (in Abbildung 5-6 Linie 1) gekoppelt. Im Normalbetrieb wird die Kopplung allerdings nicht betrieben. Auch diese Anlage verfügt über Betriebsdaten nach den Weihenstephaner Standards, die in einer Datenbank archiviert werden und an ein Betriebsdatenerfassungssystem gemeldet werden. Die aufgenommenen Anlagendaten sind in Anhang Ciii) abgebildet.

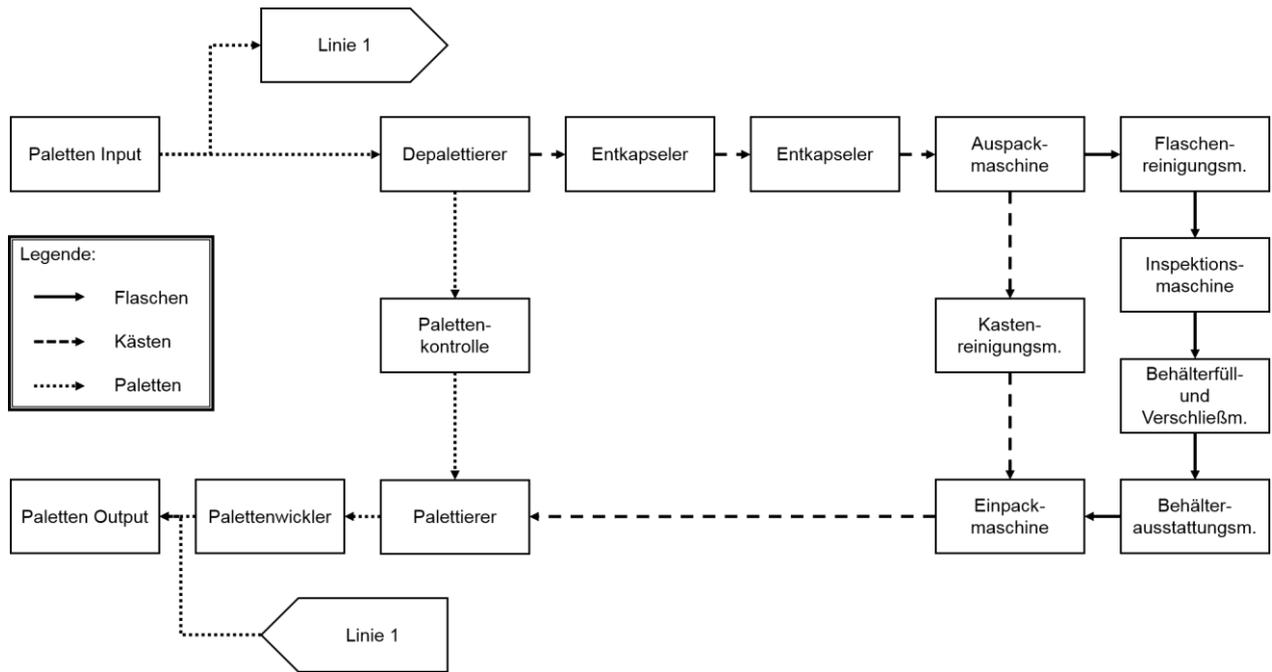


Abbildung 5-6: Struktur Anlage C

5.2.4 Aufnahme von manuellen Diagnosedaten zum Zwecke der Validierung

Neben der Datenbasis zur Diagnose von realen Anlagendaten müssen zur Validierung noch Vergleichsdaten erhoben werden. Diese wurde an den oben beschriebenen Anlagen manuell erfasst. Dabei wurden Stillstände am Zentralaggregat erfasst und manuell Störgründe zugeordnet. Die Zuordnung wurde durch in der Anlage verteilten Experten durchgeführt, die relevante Störungen beobachten, deren Auswirkungen verfolgen und im Falle eines durchschlagenes auf den Füller den entsprechenden Störgrund als Ausschlag gebenden identifizierten. Die Versuche wurden je nach Verfügung der Anlagen an verschiedenen Tagen für verschiedene Zeiträume durchgeführt. So wurde für Anlage A ein Validierungsdatensatz am 12.07.2011 erzeugt (Im Beobachtungszeitraum war auf Grund technischer Probleme keine weitere Abnahme möglich). Der Validierungsdatensatz ist zusammen mit den Diagnoseergebnissen in Anhang Ei)I). Für Anlage B wurden drei Validierungsdatensätze für den 1.3, 2.3 und 3.3.2011 auf selbe Weise erzeugt. Diese sind in Anhang Eii) dokumentiert.

Für Anlage C wurde der Validierungsdatensatz auf andere Weise erzeugt. Hier wurde durch das Anhalten der Maschinen Stillstände am zentralen Aggregat erzeugt. Das heißt es wurde jeweils zweimal eine Maschine angehalten bis es zum Stillstand an der Füllmaschine kam. Im Gegensatz zur manuellen Abnahme, die immer mit Fehlern behaftet ist, konnte so ein 100% konsistente Validierungsbasis geschaffen werden. Anhang Eiii)I) zeigt das Protokoll.

5.3 Validierungsmethoden der Modellkomponenten für Minderleistung

Die Validierung der um Minderleistung erweiterten Komponenten wurde im ersten Schritt in einer Simulationsumgebung durchgeführt. Dadurch wird die generelle Gültigkeit der Modelle bestätigt, um sie später in ein Anlagenmodell zu integrieren und mit Hilfe einer realen Anlage eine experimentelle Validierung durchführen zu können. Zur reinen Validitätsprüfung der erweiterten Komponenten wurde das Tool Razor der Firma OCCM benutzt.

Tabelle 5-4: Validierungsszenarien Modellerweiterung Minderleistung

M1	M2	Beschreibung Szenario	Erwartete Diagnose
Lack	Lack	Anlage leer, beide Maschinen haben Mangel	Keine Diagnose, konsistentes Szenario
Lack	Tailback	Anlage leer, Objektabfuhr gestört +Objektzufuhr ebenfalls. TE mit unbestimmter Pufferbelegung arbeitet nicht	Keine Diagnose, konsistentes Szenario
Operating	Lack	M2 Mangel, TE nimmt Objekte auf, gibt aber keine ab	Diagnose TE
Operating	Operating	M1 und M2 laufen	Keine Diagnose, konsistentes Szenario
Operating	Tailback	M2 Rückstau, TE kann noch Objekte aufnehmen	Keine Diagnose, konsistentes Szenario
Tailback	Tailback	Anlage voll, M1 und M2 haben Rückstau	Keine Diagnose, konsistentes Szenario
Tailback	Lack	Rückstau M1 und Mangel M2	Diagnose TE, da TE Behälter aufnehmen und/oder abgeben können muss.

Für die Validierung der Minderleistungskomponenten wurde folgendes Validierungsmodell entworfen. Es besteht aus zwei Maschinen (M1 und M2) und einer Transportstrecke. Die Maschinen werden durch die Modellkomponente Material Transporter (MT) repräsentiert, während der Transportstrecke durch ein Transportation Element (TE) abgebildet werden (Abbildung 5-7). Die Komponenten sind in Tabelle 5-4 beschrieben.

Die Entwicklungsumgebung lässt die Vorgabe von Statusinformationen für einzelne oder mehrere Aggregate zu. So können Szenarien konstruiert werden, in denen sich bestimmte Diagnosen erwarten lassen. Die Szenarien in Tabelle 5-4 wurden zur Validierung konstruiert.

Durch das Softwaretool Razor lassen sich die oben beschriebenen Szenarien diagnostizieren. Dazu werden die Zustände der Maschinen als Systemparameter dem Diagnosemodell übergeben. Der Diagnosealgorithmus berechnet auf Grund der vorgegebenen Systemparameter der verwendeten Modelle und deren Abhängigkeiten mögliche Fehlermodelle, die eine Konsistenz der vorgegebenen Systemparameter erlauben. Diese Diagnosen werden mit den in den Szenarien erwarteten Diagnosen verglichen und so die Validität der Diagnosemodelle bestimmt.



Abbildung 5-7: Struktur Validierungsobjekt (Modellerweiterung Minderleistung)

6 Ergebnisse der Validierung und Diskussion

6.1 Erweiterte Modelle Split and Merge

6.1.1 Ergebnisse und Diskussion der Verifikation der Einzelkomponenten

Die Verifikationsszenarien A und B wurden mit Hilfe der Diagnosemaschine (Kapitel 2.4.2) durchgeführt. Dazu wurden die vorgegeben Werte (vgl. Kapitel 5.1.1) vorgegeben und die Konsistenz der Ergebnisse des Diagnosetools mit den erwarteten Ergebnissen abgeprüft. Die getroffenen Annahmen auf Konsistenz bzw. Inkonsistenz für die Komponenten Split (Abbildung 4-9) und Merge (Abbildung 4-12) wurden dabei jeweils zu 100% erfüllt.

Tabelle 6-1: Ergebnisse Verifizierungsszenario A (Split)

Nr	Split	C/I ⁶	Erläuterung	Ergebnis im Raz`r
1	Op	C	Maschinen laufen	Konsistenz
2	Op	C	Out2 führt Gebinde ab	Konsistenz
3	Op	C	Split versorgt einen Output	Konsistenz
4	TB	C	Kein Output in Anlage	Konsistenz
5	Lack	C	Kein Input in Anlage	Konsistenz
6	Op	I	Split kann nichts abführen, läuft aber trotzdem	Inkonsistenz
7	Op	I	M2 müsste arbeiten, (da out1 blockiert) bzw. Split muss stehen	Inkonsistenz
8	Op	I	Split bekommt keinen Input -> darf nicht arbeiten	Inkonsistenz
9	Op	I	M1 müsste arbeiten, (da out2 blockiert) bzw. Split muss stehen	Inkonsistenz
10	Op	C	Puffer TE1 und TE2 wird gefüllt	Konsistenz

OP= Operating TB = Tailback

C= consistency/ I = inconsistency

⁶ C/I = Für diesen Testfall wird Konsistenz/Inkonsistenz erwartet

Tabelle 6-2: Ergebnisse Verifizierungsszenario B (Merge)

Nr	Merge	C/I ⁷	Erläuterung	Ergebnis im Raz`r
1	Op	C	Maschinen laufen	Konsistenz
2	Op	C	1 Input versorgt Merge	Konsistenz
3	Op	I	Nicht möglich das M1 und M2 lack and TB aufweisen	Inkonsistenz
4	Op	I	Merge kann nicht laufen, wenn Lack an TE0	Inkonsistenz
5	Op	I	Merge kann nicht laufen, wenn Anlage komplett TB	Inkonsistenz

OP= Operating TB = Tailback
 C= consistency/ I = inconsistency

Diskussion

Die gewählten Szenarien wurden für die Verifizierung der Einzelkomponenten gewählt, um ihre Modellierung losgelöst vom Verhalten anderer Komponenten zu untersuchen. Die Ergebnisse verifizieren, dass das Einzel-Verhalten jeder Komponente, den zu erwartenden Werten entspricht. Dadurch können offensichtliche Fehler bei der Modellierung ausgeschlossen werden. Im nächsten Schritt ist die Integration der Komponenten in einen Anlagenkontext vorzunehmen.

6.1.2 Ergebnisse und Diskussion der Diagnose mit simulierten Daten

Für die Validierung der Komponenten wurden durch die Simulation Betriebsdatendaten erzeugt (siehe Kapitel 5.1.2). Die Rohdaten sind in Anhang Di) graphisch dargestellt und in Anhang Dii) als Rohdaten aufgeführt. Tabelle 6-3 zeigt die durch die Simulation erzeugten Szenarien und die zugehörige Diagnose, die durch die Diagnosemaschine ermittelte wurde. Die Ergebnisse wurden eingeteilt in

- compliant (eindeutig), die Diagnose erkennt das verursachende Aggregat eindeutig
- compliant (nicht eindeutig) die Diagnose erkennt den richtigen Verursacher, aber auch andere mögliche Verursacher
- not compliant Verursacher wird nicht gefunden

⁷ C/I = Für diesen Testfall wird Konsistenz/Inkonsistenz erwartet

Tabelle 6-3: Ergebnisse Validierung (Szenario C)

Szenario	Gestoppte Maschine	Diagnose	Compliant (eindeutig)	Compliant (nicht eindeutig)	Not compliant
1	M1	{M1;TE5}{M1;TE4}{M1;Merge}			1
2	M2	{M2;TE5}{M2;TE3}{M2;Merge}			1
3	M3	M3	1		
4	M0	M0	1		
5	TE5	TE5, Merge, {TE3;TE4}		1	
6	TE4	TE5, Merge, {TE3;TE4}			1
Summe			2	1	3

Die Diagnose der Simulationsdaten ergab für sechs Szenarien eine Diagnosegüte von 50 %, wobei 33 % der Fehler eindeutig identifiziert wurden und 17 % nicht eindeutig. In Szenario C 3 und 4 werden die Störverursacher M3 bzw. M0 durch das Diagnosetool eindeutig erkannt. Die Szenarien C 1, 2, 5 und 6 zeigen keine eindeutigen Diagnoseergebnisse bzw. auch falsche.

Diskussion

Uneindeutige Diagnosen (Szenario C 1,2,5,6) sind dadurch begründet, dass die Transportkomponenten TE0-TE5, Split und Merge keine Betriebsdaten ausgeben. Am Beispielszenario C 5 (Abbildung 6-1) wird dieser Sachverhalt näher ausgeführt.

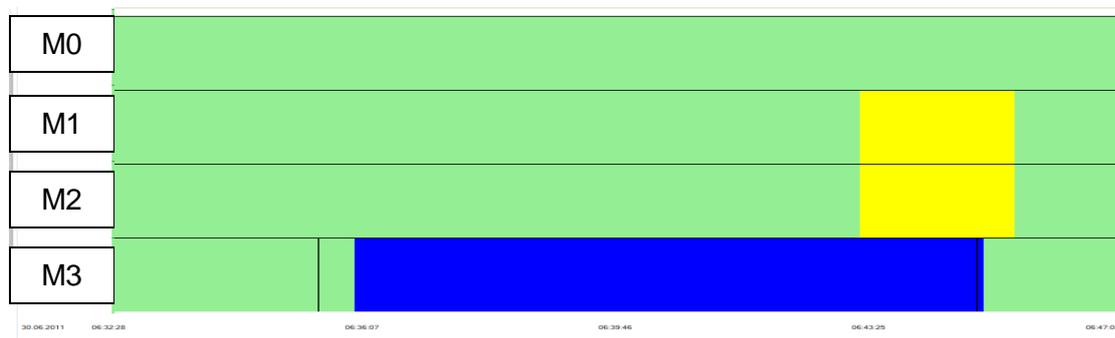


Abbildung 6-1: Ganttchart Betriebsdaten Szenario 5 (grün = Betrieb, blau = Mangel, gelb = Stau)

Das Transportelement TE5 wurde blockiert, was zu einem Flaschenmangel an M3 und später zu einem Rückstau an M1 und M2 führt. Bei einer Ausführung der Diagnose wird der Beginn des Mangels an M3 analysiert. Da sich M1 und M2 im Zustand Operating (Betrieb) befinden, schließt die Diagnose auf ein gestörtes Element zwischen M3 und M1/2. Dadurch

kommen die Elemente TE5, Merge oder ein Doppelfehler von TE3 und TE4 als Verursacher in Frage. Der Doppelfehler begründet sich durch die Modellierung der Merge-Komponente, da diese eine Versorgung der Komponente als gegeben sieht, wenn nur ein Input aktiv ist.

Tabelle 6-4: Diskussion Szenarien C 1,2,5 und 6 (Daten in Anhang)

Sz	Gestoppte Maschine	Diagnose	Diskussion
1	M1	{M1;TE5}{M1;TE4} {M1;Merge}	M1 gestoppt-> Mangel an M3; Merge Komponente geht davon aus, dass 1 Input für die Versorgung ausreichend ist. Deshalb wird eine weitere Komponente im 2. Strang (M2 bzw. Merge oder TE5) identifiziert, die ebenfalls gestört ist, um den Fall plausibel zu erklären
2	M2	{M2;TE5}{M2;TE3} {M2;Merge}	Erklärung wie Szenario 1 (nur mit M2 gestoppt, Weitere defekte Komponente TE5, TE3 bzw. Merge)
5	TE5	TE5, Merge, {TE3;TE4}	Siehe ausführlichen Text oben
6	TE4	TE5, Merge, {TE3;TE4}	Definition von Merge sagt, 1 Input reicht zur Versorgung des Outputs. Deshalb Diagnose Doppelfehler bzw. Komponente Merge bzw. TE5

Die Diagnosen wirken auf die erste Betrachtung als ungenau. Es müssen aber zwei grundsätzliche Probleme bedacht werden.

Zum einen ist die Komponente Merge so modelliert, dass nur ein Input Objekte liefern muss, um die nachfolgende Komponente ausreichend zu versorgen. Dies ist in der Realität nicht immer gegeben (siehe auch Simulation). So müsste bei jeder Modellerstellung überprüft werden, ob beide Inputs oder nur einer der Inputs allein für die vollständige Versorgung des Outputs ausreichend ist. Dazu ist aber explizit Wissen über vor- und nachgelagerte Maschinen notwendig. So muss über die Ausbringung der Maschinen die Modellierung von Merge erfolgen. Das widerspricht aber den Grundlagen der kontextfreien Modellierung, wo Komponenten gerade nicht im Kontext der Gesamtanlage modelliert werden.

Zum zweiten führt das Fehlen der Betriebsdaten zu einer größeren Anzahl von verdächtigen Komponenten. So kann der Diagnosealgorithmus nur auf Bereiche zwischen Maschinen mit Betriebsdaten schließen, dort aber keine weiteren Einschränkungen vornehmen.

Die eingeführten Modelle treffen nur die Unterscheidung zwischen einem vorhandenen und nicht vorhandenen Fluss (0 oder +). Die Erweiterung dieser Modelle auf den Fall der reduzierten Flüsse steht somit noch aus. Diese ist nicht trivial, da die Komponenten-Modelle evtl. globale Aspekte reflektieren müssen: Führt zum Beispiel eine Blockade oder auch eine Minderleistung auf nur einem Parallelstrang nach dem Zusammenführen der Ströme bei nachfolgenden Komponenten zu einer Minderleistung oder nicht.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Modelle Split für die Diagnose geeignet ist. Die Komponente Merge muss mit Hilfe realer Betriebsdaten nochmal genauer analysiert werden müssen. Denn schon in der Simulation lässt sich nur eine Diagnosegenauigkeit von 50% erreichen (eindeutige und nicht eindeutige Diagnosen). Hier ist zu überlegen in wie weit die kontextfreie Modellierung überhaupt möglich ist, da die Modellierung von Merge von der Beschaffenheit anderer Komponenten abhängt.

6.2 Ergebnisse und Beurteilung der Validierung der modellbasierte Diagnose in realen Getränkeabfüllanlagen

Dieses Kapitel zeigt die Abweichung zwischen manuell ermittelten Störgründen zu Resultaten der Modellbasierten Diagnose (Vergleich Abnahme/Diagnose jeweils in Anhang E). Die Ergebnisse werden pro Versuchsanlage zusammengefasst und diskutiert.

6.2.1 Anlage A

6.2.1.1 Ergebnisse

Beim Vergleich zwischen manuell ermittelten und automatisch ermittelten Störursachen wurde eine Diagnosegenauigkeit von 89,7% über alle Störfälle erreicht ((vgl. Anhang Ei), Zusammenfassung: Tabelle 6-5). Betrachtet man ausschließlich die nicht trivialen Störgründe ergibt sich eine Genauigkeit von 80%. Dabei sind im Falle eines Mangels, der an der Füllmaschine gemeldet wurde, 12 von 13 Störgründe analog zur manuellen Störgrundermittlung diagnostiziert worden (in der Tabelle mit Richtig bzw. Falsch beschrieben). Im Falle des Rückstaus an der Füllmaschine wurden in vier von sieben Fällen der übereinstimmende Störverursacher identifiziert.

Tabelle 6-5: Zusammenfassung Validierung Anlage A

	Zusammenfassung				
	Σ	Richtig	Falsch	Güte	laut Daten richtig
Störfälle insgesamt	39	35	4	0,89	37
ohne Eigenstörung	20	16	4	0,80	18
	Eigenstörung				
	Σ	Richtig	Falsch	Güte	laut Daten richtig
12.07.2011	19	19	0	1,00	19
	Mangel				
	Σ	Richtig	Falsch	Güte	laut Daten richtig
12.07.2011	13	12	1	0,92	13
	Stau				
	Σ	Richtig	Falsch	Güte	laut Daten richtig
12.07.2011	7	4	3	0,57	5

6.2.1.2 Bewertung

Die oben erreichten Ergebnisse basieren ausschließlich auf dem Vergleich zu manuellen Abnahmedaten (Aufnahme wie in Kapitel 5.2.4 beschrieben). Dabei unterliegt die Genauigkeit der Diagnose einigen Störgrößen. Diese sind zum einen durch die Abnahme, zum anderen durch die Qualität der Betriebsdaten bedingt.

Die ermittelten Diagnosegründe der Validierungsgrundlage hängen von mehreren Faktoren ab. Diese können z. B. subjektive Einschätzungen der Abnahmepersonen sein, die Störgründe unterschiedlich bewerten. Aber auch rein technisch ist es auf Grund der Vielzahl von Störgründen nicht möglich eine Abfüllanlage 100%ig zu überwachen und so den Störgrund exakt zu bestimmen. Auch bei der Kombination von mehreren Störgründen ist letztendlich die Zuordnung Interpretationssache des Abnahmeexperten. Der zweite Störfaktor ist die Qualität bzw. die Interpretation von Betriebsdaten. So können falsche Betriebsdaten (also falsche Beobachtungen) zu falschen Diagnosen führen, da dann nicht die korrekten Fehlermodelle durch die modellbasierte Diagnose gefunden werden können.

Aus diesem Grund wurden die in Anhang Ei) bzw. Tabelle 6-5 als „Falsch“ erkannten Diagnosen im Einzelfall auf mögliche Fehler in der manuellen Abnahme bzw. auf Unstimmigkeiten in der Datenbasis überprüft und die überarbeitete Diagnosegüte verbesserte sich auf 95% mit Füller Eigenstörungen bzw. 90% ohne Eigenstörungen. Relevant für die Diagnosefunktionalität ist die Auswertung ohne Eigenstörungen, da im Falle der Eigenstörung des Füllers keine Diagnose durchgeführt wird, sondern die Störung als Ursache identifiziert wird.

Von vier Fehldiagnosen wurden zwei Diagnosen als nach Datenlage korrekte ermittelt (Fälle siehe Tabelle 6-6).

Tabelle 6-6: Fehldiagnosen Abnahme Anlage A (Auszug aus Anhang Ei))

N°	Abnahmedaten Anlage A 12.07.2011				Ergebnis Modellbasierte Diagnose			
	Füllerstörung		Manuelle Abnahme		Füllersymptom			Diagnose
	Beginn	Ende	Schuldige s Aggregat	Beschreibung	Beginn	Ende	Symptom	Schuldige s Aggregat
1	09:46:19	09:52:52	Palletizer	Band gerissen bei Ladungssicherung (nachgeschalteter Prozess)	09:47:27	09:54:07	Tailback	No_Plausible_Cause
2	11:33:10	11:33:58	Pallet transport 1	Verklemmte Palette (Rückstau)	11:34:28	11:34:50	Lack	Bottle_Washer

Für den Verursacher in Fall 1 konnte keine plausible Diagnose ermittelt werden. Das heißt die modellbasierte Diagnose konnte kein Fehlermodell an Hand der vorliegenden Betriebsdaten ermitteln, das „korrekt“ war. D.h. laut Modell können die Betriebsdaten nicht in der gezeigten Konstellation auftreten. Bei der Überprüfung zeigte sich, dass am Palettierer der Zustand „Rückstau im Nebenstrom“ anliegt. Dies ist nicht möglich, da ein Palettierer lediglich einen Output besitzt und somit über keinen Nebenstrom verfügt. Somit werden die Betriebsdaten des Palettierer nicht konsequent nach den Vorgaben der Weihenstephaner Standards abgelegt. Deswegen kann keine Diagnose ermittelt werden.

Im Fall 2 wurde im Störprotokoll der manuellen Abnahme ein Fehler auf Grund einer verklemmten Palette ermittelt (Fehlerfortpflanzung über Füller nachgeschalteten Prozess -> Füllerrückstau). Laut Betriebsdaten lag an der Füllmaschine ein Mangel an. Die automatische Diagnose ermittelte als Grund für den Mangel eine Störung an der Reinigungsmaschine. Die vorliegende Datenlage lässt darauf schließen, dass die Beobachtung durch den Experten nicht korrekt war. Auf Grund der Datenlage wurde dieser Fall als korrekte Diagnose klassifiziert.

