

Lehrstuhl für Brauereianlagen und Lebensmittel-Verpackungstechnik

**Neue Methoden für den Einsatz der
Informationstechnologie bei Getränkeabfüllanlagen**

Tobias Voigt

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: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Roland Meyer-Pittroff

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Horst Weisser, i. R.
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Antonio Delgado
3. Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Horst Goldhahn,
Technische Universität Dresden

Die Dissertation wurde am 18. März 2004 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 08. Juli 2004 angenommen.

Vorwort

Diese Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Brauereianlagen und Lebensmittel-Verpackungstechnik der Fakultät für Brauwesen, Lebensmitteltechnologie und Milchwissenschaft (später Wissenschaftszentrum Weihenstephan) in Freising/Weihenstephan. An erster Stelle möchte ich mich bei meinem Doktorvater, Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Horst Weisser für die Überlassung der interessanten Aufgabenstellung bedanken. Er unterstützte mich in meiner Arbeit engagiert, hatte stets ein offenes Ohr für Fragen und war jederzeit zur fachlichen Diskussion bereit. Besonders bin ich Herrn Prof. Weisser für das Schaffen angenehmer Arbeitsbedingungen zu Dank verpflichtet, die mir die notwendigen Freiheiten für das Entfalten eines persönlichen Arbeitsstils ließen und eigenverantwortliches Arbeiten förderten.

Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Antonius Delgado (Lehrstuhl für Fluidmechanik und Prozessautomation) und Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Horst Goldhahn von der Technische Universität Dresden (Professur Verarbeitungsmaschinen und Verarbeitungstechnik im Institut für Verarbeitungsmaschinen, Landmaschinen und Verarbeitungstechnik) danke ich für die Übernahme der Korreferate, ihre konstruktiven Hinweise und für ihre Zeit, die sie in die Korrektur meiner Arbeit investierten. Besonders möchte ich auch bei Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Roland Meyer-Pittroff bedanken, der den Vorsitz der Prüfungskommission übernahm und für einen sehr angenehmen Prüfungsverlauf sorgte.

Meinen Kollegen am Lehrstuhl und in der Fakultät möchte ich für die kooperative Zusammenarbeit und das freundschaftliche Verhältnis danken. Besonders möchte Herrn Dr.-Ing. Thomas Rädler hervorheben, der mich zu Beginn meiner Arbeiten umfassend in die Thematik einführte und der mir auch nach seinem Ausscheiden am Lehrstuhl immer mit Rat und Tat zur Seite stand. Explizit möchte ich auch bei Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Heinrich Vogelpohl für die kritische Durchsicht meiner ersten Niederschrift sowie bei meinen Kollegen Ing. Rudolf Grabrucker, Dr.-Ing. Kajetan Müller und Birgit Piechotta für die Unterstützung in fachlichen und organisatorischen Fragen bedanken. Meinen vielen Diplom- und Semesterarbeitern sowie wissenschaftlichen Hilfskräften, die durch ihr Engagement wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beitrugen, danke ich an dieser Stelle gemeinsam.

Den bei Pilotanwendungen und im Industriebewertungskreis „Standards für die Datenerfassung bei Abfüllanlagen“ beteiligten Unternehmen (vgl. Anhang I) danke ich für ihre Unterstützung und ihre wichtigen Beiträge aus der Praxis. Der Wissenschaftsförderung der Deutschen Brauwirtschaft e.V. gebührt Dank für die finanzielle Unterstützung der in diese Arbeit einfließenden Forschungsprojekte (B 66, B 78 und R 364).

Nicht zuletzt gilt der Dank meinen Eltern, die mir durch ihre finanzielle Unterstützung ein sorgenfreies Studium und somit die Voraussetzungen für das Entstehen dieser Arbeit ermöglichten.