Die Validierung der modellbasierten Diagnose ergab ein positives Fazit an Anlage A. So können 95% der Diagnosen (mit Diagnosediskussion) als korrekt betrachtet werden. Die Diagnose konnte aus technischen Gründen nur für einen Tag durchgeführt werden, was eine breitere statistische Absicherung nicht zuließ. Allerdings traten an allen Maschinen in der Anlage Störungen auf, die zu einem Füllerstillstand führten, die auch diagnostiziert werden konnten. Somit ist die Funktionalität über die komplette Anlage nachgewiesen. Einzige Ausnahme bildet dabei eine Diagnose, die ihren Stillstandsursprung hinter der Palletenentlademaschine hat. Hier meldet die Maschine Betriebsdaten, die nicht den Weihenstephaner Standards entsprechen und somit können hier auch keine plausiblen

Diagnosen gefunden werden. Hier kann entweder ein alternatives Komponentenmodell entwickelt werden, das genau dieses Maschinenverhalten abbildet oder die Maschinenprogrammierung muss derart umgestellt werden, dass die Betriebsdaten standardkonform ausgegeben werden.

6.2.2 Anlage B

6.2.2.1 Ergebnisse

Für Anlage B ergab sich eine Diagnosegüte von 97% über alle Störfälle. Betrachtet man nur die eigentlichen Diagnosefälle so liegt die Diagnosegüte bei 86%. Es wurden drei Mangelfälle in Übereinstimmung mit der manuellen Abnahme diagnostiziert (an drei Tagen). Für die Mangelfälle wurde eine Diagnosegenauigkeit von 83% ermittelt (gemittelt über drei Versuchstage). So wurden von 18 Staufällen 15 korrekt diagnostiziert ((Protokoll: Anhang Eii), Zusammenfassungen: Tabelle 6-7).

Tabelle 6-7: Zusammenfassung Validierung Anlage B

	Zusammenfassung				
	Σ	Richtig	Falsch	Güte	laut Daten richtig
Störfälle insgesamt	88	85	3	0,95	88
ohne Eigenstörung	21	18	3	0,86	21
Eigenstörung					
	Σ	Richtig	Falsch	Güte	laut Daten richtig
01.03.2011	32	32	0	1,00	32
02.03.2011	9	9	0	1,00	9
03.03.2011	26	26	0	1,00	26
Gesamt	67	67	0	1,00	67
Mangel					
	Σ	Richtig	Falsch	Güte	laut Daten richtig
01.03.2011	1	1	0	1,00	1
02.03.2011	1	1	0	1,00	1
03.03.2011	1	1	0	1,00	1
Gesamt	3	3	0	1,00	3
Stau					
	Σ	Richtig	Falsch	Güte	laut Daten richtig
01.03.2011	7	6	1	0,86	7
02.03.2011	4	3	1	0,75	4
03.03.2011	7	6	1	0,86	7
Gesamt	18	15	3	0,83	18

6.2.2.2 Bewertung

Die detaillierte Betrachtung der Fehldiagnosen ergibt, dass alle Diagnosen korrekt durchgeführt.

Tabelle 6-8: Fehldiagnosen Abnahme Anlage B (Anhang Eii)

N°	Abnahmedaten Anlage B				Ergebnis Modellbasierte Diagnose			
	Füllerstörung		Manuelle Abnahme		Füllersymptom			Diagnose
	Beginn	Ende	Schuldiges Aggregat	Beschreibung	Beginn	Ende	Symptom	Schuldiges Aggregat
1	1.3.2011 14:09:45	14:10:12	Auspacker	Füller steht, da Einpacker keine Kästen mehr bekommt (zuvor wurden zu viele Leerkästen entnommen)	14:10:00	14:10:15	Stau im Auslauf	Vorgeschalteter Prozess
2	2.3.2011 8:00:15	8:19:07	Palettierer		8:04:31	8:04:31	Stau im Auslauf	Einpacker
3	3.3.2011 9:02:50	9:03:35	Einpacker		9:03:06	9:03:39	Stau im Auslauf	Nachgeschalteter Prozess

Durch die Überprüfung der Fehldiagnosen können alle Fälle auf Grund der Datenlage als korrekt diagnostiziert gewertet werden. Im Fall 1 (Tabelle 6-8) wird durch die Diagnose der vorgeschaltete Prozess (Bereich vor Einpacker) als Störgrund identifiziert. Bei der manuellen Abnahme wurde der Störgrund am Auspacker identifiziert, der nicht genug Kästen bereitstellt. Abbildung 6-2 zeigt den Weg der Diagnose vom Rückstau des Füllers über den Rückstau an der Etikettiermaschine über den Mangel am Belader zum Mangel am Entlader. Die Diagnose verfolgt somit den Weg weiter und identifiziert die Schwachstelle im vorgelagerten Prozess. Laut Datenlage ist das plausibel und die Diagnose kann als korrekt angenommen werden.

Im Fall 2 (Abbildung 6-3) wechselt während einer Störung an der Füllmaschine der Betriebszustand von Stau in Betrieb und wieder zurück in Stau. In der manuellen Abnahme wird dieses Verhalten als eine Störung aufgenommen, da zwischen den Zustandswechseln lediglich wenige Flaschen durch den Füller verarbeitet werden und deshalb nicht von Betrieb gesprochen werden kann. Im Fall der Diagnose werden beide Staufälle getrennt voneinander diagnostiziert. Man erkennt, dass im ersten Staufall die Wegverfolgung bis zur Palettierung reicht. Auch dort liegt ein Rückstau an, so dass der vorgeschaltete Prozess diagnostiziert wird. Im zweiten Fall hat der Belader eine Störung, die durch die Diagnose erkannt wird. Dadurch wird der Belader als Störgrund diagnostiziert. Laut Daten ist die Diagnose somit als

richtig zu werten, da der Zustandswechsel des Beladers nicht in der Abnahme beobachtet wurde.

Im Fall 3 wird als manuelle Diagnose der Einpacker diagnostiziert. Dieser steht im betreffenden Zeitraum aber in Rückstau, so dass ein Fehler bei der manuellen Abnahme vermutet werden kann. Das wird auch bekräftigt durch eine Störungsmeldung am Palettierer.

Nach der Diskussion der Ergebnisse kann die Diagnosegüte an den Abnahmetagen somit mit 100% beziffert werden. Die drei scheinbaren Fehldiagnosen konnten nach Betrachtung der Datenlage als plausible Diagnosen eingestuft werden.

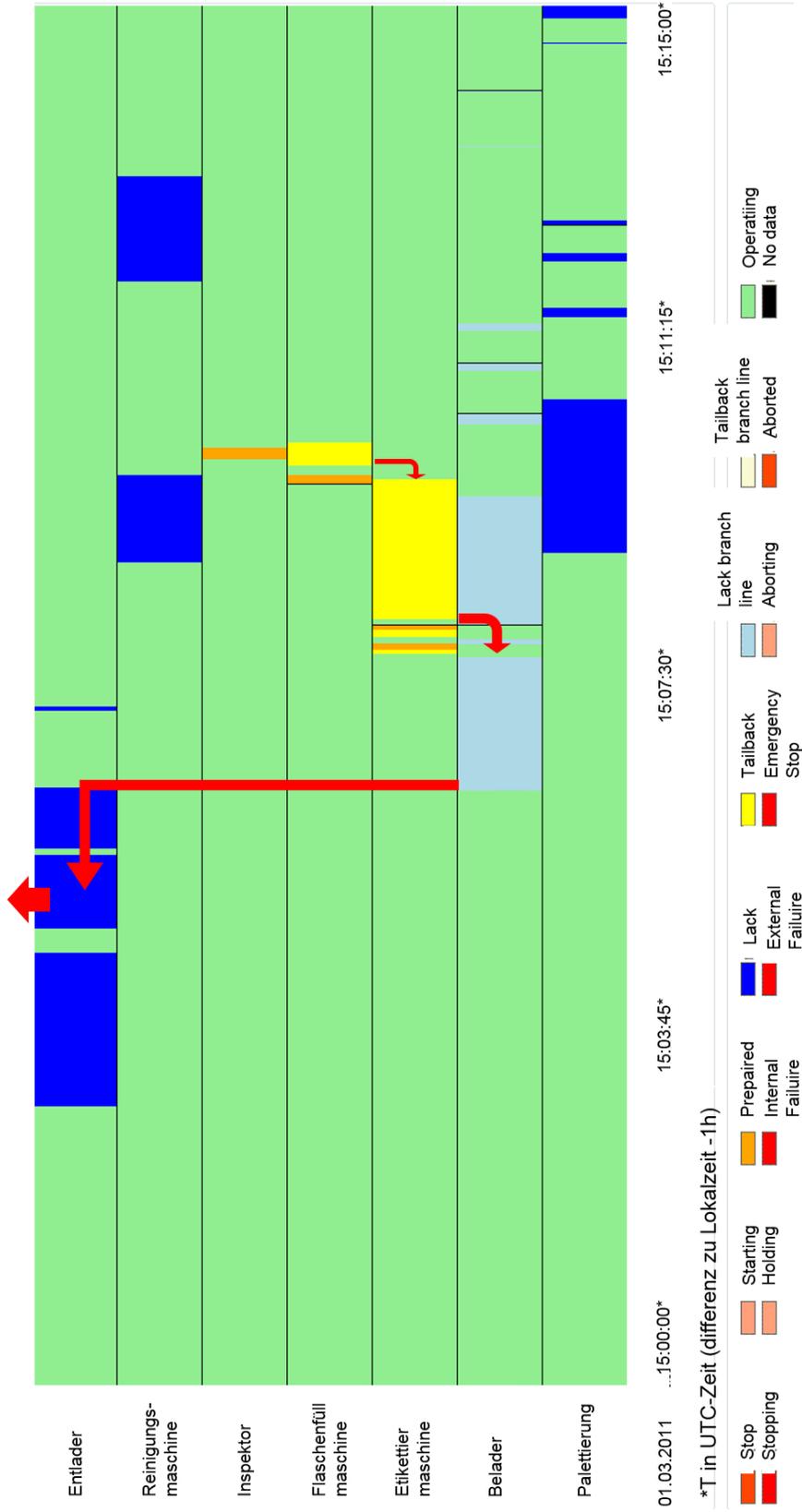


Abbildung 6-2: Diagnosediskussion Anlage B Fall 1

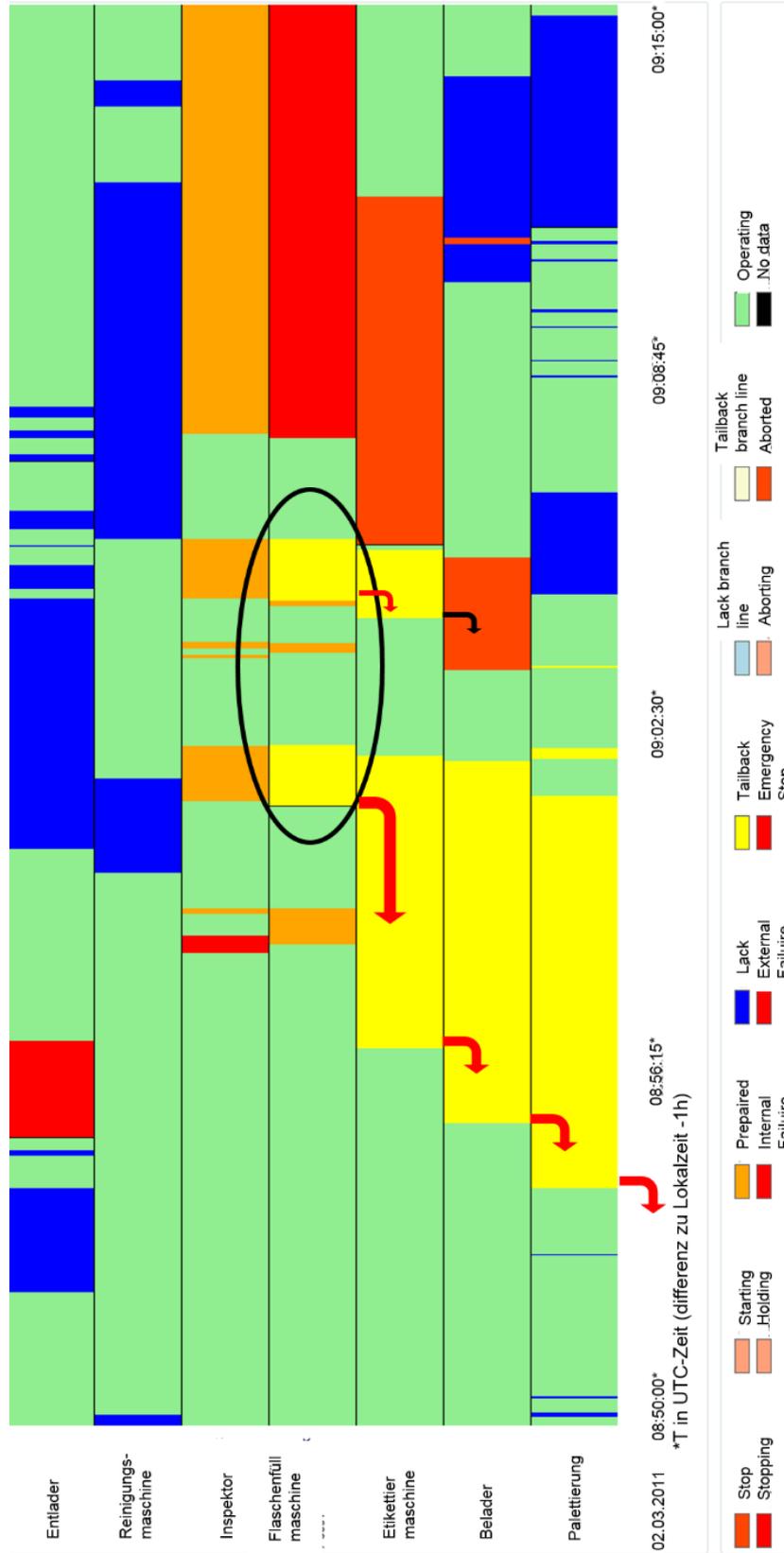


Abbildung 6-3: Diagnosediskussion Anlage B Fall 2

6.2.3 Anlage C

6.2.3.1 Ergebnisse

Für Anlage C ergab sich eine Diagnosegenauigkeit von 86% wobei hier 14 Füllerstillstände erzeugt wurden, die ihren Ursprung in verschiedenen Anlagenteilen hatten. Dabei wurde von drei Mangelfällen einer und von 11 Staufällen ebenfalls einer nicht korrekt diagnostiziert. Tabelle 6-9 fasst die Ergebnisse zusammen. Die ausgewerteten Einzelstörvergleiche befinden sich in Anhang Eiii)l).

Tabelle 6-9: Zusammenfassung Validierung Anlage C

	Zusammenfassung				
	Σ	Richtig	Falsch	Güte	laut Daten richtig
Störfälle insgesamt	14	12	2	0,86	14
ohne Eigenstörung	14	12	2	0,86	14
	Eigenstörung				
	Σ	Richtig	Falsch	Güte	laut Daten richtig
12.07.2011	0	0	0	0,00	0
	Mangel				
	Σ	Richtig	Falsch	Güte	laut Daten richtig
12.07.2011	3	2	1	0,67	3
	Stau				
	Σ	Richtig	Falsch	Güte	laut Daten richtig
12.07.2011	11	10	1	0,91	10

6.2.3.2 Bewertung

Im Falle der Validierung der modellbasierten Diagnose mit Anlage C wurden hier die Vergleichsdaten mit Hilfe von gezielt, erzeugten Störfällen erhoben. Bei der Diagnose wurden die Ursachen für zwei Füllerstillstände nicht korrekt diagnostiziert. Bei der Einzelbetrachtung der Fälle wurde eine Fehldiagnose korrigiert, so dass eine Diagnosegüte von 93% erreicht werden konnte.

Bei der Diagnose im Fall 1 (Tabelle 6-10) wurden mehrere Diagnosen ermittelt. Zum einen wurde BT2 und zum anderen BT3 diagnostiziert. Dies lag daran, dass der Betriebsstatus „Angehalten“ an der Reinigungsmaschine anlag, jedoch erst ein verzögerter Stopp des Zentralaggregats folgte. Dadurch wurden nicht die Reinigungsmaschine, sondern die Aggregate zwischen Reinigungsmaschine und Flaschenfüllmaschine als Störursache erkannt. Das verzögerte Verhalten, war eine Ausnahmesituation, das so nicht in der Modellierung abgebildet ist. Die Diagnose ist für die vorliegende Datenbasis als plausibel zu werten.

Tabelle 6-10: Fehldiagnosen Abnahme Anlage C (Anhang Eiii))

N°	Abnahmedaten Anlage B				Ergebnis Modellbasierte Diagnose			
	Füllerstörung		Manuelle Abnahme		Füllersymptom			Diagnose
	Beginn	Ende	Schuldige s Aggregat	Beschreibung	Beginn	Ende	Symptom	Schuldige s Aggregat
1	14:14:40	14:17:33	Reinigungs maschine	Manuell angehalten			Mangel	BT2; BT3; [BT2, BT3]

6.2.4 Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Validierungen von Anlage A (Tabelle 6-5) und Anlage B (Tabelle 6-7) sollen mit den in der Literatur beschriebenen Validierungen verglichen und die Aussagekraft bewertet werden. Anlage C wird im Vergleich nicht betrachtet, da es sich nicht um einen Versuch im laufenden Betrieb handelte.

Tabelle 6-11: Vergleich der Validierung mit veröffentlichten Diagnosevalidierungen nach [55; 128]

	Validierung 1 (V1): Model basierter Ansatz Flad			Validierung 2 (V2): Voigt et al. [128]			Validierung 3 (V3): Kather Model basiert[55]					
	Anlage A, B			Anlage A', B'			Anlage A'			Anlage B'		
	n	c	c (bew)	n	c	c (bew)	n	c	c (bew)	n	c	c (bew)
mit Eigenstörung	127	94,5%	98,4%	460	*	95,4%	?	88,0%	92%	?	94,0%	95,0%
ohne Eigenstörung	41	83,0%	95,1%	148	*	87,1%	?	40,0%	60%	?	84%	88,0%

n = Anzahl Fälle; c = korrekte Diagnosen; c (bew) = korrekte Diagnosen nach Fallanalyse

Tabelle 6-11 fasst die Ergebnisse der Quellen aus diesem Grund nochmal zusammen. Es werden jeweils die Anzahl der Diagnosefälle (mit und ohne Berücksichtigung von Eigenstörungen), die Diagnosegüte ohne Betrachtung der Fehldiagnosen und die Diagnosegüte unter Berücksichtigung richtiger Diagnosen - so weit in der Literatur vorhanden - aufgeführt. Da für Validierung 3 keine Anzahl der Diagnosefälle angegeben wurde, wird hier die Diagnosegüte separat pro Anlage angegeben.

Folgende Aspekte wurden verglichen:

Diagnosegüte

Die experimentelle Validierung der Methode modellbasierte Diagnose in Getränkeabfüllanlagen ergab eine Diagnosegüte von 83% bzw. 95,1% (nach Fallanalyse).

Damit hat sich die Diagnosegüte im Gegensatz zu den in der Literatur angegebenen Ergebnissen mit 87,1 % (V2) und 60 % bzw. 88 % (V3) verbessert.

Praktische Relevanz der Ergebnisse

Validierung 1 wurde an zwei Anlagen getestet. Dabei wurden für beide Anlagen ähnlich viele Diagnosefälle (20 und 21) betrachtet und die Diagnosegenauigkeiten lagen bei 80% bzw. 100%. Im Falle der Validierungen 2 und 3 wurde eine vergleichbare Genauigkeit nur für eine der beiden Anlage erreicht. Mit der erneuten Validierung konnten für die durchgeführten Diagnoseläufe erstmalig reproduzierbare Diagnoseergebnisse erreicht werden.

6.3 Modellerweiterung auf Minderleistung

Der Vergleich zwischen erwarteten Ergebnissen (entwickelt in Kapitel 5.3) und der Diagnoseergebnisse der Diagnosemaschine zeigt keine Abweichungen (vergleiche Tabelle 6-12). Alle sieben Szenarien sind konsistent. Dadurch ist die Modellierung der Diagnosemodelle verifiziert.

Die Ergebnisse der Validierung zeigen die grundsätzliche Korrektheit der Modelle (Verifizierung). Allerdings konnte lediglich die einfache Struktur innerhalb der Simulationsumgebung Razor validiert werden. Dadurch wird die Aussagekraft der Validierung eingeschränkt. So sind für die Zukunft auch zyklische Strukturen zu testen.

Die auf Minderleistung erweiterten Komponenten wurden im Zuge der Arbeit nicht an realen Anlagen getestet. Dies wurde aus verschiedenen Gründen unterlassen:

1. Das Symptom Minderleistung muss an Hand einer definierten Ausbringungsschwelle des Zentralaggregats festgesetzt werden. Diese Daten müssen zur Diagnose zuverlässig zur Verfügung stehen, was bei den verfügbaren Anlagen nicht gegeben war.
2. Die Unschärfe, die durch die erweiterten Modelle in den Diagnoseergebnissen zu erwarten sind, wurden als nicht berechenbar abgeschätzt. So verhindert eine Maschine, die in Betrieb ist, nicht die Diagnose der vorgelagerten Maschinen. So würde aber ein kurzer Stopp einer solchen Maschine, obwohl er keine Auswirkung auf die nachgeschalteten Maschinen hat, trotzdem als Störgrund identifiziert werden.
3. Das Systemverhalten der Komponenten in verzweigten Strukturen kann nicht abgeschätzt werden. So kann es über die Verbindung von Combine und Separate Elementen zu Schleifen in der Diagnose kommen, was zu Problemen bei der Diagnose führen kann.

Tabelle 6-12: Ergebnisse Diagnosemodellerweiterung Minderleistung

Nr.	Maschine 1	Maschine 2	Erwartete Diagnose aus Kapitel 5.3	Fehler Lokalisierung
1	Lack	Lack	Keine Diagnose, konsistentes Szenario	[]
2	Lack	Tailback	Keine Diagnose, konsistentes Szenario	[]
3	Operating	Lack	Diagnose TE	TE is blocked
4	Operating	Operating	Keine Diagnose konsistentes Szenario	[]
5	Operating	Tailback	Keine Diagnose konsistentes Szenario	[]
6	Tailback	Tailback	Keine Diagnose konsistentes Szenario	[]
7	Tailback	Lack	Diagnose TE, da TE Behälter auf aufnehmen und/oder abgeben können muss.	TE is blocked

[] keine Störung geschlussfolgert

Als logisch nächster Schritt zum Einsatz der Modelle ist die experimentelle Validierung mit Praxisdaten anzustreben. Aus den oben genannten Gründen ist dieser Schritt nicht unternommen worden. Ergebnis dieser Arbeit ist die Schaffung der theoretischen Grundlagen für die Diagnose von Minderleistungen in Abfüllanlagen und deren Verifizierung in einfachen Beispielstrukturen.

7 Zusammenfassung

Diese Arbeit hatte zum Ziel die Methode der modellbasierten Diagnose zur Schwachstellenanalyse von Getränkeabfüllanlagen weiterzuentwickeln und die Praxisfähigkeit der Diagnose nachzuweisen. Grundlage waren die Methoden der modellbasierten Diagnose, wie sie durch Kather veröffentlicht wurden. Im Fokus dieser Arbeit standen die Erweiterung der Komponentenbibliothek, die Erweiterung des Diagnosefokus und die experimentelle Validierung.

Kapitel 2 beschreibt die Grundlagen der Arbeit. Insbesondere wird der Entwicklungsstand der modellbasierten Diagnose beleuchtet. Die modellbasierte Diagnose vergleicht Betriebsdaten realer Getränkeabfüllanlagen mit einem Modell der Anlage, das den reibungslosen Betrieb der Anlage simuliert. Bei einer Störung der realen Anlage unterscheiden sich die Modellzustände der Simulation vom realen System. Durch die Analyse der Abweichungen können Schwachstellen identifiziert werden. Die Anlagenmodelle werden mit Hilfe von Komponenten aufgebaut. Diese bilden das korrekte Betriebsverhalten der Komponente ab und verknüpfen dieses mit einer standardisierten semantischen und ontologischen Schnittstelle, den Weihenstephaner Standards. Die entwickelte Komponentenbibliothek besteht aus 4 Komponenten und die Validierung der Methode fand an 2 Versuchsanlagen statt, von denen nur eine brauchbare Daten lieferte. Der Entwicklungsstand der modellbasierten Diagnose bietet die Möglichkeit, neue Methoden zu entwickeln, die jetzt bestehende Grenzen zu erweitern. Diese sind im Wesentlichen fehlende Modellkomponenten, keine praktisch abgesicherten Validierungsergebnisse und die potentielle Erweiterung des Diagnosefokus auf z. B. Minderleistungen.

Da die Validierung in der Vergangenheit auf Grund fehlerhafter Daten erheblich negativ beeinflusst wurde, wurde im Vorgriff eine Abnahmemethode entwickelt, die die Identifizierung von fehlerhaften Betriebsdaten in Maschinen zulässt. Durch eine standardisierte Abnahmeprozedur ließen sich so fehlerhafte Betriebsdaten an verschiedenen Versuchsobjekten identifizieren. Somit wurde eine Methode geschaffen, die zur Schaffung einer gesicherten Datenbasis beiträgt.

Kapitel 4 beschreibt die neu entwickelten Methoden. So wurden die bestehenden Komponentenmodelle standardisiert und um die Komponenten Split und Merge ergänzt. Diese bilden die Objektstromteilung und die Objektstromvereinigung, d.h. die Teilung eines Objektstroms in zwei Ströme des gleichen Typs bzw. die Vereinigung von zwei Strömen gleicher Objekte zu einem Objektstrom. Die zweite Methode war die Erweiterung des Diagnosefokus auf die Analyse von Minderleistungen. Dazu wurde die flussorientierte

Modellierung von 0 = „kein Fluss“ und + = „ein Fluss“ um (+) „verminderter Fluss“ erweitert. Die Komponentenmodelle wurden dadurch erweitert, ohne dass sie vollständig neu entwickelt werden mussten.

Die Validierung der Methoden (Kapitel 5) wurde je nach Entwicklungsstand in unterschiedlichen Detaillierungsgraden und Umgebungen durchgeführt. Die neuen Komponenten Split und Merge wurde mit Hilfe von Betriebsdaten einer simulierten Anlage validiert. Dabei zeigte sich, dass die Komponenten korrekt implementiert sind. Die Modellerweiterung zur Diagnose von Minderleistung wurde in einem Softwaretool (Razor) getestet, das die modellbasierte Diagnose ohne Verknüpfung zu realen Betriebsdaten erlaubt. So wurden durch Vorgabe von Werten (Inputs/Outputs/Zustände) Szenarien erzeugt, die durch die Diagnose korrekt abgebildet wurden. Somit sind die Komponenten verifiziert.

Folgende Ergebnisse wurden in dieser Arbeit erzielt: Die modellbasierte Diagnose von Störungen wurde durch die Vereinheitlichung der Komponentenbibliothek auf einen gemeinsamen und soliden Standard gebracht. Die Validierung wurde mit Betriebsdaten von drei realen Abfüllanlagen durchgeführt und es konnten Diagnosegenauigkeiten von 86 %, 100 % bzw. 86 % erreicht werden. Die Validierung der Modellerweiterung auf Minderleistung zeigte die prinzipielle Funktionalität der Methode, allerdings konnte noch keine praktische Überprüfung erfolgen.

Die Ergebnisse bestätigten die Funktionalität der modellbasierten Diagnose für die Diagnose von Stillständen. Mit den neuen Methoden können nun eine automatische Diagnose von Getränkeabfüllanlagen erfolgen und die Schwachstellen in Getränkeabfüllanlagen ohne den Aufwand der manuellen Analyse sicher, dauerhaft und automatisch erkannt werden. Auf Grund der positiven Ergebnisse gibt es Bestrebungen, die modellbasierte Diagnose in ein kommerzielles Softwaretool zu integrieren. Die Integration ist derzeit in der Entwicklungsphase.

8 Ausblick

Dem Einsatz der modellbasierten Diagnose steht grundsätzlich aus wissenschaftlicher Sicht nichts mehr im Wege. Allerdings sind noch einige Einschränkungen bezüglich der Praxistauglichkeit gegeben. So muss zum einen eine einfache Adaptierbarkeit der Diagnosemodelle an Abfüllanlagen gegeben sein. Diese Konfiguration wird derzeit durch das manuelle Bearbeiten von xml-Dateien erzeugt. Ein graphischer Editor wäre hilfreich, mit dem ein Benutzer intuitiv seine Anlage modellieren und Parameter wie Totzeiten von Puffern setzen kann. In Hinblick auf die Konfiguration von MES könnte das noch weitergesponnen werden. Im Projekt AutoMES (Automatische Generierung von Fertigungsmanagementsystemen) [32] wird eine Methode entwickelt, die die automatische Generierung von Fertigungsmanagementsystemen zum Ziel hat. Durch einfache Erweiterung der Modellierung könnten alle Informationen für die Parametrierung abgebildet werden, um die Diagnosefunktionalität abbilden zu können.

Eine weitere Einschränkung stellen die Komponenten Split und Merge dar. Sie wurden zwar simulationstechnisch validiert, allerdings fehlen praktische Erfahrungen mit diesen Komponenten, um die Auswirkungen auf den Diagnosealgorithmus abschätzen zu können. Ähnlich verhält es sich auch mit der Diagnose von Minderleistungen. Hier müssen noch theoretische Grundlagen geschaffen werden, wie eine Minderleistung als Symptom definiert wird. In der jetzigen Modellierung wird postuliert, dass ein harter Fehler für ein Symptom (z. B. Minderleistung) vorliegen muss, doch gerade bei Minderleistungen können sicher auch andere Minderleistungen Störgründe sein. Dies alles kann praktisch aber erst dann eingesetzt werden, wenn die Datenbasis durchgehend und valide im Betriebsdatenerfassungssystem vorliegt.

Ein weiterer Diagnosefokus kann die Diagnose von verteilten Störursachen sein. So kann die Diagnose zum jetzigen Zeitpunkt genau einen bzw. eine Reihe von Störverursachern erkennen, die für einen Stillstand verantwortlich sind, doch es können auch mehrere Verursacher einen Stillstand auslösen. Dies kann durch die Definition von Fehlerpatterns diagnostiziert werden. Das heißt, es werden charakteristische Störmuster (z. B. Stottern einer Maschine) vorgegeben werden, die als Diagnose identifiziert werden. Dazu ist aber auch die zeitliche Modellierung neu zu überdenken.

9 Literaturverzeichnis

- [1] Anders, G.: Beitrag zur Verhaltensanalyse und Synchronisation von steuerungstechnischen Prozessen durch verteilte echtzeitfähige Kommunikationssysteme. Freiberg: Technischen Universität Bergbauakademie Freiberg, Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik, Dissertation, 08.07.1996
- [2] BAKELINK e.V. (Hrsg.): bakelink Handbuch Version 1.0.4. Eschweiler, 2006
- [3] Berg, F.: Technische Flaschenkeller-Betriebskontrolle. In: Brauwelt, 108 (1968) 45/46, S. 833–838
- [4] Brunner, F. J.: Japanische Erfolgskonzepte KAIZEN, KVP, Lean Production Management, Total Productive Maintenance, Shopfloor Management, Toyota Production Management At: Praxisreihe Qualitätswissen. München: Hanser, 2008
- [5]. Cimetrix Inc. (Hrsg.): SEMI Interface A Standards Overview. Quelle: <http://www.cimetrix.com/interfacea>, eingesehen am 02.01.2014
- [6] Cimetrix Inc. (Hrsg.): Introduction to the SEMI Standards: EDA/ Interface A. Salt Lake City UT, USA, 10/2013
- [7] Cooke, F. L.: Implementing TPM in plant maintenance: some organisational barriers. In: International Journal of Quality & Reliability Management, 17 (2000) 9, S. 1003–1016
- [8] Dallery, I.; Gershwin, S. B.: Manufacturing flow line systems: a review of models and analytical results. In: Queuing Systems, 12 (1992) 1-2, S. 3–94
- [9] DIN 55405: Verpackung - Terminologie - Begriffe. Deutsches Institut für Normung e. V. Berlin: Beuth Verlag, 2006-11-00
- [10] DIN 8743: Verpackungsmaschinen und Verpackungsanlagen - Zeitbezogene Begriffe, Kenngrößen und Berechnungsgrundlagen (zurückgezogen). Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth Verlag, 2004-06-00
- [11] DIN 8743: Verpackungsmaschinen und Verpackungsanlagen - Kennzahlen zur Charakterisierung des Betriebsverhaltens und Bedingungen für deren Ermittlung im Rahmen eines Abnahmelaufs. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth Verlag, 2014-01
- [12] DIN 8783: Getränke Abfülltechnik – Untersuchungen an abfülltechnischen Anlagen. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Behrs Verlag, 1986-06-00

- [13] DIN EN 14182: Verpackung - Terminologie - Grundbegriffe und Definitionen. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth Verlag, 2003-03-00
- [14] DIN 40041: Zuverlässigkeit Begriffe. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth Verlag, 1990-12-00
- [15] DIN 62264-1: Integration von Unternehmensführungs- und Leitsystemen – Teil 1: Modelle und Terminologie (IEC 62264-1:2003); Deutsche Fassung EN 62264-1:2008. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth Verlag, 2008-08-00
- [16] DIN 62264-2: Integration von Unternehmensführungs- und Leitsystemen – Teil 2: Attribute des Objektmodells (IEC 62264-2:2004); Englische Fassung EN 62264-2:2008. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth Verlag, 2008-06-00
- [17] DIN 62264-3: Integration von Unternehmens-EDV und Leitsystemen – Teil 3: Aktivitätsmodelle für das operative Produktionsmanagement (IEC 62264-3:2007); Deutsche Fassung EN 62264-3:2007. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth Verlag, 2008-01-00
- [18] Dossenbach, T.: Total Productive Maintenance. In: Wood & Wood Products, 111 (2006) 2, S. 29–32
- [19] Dressler, O.; Struss, P.: Model-based Diagnosis with the Default-based Diagnostic Engine: Effective Control Strategies that Work in Practise. In: ECAI-94 11th European Conference on Artificial Intelligence, 1994
- [20] Dressler, O.; Struss, P.: The Consistency-based Approach to Automated Diagnosis of Devices. In: Brewka, G. (Hrsg.): Principles of Knowledge Representation. Stanford: CSLI Publications, 1996
- [21] Duguay, C. R.; Pasin, S. L. F.: From mass production to flexible/agile production. In: International Journal of Operations & Production Management, 17 (1997) 12, S. 1183–1195
- [22] El Fattah, Y.; Dechter, R.: Diagnosing tree-decomposable circuits. In: Proceedings of the Fourteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence. Montréal, Québec, Canada, 1995
- [23]. EtherCAT Technology Group (Hrsg.): EtherCAT Ethernet for control automation technology. Quelle: <http://www.ethercat.org/default.htm>, eingesehen am 15.05.2013
- [24]. Ethernet POWERLINK Standardization Group (Hrsg.): POWERLINK Standardization Group. Quelle: <http://www.ethernet-powerlink.org>, eingesehen am 15.05.2013
- [25]. Europäische Gemeinschaft: Verordnung (EG) Nr. 178/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 28. Januar 2002 zur Festlegung der allgemeinen

- Grundsätze und Anforderungen des Lebensmittelrechts, zur Errichtung der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit und zur Festlegung von Verfahren zur Lebensmittelsicherheit, 1.2.2002 L 31/1
- [26] EUROMAP 17: Protocol for Communication between Plastic Processing Machinery or Central Computer and Peripheral Equipment. Europe' s Association for plastics and rubber machinery manufacturers. www.euromap.org, 2007
- [27] EUROMAP 45: Protocol for communication between blow moulding machines and a central computer. Europe' s Association for plastics and rubber machinery manufacturers. www.euromap.org, 1993
- [28] EUROMAP 66: Protocol for Communication with Peripheral Equipment. Europe' s Association for plastics and rubber machinery manufacturers. www.euromap.org, 2002
- [29] Evers, H. (Hrsg.): Anforderungen und Auslegung von künftigen Abfüllanlagen. Unterlagen zur 89. brau- und maschinentechnischen Arbeitstagung der VLB. Berlin: VLB, 2002
- [30] Flad, S.; Struss, P.; Voigt, T.: Automatic Detection of Critical Points in Bottling Plants with a Model-based Diagnosis Algorithm. In: Journal of the Institute of Brewing, 116
- [31] Flad, S.; Voigt, T.; Struss, P.: Projektbericht LineMET - Modellbasiertes Effizienzanalysetool für verkettete Abfüll- und Verpackungsanlagen (LineMET) (IGF 16116G). www.ivlv.de
- [32] Flad, S.; Weißberger, B.; Chen, X.; Rösch, S.; Voigt, T.: Automatische Generierung von Fertigungs-Managementsystemen: Grundlage der durchgängigen Vernetzung in der Lebensmittelindustrie. In: Vogel-Heuser, B.; Bauernhansl, T.; Hompel, M. ten (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0: Springer, 2. Aufl., 2016
- [33]. Food and drug administration: 21 CFR PART 11: Electronic Record, Electronic Signatures; Final Rule, 1997-00-00
- [34] Fröhlich, P.: DRUM-II - Efficient Model-based Diagnosis of Technical Systems. Hannover: Universität Hannover, Dissertation, 1998
- [35] Fröhlich, P.: A Static Model-Based Engine for Model-Based Reasoning. In: Proceedings of the IJCAI-97. Nagoya, Japan, 1997
- [36] Füssmann, R.: Anlagentechnik – Simulation. Firmenschrift, KHS- Maschinen und Anlagenbau AG, www.khs-ag.com, 2005
- [37]. Gabler Verlag (Hrsg.): Gabler Wirtschaftslexikon Stichwort: Key Performance Indicator (KPI). Quelle: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/326735/key-performance-indicator-kpi-v1.html>, eingesehen am 23.05.2013

- [38] Gibbons, P. M.; Burgess, S. C.: Introducing OEE as a measure of lean Six Sigma capability. In: International Journal of Lean Six Sigma, 1 (2010) 2, S. 134–156
- [39] Görz, G.; Rollinger, C.-R.; Schneeberger, J.: Handbuch der künstlichen Intelligenz Modellbasierte Systeme und Qualitative Modellierung. München: Oldenbourg, At:3. Aufl., 2000
- [40]. GQM mbH (Hrsg.): QUALIFAX® GQM MES Module. Quelle: www.gqm.de, eingesehen am 26.09.2013
- [41] Hans R. Kranz: BACnet 1.12 Gebäudeautomation Grundlagen in deutscher Sprache. Karlsruhe: cci Dialog GmbH, At:3. Aufl., 2012
- [42] Hartmann, E. H.: TPM Effiziente Instandhaltung und Maschinenmanagement At: Management Competence. München: Vahlen, At:4. Aufl., 2013
- [43] Hines, P.; Rich, M.: Learning to evolve: A review of contemporary lean thinking. In: International Journal of Operations & Production Management, 24 (2004) 10, S. 994–1011
- [44] Hirano, H.; Rubin, M.: 5S for operators 5 pillars of the visual workplace. Portland, Or: Productivity Press, 1996
- [45]. HMS Industrial Networks AB (Hrsg.): FL-net (OPCN-2) Open Controller Level Network. Quelle: <http://www.hms.se>, eingesehen am 15.05.2013
- [46] Holweg, M.: The genealogy of lean production. In: Special Issue Evolution of the Field of Operations Management SI/ Special Issue Organisation Theory and Supply Chain Management, 25 (2007) 2, S. 420–437
- [47] Hoppe, S.: OPC-UA: Standardisierte MES/ERP Anbindung vom Sensor bis in die IT-Enterprise Ebene At: 6. Symposium: IT in der Lebensmittelindustrie. Freising, 30.-31.01.2013
- [48] Huang, S. H.; Dismukes, J. P.; Shi, J.; Su, Q.; Wang, G.; Razzak, M. A.; Robinson, D. E.: Manufacturing system modeling for productivity improvement. In: Journal of Manufacturing Systems, 21 (2002) 4, S. 249–259
- [49] Huber, F.: Produkte nach Mass von der Stange Idee und Erfolgspotential des Mass Customization At: Wissenschaftliche Arbeitspapiere / P / Center of Market-Oriented Product and Production Management. Mainz: Center of Market Oriented Product and Production Management, 2008
- [50] IFS Food: Standard zur Beurteilung der Qualität und Sicherheit von Lebensmitteln. IFS Management GmbH: <https://www.ifs-certification.com>, 01.2012

- [51] ISA S88-1: Batch Control - Part 1: Models and Terminology. International Society of Automation, 23.10.1995
- [52] ISA S88-2: Batch Control - Part 2: Data Structures and Guidelines for Languages. International Society of Automation, 07.02.2001
- [53] ISA 95.00.01: Enterprise - Control System Integration Part 1: Models and Terminology. International Society of Automation, 2000
- [54] ISA 95.00.03: Enterprise - Control System Integration Part 3: Activity Models of Manufacturing Operations. International Society of Automation, 12.2001
- [55] Kather, A.: Fehlerlokalisierung in verketteten Produktionslinien am Beispiel von Lebensmittelverpackungsanlagen. Freising: TU München, Lehrstuhl für Lebensmittelverpackungstechnik, 2009
- [56] Kather, A.; Voigt, T.: Weihenstephaner Standards für die Betriebsdatenerfassung bei Getränkeabfüllanlagen - Teil 1: Physikalische Schnittstellenspezifikation, Version 2005.03; Teil 2: Inhaltliche Schnittstellenspezifikation, Version 2005.03; Teil 3: Datenauswertung und Berichtswesen, Version 2005.01; Teil 4: Überprüfung und sicherer Betrieb, Version 2005.01: TU München, Lehrstuhl für Lebensmittelverpackungstechnik. Freising, 2004-2006
- [57] Kesuma, G.: Performance analysis of production lines at Heineken. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, Department of mathematics and computer science, 2009
- [58]. KHS GmbH (Hrsg.): INNOLINE MES IT-Gesamtlösung für die Getränkeindustrie. Quelle: http://www.khs.com/uploads/tx_gpfilesdownloads/KHS_Innoline_mes_de.pdf, eingesehen am 26.09.2013
- [59]. Kleer, J. de; Kurien, J.: Fundamentals of Model-Based Diagnosis Safe Process 2003. Quelle:
- [60] Koren, Y.; Shpitalni, M.; Gu, P.; Hu, S. J.: Product Design for Mass-Individualization. In: Procedia CIRP, 36 (2015), S. 64–71
- [61] Kreikler, C.; Voigt, T.: Weihenstephaner Standards für die Betriebsdatenerfassung WS-Food: Datenauswertung und Berichtswesen. Freising, 2010
- [62]. Krones AG (Hrsg.): krones SitePilot krones Die IT-Lösungen für die Getränke- und Lebensmittelindustrie. Quelle: www.krones.com
- [63] Lutz, M.: Premium mit Experten-Know-how. In: P&A (2005), S. 14–18

- [64] Manger, H.-J.: Füllanlagen für Getränke Ein Kompendium zur Reinigungs-, Füll- und Verpackungstechnik für Einweg- und Mehrwegflaschen, Dosen, Fässer und Kegs. Berlin: VLB, At:1. Aufl., 2008
- [65] Matyas, K.: Taschenbuch Instandhaltungslogistik At: Praxisreihe Qualitätswissen. München: Hanser, At:4. Aufl., 2010
- [66] McIntosh, R.; Culley, S.; Gest G.; Mileham, T.; Owen, G.: An assessment of the role of design in the improvement of changeover performance. In: International Journal of Operations & Production Management, 16 (1996) 9, S. 5–22
- [67] MESA International (Hrsg.): White Paper No. 2 - MES Functionalities & MRP to MES Data Flow Possibilities: Manufacturing Execution Systems Assosiation. Pittsburgh, 1997
- [68] MESA International (Hrsg.): White paper 27 - MES Harmonization in a Multi-Site, Multi-Country and Multi-Cultural Environment Case Study of a Plant to Enterprise Solution. Pittsburgh, 2007
- [69]. Modbus Organization (Hrsg.): Modbus-TCP-IDA. Quelle: <http://www.modbus.org/specs.php>, eingesehen am 15.05.2013
- [70] Moxham, C.; Greatbanks, R.: Prerequisites for the implementation of the SMED methodology: A study in a textile processing environment. In: International Journal of Quality & Reliability Management, 18 (2001) 4, S. 404–414
- [71] Muchiri, P.; Pintelon, L.: Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion. In: International Journal of Production Research, 46 (2008) 13, S. 3517–3535
- [72] Nakajima, S.: Introduction to TPM Total Productive Maintenance. Cambridge: Productivity Press, 1988
- [73] NA 094: MES: Funktionen und Lösungsbeispiele der Betriebsleitebene. Namur, 2003-02-19
- [74] NA 128: Planung von MES - Darstellung anhand einer fiktiven Getränke-Produktion. Namur, 2009-12-07
- [75]. o. V.: SEMI. Quelle: <http://www.semi.org>, eingesehen am 15.05.2013
- [76] o. V.: Zukunftsfähige Backwarenherstellung - Produktivität und Effizienz durch Datentransparenz. In: SPS-Focus (2014) 2, S. 21–23
- [77] o. V.: Logistikkennzahlen für die Produktion At: VDI-Richtlinien. Düsseldorf: VDI, 2004

- [78] o. V.: Praxisorientierte Logistikkennzahlen für kleine und mittelständische Unternehmen At: VDI-Richtlinien. Düsseldorf: VDI-Verl, At:Ausg. deutsch/englisch, 1999
- [79] OMAC Packaging Working Group PackML Committee (Hrsg.): Tag Naming Guidelines, Version 3.0, 2006
- [80]. OMAC Users Group (Hrsg.): About OMAC. Quelle: http://www.omac.org/Content/NavigationMenu/General_Information/Partners_and_Affiliates/OMAC1/General_Information1/About_OMAC/About_OMAC.htm, eingesehen am 10.06.2009
- [81]. Open DeviceNet Vendor Association (Hrsg.): ODVA. Quelle: <http://www.odva.org>, eingesehen am 15.05.2013
- [82] Papadopoulos, H. T.; Heavey, C.: Queueing theory in manufacturing systems analysis and design: A classification of models for production and transfer lines. In: European Journal of Operational Research, 92 (1996) 1, S. 1–27
- [83]. PHOENIX CONTACT ELECTRONICS GmbH (Hrsg.): INTERBUS Basis. Quelle: <http://www.interbus.de>, eingesehen am 15.05.2013
- [84] Pinedo, M. L. (Hrsg.): Scheduling - Theory, Algorithms, and Systems. Boston, MA: Springer US, 2012
- [85] Pomorski, T.: Managing overall equipment effectiveness [OEE] to optimize factory performance. In: Semiconductor Manufacturing Conference Proceedings, 1997
- [86]. PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. (Hrsg.): ProfiBUS - ProfiNET. Quelle: www.profibus.com, eingesehen am 15.05.2013
- [87]. ProLeiT AG (Hrsg.): Plant iT Modernste Prozessleittechnik. MES inklusive. Quelle: www.proleit.com, eingesehen am 26.09.2013
- [88] Reiter, R.: A theory of diagnosis from first principles. In: Artificial Intelligence, 32 (1987) 1, S. 57–95
- [89] Rikken, O.: Heineken in beweging: TU Delft, Dissertation, 2005
- [90] Ron, A. J. de; Rooda, J. E.: OEE and equipment effectiveness: an evaluation. In: International Journal of Production Research, 44 (2006) 23, S. 4987–5003
- [91] Ron, A. de; Rooda, J.: Equipment effectiveness: OEE revisited. In: IEEE Semiconductor Manufacturing, 18 (2005) 1, S. 399–405
- [92]. RTnet Development Team (Hrsg.): RTnet. Quelle: <http://www.rtnet.org/>, eingesehen am 15.05.2013

- [93] Salah, S.; Carretero, A.: The integration of Six Sigma and lean management. In: International Journal of Lean Six Sigma, 1 (2010) 3, S. 249–274
- [94] Schleipen, M.; Münnemann, A.; Sauer, O.: Interoperabilität von Manufacturing Execution Systems (MES). In: at - Automatisierungstechnik, 59 (2011) 7, S. 413–424
- [95] Schwalbach, J.: Produktionstheorie. München: Vahlen, 2004
- [96] Sekine, K.; Arai, K.: Kaizen for quick changeover Going beyond SMED. Cambridge, Mass: Productivity Press, At:[Nachdr.], 2011
- [97] SEMI E10-0312: Specification for Equipment Reliability, Availability and Maintainability. Semiconductor Equipment and Materials International. www.semi.org, 2007-00-00
- [98]. sercos International e.V. (Hrsg.): sercor the automation bus. Quelle: <http://www.sercos.de>, eingesehen am 15.05.2013
- [99] Sherali, H. D.; van Goubergen, D.; van Landeghem, H.: A quantitative approach for scheduling activities to reduce set-up in multiple machine lines. In: European Journal of Operational Research, 187 (2008) 3, S. 1224–1237
- [100] Shingō, S.: A revolution in manufacturing The SMED system. Stamford, Conn: Productivity Pr, At:4. Aufl., 1987
- [101]. Siemens AG (Hrsg.): Manufacturing Operations Management. Quelle: siemens.com/simatic-it, eingesehen am 26.09.2013
- [102] Snee, R. D.: Lean Six Sigma – getting better all the time. In: International Journal of Lean Six Sigma, 1 (2010) 1, S. 9–29
- [103] Sorgatz, A.; Voigt, T.: Continuous Control for Buffering Conveyors in Beverage Bottling Plants. In: Packaging Technology and Science (2012), S. n/a
- [104] Staehle, W. H.: Kennzahlen und Kennzahlensysteme als Mittel der Organisation und Führung von Unternehmen. Wiesbaden: Gabler, 1969
- [105] Strohmeyer, S.: MES-Systeme: Richtlinie VDI 5600 im Praxistest. In: IT&PRODUCTION, 01-2007
- [106] Struss, P.; Dressler, O.: Physical Negation – Integrating Fault Models into the General Diagnostic Engine. In: Proceedings of the 11th International Joint Conference on Artificial Intelligence. Detroit, MI, USA, 1989
- [107] Struss, P.; Kather, A.; Schneider, D.; Voigt, T.: A Compositional Mathematical Model of Machines Transporting Rigid Objects. In: 18th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI-08). Patras, Greece, 2008