Weihenstephan, im Juli 2004

Tobias Voigt

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Aufgabenstellung und Gliederung der Arbeit	3
2	GETRÄNKEABFÜLLANLAGEN	5
2.1	Verkettete Fertigungslinien störanfälliger Maschinen	5
2.2	Modellieren von Abfüllanlagen.....	7
2.2.1	Analytische Modelle	8
2.2.2	Ereignisdiskrete Simulation	9
2.2.3	Stochastische Grundlagen.....	10
2.3	Eigenschaften von Getränkeabfüllanlagen.....	13
2.3.1	Aufbau von Abfüllanlagen.....	13
2.3.2	Referenzanlage.....	15
2.3.3	Herkömmliche Maschinenauslegung	19
3	GRUNDLAGEN AUS INFORMATIONSTECHNIK UND -TECHNOLOGIE	21
3.1	Informationsorientierte Leittechnik.....	21
3.2	Einsatz künstlicher neuronale Netze.....	25
3.2.1	Knowledge Discovery in Databases.....	25
3.2.2	Neuronale Netzwerke in der Natur.....	26
3.2.3	Arbeitsweise	27
3.2.4	Backpropagation-Lernregel.....	30
3.3	Unschärfe Regelung (Fuzzy Control).....	33
3.3.1	Wichtige Begriffe der Fuzzy-Logik.....	33
3.3.2	Operationen mit unscharfen Mengen.....	36
3.3.3	Unschärfe Regelung – Fuzzy Control.....	38
4	ERFASSEN UND NUTZEN VON BETRIEBSDATEN	42
4.1	Informationsbedarf bei der Getränkeabfüllung	42
4.1.1	Umfrage bei Abfüllbetrieben.....	42
4.1.2	Implementieren eines Datenerfassungssystems für eine mittelständische Brauerei.....	50
4.2	Standardvorgaben für die informationstechnische Integration von Getränkeabfüllanlagen.....	52
4.2.1	Technische Realisierung der Datenübertragung.....	52
4.2.2	Inhaltliche Definition einer Standardschnittstelle.....	53
4.2.3	Herkömmliche Auswertewerkzeuge	60
4.2.4	Technisches Berichtswesen	62
4.3	Störverhalten von Maschinen.....	63
4.3.1	Stochastisches Auftreten von Maschinenstörungen	63
4.3.2	Abhängigkeit des Störverhaltens gekoppelter Maschinen	68

4.4	Schwachstellenanalyse mit Hilfe künstlicher neuronaler Netze	71
4.4.1	Vorgehensweise.....	72
4.4.2	Training des künstlichen neuronalen Netzwerks.....	74
4.4.3	Ergebnisse	76
5	ÜBERGEORDNETE REGELUNG VON GETRÄNKEABFÜLLANLAGEN	77
5.1	Stand der Technik.....	77
5.2	Kontinuierliche übergeordnete Anlagenregelung.....	81
5.2.1	Kontinuierliche Regelung der Transporteure	81
5.2.2	Unschärfe Regelung der Maschinenausbringungen.....	84
5.3	Simulationsstudien.....	86
5.3.1	Bausteinentwicklung für die Simulation von Getränkeabfüllanlagen auf Basis von eM-Plant.....	86
5.3.2	Validieren der Simulationsbausteine anhand einer realen Abfüllanlage.....	90
5.3.3	Ergebnisse der Simulationsstudien mit dem Modell der Referenzanlage.....	93
6	DISKUSSION DER ERGEBNISSE UND AUSBLICK	100
6.1	Spezifizierte Lieferbedingungen für die informationstechnische Vorbereitung von Maschinen.....	100
6.2	Störverhalten einzelner Maschinen	102
6.3	Wissensbasierte Schwachstellenanalyse bei Gesamtanlagen	104
6.4	Übergeordnetes Leiten von Getränkeabfüllanlagen.....	106
6.5	Gesamtkonzept eines Leitstandes für Getränkeabfüllanlagen	107
7	ZUSAMMENFASSUNG.....	109
	Literaturverzeichnis	114
	ANHANG	119
	ANHANG A. FRAGEBOGEN ZUR ERMITTLUNG DES DATENBEDARFS.....	120
	ANHANG B. DATENERFASSUNGSSYSTEM WEIHENSTEPHANER STAATSBRAUEREI.....	125
	Chargenplanung	125
	Online-Werkzeug.....	125
	Dokumentieren von Füllerstillständen und Nebenzeiten.....	126
	Online-Betrachtung von Mess- und Zählwerten	128
	Berichtswesen	128
	ANHANG C. STANDARDMÄßIG EMPFOHLENE DATENPUNKTE	129
	ANHANG D. BEISPIELBERICHTE FÜR DAS TECHNISCHE ABFÜLLBERICHTSWESEN	133
	ANHANG E. AUSWERTUNG DER BETRIEBS- UND STÖRDATEN DER MEHRWEGLINIE FÜR BÜGELVERSCHLUSSFLASCHEN (ANLAGE F).....	142