- [108] Struss, P.; Langowski, H.-C.; Voigt, T.; Flad, S.: Abschlussbericht des Projektes LineMod. München
- [109] Stumptner, M.; Wotawa, F.: Diagnosing tree-structured systems. In: Artificial Intelligence, 127 (2001), S. 1–29
- [110]. SynqNet Interest Group (Hrsg.): SynqNet — The Industry's Most Flexible Motion Control Network. Quelle: <http://www.synqnet.com/Technology/default.htm>, eingesehen am 15.05.2013
- [111] Thompson, G.: Improving maintainability and reliability through design. London [u.a.]: Professional Engineering Publ, At:1. Aufl., 2000
- [112] Tjahjono, B.; Ball, P.; Vitanov, V.; Scorzafave, C.; Nogueira, J.; Calleja, M.; Narasimha, L.; Rivas, A.; Srivastava, A.; Srivastava, S.; Yadav, A.: Six Sigma: a literature review. In: International Journal of Lean Six Sigma, 1 (2010) 3, S. 216–233
- [113] Troupis, D.; Manesis, S.; Koussoulas, N. T.; Chronopoulos, T.: Computer integrated monitoring, fault identification and control for a bottling line. In: IAS '95. Conference Record of the 1995 IEEE Industry Applications Conference Thirtieth IAS Annual Meeting
- [114] Tsarouhas, P. H.: Evaluation of overall equipment effectiveness in the beverage industry: a case study. In: International Journal of Production Research, 51 (2012) 2, S. 515–523
- [115]. VARAN-Bus-Nutzerorganisation (Hrsg.): Versatile Automation Random Access Network. Quelle: <http://www.varan-bus.net>, eingesehen am 15.05.2013
- [116] VDMA 66412-1: Manufacturing Execution Systems (MES) Kennzahlen. Verband deutscher Maschinen- und Anlagenbauer. Berlin: Beuth Verlag, 2009-10-00
- [117] VDI 3423: Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen. Verein Deutscher Ingenieure. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2011-08-00
- [118] VDI 5600-1: Fertigungsmanagementsysteme Manufacturing Execution Systems (MES). Verein Deutscher Ingenieure. Düsseldorf: Beuth Verlag, 2007-12-00
- [119] VDI 5600-2: Fertigungsmanagementsysteme (Manufacturing Execution Systems - MES) - Wirtschaftlichkeit. Verein Deutscher Ingenieure. Düsseldorf: Beuth Verlag, 2012-01-00
- [120] VDI 5600-3: Fertigungsmanagementsysteme (Manufacturing Execution Systems MES) - Logische Schnittstellen zur Maschinen- und Anlagensteuerung. Verein Deutscher Ingenieure. Düsseldorf: Beuth Verlag, 2011-04-00

- [121] VDI 5600-4 Entwurf: Fertigungsmanagementsysteme (Manufacturing Execution Systems – MES) - Unterstützung von Produktionssystemen durch MES. Verein Deutscher Ingenieure. Düsseldorf: Beuth Verlag, 2011-06-00
- [122] Vogel-Heuser, B.: Cyber Physical Systems – Herausforderung für die Produktion? In: Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): Erhöhte Verfügbarkeit und transparente Produktion. Kassel: Kassel University Press GmbH, 2011
- [123] Vogel-Heuser, B.; Kegel, G.; Bender, K.; Wucherer, K.: Global Information Architecture for Industrial Automation Global Information Archite for Industrial Automation. In: Automatisierungstechnische Praxis (atp) (2009) 1, S. 108–115
- [124] Vogelpohl, H.: Results and experiences of acceptance tests. In: Brauwelt International, 24 (2006) 6, S. 392–395
- [125] Vogelpohl, H.: Ergebnisse und Erfahrungen aus Abnahmeversuchen. In: Brauwelt, 2006 (146) 7, S. 174–178
- [126] Voigt, T.: Neue Methoden für den Einsatz der Informationstechnologie bei Getränkeabfüllanlagen. Freising: TU München, Lehrstuhl für Lebensmittelverpackungstechnik, Dissertation, 2004
- [127] Voigt, T.: Maßnahmen zur Effizienzsteigerung bei Getränkeabfüllanlagen At: 16. Flaschenkellerseminar. Freising, 08.-09.12.2009
- [128] Voigt, T.; Flad, S.; Struss, P.: Model-based fault localization in bottling plants. In: Advanced Engineering Informatics (2014)
- [129] Voigt, T.; Grabrucker, R.; Vogelpohl, H.: Abnahmeversuche bei Getränkeabfüllanlagen. In: Der Weihenstephaner, 71 (2003) 3, S. 110–116
- [130] Weber, J.: Einführung in das Controlling At: Sammlung Poeschel. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, At:8. Aufl., 1999
- [131] Weigert, G.; Rose, O.; Gocev, P.; Mayer Gottfried: Kennzahlen zur Bewertung logistischer Systeme. Karlsruhe
- [132] Zhu, X.: Analysis and improvement of enterprise's equipment effectivenessbased on OEE. In: Electronics, Communications and Control (ICECC), 2011 International Conference on :, 2011
- [133] ZVEI: Manufacturing Execution Systems (MES) - Industry specific Requirements and Solutions: ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V. Frankfurt am Main, 01.07.2011

10 Anhang

Anhang A Modellkomponenten nach KATHER

i) Transportation Connector (TC)

Transportation Connector		
		
<p>KEINE STATE VARIABLES, KEINE PARAMETERS</p> <p>INTERFACES</p>		<p>DOMAINS</p>
<p><i>in.A_e</i> Projektionsfläche der Objekte [m²]</p> <p><i>out.A_e</i> Projektionsfläche der Objekte [m²]</p> <p><i>in.d₀</i> größte Ausdehnung der Objekte in Flussrichtung</p> <p><i>out.d₀</i> größte Ausdehnung der Objekte in Flussrichtung [m]</p> <p><i>MT_n.in.q_{pot}</i> potentieller Fluss in MT_n [^{elements}/_s]</p> <p><i>MT_n.out.q_{pot}</i> potentieller Fluss aus MT_n [^{elements}/_s]</p> <p><i>MT_n.in.q_{act}</i> aktueller Fluss in MT_n [^{elements}/_s]</p> <p><i>MT_n.out.q_{act}</i> aktueller Fluss aus MT_n [^{elements}/_s]</p> <p><i>in.type</i> Objekttyp am Eingang</p> <p><i>out.type</i> Objekttyp am Ausgang</p>		<p>=$\{R_0^+\}$</p> <p>=$\{R_0^+\}$</p> <p>=$\{R_0^+\}$</p> <p>=$\{R_0^+\}$</p> <p>=$\{0, \dots, v_{in} / in.d_0\}$</p> <p>=$\{0, \dots, -v_{out} / out.d_0\}$</p> <p>=$\{0, \dots, v_{in} / in.d_0\}$</p> <p>=$\{0, \dots, -v_{out} / out.d_0\}$</p> <p>=$\{objects\}$ in der Anlage vorkommende Objekte, z. B. Flaschen, Kästen</p>

ii) Combine Element (CE)

Combine Element	
<p>STATE VARIABLES</p> <p>B_i Anzahl gespeicherter Objekte des Typs $in_i.type$</p> <p>v_i Geschwindigkeit des Objektflusses in die Komponente am Eingang in_i [m/s]</p> <p>v_{out} Geschwindigkeit des Objektflusses aus der Komponente [m/s]</p> <p>PARAMETERS</p> <p>n_i Anzahl der Objekte am Eingang in_i ($in_i.type$) die ein Objekt am Ausgang out ($out.type$) bilden</p> <p>INTERFACES</p> <p>$in_i.A_e$ Projektionsfläche der Objekte [m²]</p> <p>$out.A_e$ Projektionsfläche der Objekte [m²]</p> <p>$in_i.d_0$ größte Ausdehnung der Objekte in Flussrichtung [m]</p> <p>$out.d_0$ größte Ausdehnung der Objekte in Flussrichtung [m]</p> <p>$in_i.q_{pot}$ potentielle Flüsse in CE [^{elements}/s]</p> <p>$out.q_{pot}$ potentieller Fluss aus CE [^{elements}/s]</p> <p>$in_i.q_{act}$ aktuelle Flüsse in CE [^{elements}/s]</p> <p>$out.q_{act}$ aktueller Fluss aus CE [^{elements}/s]</p> <p>$in_i.type$ Objekttyp am Eingang in_i</p> <p>$out.type$ Objekttyp am Ausgang</p>	<p>DOMAINS</p> <p>$=\{0, \dots, n_i\}$</p> <p>$=\{R_0^+\}$</p> <p>$=\{R_0^+\}$</p> <p>$=\{N^+\}$</p> <p>$=\{R_0^+\}$</p> <p>$=\{R_0^+\}$</p> <p>$=\{0, \dots, v_{in} / in_i.d_0\}$</p> <p>$=\{0, \dots, -v_{out} / out.d_0\}$</p> <p>$=\{0, \dots, v_{in} / in_i.d_0\}$</p> <p>$=\{0, \dots, -v_{out} / out.d_0\}$</p> <p>$=\{objects\}$ in der Anlage vorkommende $\{objects\}$ Objekte, z. B. Flaschen, Kästen</p>

iii) Separate Element (SE)

Separate Element	
<p>STATE VARIABLES</p> <p>B_i Anzahl gespeicherter Objekte des Typs $out_i.type$</p> <p>v_i Geschwindigkeit des Objektflusses aus der Komponente am Ausgang out_i [m/s]</p> <p>v_{in} Geschwindigkeit des Objektflusses in die Komponente [m/s]</p> <p>PARAMETERS</p> <p>n_i Anzahl der Objekte am Ausgang out_i ($out_i.type$) die aus einem Objekt am Eingang in ($in.type$) gebildet werden</p> <p>INTERFACES</p> <p>$in.A_e$ Projektionsfläche der Objekte [m^2]</p> <p>$out_i.A_e$ Projektionsfläche der Objekte [m^2]</p> <p>$in.d_0$ größte Ausdehnung der Objekte in Flussrichtung [m]</p> <p>$out_i.d_0$ größte Ausdehnung der Objekte in Flussrichtung [m]</p> <p>$in.q_{pot}$ potentieller Fluss in SE [$\frac{elements}{s}$]</p> <p>$out_i.q_{pot}$ potentielle Flüsse aus SE [$\frac{elements}{s}$]</p> <p>$in.q_{act}$ aktueller Fluss in SE [$\frac{elements}{s}$]</p> <p>$out_i.q_{act}$ aktuelle Flüsse aus SE [$\frac{elements}{s}$]</p> <p>$out_i.type$ Objekttypen am Ausgang out_i</p> <p>$in.type$ Objekttypen am Eingang</p>	<p>DOMAINS</p> <p>$=\{0, \dots, n_i\}$</p> <p>$=\{R_0^+\}$</p> <p>$=\{R_0^+\}$</p> <p>$=\{N^+\}$</p> <p>$=\{R_0^+\}$</p> <p>$=\{R_0^+\}$</p> <p>$=\{0, \dots, v_{in} / in.d_0\}$</p> <p>$=\{0, \dots, -v_i / out_i.d_0\}$</p> <p>$=\{0, \dots, v_{in} / in.d_0\}$</p> <p>$=\{0, \dots, -v_i / out_i.d_0\}$</p> <p>$=\{objects\}$ in der Anlage vorkommende</p> <p>$=\{objects\}$ Objekte, z. B. Flaschen, Kästen</p>

Anhang B Abnahmeprotokoll

i) Versuchsrundläufer

Werkabnahme

15.10.2013

Abnahmeprotokoll

Maschinentyp: Heuft Bottle Inspector

Durchführung: Emanuel Jahl

Verantwortlicher: Julius Langosch

Freigabe: erfolgt nicht erfolgt

Datum: 15.05.2012

Unterschrift: _____

Commands	Specification	successful	valid	comment
0x8888	writing not successful	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nicht möglich
0x9999	memory overflow	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nicht möglich
0xA000	unknown command	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
0xB000	unauthorized access	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
0xC000	server overload	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nicht möglich
0xD000	implausible argument	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nicht möglich
0xE000	implausible list	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
0xF000	reserved for NOOP	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
0x0000	error free	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
NOOP	Heuft Inline TU/Weißenstephan	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nicht möglich
READ_CONFIG		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
WRITE_SVALUE		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
READ_SVALUE		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
READ_MVALUE		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
WRITE_MVALUE		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
READ_STRING		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
WRITE_STRING		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
READ_LIST		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
WRITE_LIST		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Listen	Tagname	Tagnumber(Example)	successful	valid	comment
Listnumber	62502	All counters	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Abfrage der Tags											
Tagnumber	Tagname	Datatype	Access	Specification	Specification2	Bitnumber	Bit-specificatin	Integernumber	successful	valid	comment
1	WS_PDACONF_Length	UNSIGNED32	R	Length of PDACONF					<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Länge ist 0-->falscher Wert
30	HS_ActTime_low	UNSIGNED32	R	Actual time, lower Bytes					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
31	HS_ActTime_high	UNSIGNED32	R	Actual time, upper Bytes					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
0	WS_Error	HEX32	R	Error Tag					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
11	WS_Test_Unsigned32_1	UNSIGNED32	R	Test Tag Unsigned32 1					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
12	WS_Test_Unsigned32_2	UNSIGNED32	R	Test Tag Unsigned32 2					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
13	WS_Test_Unsigned32_3	UNSIGNED32	R	Test Tag Unsigned32 3					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
14	WS_Test_Signed32_1	SIGNED32	R	Test Tag Signed32 1					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
15	WS_Test_Signed32_2	SIGNED32	R	Test Tag Signed32 2					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
16	WS_Test_Signed32_3	SIGNED32	R	Test Tag Signed32 3					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
17	WS_Test_Real_1	REAL	R	Test Tag Real 1					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
18	WS_Test_Real_2	REAL	R	Test Tag Real 2					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
19	WS_Test_Real_3	REAL	R	Test Tag Real 3					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
20	WS_Test_Hex32_1	HEX32	R	Test Tag Hex32 1					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
21	WS_Test_Hex32_2	HEX32	R	Test Tag Hex32 2					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Werksabnahme

15.10.2013

Tagnummer	Tagname	Datatype	Access	Specification	Specification2	Bitnumber	Bit-specificatin	Integernumber	successful	valid	comment
22	WS_Test_Hex32_3	HEX32	R	Test Tag Hex32 3					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
23	WS_Test_String16_1	STRING16	R	Test Tag String16 1					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
24	WS_Test_String16_2	STRING16	R	Test Tag String16 2					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
25	WS_Test_String16_3	STRING16	R	Test Tag String16 3					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
350	HS_Status	UNSIGNED32	R	Overall status					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Status nicht in Übereinstimmung
5002	HS_OperationTime	UNSIGNED32	R	Operational time					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5003	HS_OperationTime_kt	UNSIGNED32	R	Operational time with conveyor movement					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	880
100	WS_Cur_Mode	HEX32	R	Operating Mode					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	111
100	WS_Cur_Mode	HEX32	R				Off	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
100	WS_Cur_Mode	HEX32	R				Semi-automatic	2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	falsche Zuordnung
200	WS_Cur_Prog	HEX32	R	Program					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
200	WS_Cur_Prog	HEX32	R						<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Teile fehlen(nachschauen)
200	WS_Cur_Prog	HEX32	R				Start Up	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	nicht überprüfbar
200	WS_Cur_Prog	HEX32	R				Clean	3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
200	WS_Cur_Prog	HEX32	R				Maintenance	5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
300	WS_Cur_State	HEX32	R	Operating State					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Teile fehlen(nachschauen)
300	WS_Cur_State	HEX32	R						<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	bleibt auf Prepared
300	WS_Cur_State	HEX32	R				Starting	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
300	WS_Cur_State	HEX32	R				Lack	3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
300	WS_Cur_State	HEX32	R				Lack Branch Line	5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
300	WS_Cur_State	HEX32	R				Operating	7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
300	WS_Cur_State	HEX32	R				Aborting	9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
300	WS_Cur_State	HEX32	R				External Failure	11	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
300	WS_Cur_State	HEX32	R				Holding	13	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
401	WS_Cur_Mach_Spd	REAL	R	Current Machine Speed					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0
402	WS_Set_Mach_Spd	REAL	R	Set Machine Speed					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	26000
403	WS_Mach_Design_Spd	REAL	R	Machine Design Speed					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	10000
30003	WS_Bottle_Type	UNSIGNED32	R	Bottle type					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
10000	WS_Not_Of_Fail_Code	UNSIGNED32	R	Notice of Failure					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1 und 2
20000	WS_Pointer_Code	UNSIGNED32	R	Pointer					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	nicht alle Fehler simulierbar
51000	HS_count_act0	UNSIGNED32	R	processed containers					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	nicht alle Pointer simulierbar
51001	HS_count_act1	UNSIGNED32	R	produced containers					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51002	HS_count_act2	UNSIGNED32	R	rejected containers					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51008	HS_count_act8	UNSIGNED32	R	additional detections					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51012	HS_count_act12	UNSIGNED32	R	finish inspections					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51017	HS_count_act17	UNSIGNED32	R	residual liquid					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51018	HS_count_act18	UNSIGNED32	R	additional detections					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51020	HS_count_act20	UNSIGNED32	R	base inspection					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51021	HS_count_act21	UNSIGNED32	R	infeed detection					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51022	HS_count_act22	UNSIGNED32	R	old container detections					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51024	HS_count_act24	UNSIGNED32	R	rejector 1 - DELTA-K					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51028	HS_count_act28	UNSIGNED32	R	infeed rejector - MONO					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51064	HS_count_act64	UNSIGNED32	R	test bottles					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51066	HS_count_act66	UNSIGNED32	R	false trigger signal					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51080	HS_count_act80	UNSIGNED32	R	base inspection					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51082	HS_count_act82	UNSIGNED32	R	PET stress cracks					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51096	HS_count_act96	UNSIGNED32	R	finish inspection					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51112	HS_count_act112	UNSIGNED32	R	closed containers					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51113	HS_count_act113	UNSIGNED32	R	asymmetric containers					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51114	HS_count_act114	UNSIGNED32	R	too tall containers					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51115	HS_count_act115	UNSIGNED32	R	tilted containers					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51116	HS_count_act116	UNSIGNED32	R	container diameter					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51120	HS_count_act120	UNSIGNED32	R	1st HF residual liquid det.					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51122	HS_count_act122	UNSIGNED32	R	IR residual liquid detection					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51223	HS_count_act223	UNSIGNED32	R	intern. reason for rejecting					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
50005	WS_Tot_Bottles	UNSIGNED32	R	Total Bottles					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
50006	WS_Good_Bottles	UNSIGNED32	R	Good Bottles					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Werksabnahme

15.10.2013

Tagnumber	Tagname	Datatype	Access	Specification	Specification2	Bitnumber	Bit-specificatin	Integernumber	successful	valid	comment
50011	WS_Tot_Rej	UNSIGNED32	R	Total Rejection					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
50016	WS_Rej_Def_Opening	UNSIGNED32	R	Defective Opening					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
50017	WS_Rej_Def_Bottom	UNSIGNED32	R	Defective Bottom					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
50018	WS_Rej_Scuffing	UNSIGNED32	R	Scuffing					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
50020	WS_Rej_Caustic	UNSIGNED32	R	Caustic					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

ii) Abnahmeprotokoll Demomaschine



WS-Schnittstellenabnahme - Protokoll

Dieses Protokoll dient zur Dokumentation einer WS-Schnittstellenabnahme. Der Test umfasst Funktionalität, Datentransfer und Dateninhalte(soweit möglich) der Schnittstelle.

Maschinenbezeichnung/Id-Nr	Demomaschine
Maschinenkategorie nach WS	Demo-Maschine
Durchführender	Emanuel Jahl
Verantwortlicher	Julius Langosch
Datum	21.06.2012

Überprüfung der Schnittstelle			
Schnittstelle vorhanden	<input checked="" type="checkbox"/>	Standardtags vorhanden	<input checked="" type="checkbox"/>
Schnittstelle funktionsfähig	<input checked="" type="checkbox"/>	Fehlerbehandlung	<input checked="" type="checkbox"/>
Verbindung möglich	<input checked="" type="checkbox"/>		

Überprüfung der Befehle				
Befehlscode	Bezeichnung	vorhanden	valide	Kommentar
NOOP	No Operation	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
REAS_SVALUE	Abfrage Einzelwert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
WRITE_SVALUE	Schreibe Einzelwert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Befehl nicht vorhanden
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Überprüfung der Listen				
Listennummer	Listenname	vorhanden	valide	Kommentar
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	keine Listen in PDA-Config
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Überprüfung der Tags				
Tagnummer	Tagname	vorhanden	valide	Kommentar
13	WS_Test_Unsigned32_3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
16	WS_Test_Signed32_3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
19	WS_Test_Real_3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
22	WS_Test_Hex32_3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
100	WS_Cur_Mode	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nicht vollständig abgenommen
100	WS_Cur_Mode Off	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nicht an Maschine einstellbar
100	WS_Cur_Mode Auto	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
100	WS_Cur_Mode Semi-Auto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nicht an Maschine einstellbar
100	WS_Cur_Mode Manual	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

200	WS_Cur_Prog	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nicht vollständig abgenommen
200	WS_Cur_Prog Break	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nicht an Maschine einstellbar
200	WS_Cur_Prog Production	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
200	WS_Cur_Prog Start Up	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nicht an Maschine einstellbar
200	WS_Cur_Prog Run Down	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nicht an Maschine einstellbar
200	WS_Cur_Prog Clean	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nicht an Maschine einstellbar
200	WS_Cur_Prog Changeover	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nicht an Maschine einstellbar
200	WS_Cur_Prog Maintenance	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
300	WS_Cur_State	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nicht vollständig abgenommen
300	WS_Cur_State Stopped	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nicht an Maschine einstellbar
300	WS_Cur_State Starting	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nicht an Maschine einstellbar
300	WS_Cur_State Prepared	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nicht an Maschine einstellbar
300	WS_Cur_State Lack	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nicht an Maschine einstellbar
300	WS_Cur_State Tailback	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nicht an Maschine einstellbar
300	WS_Cur_State Lack(Branch)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nicht an Maschine einstellbar
300	WS_Cur_State Operating	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
300	WS_Cur_State Stopping	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
300	WS_Cur_State Aborting	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nicht an Maschine einstellbar
300	WS_Cur_State EF	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nicht an Maschine einstellbar
300	WS_Cur_State ES	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nicht an Maschine einstellbar
300	WS_Cur_State ExF	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nicht an Maschine einstellbar
300	WS_Cur_State Holding	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nicht an Maschine einstellbar
300	WS_Cur_State Held	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nicht an Maschine einstellbar
300	WS_Cur_State Idle	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
401	WS_Cur_Mach_Spd	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
402	WS_Set_Mach_Spd	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
403	WS_Mach_Design_Spd	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
50220	WS_Tot_Packages	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Die WS-Schnittstellenabnahme wurde als

bestanden

nicht bestanden bewertet

Jahr _____

Unterschrift(Durchführender)