Empirische Verteilungen der Betriebs- und Stördauern aller Aggregate	142
Allgemeine Gleichungen zu Verteilungsdichte und Summenverteilung der negativen Exponential- und Weibullverteilung (verallgemeinerte Exponentialverteilung) und deren Mittelwerte	152
Rohdaten für die Ermittlung mittlerer MTBF und MDT-Werte von Maschinen in Abfüllanlagen:.....	153
ANHANG F. DATENAUSWERTUNG ZUM STOP AND GO EFFEKT	154
Ergebnisdiagramme der Zeitfensteranalyse für kontinuierlich arbeitende Maschinen aus Anlage F	154
Ergebnisdiagramme der Zeitfensteranalyse für diskontinuierlich arbeitende Maschinen aus Anlage F	156
Ergebnisse der Zeitfensteranalyse für das Blockaggragat aus Füll-, Verschleiß- und Ausstattungsmaschine (aus Anlage G).....	159
ANHANG G. DOKUMENTATION DES FUZZY-CONTROLLERS ZUR REGELUNG VON MASCHINENAUSBRINGUNGEN	162
Abkürzungen.....	162
Eckdaten des Fuzzy-Controllers	162
Definition der linguistischen Variablen	162
Regelblöcke	172
ANHANG H. ERGEBNISSE DER VERGLEICHENDEN SIMULATIONSVERSUCHE	176
ANHANG I. FIRMENADRESSEN.....	180
Lieferanten verwendeter Entwicklungssoftware.....	180
Im Industrieranwenderkreis „Standards für die Datenerfassung bei Abfüllanlagen“ beteiligte Unternehmen	180
ANHANG J. LEBENSLAUF DES VERFASSERS.....	181

Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole

(M)DT	(Mean) down time
(M)TBF	(Mean) time between failures
BDE	Betriebsdatenerfassung
CAF	Cold Aseptic Filling
CIP	Cleaning in Place
GA	Genetischer Algorithmus
KDD	Knowledge discovery in databases
KNN	Künstliches neuronales Netzwerk
PC	Personal computer
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
γ	linearer Faktor des Stop and Go Effekts [s/ Stop and Go/h]
B	Breite der Massentransportabschnitte einer Pufferstrecke [m]
b_s	Breite des Flaschenstroms
d	Behälterdurchmesser [m]
f	Pufferfüllungsgrad
L	Gesamtlänge über die Massentransportabschnitte einer Pufferstrecke [m]
MT_i	Massentransportabschnitt i
Q	aktuelle Ausbringung einer Maschine [Flaschen/h oder % der Nennausbringung des Zentralaggregats]
S_i	Stauschalter i
v_i	Kettengeschwindigkeit des Massentransportabschnitts i [m/s]
v_p	Pulkgeschwindigkeit [m/s]
$Z_{\text{Stopp and Go/h}}$	mittlere Zahl der Stop and Gos [1/h]

Abbildungsverzeichnis

Bild 1.1: Der Abfüllbereich als informationstechnische Insel im Getränkeabfüllbetrieb	2
Bild 2.1: Fertigungslinie mit k Fertigungsstationen n parallel angeordneter Maschinen M und $k+1$ Puffern B	5
Bild 2.2: Fertigungstechnisches Flussdiagramm der Referenzanlage.....	7
Bild 2.3: Einteilung der Modelltypen in den Ingenieurwissenschaften (in Anlehnung an [12], [53], [69]).....	7
Bild 2.4: Vorgehensweise bei einer Simulationsstudie [82].....	9
Bild 2.5: Sprung von Ereignis zu Ereignis bei der diskreten Ereignissimulation.....	10
Bild 2.6: Ablauf der ereignisdiskreten Simulation	10
Bild 2.7: Mehrweganlage für Glasflaschen in Arena-Aufstellung	14
Bild 2.8: Mehrweganlage für Glasflaschen in Kamm-Aufstellung.....	14
Bild 2.9: Mehrweganlage für Kunststoffflaschen in L-Form	15
Bild 2.10: Referenzanlage für die Entwicklung eines Leitsystems	15
Bild 2.11: Pufferstrecke aus Verteilung, drei Massentransportabschnitten und einer Zusammenführung	18
Bild 2.12: Ausbringungsabstufung der Referenzanlage nach Berg [8].....	20
Bild 3.1: Ebenenmodell der Prozessleittechnik in Anlehnung an [63]	21
Bild 3.2: Vertikale Integration SCADA-MES-ERP [68]	21
Bild 3.3: Architekturen von Datenerfassungssystemen	22
Bild 3.4: Teilschritte des KDD-Prozesses [56]	25
Bild 3.5: Netztopologie eines künstlichen neuronalen Netzwerkes zur Lösung des XOR-Problems	27
Bild 3.6: Architektur eines Multilayer Perceptron	27
Bild 3.7: Ergebnisraum eines zweischichtigen XOR-Netzwerkes.....	32
Bild 3.8: Die klassische Menge A im Venn-Diagramm	34
Bild 3.9: Die unscharfe Menge B im Venn-Diagramm.....	34
Bild 3.10: Darstellung der unscharfen Menge B (Zugehörigkeitsfunktion willkürlich gewählt)	34
Bild 3.11: Häufige Typen von Zugehörigkeitsfunktionen.....	35
Bild 3.12: Die linguistische Variable <i>dFüllungP3</i> („Abweichung vom Sollpufferfüllungsgrad“).....	35
Bild 3.13: A UND B mittels Minimumoperator	37
Bild 3.14: A UND B mittels Produktoperator.....	37
Bild 3.15: A UND B mittels $\max\{0; \mu_A(x) + \mu_B(x) - 1\}$	37
Bild 3.16: A ODER B mit Maximum-Operator.....	37
Bild 3.17: A ODER B mit $\mu_{A \text{ ODER } B} = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$	37
Bild 3.18: A ODER B mit $\mu_{A \text{ ODER } B} = \min\{1; \mu_A(x) + \mu_B(x)\}$	37
Bild 3.19: Negation von B	37
Bild 3.20: Fuzzifizierung der Eingangsgrößen.....	39
Bild 3.21: Auszug aus der Regelbasis.....	40
Bild 3.22: Defuzzifizierung nach der Center-of-Maximum-Methode	41
Bild 4.1: Statistische Auswertung der Stammdatenerfassung	42
Bild 4.2: Statistische Auswertung der Mengendatenerfassung	43
Bild 4.3: Statistische Auswertung der Qualitätsdatenerfassung	44
Bild 4.4: Statistische Auswertung der Verbrauchsdatenerfassung.....	45
Bild 4.5: Statistische Auswertung der Maschinendatenerfassung.....	45
Bild 4.6: Statistische Auswertung der Personaldatenerfassung.....	46
Bild 4.7: Statistische Auswertung der Stördatenerfassung	47
Bild 4.8: Statistische Auswertung der Zeitdatenerfassung	48
Bild 4.9: In Unternehmen der Getränkeindustrie verwendete Berichte	49
Bild 4.10: Übersicht über die Komponenten des Datenerfassungssystems der Bayerischen Staatsbrauerei Weihenstephan	51
Bild 4.11: Rangieren zu erfassender Daten im SPS-Programm (z. B. Simatic S5).....	52
Bild 4.12: Automatische Zeitenermittlung (nach DIN 8782).....	61
Bild 4.13: Wichtige Kenngrößen von Abfüllanlagen	61
Bild 4.14: Berichtsempfänger im Abfüllbetrieb.....	62