Freising, 21.6.2012

Ort, Datum

Langosch _____

Unterschrift(Verantwortlicher)

iii) Falt- und Abfüllmaschine

Maschinenbezeichnung/Id-Nr

Falt-und Füllmaschine Marke X

Maschinenkategorie nach WS

Falt-und Füllmaschine

Durchführender

Emanuel Jahl

Verantwortlicher

Julius Langosch

Datum

13.06.2012

Number	Tagname	Datatype	Acce	Specification	Specification 2	successful	valid	comment
0	WS_Error	HEX32	R	Error		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
1	WS_PDACONF_Length	UNSIGNED32	RW	Lenght of PDACONF.XML		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
11	WS_Test_Unsigned32_1	UNSIGNED32	R	Test 1 for Unsigned32		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
12	WS_Test_Unsigned32_2	UNSIGNED32	R	Test 2 for Unsigned32		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
13	WS_Test_Unsigned32_3	UNSIGNED32	R	Test 3 for Unsigned32		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
14	WS_Test_Signed32_1	SIGNED32	R	Test 1 for Signed32		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
15	WS_Test_Signed32_2	SIGNED32	R	Test 2 for Signed32		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
16	WS_Test_Signed32_3	SIGNED32	R	Test 3 for Signed32		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Werte stimmen nicht mit Vorgaben überein
17	WS_Test_Real_1	REAL	R	Test 1 for Real		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
18	WS_Test_Real_2	REAL	R	Test 2 for Real		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
19	WS_Test_Real_3	REAL	R	Test 3 for Real		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

20	WS_Test_Hex32_1	HEX32	R	Test 1 for Hex32		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
21	WS_Test_Hex32_2	HEX32	R	Test 2 for Hex32		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
22	WS_Test_Hex32_3	HEX32	R	Test 3 for Hex32		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
23	WS_Test_String16_1	STRING16	R	Test 1 for String16		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
24	WS_Test_String16_2	STRING16	R	Test 2 for String16		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
25	WS_Test_String16_3	STRING16	R	Test 3 for String16		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
71	WS_Sys_Time	UNSIGNED32	RW	System time		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
81	ELO_Sys_Time_Back	UNSIGNED32	RW	System Time Feedback		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
100	WS_Cur_Mode	HEX32	R	Operating Mode		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
100	WS_Cur_Mode	HEX32	R		Off	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
100	WS_Cur_Mode	HEX32	R		Manual	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nicht überprüfbar bei laufender produktion
100	WS_Cur_Mode	HEX32	R		Semi- automatic	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
100	WS_Cur_Mode	HEX32	R		Automatic	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
162	ELO_Drain_Mnl_Tnk	UNSIGNED32	R	Manual Tank Drain		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
165	ELO_OpMode_OFF	UNSIGNED32	R	Operating Mode currently OFF		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
166	ELO_OpMode_Manual	UNSIGNED32	R	Operating Mode currently Manual		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
167	ELO_OpMode_SemiAuto	UNSIGNED32	R	Operating Mode currently Semi- Automatic		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
168	ELO_OpMode_Automatic	UNSIGNED32	R	Operating Mode currently Automatic		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

170	ELO_No_Mode	UNSIGNED32	R	No Mode Selected		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
171	ELO_Prod_Mode	UNSIGNED32	R	Production Mode Selected		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
172	ELO_CIP_Mode	UNSIGNED32	R	Cleaning Mode Selected		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
173	ELO_SIP_Mode	UNSIGNED32	R	Sterilization Mode Selected		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
174	ELO_Manual_Mode	UNSIGNED32	R	Manual Mode Selected		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
200	WS_Cur_Prog	HEX32	R	Program		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
200	WS_Cur_Prog	HEX32	R		Production	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
200	WS_Cur_Prog	HEX32	R		Start Up	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
200	WS_Cur_Prog	HEX32	R		Run Down	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
200	WS_Cur_Prog	HEX32	R		Clean	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
200	WS_Cur_Prog	HEX32	R		Changeover	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
200	WS_Cur_Prog	HEX32	R		Maintenance	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
200	WS_Cur_Prog	HEX32	R		Break	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
210	WS_Prog_Step	UNSIGNED32	R	Program Step		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
250	ELO_ChangeOver_Done	UNSIGNED32	RW	Change Over Done from OEE		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
251	ELO_Prog_Prod	UNSIGNED32	R	Current Program Production Active		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
252	ELO_Prog_Startup	UNSIGNED32	R	Current Program Startup Active		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
253	ELO_Prog_RunDown	UNSIGNED32	R	Current Program Run Down Active		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
254	ELO_Prog_Clean	UNSIGNED32	R	Current Program		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

				Clean Active				
255	ELO_Prog_ChangeOver	UNSIGNED32	R	Current Program Change Over Active		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
256	ELO_Prog_Maintenance	UNSIGNED32	R	Current Program Maintenance Active		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
257	ELO_Prog_Break	UNSIGNED32	R	Current Program Break Active		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
300	WS_Cur_State	HEX32	R	Operating State		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
300	WS_Cur_State	HEX32	R		Stopped	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
300	WS_Cur_State	HEX32	R		Starting	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
300	WS_Cur_State	HEX32	R		Prepared	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
300	WS_Cur_State	HEX32	R		Lack	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
300	WS_Cur_State	HEX32	R		Tailback	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
300	WS_Cur_State	HEX32	R		Lack Branch Line	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
300	WS_Cur_State	HEX32	R		Tailback Branch Line	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
300	WS_Cur_State	HEX32	R		Operating	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
300	WS_Cur_State	HEX32	R		Stopping	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
300	WS_Cur_State	HEX32	R		Aborting	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
300	WS_Cur_State	HEX32	R		Equipment Failure	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
300	WS_Cur_State	HEX32	R		External Failure	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
300	WS_Cur_State	HEX32	R		Emergency Stop	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

300	WS_Cur_State	HEX32	R		Holding	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
300	WS_Cur_State	HEX32	R		Held	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
300	WS_Cur_State	HEX32	R		Idle	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
350	ELO_Ready_Produce_L1	UNSIGNED32	R	Ready to Produce Lane 1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
351	ELO_Ready_Produce_L2	UNSIGNED32	R	Ready to Produce Lane 2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
352	ELO_Ready_Produce_L3	UNSIGNED32	R	Ready to Produce Lane 3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
359	ELO_Waiting_Prdct	UNSIGNED32	R	Waiting For Product		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
360	ELO_OpState_Stopped	UNSIGNED32	R	Operating State Stopped		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
361	ELO_OpState_Starting	UNSIGNED32	R	Operating State Starting		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
362	ELO_OpState_Prepared	UNSIGNED32	R	Operating State Prepared		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
363	ELO_OpState_Lack	UNSIGNED32	R	Operating State Lack		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
364	ELO_OpState_Tailback	UNSIGNED32	R	Operating State Tailback		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
365	ELO_OpState_Lack_Br	UNSIGNED32	R	Operating State Lack Branch		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
366	ELO_OpState_Tail_Br	UNSIGNED32	R	Operating State Tailback Branch		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
367	ELO_OpState_Operatng	UNSIGNED32	R	Operating State Operating		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
368	ELO_OpState_Stopping	UNSIGNED32	R	Operating State		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

				Stopping			
369	ELO_OpState_Aborting	UNSIGNED32	R	Operating State Aborting		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
370	ELO_OpState_EquiFail	UNSIGNED32	R	Operating State Equipment Failure		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
371	ELO_OpState_ExtFail	UNSIGNED32	R	Operating State External Failure		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
372	ELO_OpState_Estop	UNSIGNED32	R	Operating State Emergency Stop		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
373	ELO_OpState_Holding	UNSIGNED32	R	Operating State Holding		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
374	ELO_OpState_Held	UNSIGNED32	R	Operating State Held		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
375	ELO_OpState_Idle	UNSIGNED32	R	Operating State Idle		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
401	WS_Cur_Mach_Spd	REAL	R	Current Machine Speed		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
402	WS_Set_Mach_Spd	REAL	R	Set Machine Speed		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
403	WS_Mach_Design_Spd	REAL	R	Machine Design Speed		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
501	WS_Mach_Cycle	UNSIGNED32	R	Machine Cycle Count		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
601	WS_Mat_Ready	HEX32	R	Materials Ready		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
602	WS_Mat_Low	HEX32	R	Materials Low		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6000	ELO_SN_Mch	UNSIGNED32	R	Serial Number Filling Machine		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6005	ELO_SN_Capr_1	UNSIGNED32	R	Serial Number Post Applicator		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

				ScrewCap 1				
6006	ELO_SN_Capr_2	UNSIGNED32	R	Serial Number Post Applicator ScrewCap 2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6007	ELO_SN_Capr_3	UNSIGNED32	R	Serial Number Post Applicator ScrewCap 3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6009	ELO_SN_CPckr_1	UNSIGNED32	R	Serial Number Case Packer 1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6017	ELO_SN_Inkjet_1	UNSIGNED32	R	Serial Number Inkjet 1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6018	ELO_SN_Inkjet_2	UNSIGNED32	R	Serial Number Inkjet 2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6019	ELO_SN_Inkjet_3	UNSIGNED32	R	Serial Number Inkjet 3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6050	ELO_Type_Mch	STRING16	R	Type Filling Machine		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6055	ELO_Type_Capr_1	STRING16	R	Type Post Applicator ScrewCap 1		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	sind ungleich null
6056	ELO_Type_Capr_2	STRING16	R	Type Post Applicator ScrewCap 2		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unplausibles Argument 0xDDDD
6057	ELO_Type_Capr_3	STRING16	R	Type Post Applicator ScrewCap 3		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6059	ELO_Type_CPckr_1	STRING16	R	Type Case Packer 1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6067	ELO_Type_Inkjet_1	STRING16	R	Type Inkjet 1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

6068	ELO_Type_Inkjet_2	STRING16	R	Type Inkjet 2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6069	ELO_Type_Inkjet_3	STRING16	R	Type Inkjet 3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9999	ELO_DIN_Efficiency	UNSIGNED32	R	Filling Machine DIN Efficiency	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
41000	ELO_BotHtr1_ActTp_L1	REAL	R	Bottom Heater 1 Actual Temperature Lane 1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
41001	ELO_BotHtr1_ActTp_L2	REAL	R	Bottom Heater 1 Actual Temperature Lane 2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
41002	ELO_BotHtr1_ActTp_L3	REAL	R	Bottom Heater 1 Actual Temperature Lane 3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
41004	ELO_BotHtr2_ActTp_L1	REAL	R	Bottom Heater 2 Actual Temperature Lane 1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
41005	ELO_BotHtr2_ActTp_L2	REAL	R	Bottom Heater 2 Actual Temperature Lane 2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
41006	ELO_BotHtr2_ActTp_L3	REAL	R	Bottom Heater 2 Actual Temperature Lane 3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

41008	ELO_TopHtr1_ActTp_L1	REAL	R	Top Heater 1 Actual Temperature Lane 1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
41009	ELO_TopHtr1_ActTp_L2	REAL	R	Top Heater 1 Actual Temperature Lane 2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
41010	ELO_TopHtr1_ActTp_L3	REAL	R	Top Heater 1 Actual Temperature Lane 3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
41024	ELO_DryHtr_ActTp	REAL	R	Dry Heater Actual Temperature		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
41100	ELO_Prcs_ActTp	REAL	R	Process Line Actual Temperature		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
41101	ELO_Asc_Chmbr_ActTp	REAL	R	Asceptic Chamber Actual Temperature		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
41102	ELO_V1_ActTp	REAL	R	Valve V1 Actual Temperature		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
41200	ELO_BotHtr1_ActPs_L1	REAL	R	Bottom Heater 1 Actual Pressure Lane 1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
41201	ELO_BotHtr1_ActPs_L2	REAL	R	Bottom Heater 1 Actual Pressure Lane 2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
41202	ELO_BotHtr1_ActPs_L3	REAL	R	Bottom Heater 1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

				Actual Pressure Lane 3			
41204	ELO_BotHtr2_ActPs_L1	REAL	R	Bottom Heater 2 Actual Pressure Lane 1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
41205	ELO_BotHtr2_ActPs_L2	REAL	R	Bottom Heater 2 Actual Pressure Lane 2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
41206	ELO_BotHtr2_ActPs_L3	REAL	R	Bottom Heater 2 Actual Pressure Lane 3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
41208	ELO_TopHtr1_ActPs_L1	REAL	R	Top Heater 1 Actual Pressure Lane 1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
41209	ELO_TopHtr1_ActPs_L2	REAL	R	Top Heater 1 Actual Pressure Lane 2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
41210	ELO_TopHtr1_ActPs_L3	REAL	R	Top Heater 1 Actual Pressure Lane 3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
41224	ELO_DryHtr_ActPs	REAL	R	Dry Heater Actual Pressure		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
41300	ELO_Prcs_ActPs	REAL	R	Process Line Actual Pressure		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
41400	ELO_CIP_Cond	REAL	R	CIP Conductivity		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
41401	ELO_CIP_Wter_ActFlow	REAL	R	CIP Water Inlet Flow		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
41402	ELO_CIP_Temp_Media	REAL	R	CIP Temperature		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

				Media			
41420	ELO_H2O2_ActFlow_L1	REAL	R	H2O2 Actual Flow Lane 1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
41421	ELO_H2O2_ActFlow_L2	REAL	R	H2O2 Actual Flow Lane 2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
41422	ELO_H2O2_ActFlow_L3	REAL	R	H2O2 Actual Flow Lane 3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
41444	ELO_CLube_ActFlow	REAL	R	Chain Lube Actual Flow		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
42000	ELO_Wgt_Avrg_L1	UNSIGNED32	R	Weight Check Average Lane 1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
42001	ELO_Wgt_Avrg_L2	UNSIGNED32	R	Weight Check Average Lane 2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
42002	ELO_Wgt_Avrg_L3	UNSIGNED32	R	Weight Check Average Lane 3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
42004	ELO_Wgt_Min_L1	UNSIGNED32	R	Weight Check Minimum Lane 1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
42005	ELO_Wgt_Min_L2	UNSIGNED32	R	Weight Check Minimum Lane 2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
42006	ELO_Wgt_Min_L3	UNSIGNED32	R	Weight Check Minimum Lane 3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
42008	ELO_Wgt_Max_L1	UNSIGNED32	R	Weight Check Maximum Lane 1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
42009	ELO_Wgt_Max_L2	UNSIGNED32	R	Weight Check Maximum Lane 2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
42010	ELO_Wgt_Max_L3	UNSIGNED32	R	Weight Check Maximum Lane 3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
42012	ELO_Wgt_Std_Dev_L1	UNSIGNED32	R	Weight Check		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

				Standard Deviation Lane 1				
42013	ELO_Wgt_Std_Dev_L2	UNSIGNED32	R	Weight Check Standard Deviation Lane 2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
42014	ELO_Wgt_Std_Dev_L3	UNSIGNED32	R	Weight Check Standard Deviation Lane 3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
42016	ELO_Wgt_Avrg_Dev_L1	UNSIGNED32	R	Weight Check Average Deviation Lane 1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
42017	ELO_Wgt_Avrg_Dev_L2	UNSIGNED32	R	Weight Check Average Deviation Lane 2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
42018	ELO_Wgt_Avrg_Dev_L3	UNSIGNED32	R	Weight Check Average Deviation Lane 3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
42020	ELO_Wgt_Max_Neg_L1	UNSIGNED32	R	Weight Check Maximum Negative Lane 1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
42021	ELO_Wgt_Max_Neg_L2	UNSIGNED32	R	Weight Check Maximum Negative Lane 2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
42022	ELO_Wgt_Max_Neg_L3	UNSIGNED32	R	Weight Check Maximum Negative Lane 3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
42024	ELO_Wgt_Max_Psv_L1	UNSIGNED32	R	Weight Check Maximum Positive		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

				Lane 1				
42025	ELO_Wgt_Max_Psv_L2	UNSIGNED32	R	Weight Check Maximum Positive Lane 2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
42026	ELO_Wgt_Max_Psv_L3	UNSIGNED32	R	Weight Check Maximum Positive Lane 3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
42028	ELO_Wgt_Line_Slctd	UNSIGNED32	R	Weight Check Lane Selected		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
42029	ELO_Wgt_Crt1	UNSIGNED32	R	Weight Check Package 1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
42030	ELO_Wgt_Crt2	UNSIGNED32	R	Weight Check Package 2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
42031	ELO_Wgt_Crt3	UNSIGNED32	R	Weight Check Package 3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
42032	ELO_Wgt_Crt4	UNSIGNED32	R	Weight Check Package 4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
50220	WS_Tot_Packages	UNSIGNED32	R	Total Packages		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Differenz von 200 Packungen
51026	ELO_Total_Crt_Waste	UNSIGNED32	R	Counter Total Carton Waste		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51100	ELO_Mdrive_Hrs	UNSIGNED32	R	Main Drive Running Hours		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51101	ELO_UVC_Hrs_L1	UNSIGNED32	R	UVC Lamp Hours Lane 1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51102	ELO_UVC_Hrs_L2	UNSIGNED32	R	UVC Lamp Hours Lane 2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51103	ELO_UVC_Hrs_L3	UNSIGNED32	R	UVC Lamp Hours Lane 3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

51105	ELO_Fil1_Mbrn_Hrs_L1	UNSIGNED32	R	Filler 1 Membrane Hours Lane 1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51106	ELO_Fil1_Mbrn_Hrs_L2	UNSIGNED32	R	Filler 1 Membrane Hours Lane 2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51107	ELO_Fil1_Mbrn_Hrs_L3	UNSIGNED32	R	Filler 1 Membrane Hours Lane 3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51109	ELO_Fil2_Mbrn_Hrs_L1	UNSIGNED32	R	Filler 2 Membrane Hours Lane 1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51110	ELO_Fil2_Mbrn_Hrs_L2	UNSIGNED32	R	Filler 2 Membrane Hours Lane 2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51111	ELO_Fil2_Mbrn_Hrs_L3	UNSIGNED32	R	Filler 2 Membrane Hours Lane 3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51113	ELO_5C_UVC_Hrs	UNSIGNED32	R	Cooling Unit UVC Lamp 5C Hours		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51114	ELO_20C_UVC_Hrs	UNSIGNED32	R	Cooling Unit UVC Lamp 20C Hours		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

iv) Zusammenfassung der Protokolle

a) Versuchsrundläufer

Aufgabe	Ergebnis
Abnahmebereitschaft herstellen	Verbindung zwischen Testtool und Inspektionsmaschine ließ sich ohne Probleme herstellen
Schnittstellenbeschaffenheit überprüfen	Der Vergleich Schnittstellendokumentation <-> Schnittstelle war erfolgreich. Alle beschriebenen Datenpunkte konnten korrekt abgefragt werden
Datenkonsistenz prüfen	
WS_Tot_Packages	Datenpunkt valide
WS_Good_Packages	Datenpunkt valide
WS_Mach_Design_Speed	Datenpunkt valide
WS_Cur_Mode	Datenpunkt wechselt den Wert nicht, zeigt dauerhaft Automatik
WS_Cur_Prog	Datenpunkt gibt nicht das gewählte Betriebsprogramm der Maschine wieder
WS_Cur_State	Datenpunkt gibt nicht den aktuellen Zustand der Maschine wieder, z. B. anstatt Not-Aus liegt Betrieb an

b) Demomaschine

Aufgabe	Ergebnis
Abnahmebereitschaft herstellen	Verbindung zwischen Testtool und Inspektionsmaschine ließ sich ohne Probleme herstellen
Schnittstellenbeschaffenheit überprüfen	Der Vergleich Schnittstellendokumentation <-> Schnittstelle war erfolgreich. Alle beschriebenen Datenpunkte konnten korrekt abgefragt werden
Datenkonsistenz prüfen	
WS_Tot_Packages	Datenpunkt valide
WS_Good_Packages	Nicht vorhanden, obwohl dokumentiert
WS_Mach_Design_Speed	Datenpunkt valide
WS_Cur_Mode	Datenpunkt valide
WS_Cur_Prog	Datenpunkt valide
WS_Cur_State	Datenpunkt valide

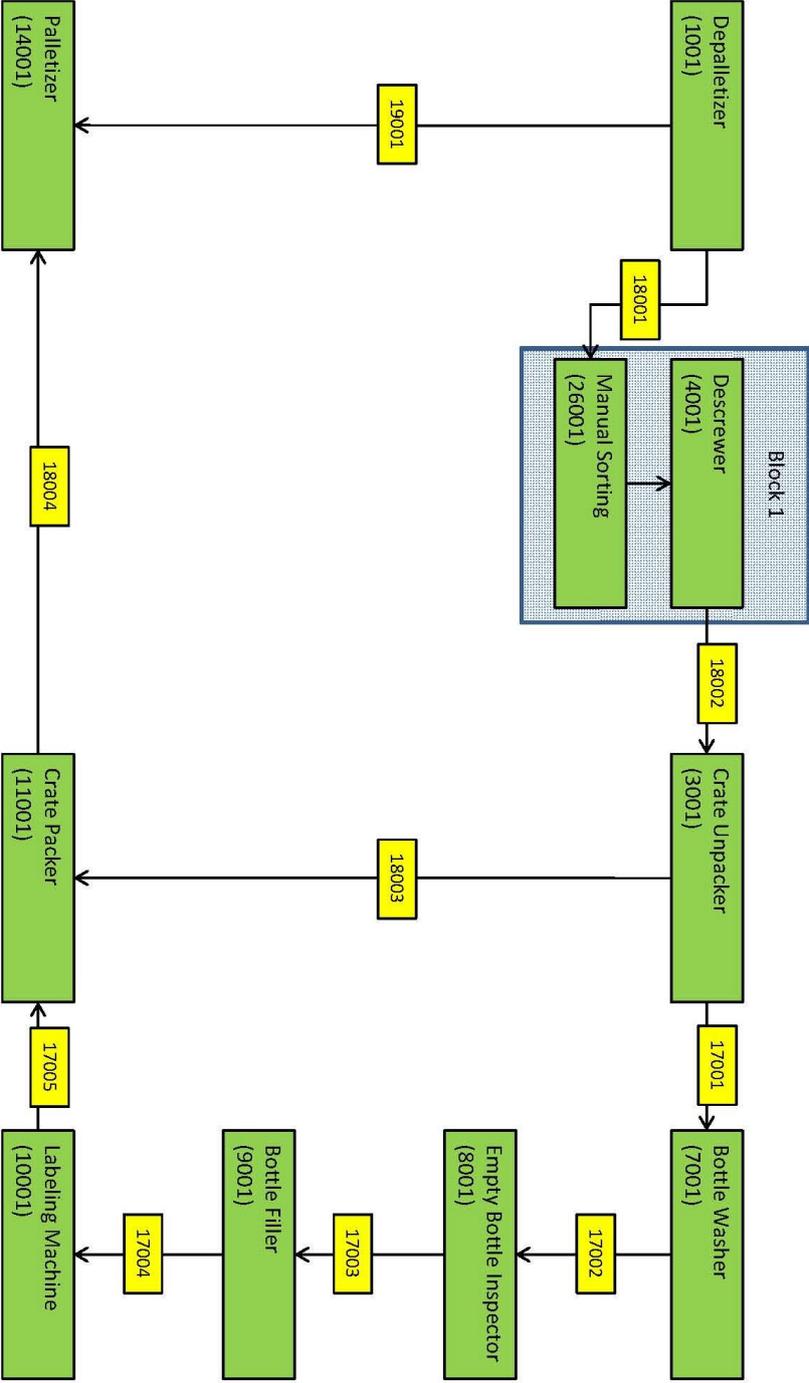
c) Falt-und Füllmaschine

Aufgabe	Ergebnis
Abnahmebereitschaft herstellen	Verbindungsaufbau möglich, allerdings Überlastung der Verbindung bei mehr als 10 Anfragen pro Sekunde bzw. read_List
Schnittstellenbeschaffenheit überprüfen	Der Vergleich Schnittstellendokumentation <-> Schnittstelle war erfolgreich. Alle beschriebenen Datenpunkte konnten korrekt abgefragt werden
Datenkonsistenz prüfen	
WS_Tot_Packages	Datenpunkt valide
WS_Good_Packages	Datenpunkt valide
WS_Mach_Design_Speed	Datenpunkt valide
WS_Cur_Mode	Datenpunkt valide
WS_Cur_Prog	Datenpunkt valide
WS_Cur_State	Datenpunkt im Programm Produktion valide, in anderen Programmen Störung, obwohl programmgerechter Betrieb gegen ist

Anhang C Systemparameter der Anlagen

i) Anlage 1

l) Übersicht



II) Maschinenliste

mach_ID	description
1001	Depalletizer
3001	Crate Unpacker
4001	Descrewer
7001	Bottle Washer
8001	Empty Bottle Inspector
9001	Bottle Filler
10001	Labeling Machine
11001	Crate Packer
14001	Palletizer
26001	manual Sorting