Bild 4.15: Berichtswesen auf Basis chargenbezogene Betriebsdaten	62
Bild 4.16: Empirische Verteilung der Betriebsdauern und nach den angenäherten stetigen Zuverlässigkeitsfunktionen zu erwartende Häufigkeiten.....	64
Bild 4.17: Empirische Verteilung der Stördauern mit den nach angenäherten stetigen Funktionen zu erwartenden Häufigkeiten.....	64
Bild 4.18: Verlauf der Ausfallrate fertigungstechnischer Maschinen bei einer Lebensdauer von etwa 10 Jahren (in Anlehnung an [58]).....	66
Bild 4.19: Zu erwartende Ergebnisse bei der Zeitfensteranalyse	69
Bild 4.20: Ergebnisdiagramm der Zeitfensteranalyse der Füllmaschine aus Anlage F.....	69
Bild 4.21: Typisches Ergebnisdiagramm der Zeitfensteranalyse beim Blockaggregat aus Füll-, Verschleiß- und Ausstattungsmaschine aus Anlage G	71
Bild 4.22: Darstellung der Betriebszustände mittels Gantt-Chart	72
Bild 4.23: Darstellung eines Staus am zentralen Aggregat im reduzierten Gantt-Chart	73
Bild 4.24: Trainingskurven eines künstlichen neuronalen Netzwerkes mit 2400 Eingangsknoten, 32 verdeckten Knoten und 3 Ausgangsknoten, über 10 Epochen mit unterschiedlichen Trainingsparametern.....	75
Bild 4.25: Trainingskurven der Testnetzwerke 2400/3, 2400/32/3 und 2400/6/6/3.....	75
Bild 5.1: Pufferstrecke mit konstanter Kettengeschwindigkeit vor dem Zentralaggregat	78
Bild 5.2: Pufferstrecke mit konstanter Kettengeschwindigkeit nach dem Zentralaggregat	79
Bild 5.3: Aufholen der Puffertotzeit bei konstanter Kettengeschwindigkeit	80
Bild 5.4: Stauschalteranordnung bei Stufenregelung	81
Bild 5.5: Kontinuierlich geregelter Behältertransport im ungestörten Fall.....	83
Bild 5.6: Schließen einer Lücke im Behälterstrom	83
Bild 5.7: Ungleiche Verteilung der Behälterdichte entlang des Puffers.....	84
Bild 5.8: Struktur des unscharfen Reglers der Maschinenausbringungen	85
Bild 5.9: Bildschirmabzug des Bausteins für die Einpackmaschine	87
Bild 5.10: Pufferstrecke aus drei Massentransportabschnitten mit jeweils sechs Flaschenreihen.....	89
Bild 5.11: Hierarchischer Aufbau vor Abfüllanlagenmodellen.....	89
Bild 5.12: Übersicht des Simulationsmodells der Anlage F.....	90
Bild 5.13: Veranschaulichung der realen Zeiträume für die Ermittlung der Validierungsparameter und der Simulationszeiträume	91
Bild 5.14: Vergleich der gemittelten Simulationsdaten zweier Reihen von Langzeitversuchen (jeweils $n = 4$) mit den aus allen auswertbaren Bezugsintervallen ermittelten realen Betriebsdaten.....	91
Bild 5.15: Vergleich der gemittelten Simulationsdaten mit den realen Betriebsdaten der betrachteten Abfüllintervalle A ($n = 15$) und B ($n = 10$).....	92
Bild 5.16: Bildschirmabzug des Computersimulationsmodells der Referenzanlage	93
Bild 5.17: Iterative Optimierung der Sollwerte für die Pufferfüllungsgrade	94
Bild 5.18: Optimierung mithilfe eines genetischen Algorithmus.....	95
Bild 5.19: Pufferfüllungsgrade in Abhängigkeit vom Einzelwirkungsgrad der Maschinen.....	96
Bild 5.20: Anteil der effektiven Füllerlaufzeit an der Betriebszeit und Anlageliefergrad nach DIN 8782.....	98
Bild 5.21: Anzahl der Stop and Gos/h, gemittelt über die gesamte Versuchsdauer	99
Bild 5.22: Einzelwirkungsgrade der Maschinen	99
Bild 6.1: Arbeitsweise des „Downtime Analysers“	104
Bild 6.2: Erzeugen von Trainingspatterns mit dem „Downtime Analyser“	104
Bild 6.3: Darstellung von stauverursachenden Linienschwachstellen im Pareto-Chart des „Downtime Analysers“	105
Bild 6.4: Das Leitsystem als Schnittstelle für die vertikale Integration des Abfüllbereichs	108

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1: Beispielhafte Fixkostenrechnung für eine Mehrwegabfüllanlage [30] [31] [55].....	1
Tabelle 3.1: Profibus und Ethernet [70].....	23
Tabelle 3.2: Ergebnistabelle der XOR-Funktion.....	27
Tabelle 3.3: Initialisierungsgewichte des XOR-Netzwerks.....	29
Tabelle 3.4: Initialisierung der Knotenschwellenwerte im XOR-Netzwerk.....	29
Tabelle 4.1: Struktur des Datenbereichs für eine Datenerfassungsschnittstelle.....	54
Tabelle 4.2: Beispiel für eine Zuordnungstabelle.....	55
Tabelle 4.3: Parameter der Weibull- und Exponentialverteilung bezüglich des Betriebs- und Störverhaltens der Maschinen von Anlage F.....	65
Tabelle 4.4: Mittlere Betriebs- (MTBF) und Stördauern (MDT) der Anlage F (Zeiten in s; N: Stichprobenumfang; η_E : Einzelwirkungsgrad).....	67
Tabelle 4.5: Zuverlässigkeitswerte von Maschinen in Abfüllanlagen	68
Tabelle 4.6: Parameter der Regressionsgeraden zur Zeitfensteranalyse bei Anlage F.....	70
Tabelle 4.7: Beispiel zum Kodieren von Datensätzen	74
Tabelle 4.8: Güte der Zuordnung der Netzwerke 2400/3, 2400/32/3 und 2400/6/6/3 (nach 12 bzw. 25 Epochen (25e))	76
Tabelle 5.1: Mittels genetischen Algorithmus optimierte Sollpufferfüllungsgrade	96
Tabelle 5.2: Parametereinstellungen bei den vergleichenden Simulationsversuchen	97
Tabelle 6.1: Ethernet-TCP/IP im OSI-Referenzmodell [41]	101
Tabelle 6.2: Mögliche Änderung des Einzelwirkungsgrades des Blockaggregats aus Anlage G nach linearer Näherung des Stop and Go Effekts	103
Tabelle 6.3: Ist- und Sollwerte der übergeordneten Anlagenregelung.....	107

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Abfüllen und Verpacken sind heute die kostenintensivsten Arbeitsschritte bei der Getränkeherstellung. Der wachsende Wettbewerbsdruck zwingt die Unternehmen dazu, nach weiteren Einsparmöglichkeiten in diesen Bereichen zu suchen. Neben den Kosten für die hohe Kapitalbindung und das Personal gilt es vor allem die Effizienz der Abfüllarbeit unter Berücksichtigung der gestiegenen Qualitätsanforderungen an die abgefüllten Produkte zu erhöhen.

Bisher erreichen jedoch auch große Unternehmen bei ihren Abfüllanlagen nur Ausnutzungsgrade von 55-75 % [22]. Welche Einsparungen durch eine Steigerung dieser Ausnutzungsgrade erreicht werden können, soll beispielhaft für eine einzelne Mehrwegabfüllanlage mit einer mittleren Ausbringung von 36 000 Flaschen pro Stunde verdeutlicht werden. Wie in Tabelle 1.1 ersichtlich, verursacht die betrachtete Anlage jährlich fixe Kosten in Höhe von etwa 3,7 Millionen Euro. Wird der zugrunde liegende Ausnutzungsgrad von 70% langfristig um nur 1% gesteigert, bedeutet dies jährliche Kosteneinsparungen von 1/70 dieser Summe, also etwa 50 Tausend Euro. Getränkeabfüllbetriebe und Brauereien besitzen meist mehrere Abfüllanlagen und haben somit ein entsprechend großes Interesse an Effizienzsteigerungen.