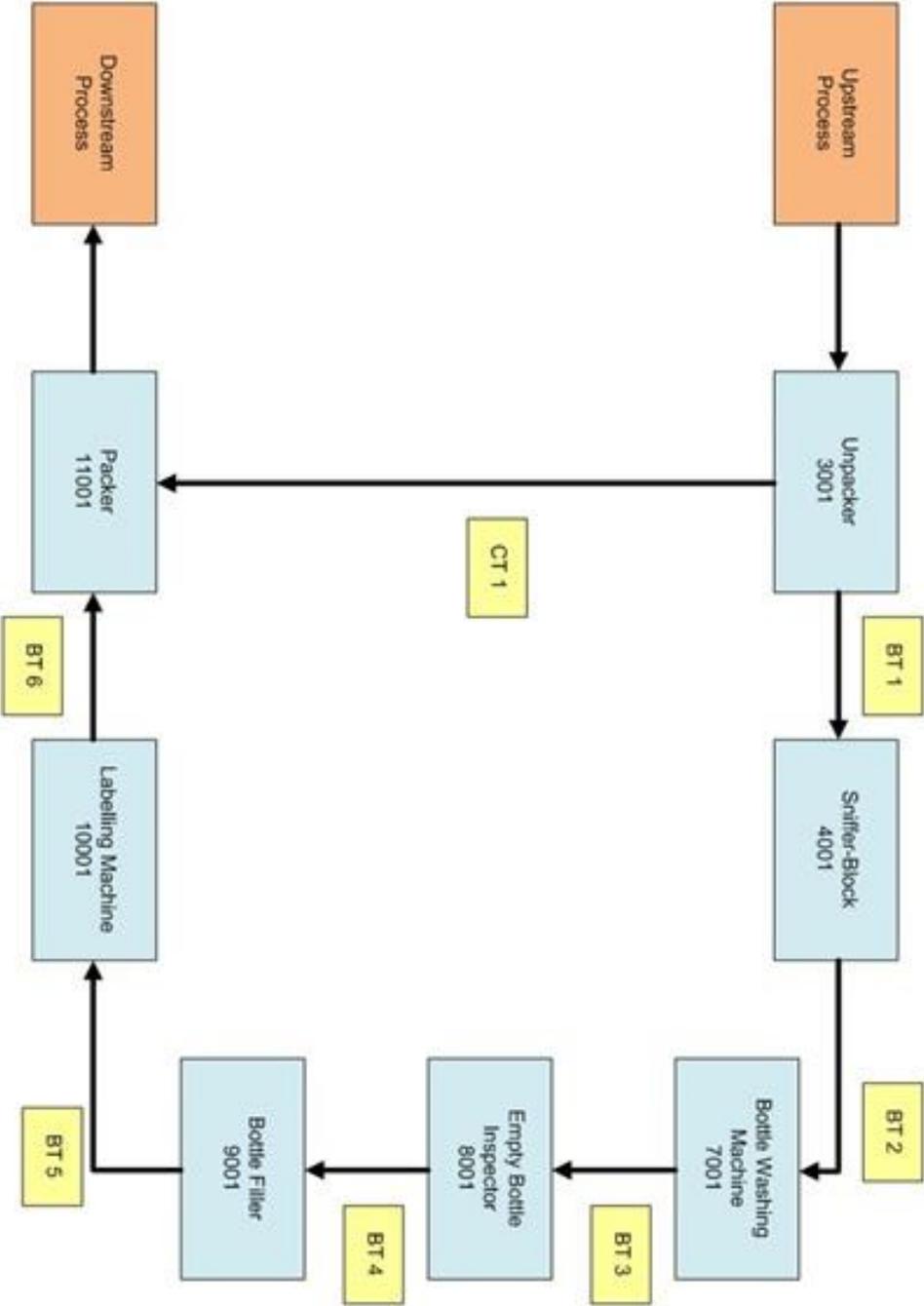
Struktur siehe systemdesign von [55]

III) Anlagentotzeiten

source	target	td
1001	14001	38
1001	4001	58
4001	3001	13
3001	11001	268
11001	14001	115
3001	7001	124
7001	9001	95
9001	10001	120
10001	11001	101

Struktur siehe systemdesign von [55]

ii) Anlage 2
I) Übersicht



II) Maschinenliste

mach_ID	description
3001	Crate Unpacker
4001	Descrewer
7001	Bottle Washer
8001	Empty Bottle Inspector
9001	Bottle Filler
10001	Labeling Machine
11001	Crate Packer
16001	Crate Magazine

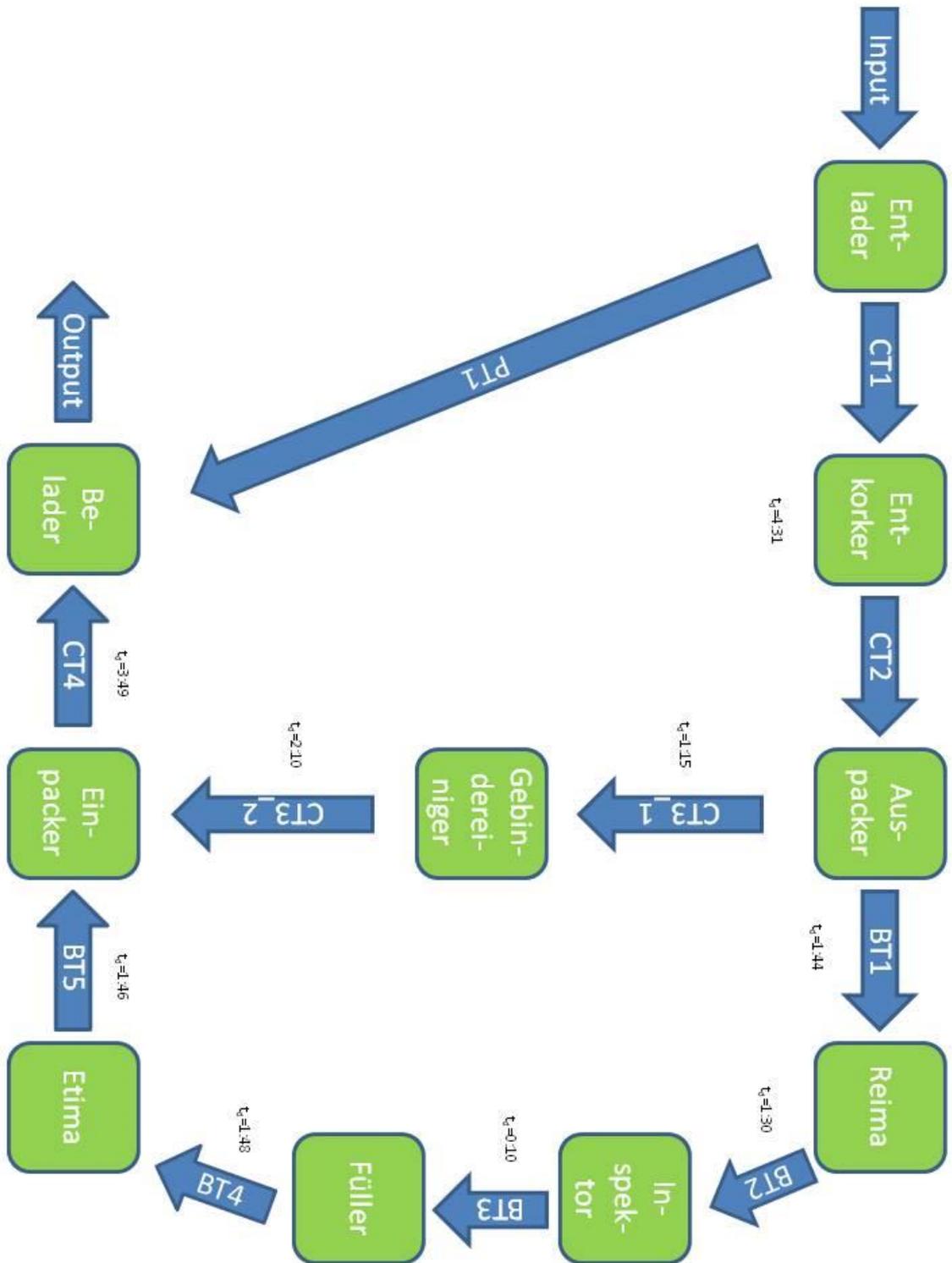
Struktur siehe systemdesign von [55]

III) Anlagentotzeiten

source	target	td
3001	4001	122
4001	7001	151
7001	9001	147
9001	10001	129
10001	11001	104
3001	16001	151
16001	11001	160

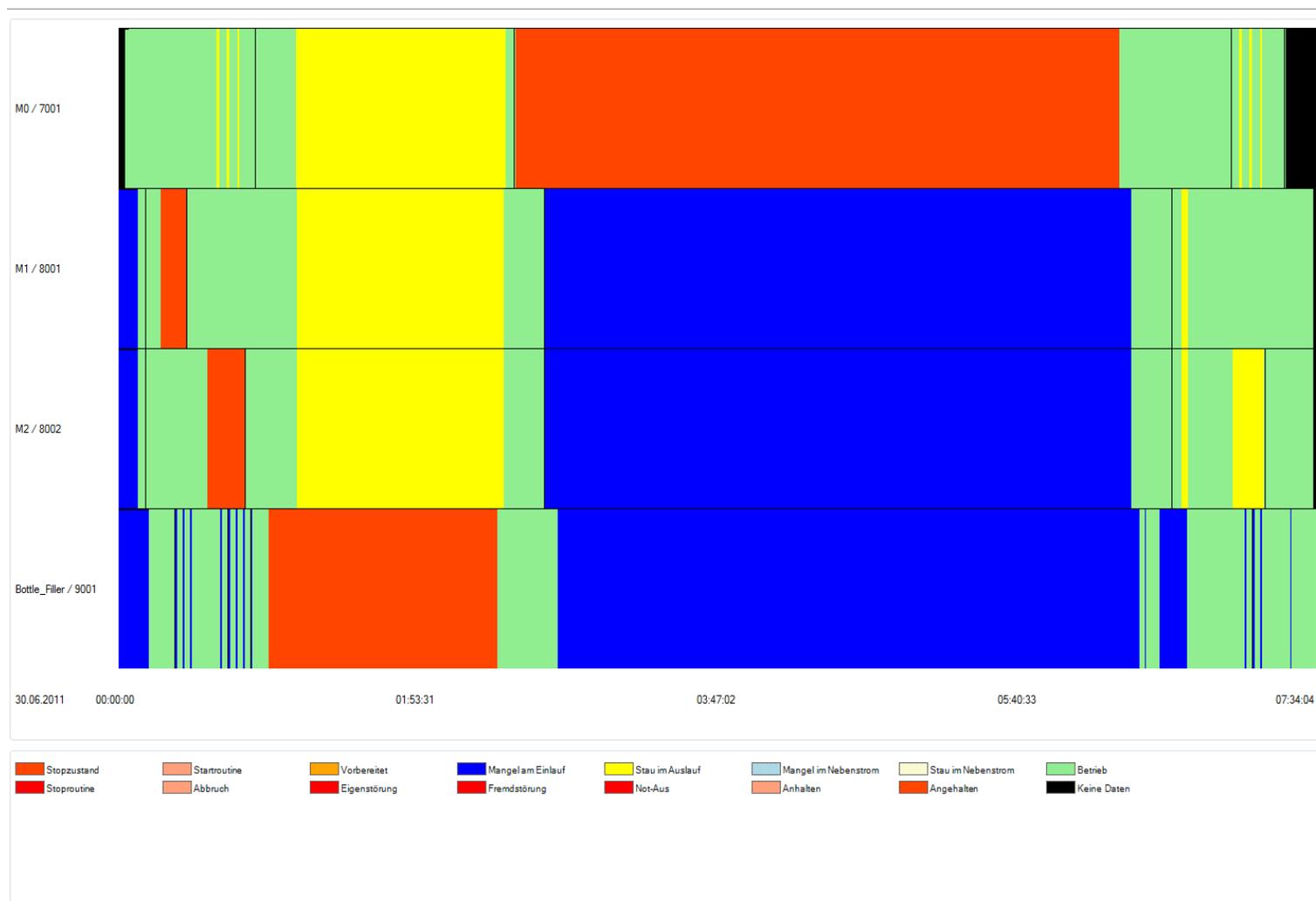
Struktur siehe systemdesign von [55]

iii) Anlage 3



Anhang D Daten Anlagensimulation Simulationsszenario C

i) Graphische Darstellung



ii) Rohdaten Szenario C

mach_id	type_id	start_time	end_time	int_value
9001	2	1309392000	1309392000	8
9001	2	1309392000	1309392000	8
9001	2	1309392000	1309392000	8
9001	2	1309392000	1309392000	8
9001	2	1309392000	1309392000	8
8002	2	1309392000	1309392000	8
8002	2	1309392000	1309392000	8
8002	2	1309392000	1309392000	8
8002	2	1309392000	1309392000	8
8002	2	1309392000	1309392000	8
8001	2	1309392000	1309392000	8
8001	2	1309392000	1309392000	8
8001	2	1309392000	1309392000	8
8001	2	1309392000	1309392000	8
8001	2	1309392000	1309392000	8
7001	2	1309392149	1309392234	128
8001	2	1309392000	1309392440	8
8002	2	1309392000	1309392441	8
8001	2	1309392440	1309392615	128
8002	2	1309392441	1309392615	128
9001	2	1309392000	1309392679	8
9001	2	1309392679	1309392952	128
8001	2	1309392615	1309392965	128
9001	2	1309392952	1309393150	128
9001	2	1309393150	1309393280	128
9001	2	1309393280	1309393321	8
9001	2	1309393321	1309393454	128
9001	2	1309393454	1309393495	8
8001	2	1309392965	1309393553	1
7001	2	1309392234	1309393587	128
9001	2	1309393495	1309393627	128
9001	2	1309393627	1309393668	8
7001	2	1309393587	1309393735	128
9001	2	1309393668	1309393938	128
8002	2	1309392615	1309394017	128
7001	2	1309393735	1309394104	128
9001	2	1309393938	1309394185	128
7001	2	1309394104	1309394219	128
7001	2	1309394219	1309394276	16
9001	2	1309394185	1309394315	128
9001	2	1309394315	1309394356	8
7001	2	1309394276	1309394457	128
9001	2	1309394356	1309394489	128
7001	2	1309394457	1309394514	16

mach_id	type_id	start_time	end_time	int_value
9001	2	1309394489	1309394529	8
9001	2	1309394529	1309394662	128
7001	2	1309394514	1309394695	128
9001	2	1309394662	1309394703	8
7001	2	1309394695	1309394752	16
9001	2	1309394703	1309394835	128
9001	2	1309394835	1309394876	8
8002	2	1309394017	1309394879	1
9001	2	1309394876	1309395009	128
9001	2	1309395009	1309395036	8
7001	2	1309394752	1309395108	128
9001	2	1309395036	1309395263	128
9001	2	1309395263	1309395413	128
8001	2	1309393553	1309395836	128
8002	2	1309394879	1309395836	128
7001	2	1309395108	1309395924	128
7001	2	1309395924	1309396039	128
8001	2	1309395836	1309396046	128
8002	2	1309395836	1309396046	128
9001	2	1309395413	1309400610	1
8001	2	1309396046	1309400742	16
8002	2	1309396046	1309400742	16
7001	2	1309396039	1309400794	16
8001	2	1309400742	1309400859	128
8002	2	1309400742	1309400859	128
7001	2	1309400794	1309400991	128
7001	2	1309400991	1309401028	128
8002	2	1309400859	1309401586	128
8001	2	1309400859	1309401586	128
8002	2	1309401586	1309401676	128
8001	2	1309401586	1309401676	128
9001	2	1309400610	1309401936	128
9001	2	1309401936	1309401971	128
7001	2	1309401028	1309414734	1
8002	2	1309401676	1309415003	8
8001	2	1309401676	1309415003	8
8002	2	1309415003	1309415178	128
8001	2	1309415003	1309415178	128
9001	2	1309401971	1309415188	8
9001	2	1309415188	1309415314	128
9001	2	1309415314	1309415337	8
9001	2	1309415337	1309415493	128
9001	2	1309415493	1309415608	128
9001	2	1309415608	1309415643	128
8001	2	1309415178	1309415936	128
8002	2	1309415178	1309415936	128

mach_id	type_id	start_time	end_time	int_value
8001	2	1309415936	1309416147	128
8002	2	1309415936	1309416147	128
9001	2	1309415643	1309416262	8
9001	2	1309416262	1309416264	8
9001	2	1309416264	1309416266	8
9001	2	1309416266	1309416269	8
9001	2	1309416269	1309416270	8
8001	2	1309416147	1309416301	16
8002	2	1309416147	1309416301	16
9001	2	1309416270	1309416366	128
7001	2	1309414734	1309416402	128
8001	2	1309416301	1309416468	128
8002	2	1309416301	1309416468	128
7001	2	1309416402	1309416633	128
8002	2	1309416468	1309417108	128
7001	2	1309416633	1309417284	128
8002	2	1309417108	1309417319	128
7001	2	1309417284	1309417452	128
9001	2	1309416366	1309417459	128
7001	2	1309417452	1309417509	16
9001	2	1309417459	1309417590	128
9001	2	1309417590	1309417631	8
7001	2	1309417509	1309417690	128
7001	2	1309417690	1309417747	16
9001	2	1309417631	1309417763	128
9001	2	1309417763	1309417804	8
7001	2	1309417747	1309417928	128
9001	2	1309417804	1309417936	128
9001	2	1309417936	1309417977	8
7001	2	1309417928	1309417985	16
8002	2	1309417319	1309418028	16
8002	2	1309418028	1309418059	128
9001	2	1309417977	1309418103	128
7001	2	1309417985	1309418173	128
7001	2	1309418173	1309418487	128
7001	2	1309418487	1309418518	128
9001	2	1309418103	1309418619	128
9001	2	1309418619	1309418639	8
9001	2	1309418639	1309418879	128
8001	2	1309416468	1309419064	128
8002	2	1309418059	1309419064	128
8001	2	1309419064	1309419154	128
8002	2	1309419064	1309419154	128

Anhang E Ergebnisse Validierung Modellbasierte Diagnose

i) Anlage A

l) Versuch 12.07.2011

Abnahmedaten Anlage A 12.07.2011				Ergebnis Modellbasierte Diagnose				Auswertung					
Füllerstörung		Manuelle Abnahme		Füllersymptom			Diagnose						
Beginn	Ende	Schuldiges Aggregat	Beschreibung	Beginn	Ende	Symptom	Schuldiges Aggregat	E	M	S	C	nC	k
07:27:26	07:29:47	Bottle transport 2	Umgefallene Flasche im inspektoreinlauf/Füller zeigt Füllfehler (Ständige Fehlermeldung ohne Einfluss)	07:29:06	07:31:07	Stopped	Bottle_Filler_Stopped	1			1		
07:30:20	07:30:29	Bottle transport 3	Folgestörung (Lücke)	07:31:38	07:31:44	Lack	Empties_Inspector		1		1		1
				07:31:38	07:31:44	Lack	BT3						
07:48:32	07:48:50	Bottle Filler	Kronkorkenzufuhr	07:49:42	07:49:43	External_Failure	Bottle_Filler_External_Failure						
07:51:02	07:51:35	Bottle Washer	Brotzeit deswegen ausgeschaltet	07:49:43	07:50:02	Equipment_Failure	Bottle_Filler_Equipment_Failure						
07:56:47	08:03:44		Beginn Pause	07:50:02	07:50:06	Prepared	Bottle_Filler_Prepared						
08:03:53	08:08:56		Beginn Pause	07:52:10	07:52:43	External_Failure	Bottle_Filler_External_Failure						
08:09:02	08:20:02		Beginn Pause	07:52:43	07:52:49	Prepared	Bottle_Filler_Prepared						
08:20:08	08:20:17		Beginn Pause	07:58:31	08:02:17	Prepared	Bottle_Filler_Prepared						
08:20:23	08:21:11		Beginn Pause	08:02:17	08:02:19	External_Failure	Bottle_Filler_External_Failure						

Abnahmedaten Anlage A 12.07.2011				Ergebnis Modellbasierte Diagnose				Auswertung					
Füllerstörung		Manuelle Abnahme		Füllersymptom			Diagnose						
Beginn	Ende	Schuldiges Aggregat	Beschreibung	Beginn	Ende	Symptom	Schuldiges Aggregat	E	M	S	C	nC	k
08:21:32	08:31:20		Beginn Pause	08:02:19	08:27:55	Prepared	Bottle_Filler_Prepared						
08:31:29	08:31:41		Beginn Pause	08:27:55	08:40:28	Equipment_Failure	Bottle_Filler_Equipment_Failure						
08:32:52	08:40:32		Pausenende	08:40:28	08:40:35	Prepared	Bottle_Filler_Prepared						
				08:40:35	08:40:41	Stopped	Bottle_Filler_Stopped						
				08:40:44	08:41:15	Prepared	Bottle_Filler_Prepared						
				08:41:17	08:41:21	Stopped	Bottle_Filler_Stopped						
				08:42:10	08:42:44	Equipment_Failure	Bottle_Filler_Equipment_Failure						
				08:42:44	08:42:49	Stopped	Bottle_Filler_Stopped						
08:55:55	08:57:49	Bottle Filler	Verschlüsse	08:57:02	08:59:03	Equipment_Failure	Bottle_Filler_Equipment_Failure	1			1		
				08:59:03	08:59:05	Stopped	Bottle_Filler_Stopped						
09:01:25	09:02:55	Crate Packer	Flaschen am Einlauf verklemmt	09:02:33	09:03:04	Tailback	Crate_Packer			1	1		1
				09:03:04	09:03:27	Prepared	Bottle_Filler_Prepared						
				09:03:27	09:04:08	Tailback	BT4			1		1	
				09:04:08	09:04:16	Stopped	Bottle_Filler_Stopped						

Abnahmedaten Anlage A 12.07.2011				Ergebnis Modellbasierte Diagnose				Auswertung					
Füllerstörung		Manuelle Abnahme		Füllersymptom			Diagnose						
Beginn	Ende	Schuldiges Aggregat	Beschreibung	Beginn	Ende	Symptom	Schuldiges Aggregat	E	M	S	C	nC	k
09:14:07	09:16:43	Crate transport 3	Aussortierung von Fremdkästen (zu viele Fremdk.)	09:15:16	09:18:00	Tailback	CT3			1	1		1
				09:18:00	09:18:06	Stopped	Bottle_Filler_Stopped						
09:23:07	09:26:49	Crate Packer	Kisten verklemmt	09:24:15	09:28:02	Tailback	Crate_Packer			1	1		1
				09:28:02	09:28:10	Stopped	Bottle_Filler_Stopped						
09:30:19	09:33:34	Crate Packer	Fehler	09:31:26	09:34:49	Tailback	Crate_Packer			1	1		1
				09:34:49	09:34:57	Stopped	Bottle_Filler_Stopped						
09:38:52	09:39:13	Empty Bottle Inspector	umgef. Flasche	09:40:09	09:40:26	Lack	Empty_Bottle_Inspector		1		1		1
				09:40:32	09:40:34	Stopped	Bottle_Filler_Stopped						
09:41:28	09:41:49	Empty Bottle Inspector	nicht beobachtet, aber vermutlich Inspektor (Bediener kam von dort)	09:42:45	09:43:05	Lack	Empty_Bottle_Inspector		1		1		1
				09:43:07	09:43:11	Stopped	Bottle_Filler_Stopped						
09:46:19	09:52:52	Palletizer	Band gerissen bei Ladungssicherung (nachgeschalteter Prozess)	09:47:27	09:54:07	Tailback	No_Plausible_Cause			1		1	1
				09:54:07	09:54:16	Stopped	Bottle_Filler_Stopped						
09:57:25	09:58:37	Bottle Filler	Angehalten für Sortenwechsel	09:58:32	09:59:53	Prepared	Bottle_Filler_Prepared	1			1		

Abnahmedaten Anlage A 12.07.2011				Ergebnis Modellbasierte Diagnose				Auswertung					
Füllerstörung		Manuelle Abnahme		Füllersymptom			Diagnose						
Beginn	Ende	Schuldiges Aggregat	Beschreibung	Beginn	Ende	Symptom	Schuldiges Aggregat	E	M	S	C	nC	k
				09:59:53	10:00:01	Stopped	Bottle_Filler_Stopped						
09:59:55	10:01:55	Bottle Filler	Verschleißer	10:01:04	10:02:57	Equipment_Failure	Bottle_Filler_Equipment_Failure	1			1		
10:02:01	10:02:28	Bottle Filler	Folgestörung	10:02:57	10:03:10	Prepared	Bottle_Filler_Prepared	1			1		
10:02:46	10:03:07	Bottle Filler	Folgestörung	10:03:12	10:03:41	Prepared	Bottle_Filler_Prepared	1			1		
10:09:19	10:09:50		Sortenwechsel (reima angehalten und Bänder leergefahren)	10:03:41	10:03:42	Emergency_Stop	Bottle_Filler_Emergency_Stop						
				10:03:42	10:03:44	Prepared	Bottle_Filler_Prepared						
				10:03:53	10:04:18	Equipment_Failure	Bottle_Filler_Equipment_Failure						
				10:04:18	10:04:23	Prepared	Bottle_Filler_Prepared						
				10:10:36	10:10:59	Stopped	Bottle_Filler_Stopped						
				10:10:59	10:12:07	External_Failure	Bottle_Filler_External_Failure						
				10:12:07	10:12:16	Prepared	Bottle_Filler_Prepared						
				10:12:16	10:12:58	External_Failure	Bottle_Filler_External_Failure						
				10:12:58	10:13:06	Prepared	Bottle_Filler_Prepared						
				10:13:06	10:13:09	External_Failure	Bottle_Filler_Ext						