Um Optimierungen voranzutreiben, sind die Entscheidungsträger im Abfüllbereich jedoch auf zuverlässi-

Tabelle 1.1: Beispielhafte Fixkostenrechnung für eine Mehrwegabfüllanlage [30] [31] [55]

Jährliche Fixkostenberechnung für eine Mehrwegabfüllanlage	
Kalkulationszinssatz/ %	5
Anlagenausbringung/ Flaschen/h	36.000
Spitzenmonatsanteil/ %	10
Schichten/ Tag	3
Abeitsstunden/ Woche	38,5
Wochen/ Monat	4,2
Ausnutzungsgrad/ %	70
ergibt Flaschen/Jahr	122.245.200
Gebäudekosten	
Grundfläche/ m ²	2.400
Kosten/ m ²	1.400
Baukosten/ €	3.360.000
Abschreibungszeitraum/ Jahre	25
Annuität/ %	7,10
jährliche Abschreibungskosten/ €	238.400
jährliche Unterhaltskosten / % der Gestehungskosten	1,00
jährliche Unterhaltskosten/ €	33.600
jährliche Gebäudekosten/ €	272.000
Anlagenkosten	
Neuinvestition/ €	9.000.000
Abschreibungszeitraum/ Jahre	10,00
Annuität/ %	12,95
jährliche Abschreibungskosten/ €	1.165.541
jährliche Unterhaltskosten / % der Gestehungskosten	3,00
jährliche Unterhaltskosten/ €	270.000
Personalkosten Instandhaltung/ €	40.000
jährliche Anlagenkosten/ €	1.475.541
Verbrauchskosten	
Verbrauchskosten (Fixkostenanteil) bei gegebener Anlagengröße/ € /Flasche	0,0085
jährliche Verbrauchskosten (Fixkostenanteil)/ €	1.039.084
Personalkosten (Fixkostenanteil)	
Personalkosten/ €/Mannjahr	40.000
Anzahl Personal	22
jährliche Personalkosten/ €	880.000
jährliche Gesamtkosten (Fixkostenanteil)/ €	3.666.626
Einsparung bei 1% Ausnutzungsgraderhöhung/ €	52.380

ge Informationen angewiesen. Hierzu ist es vorteilhaft, die Daten mithilfe eines automatischen Datenerfassungssystems in Form von Meldungen, Zählwerten, Messwerten und Zeiten zu sammeln und zu archivieren. Die benötigten Informationen sind jedoch erst nach entsprechender Aufbereitung, Zuordnung und Verdichtung verfügbar. Hierzu dienen in modernen IT-Systemen die Visualisierung in Charts, Tabellen und Hitlisten sowie Kennzahlen und Berichte. Wissen über notwendige Optimierungsmaßnahmen kann der Verantwortliche durch das Verarbeiten dieser Informationen erlangen. Der Einsatz eines übergeordneten IT-Systems im Abfüllbereich kann darüber hinaus das Planen von Produktionsabläufen vereinfachen, die Vorgabe anzupassender Parameter der Anlage unterstützen sowie als Leitsystem Geschwindigkeiten von Maschinen und Fördereinrichtungen steuern bzw. regeln. In der dargestellten Weise werden die Möglichkeiten der modernen Informationstechnologie bisher jedoch nur von wenigen Abfüllbetrieben genutzt. Selbst die Datensammlung erfolgt häufig noch in Papierform [71].

Bild 1.1 veranschaulicht die informationstechnische Architektur von Unternehmen der Getränkebranche in Anlehnung an das Ebenenmodell der industriellen Leittechnik (vgl. 3.1). Während der prozesstechnische Bereich bereits häufig von seinen Steuerungen über Leitsysteme, Management-Execution-Systeme (MES), Labor-Informationssysteme (LIMS) und Produktionsplanungsprogramme (PP) bis hin zum ERP (Enterprise Resource Planning System wie z. B. SAP) vernetzt wurde, befinden sich Abfüllanlagen mit ihren Maschinensteuerungen in der Regel noch in der informationstechnischen Isolation.