Abnahmedaten Anlage A 12.07.2011				Ergebnis Modellbasierte Diagnose				Auswertung					
Füllerstörung		Manuelle Abnahme		Füllersymptom			Diagnose						
Beginn	Ende	Schuldiges Aggregat	Beschreibung	Beginn	Ende	Symptom	Schuldiges Aggregat	E	M	S	C	nC	k
						re	ernal_Failure						
				10:13:09	10:16:29	Stopped	Bottle_Filler_Stopped						
				10:16:32	10:16:34	Emergency_Stop	Bottle_Filler_Emergency_Stop						
				10:16:34	10:16:40	Stopped	Bottle_Filler_Stopped						
				10:16:48	10:40:54	Prepared	Bottle_Filler_Prepared						
				10:40:54	10:44:02	Equipment_Failure	Bottle_Filler_Equipment_Failure						
				10:44:02	10:45:54	Prepared	Bottle_Filler_Prepared						
				10:45:54	10:46:02	Stopped	Bottle_Filler_Stopped						
				10:46:02	10:46:58	Prepared	Bottle_Filler_Prepared						
				10:46:58	10:47:05	Stopped	Bottle_Filler_Stopped						
				10:48:35	10:48:56	Stopped	Bottle_Filler_Stopped						
				10:48:56	10:49:03	Prepared	Bottle_Filler_Prepared						
				10:49:06	10:49:12	Stopped	Bottle_Filler_Stopped						
10:52:25	10:56:34	Labeling Machine	Flaschenrückstau wegen Formatwechsel	10:53:33	10:57:04	Tailback	BT5			1		1	
10:56:43	10:58:22	Bottle Filler	Eigene Lichtschranke	10:57:04	10:57:11	Stopped	Bottle_Filler_Stopped	1			1		

Abnahmedaten Anlage A 12.07.2011				Ergebnis Modellbasierte Diagnose				Auswertung					
Füllerstörung		Manuelle Abnahme		Füllersymptom			Diagnose						
Beginn	Ende	Schuldiges Aggregat	Beschreibung	Beginn	Ende	Symptom	Schuldiges Aggregat	E	M	S	C	nC	k
							pped						
11:03:46	11:13:07	Crate Unpacker	Störung Auspacker; Füller wegen CO2-Fehler ausgeschaltet	11:05:04	11:05:16	Lack	Crate_Unpacker		1		1		1
				11:05:16	11:08:18	Prepared	Bottle_Filler_Prepared						
				11:08:18	11:08:35	Equipment_Failure	Bottle_Filler_Equipment_Failure						
				11:08:35	11:08:37	Stopped	Bottle_Filler_Stopped						
				11:08:37	11:14:22	Prepared	Bottle_Filler_Prepared						
				11:14:22	11:14:28	Stopped	Bottle_Filler_Stopped						
11:14:46	11:15:16	Bottle Filler	Folgestörung	11:16:26	11:16:37	Stopped	Bottle_Filler_Stopped	1			1		
11:20:43	11:21:25	Empty Bottle Inspector	Auslauf des Inspektors Flaschen quer	11:22:01	11:22:40	Lack	Empty_Bottle_Inspector		1		1		1
				11:22:40	11:22:46	Stopped	Bottle_Filler_Stopped						
11:22:37	11:24:16	Bottle transport 2	Freigabe fehlt	11:24:15	11:25:38	Stopped	Bottle_Filler_Stopped	1			1		
11:24:43	11:25:13	Bottle transport 2	Flaschen Quer	11:26:04	11:26:10	Lack	Empties_Inspector		1		1		1
				11:26:04	11:26:10	Lack	BT3						
11:25:43	11:26:01	Bottle Washer	Störung Waschmaschine Einlauf	11:26:22	11:26:36	Stopped	Bottle_Filler_Stopped	1			1		

Abnahmedaten Anlage A 12.07.2011				Ergebnis Modellbasierte Diagnose				Auswertung					
Füllerstörung		Manuelle Abnahme		Füllersymptom			Diagnose						
Beginn	Ende	Schuldiges Aggregat	Beschreibung	Beginn	Ende	Symptom	Schuldiges Aggregat	E	M	S	C	nC	k
11:26:19	11:26:52	Bottle transport 3	Folgestörung	11:27:01	11:27:18	Lack	Empties_Inspect or		1		1		1
				11:27:01	11:27:18	Lack	BT3						
				11:27:59	11:28:14	Stopped	Bottle_Filler_Stopped						
11:30:37	11:30:46	Bottle Washer	Flaschenmangel vor Inspektor	11:31:56	11:32:01	Lack	Bottle_Washer		1		1		
11:33:10	11:33:58	Pallet transport 1	Verklemmte Palette	11:34:28	11:34:50	Lack	Bottle_Washer		1			1	1
				11:34:50	11:35:14	Prepared	Bottle_Filler_Prepared						
				11:35:14	11:35:20	Stopped	Bottle_Filler_Stopped						
11:37:04	11:37:43	Bottle Filler	verklemmte Kronkorken im Verschließer	11:38:11	11:38:30	Equipment_Failure	Bottle_Filler_Equipment_Failure	1			1		
11:37:49	11:38:34	Bottle Filler	verklemmte Kronkorken im Verschließer	11:38:30	11:38:58	Prepared	Bottle_Filler_Prepared	1			1		
				11:38:59	11:39:46	Prepared	Bottle_Filler_Prepared						
				11:39:46	11:39:49	Emergency_Stop	Bottle_Filler_Emergency_Stop						
				11:39:49	11:39:51	Prepared	Bottle_Filler_Prepared						
11:38:52	11:39:49	Bottle Filler	Folgefehler Füllhöhenkontrolle	11:40:00	11:40:59	Equipment_Failure	Bottle_Filler_Equipment_Failure	1			1		
				11:40:59	11:41:01	Stopped	Bottle_Filler_Stopped						
				11:41:01	11:41:05	Prepared	Bottle_Filler_Pre						

Abnahmedaten Anlage A 12.07.2011				Ergebnis Modellbasierte Diagnose				Auswertung					
Füllerstörung		Manuelle Abnahme		Füllersymptom			Diagnose						
Beginn	Ende	Schuldiges Aggregat	Beschreibung	Beginn	Ende	Symptom	Schuldiges Aggregat	E	M	S	C	nC	k
							pared						
11:42:13	11:42:34	Bottle Filler	verklemmte Kronkorken	11:43:20	11:43:46	Equipment_Failure	Bottle_Filler_Equipment_Failure	1			1		
				11:43:46	11:43:48	Stopped	Bottle_Filler_Stopped						
11:44:07	11:44:31	Empty Bottle Inspector	Rückstau Auslaufband schlechte Flaschen	11:45:25	11:45:45	Lack	Empty_Bottle_Inspector		1		1		1
				11:45:45	11:46:00	Stopped	Bottle_Filler_Stopped						
11:44:43	11:45:37	Empty Bottle Inspector	Rückstau Auslaufband schlechte Flaschen	11:46:00	11:46:55	Lack	Empty_Bottle_Inspector		1		1		1
				11:46:55	11:47:00	Stopped	Bottle_Filler_Stopped						
11:45:58	11:46:19	Empty Bottle Inspector	Rückstau Auslaufband schlechte Flaschen	11:47:19	11:47:21	Lack	Empties_Inspector						
				11:47:19	11:47:21	Lack	BT3						
				11:47:40	11:47:43	Stopped	Bottle_Filler_Stopped						
11:46:46	12:06:07	Empty Bottle Inspector	Ausleuchtung Inspektor - Neustart	11:48:04	12:07:21	Lack	BT2		1		1		1
12:06:34	12:08:52	Bottle transport 3	Lücke auf Band ; Reinigung Füller	12:07:54	12:10:30	Prepared	Bottle_Filler_Prepared	1			1		
12:09:04	12:20:16	Empty Bottle Inspector	Füller Reinigung beendet ; Flaschen durch Lichtschranke, aber kein Wiederanlauf	12:10:30	12:16:55	Lack	Empty_Bottle_Inspector		1		1		1
				12:16:55	12:20:27	Prepared	Bottle_Filler_Prepared						

Abnahmedaten Anlage A 12.07.2011				Ergebnis Modellbasierte Diagnose				Auswertung					
Füllerstörung		Manuelle Abnahme		Füllersymptom			Diagnose						
Beginn	Ende	Schuldiges Aggregat	Beschreibung	Beginn	Ende	Symptom	Schuldiges Aggregat	E	M	S	C	nC	k
				12:20:27	12:20:38	External_Failure	Bottle_Filler_External_Failure						
				12:20:38	12:26:10	Prepared	Bottle_Filler_Prepared						
				12:26:10	12:26:18	Stopped	Bottle_Filler_Stopped						
12:32:46	12:33:34	Bottle Filler	Verschließer	12:33:55	12:34:50	Equipment_Failure	Bottle_Filler_Equipment_Failure	1			1		
				12:34:50	12:34:52	Prepared	Bottle_Filler_Prepared						
12:39:28	12:40:13	Bottle transport 2	Vereinzelung vor Inspektor	12:41:07	12:41:37	Stopped	Bottle_Filler_Stopped	1			1		
12:44:43	12:44:55	Bottle Filler	Füllhöhenkontrolle	12:45:50	12:46:10	Equipment_Failure	Bottle_Filler_Equipment_Failure	1			1		
				12:46:10	12:46:12	Prepared	Bottle_Filler_Prepared						
12:47:25	12:48:37	Bottle Filler	verschleißfehler	12:48:34	12:49:52	Equipment_Failure	Bottle_Filler_Equipment_Failure	1			1		
								19	13	7	35	4	18

ii) Anlage B

I) Versuch 1.03.2011

Abnahmedaten Anlage B 01.03.2011				Ergebnis Modellbasierte Diagnose				Auswertung					
Füllerstörung		Manuelle Abnahme		Füllersymptom			Diagnose						
Beginn	Ende	Schuldiges Aggregat	Beschreibung	Beginn	Ende	Symptom	Schuldiges Aggregat	E	M	S	C	nC	k
9:38:49	9:41:02	Entpalletierer	kaputte Palette auf 19005 danach Ausscheideband-Inspektor voll	9:37:21	9:39:20	Stau im Auslauf	Nachgeschalteter Prozess			1	1		1
				9:39:20	9:40:42	Prepared	Füller	1			1		
				9:40:42	9:41:08	Stopped	Füller	1			1		
9:50:38	9:51:27	Einpacker	Gebinde umgefallen	9:50:52	9:51:03	Prepared	Füller	1			1		
9:51:36	9:52:09	Einpacker	Die Folge von Störung 2										
9:57:48	9:58:09	Einpacker	Nachjustierung durch Mitarbeiter nötig										
9:58:24	9:58:33	Einpacker											
9:58:45	9:58:54	Einpacker											
9:59:00	9:59:03	Einpacker											
9:59:09	10:00:30	Einpacker											
10:00:42	10:02:42	Einpacker	Inspektor auch gestört	10:01:15	10:01:21	Prepared	Füller	1			1		
				10:01:21	10:01:27	Stau im Auslauf	Einpacker			1	1		1
				10:01:27	10:01:37	Prepared	Füller	1			1		
10:02:48	10:02:57	Einpacker											
10:03:03	10:03:12	Einpacker											
10:03:30	10:03:33	Einpacker											
10:04:00	10:05:15	Einpacker		10:04:14	10:04:20	Stau im Auslauf	Einpacker			1	1		1
				10:04:20	10:04:30	Prepared	Füller	1			1		
12:00:03	12:00:39	Waschmaschine	Eingang										

Abnahmedaten Anlage B 01.03.2011				Ergebnis Modellbasierte Diagnose				Auswertung					
Füllerstörung		Manuelle Abnahme		Füllersymptom			Diagnose						
Beginn	Ende	Schuldiges Aggregat	Beschreibung	Beginn	Ende	Symptom	Schuldiges Aggregat	E	M	S	C	nC	k
12:02:12	12:02:33	Waschmaschine											
12:02:54	12:03:06	Waschmaschine											
12:09:15	12:10:30	Waschmaschine	(Während der Störung Ausfall Inspektor)	12:10:16	12:10:21	Lack	Reinigungsmaschine		1		1		1
				12:10:21	12:10:38	Vorbereitet	Füller	1			1		
12:20:39	12:21:06	Einpacker											
12:21:18	12:21:48	Einpacker											
12:21:54	12:22:06	Einpacker											
12:22:12	12:22:15	Einpacker											
12:22:27	12:22:36	Einpacker	Folgestörung										
12:35:45	12:40:24	Einpacker		12:35:51	12:35:55	Vorbereitet	Füller	1			1		
				12:35:55	12:39:03	Stau im Auslauf	Einpacker			1	1		1
12:40:33	12:40:36	Einpacker	Folgestörung										
12:53:54	12:54:03	Etikettiermaschine	Bandwechsel										
12:54:12	12:54:51	Etikettiermaschine	Folgestörung										
12:54:57	12:55:15	Etikettiermaschine	Folgestörung										
12:55:24	12:55:27	Etikettiermaschine	Folgestörung										
12:55:33	12:56:24	Etikettiermaschine	Folgestörung										
12:59:30	13:00:30	Füller	Schichtübergabe/ Keine Störung	12:59:36	13:00:36	Stopzustand	Füller	1			1		
13:06:36	13:06:42	PT 1	test lichtschanke										
13:19:15	13:20:00	Füller	Flasche verkeilt im Einlauf	13:19:20	13:20:03	Vorbereitet	Füller	1			1		
13:32:57	13:33:30	Leerflaschen- inspektor	Test ob Inspektor Testfehlflaschen erkennt	13:33:03	13:33:36	Vorbereitet	Füller	1			1		
13:35:57	13:43:48	Füller	Chargenwechsel		0:03:08	Stopzustand	Füller	1			1		

Abnahmedaten Anlage B 01.03.2011				Ergebnis Modellbasierte Diagnose				Auswertung					
Füllerstörung		Manuelle Abnahme		Füllersymptom			Diagnose						
Beginn	Ende	Schuldiges Aggregat	Beschreibung	Beginn	Ende	Symptom	Schuldiges Aggregat	E	M	S	C	nC	k
				13:37:55	13:43:53	Stopzustand	Füller	1			1		
13:44:12	13:46:15	Füller	Anfahren										
13:49:09	13:49:39	Füller	Störung Leitfähigkeit CO2 am Mixer	13:49:18	13:49:45	Vorbereitet	Füller	1			1		
14:09:45	14:10:12	Auspacker	Füller steht, da Einpacker keine Kästen mehr bekommt (zuvor wurden zuviele Leere entnommen)	14:09:48	14:09:54	Vorbereitet	Füller	1			1		
				14:10:00	14:10:15	Stau im Auslauf	Vorgeschalteter Prozess			1		1	1
14:10:33	14:11:36	Auspacker	Folgestörung, da Kastenpuffer zum Einpacker leergefahren										
14:11:42	14:11:51	Auspacker	Folgestörung										
14:12:00	14:12:27	Auspacker	Folgestörung										
14:12:36	14:12:51	Auspacker	Folgestörung										
14:13:48	14:14:27	Auspacker	Folgestörung										
14:14:45	14:19:18	Auspacker	Folgestörung										
14:19:27	14:19:57	Einpacker	Rückstau vom Einpacker, da zu wenige Kästen im System vorhanden										
14:20:42	14:20:48	Einpacker	Folgestörung										
14:21:24	14:21:30	Einpacker	Folgestörung										
14:21:48	14:22:39	Füller	Fehlende Schraubverschlüsse	14:21:54	14:22:43	Not-Aus	Füller	1			1		
14:25:09	14:25:12	Einpacker	Flasche im Einlauf										

Abnahmedaten Anlage B 01.03.2011				Ergebnis Modellbasierte Diagnose				Auswertung					
Füllerstörung		Manuelle Abnahme		Füllersymptom			Diagnose						
Beginn	Ende	Schuldiges Aggregat	Beschreibung	Beginn	Ende	Symptom	Schuldiges Aggregat	E	M	S	C	nC	k
			umgefallen										
14:25:24	14:29:39	Pallettierer	Kasten ist in Palettierung gefallen	14:27:13	14:28:02	Stau im Auslauf	Nachgeschalteter Prozess			1	1		1
				14:28:13	14:28:47	Not-Aus	Füller	1			1		
14:41:42	14:47:48	Abschrauber	Fehler im Sniffer (Rückstau beim Fülleraggregat angezeigt, da Fehler am Einpacker)	14:42:44	14:42:55	Vorbereitet	Füller	1			1		
				14:43:45	14:43:50	Prepared	Füller	1			1		
				14:43:50	14:46:54	Stau im Auslauf	Einpacker			1	1		1
14:48:00	14:48:06	Einpacker	Folgestörung										
14:48:24	14:48:48	Einpacker	Anlauf	14:48:31	14:48:53	Vorbereitet	Füller	1			1		
14:54:27	14:54:39	Füller	Schraubkappen verdreht	14:54:35	14:54:45	Not-Aus	Füller	1			1		
14:56:24	14:56:57	Füller	Schraubverschlüsse blockieren	14:56:34	14:56:39	Not-Aus	Füller	1			1		
				14:56:44	14:57:01	Stopzustand	Füller	1			1		
14:59:27	15:00:12	Füller	Störung Leitfähigkeit CO2 am Mixer	14:59:36	15:00:09	Vorbereitet	Füller	1			1		
15:03:03	15:03:33	Füller	nicht ganz sicher letzte Meldung Behältersperre wegen Behältertransport	15:03:07	15:03:34	Not-Aus	Füller	1			1		
15:06:00	15:06:18	Füller	Testflasche	15:06:06	15:06:22	Stopzustand	Füller	1			1		
15:29:36	15:29:48	Füller	Schraubkappen verdreht	15:29:46	15:29:52	Not-Aus	Füller	1			1		
15:30:27	15:31:24	Füller	Produktmangel Mixer	15:30:35	15:31:29	Vorbereitet	Füller	1			1		
15:43:00	16:00:21	Füller	Chargenwechsel	15:44:33	15:45:16	Stopzustand	Füller	1			1		

Abnahmedaten Anlage B 01.03.2011				Ergebnis Modellbasierte Diagnose				Auswertung					
Füllerstörung		Manuelle Abnahme		Füllersymptom			Diagnose						
Beginn	Ende	Schuldiges Aggregat	Beschreibung	Beginn	Ende	Symptom	Schuldiges Aggregat	E	M	S	C	nC	k
				15:47:10	15:58:17	Stopzustand	Füller	1			1		
				15:58:17	16:00:28	Not-Aus	Füller	1			1		
16:00:54	16:02:00	Füller	Anfahren	16:01:05	16:02:03	Not-Aus	Füller	1			1		
								32	1	7	39	1	8

II) Versuch 2.03.2011

Abnahmedaten Anlage B 02.03.2011				Ergebnis Modellbasierte Diagnose				Auswertung					
Füllerstörung		Manuelle Abnahme		Füllersymptom			Diagnose						
Beginn	Ende	Schuldiges Aggregat	Beschreibung	Beginn	Ende	Symptom	Schuldiges Aggregat	E	M	S	C	nC	k
7:03:03	7:10:32	Auspacker	verdrehter Kasten	7:04:36	7:04:46	Prepared	Füller-Block	1			1		
				7:04:46	7:05:19	Mangel am Einlauf	Auspacker		1		1		
8:00:15	8:19:07	Pallettierer		8:00:54	8:01:58	Stau im Auslauf	Nachgeschalteter Prozess			1	1		1
				8:03:36	8:03:46	Prepared	Füller-Block	1			1		
				8:04:25	8:04:31	Prepared	Füller-Block	1			1		
				8:04:31	8:04:31	Stau im Auslauf	Einpacker			1		1	1
				8:07:22	8:19:01	Not-Aus	Füller-Block	1			1		
				8:19:01	8:19:11								
15:05:12	15:05:51	Füller	einfahren	15:05:28	15:06:00	Not-Aus	Füller-Block	1			1		
15:06:00	15:06:15	Füller	Anfahrprobleme	15:06:16	15:06:22	Not-Aus	Füller-Block	1			1		
					0:00:00								
15:06:33	15:07:12	Füller	Anfahrprobleme	15:06:49	15:07:22	Not-Aus	Füller-Block	1			1		
15:07:36	15:08:06	Füller	Anfahrprobleme	15:07:43	15:08:15	Prepared	Füller-Block	1			1		

Abnahmedaten Anlage B 02.03.2011				Ergebnis Modellbasierte Diagnose				Auswertung					
Füllerstörung		Manuelle Abnahme		Füllersymptom			Diagnose						
Beginn	Ende	Schuldiges Aggregat	Beschreibung	Beginn	Ende	Symptom	Schuldiges Aggregat	E	M	S	C	nC	k
15:19:51	15:40:51	Pallettierer	Reperaturarbeiten	15:20:09	15:20:57	Stau im Auslauf	Nachgeschalteter Prozess			1	1		1
				15:20:57	15:40:35	stopped	Füller-Block	1			1		
16:07:51	16:08:33	Einpacker	Zu wenig Kisten im System(Falschenstau am Auspacker)	16:08:07	16:08:24	Stau im Auslauf	CT1			1	1		1
								9	1	4	13	1	4

III) Versuch 3.03.2011

Abnahmedaten Anlage B 03.03.2011				Ergebnis Modellbasierte Diagnose				Auswertung					
Füllerstörung		Manuelle Abnahme		Füllersymptom			Diagnose						
Beginn	Ende	Schuldiges Aggregat	Beschreibung	Beginn	Ende	Symptom	Schuldiges Aggregat	E	M	S	C	nC	k
7:39:01	7:40:05	Leerflascheninspekt or		7:39:10	7:40:14	Vorbereitet	Füller-Block	1			1		
7:44:05	7:44:29	Füller	Schraubverschlüsse verklemmt	7:44:14	7:44:35	Not-Aus	Füller-Block	1			1		
7:45:14	7:46:05	Füller	Schraubverschlüsse verdreht	7:45:24	7:45:41	Not-Aus	Füller-Block	1			1		
7:57:41	8:00:29	Füller	Füllhöhenkontrolle ausgefallen	7:57:49	8:00:36	Not-Aus	Füller-Block	1			1		
8:34:38	8:34:44	FT 4	Sensortest am Füller für Pufferkapazitäten										

Abnahmedaten Anlage B 03.03.2011				Ergebnis Modellbasierte Diagnose				Auswertung					
Füllerstörung		Manuelle Abnahme		Füllersymptom			Diagnose						
Beginn	Ende	Schuldiges Aggregat	Beschreibung	Beginn	Ende	Symptom	Schuldiges Aggregat	E	M	S	C	nC	k
8:35:38	8:35:50	FT 4	Sensortest am Füller für Pufferkapazitäten										
8:37:17	8:37:32	FT 4	Sensortest am Füller für Pufferkapazitäten										
8:37:38	8:38:05	FT 4	Schraubkappen verdreht	8:37:50	8:38:12	Not-Aus	Füller-Block	1			1		
8:39:53	8:40:02	FT 4	Sensortest										
8:44:53	8:45:17	FT 4	Sensortest	8:45:06	8:45:11	Mangel am Einlauf	BT3		1		1		1
				8:45:11	8:45:28	Vorbereitet	Füller-Block	1			1		
8:48:17	8:48:29	FT 4	Sensortest										
8:49:11	8:49:17	FT 4	Sensortest										
8:50:50	8:52:11	Leerflascheninspekt or	Verstopft durch Flaschen	8:50:57	8:52:19	Vorbereitet	Füller-Block	1			1		
9:02:50	9:03:35	Einpacker		9:03:06	9:03:39	Stau im Auslauf	Nachgeschalteter Prozess			1		1	1
9:03:41	9:04:56	Leerflascheninspekt or	Umgekippte Flaschen	9:04:05	9:05:04	Vorbereitet	Füller-Block	1			1		
9:16:56	9:17:59	Füller	Wasserdruckmangel	9:17:07	9:17:28	Not-Aus	Füller-Block	1			1		
				9:17:34	9:17:39	Not-Aus	Füller-Block	1			1		
				9:17:45	9:18:11	Not-Aus	Füller-Block	1			1		
9:44:23	9:45:08	Einpacker	Umgekippte Flaschen	9:44:50	9:45:11	Stau im Auslauf	BT6			1	1		1
				9:44:40	9:44:50	Vorbereitet	Füller-Block	1			1		
9:45:14	9:45:41	Einpacker	Folgestörung										
9:45:47	9:46:11	Einpacker	Folgestörung										
9:46:20	9:46:29	Einpacker	Folgestörung										
9:50:59	9:54:50	Einpacker	Beim Einlauf Probleme	9:51:12	9:52:13	Stau im Auslauf	BT6			1	1		1

Abnahmedaten Anlage B 03.03.2011				Ergebnis Modellbasierte Diagnose				Auswertung					
Füllerstörung		Manuelle Abnahme		Füllersymptom			Diagnose						
Beginn	Ende	Schuldiges Aggregat	Beschreibung	Beginn	Ende	Symptom	Schuldiges Aggregat	E	M	S	C	nC	k
				9:52:35	9:52:46	Vorbereitet	Füller-Block	1			1		
				9:52:46	9:53:45	Stau im Auslauf	BT6			1	1		1
9:54:56	9:55:26	Einpacker	Folgestörung durch Rückstau		0:00:00								
9:56:32	9:57:35	Füller	Schraubkappen verdreht	9:56:38	9:57:38	Not-Aus	Füller-Block	1			1		
9:59:20	9:59:50	Füller	Schraubkappen verdreht	9:59:31	9:59:58	Not-Aus	Füller-Block	1			1		
10:02:05	10:05:48	Füller	Chargenwechsel	10:02:12	10:02:40	Not-Aus	Füller-Block	1			1		
				10:05:37	10:10:37	Stopzustand	Füller-Block	1			1		
10:20:41	10:23:38	Etikettiermaschine	Etikette hängengeblieben	10:20:57	10:22:45	Stau im Auslauf	Etikettiermaschine			1	1		1
10:23:44	10:23:56	Etikettiermaschine	s.o.										
10:24:02	10:24:08	Etikettiermaschine	s.o.										
10:24:20	10:24:23	Etikettiermaschine	s.o.										
10:24:56	10:25:05	Etikettiermaschine	s.o.										
10:25:53	10:25:59	Etikettiermaschine	Läuft zur Zeit langsamer als Füller										
10:34:02	10:40:47	Etikettiermaschine	Probleme mit Etiketteneinzug	10:34:15	10:37:38	Stau im Auslauf	Etikettiermaschine			1	1		1
10:40:53	10:41:05	Etikettiermaschine	s.o.										
10:42:59	10:43:02	Etikettiermaschine	s.o.										
10:47:26	10:50:59	Pallettierer	Kaputte Palette führte zu Palettenmangel und Rückstau	10:47:39	10:49:06	Stau im Auslauf	Nachgeschalteter Prozess			1	1		1
				10:50:22	10:51:04	Vorbereitet	Füller-Block	1			1		

Abnahmedaten Anlage B 03.03.2011				Ergebnis Modellbasierte Diagnose				Auswertung					
Füllerstörung		Manuelle Abnahme		Füllersymptom			Diagnose						
Beginn	Ende	Schuldiges Aggregat	Beschreibung	Beginn	Ende	Symptom	Schuldiges Aggregat	E	M	S	C	nC	k
				11:16:15	11:17:31	Vorbereitet	Füller-Block						
				11:31:46	11:31:57	Vorbereitet	Füller-Block						
				11:31:57	11:32:07	Mangel am Einlauf	Sniffer-Block						
				11:32:46	11:33:13	Mangel am Einlauf	Reinigungsma- schin e						
				11:32:07	11:32:13	Vorbereitet	Füller-Block						
				11:32:36	11:32:46	Vorbereitet	Füller-Block						
				11:33:50	11:34:01	Vorbereitet	Füller-Block						
				11:43:01	11:43:38	Not-Aus	Füller-Block						
				11:48:18	11:49:07	Not-Aus	Füller-Block						
11:52:06	11:52:45	Leerflascheninspekt or	Verklebung Auslauf	11:51:27	11:52:27	Vorbereitet	Füller-Block	1			1		
				11:52:27	11:52:55	Stopzustand	Füller-Block	1			1		
12:18:15	12:18:54	Füller	Verschlüsse verdreht	12:18:23	12:19:01	Not-Aus	Füller-Block	1			1		
12:28:24	12:32:48	Füller	Zufuhr Schraubverschlüsse	12:28:33	12:29:50	Not-Aus	Füller-Block	1			1		
				12:29:54	12:32:59	Not-Aus	Füller-Block	1			1		
12:34:30	12:35:00	Füller	Schraubverschlüsse	12:34:34	12:35:07	Vorbereitet	Füller-Block	1			1		
12:44:30	12:46:42	Füller	mangel an verschlüssen: Meldung: Schraubverschließer Mangel Rinne	12:44:39	12:46:48	Not-Aus	Füller-Block	1			1		
12:59:35	13:00:54	Füller	Schichtwechsel	12:59:42	13:00:58	Stopzustand	Füller-Block	1			1		
								26	1	7	33	1	8

iii) Anlage C

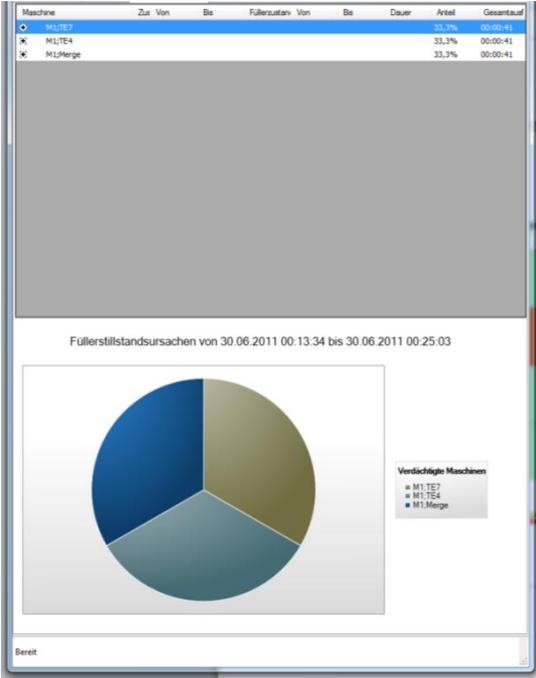
I) Versuch 12.07.2011

Abnahmedaten Anlage C 12.07.2011				Ergebnis Modellbasierte Diagnose				Auswertung					
Füllerstörung		Manuelle Abnahme		Füllersymptom			Diagnose						
Beginn	Ende	Schuldiges Aggregat	Beschreibung	Beginn	Ende	Symptom	Schuldiges Aggregat	E	M	S	C	nC	k
10:48:25	10:50:45	Etikettiermaschine	Manuell angehalten	10:48:29	10:50:48	Stau	Etikettiermaschine			1	1		1
13:34:21	13:35:47	Etikettiermaschine	Manuell angehalten	13:34:25	13:35:43	Stau	Etikettiermaschine			1	1		1
10:57:14	11:01:17	Einpacker	Manuell angehalten	10:57:10	11:01:13	Stau	Einpacker			1	1		1
13:36:59	13:40:08	Einpacker	Manuell angehalten	13:36:51	13:36:51	Stau	Einpacker			1	1		1
11:05:44	11:10:20	Belader	Manuell angehalten	11:05:35	11:10:21	Stau	Belader			1	1		1
13:44:07	13:54:40	Belader	Manuell angehalten	13:44:05	13:48:22	Stau	Belader			1	1		1
11:19:28	11:24:00	Reinigungsmaschine	Manuell angehalten	11:19:28	11:23:39	Mangel	Reinigungsmaschine		1		1		1
14:14:40	14:17:33	Reinigungsmaschine	Manuell angehalten			Stau	nicht eindeutig		1			1	
11:27:15	11:33:27	Auspacker	Manuell angehalten	11:27:13	11:33:35	Stau	Auspacker			1	1		1
14:35:40	14:42:03	Auspacker	Manuell angehalten	14:35:40	14:41:59	Stau	Auspacker			1	1		1
12:17:00	12:21:10	Gebindereiniger	Manuell angehalten	12:16:34	12:16:54	Stau	Gebindereiniger			1	1		1
14:48:10	14:53:00	Gebindereiniger	Manuell angehalten	14:52:36	14:56:22	Stau	BT4			1		1	1
12:28:54	12:45:13	Entlader	Manuell	12:28:54	12:45:15	Stau	Entlader			1	1		1

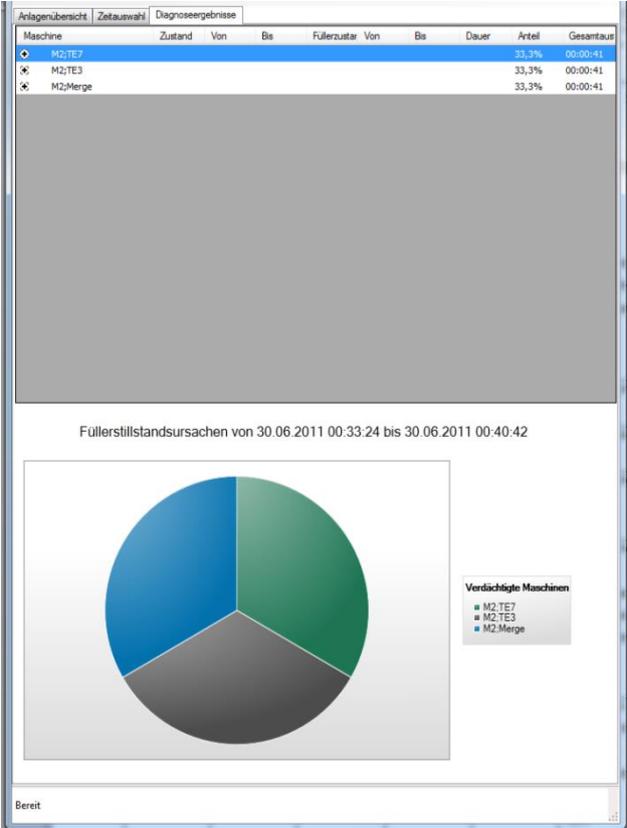
Abnahmedaten Anlage C 12.07.2011				Ergebnis Modellbasierte Diagnose				Auswertung					
Füllerstörung		Manuelle Abnahme		Füllersymptom			Diagnose						
Beginn	Ende	Schuldiges Aggregat	Beschreibung	Beginn	Ende	Symptom	Schuldiges Aggregat	E	M	S	C	nC	k
			angehalten										
15:03:55	15:23:10	Entlader	Manuell angehalten	15:03:55	15:23:35	Mangel	Entlader		1		1		1
									3	11	12	2	13

Anhang F Ergebnisse Modellerweiterung Split/Merge

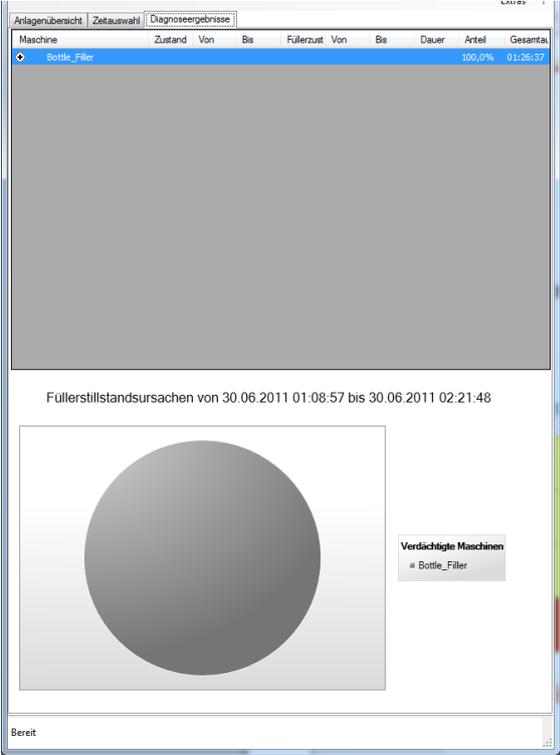
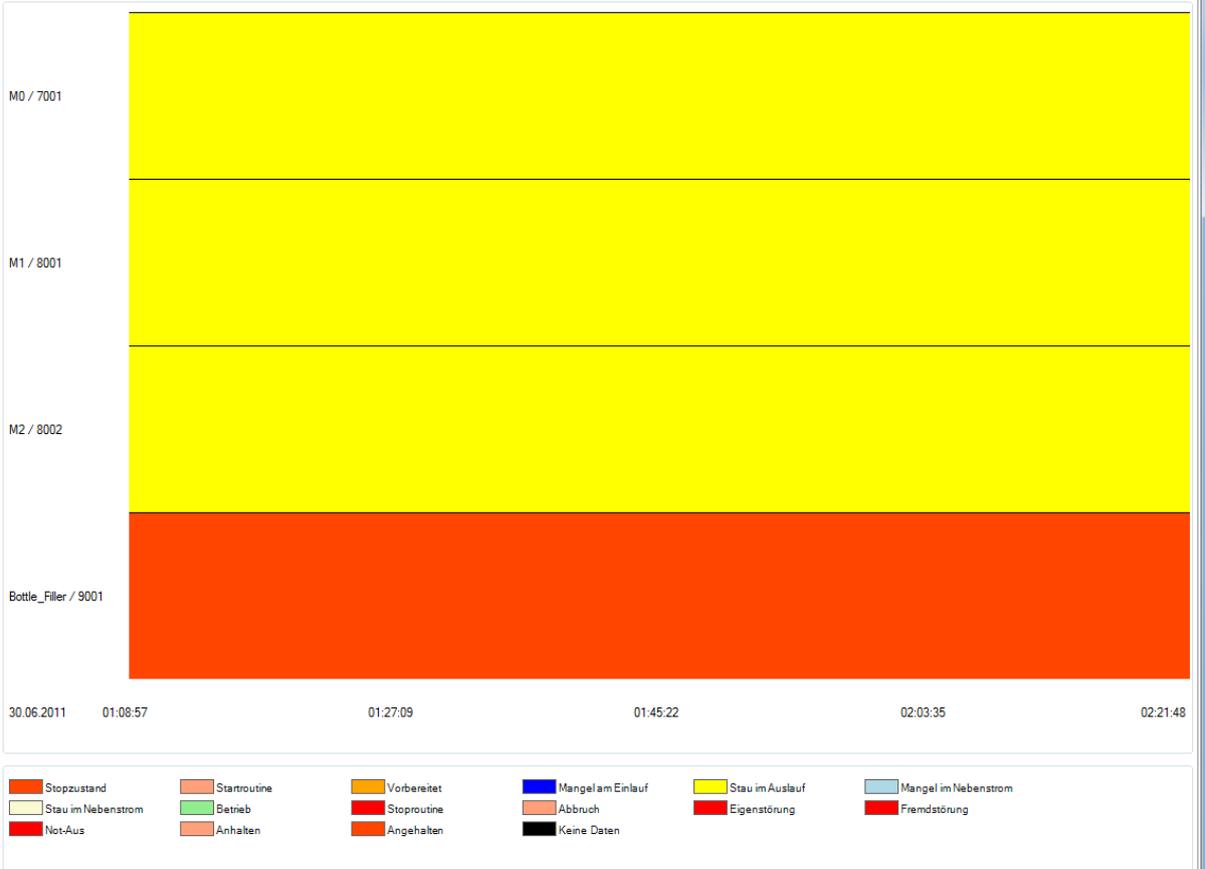
i) Szenario 1



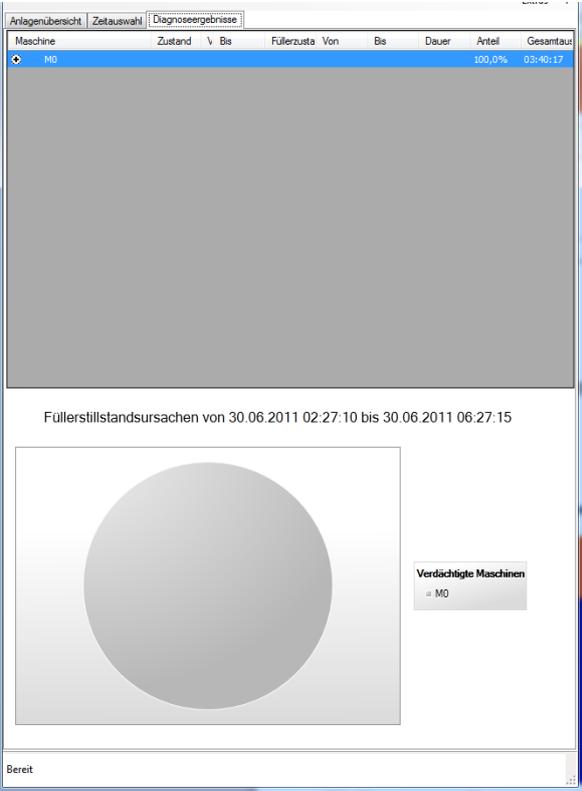
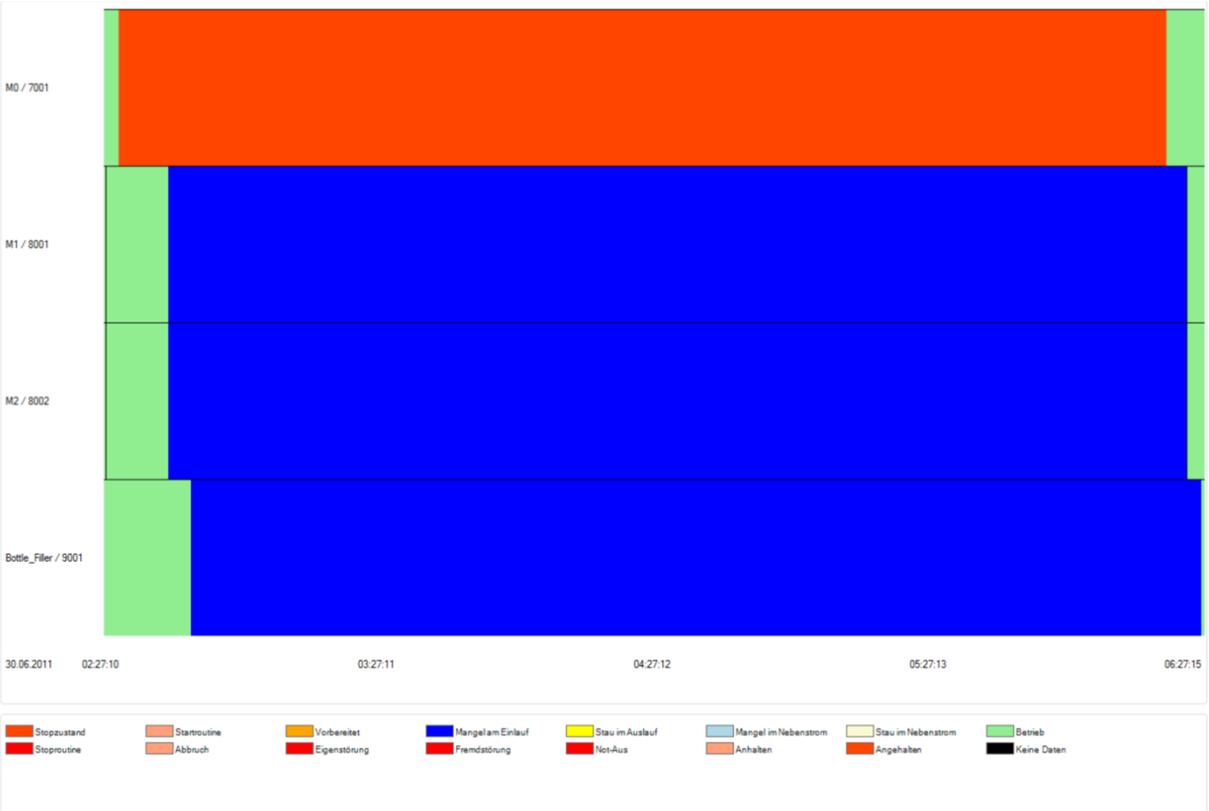
ii) Szenario 2



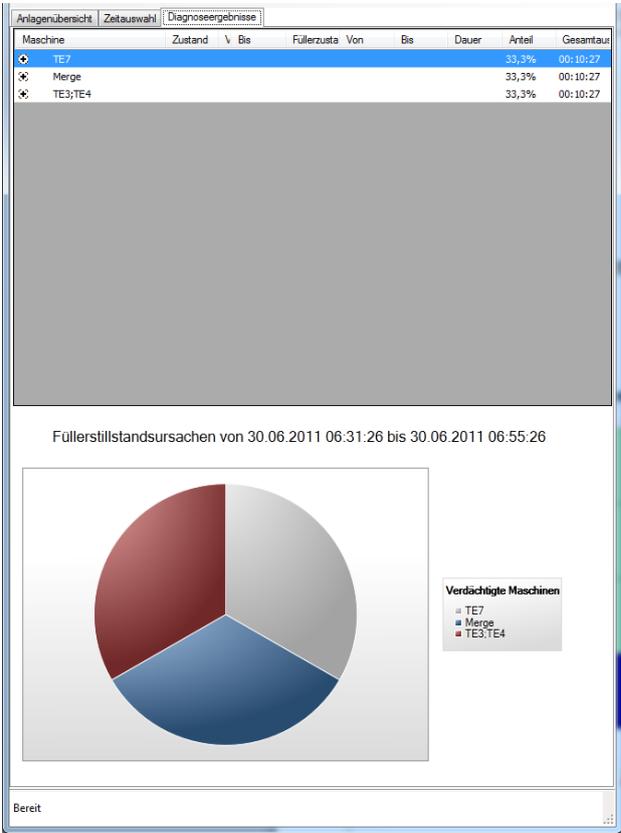
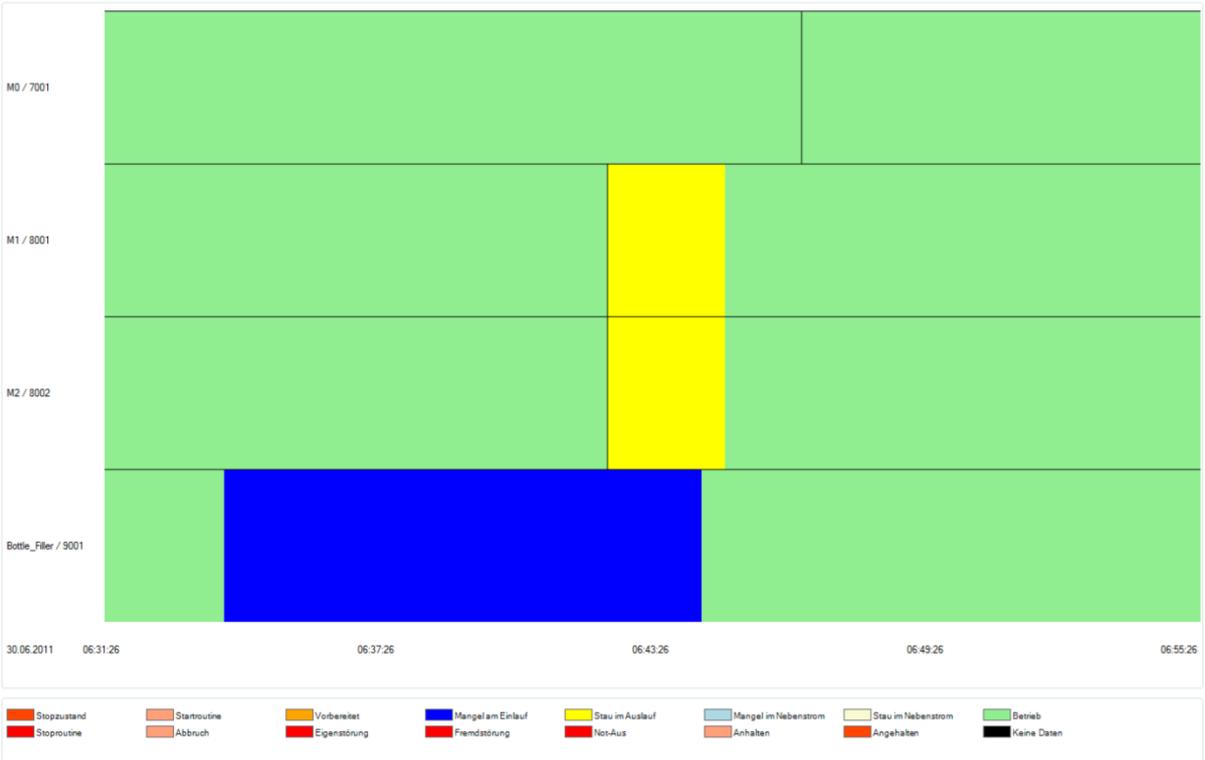
iii) Szenario 3



iv) Szenario 4



v) Szenario 5



1

vi) Szenario 6