Für die industrielle Bier- und Getränkeherstellung werden von zahlreichen Herstellern leistungsfähige Prozessleitsysteme angeboten. Für die gesamte chargenorientierte Fertigung sind hierbei Lösungen mit modularem Aufbau realisiert. Diese basieren auf etablierten Standardleitsystemen ([1], [28], [64], [74] und [76]). In diesen Abteilungen werden so die Möglichkeiten der modernen Prozessleittechnik effektiv genutzt. Anschauliche Prozessvisualisierungen und einfache, schnelle Eingriffsmöglichkeiten über bedienerfreundliche grafische Oberflächen tragen ebenso zu einem optimalen Betrieb der Produktionsanlagen bei, wie gute Diagnosewerkzeuge und eine rationelle Parameter- und Rezepturverwaltung. Auch der automatisierte Datenaustausch mit überlagerten Systemen der Management Execution Ebene wird zunehmend realisiert [50].

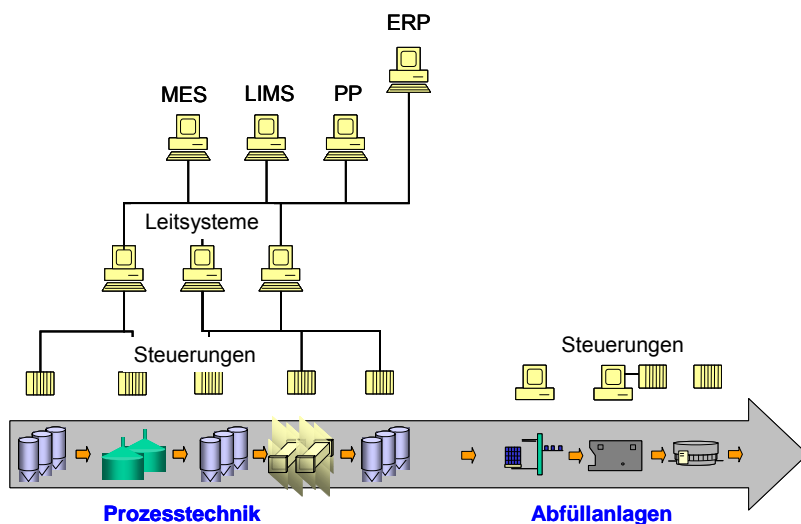


Bild 1.1: Der Abfüllbereich als informationstechnische Insel im Getränkeabfüllbetrieb

Leitsysteme für Abfüllanlagen sind in der Getränkebranche bisher nicht im Einsatz. Neben manueller Datenerfassung erfolgt die Steuerung von Abfülllinien überwiegend dezentral. Nur in wenigen neueren Anlagen

kommen individuell entwickelte Datenerfassungssysteme und so genannte übergeordnete Anlagenregelungen für Fördergeschwindigkeiten und Maschinenausbringungen zum Einsatz.

1.2 Aufgabenstellung und Gliederung der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist das Entwickeln von Verfahren und Werkzeugen für den Einsatz der Informationstechnologie in der Getränkeabfüllung.

Hierfür sind zunächst die Anforderungen von Getränkeabfüllbetrieben an IT-Systeme festzustellen. Um die kostengünstige Anbindung von Maschinensteuerungen zu ermöglichen, sind auf Basis dieses Bedarfs Standards für eine Schnittstelle zwischen den Steuerungen der Maschinen in Abfüllanlagen und dem überlagerten IT-System zu definieren. Hierdurch kann die Integration der bisherigen Insel Abfüllbereich in die IT-Welt eines Unternehmens ermöglicht werden.

Als erste Nutzungsmöglichkeit dieser Schnittstellen sollen Datenerfassungssysteme untersucht werden, die in Form von Individuallösungen in der Getränkeindustrie seit rund einem Jahrzehnt mit dem Ziel eingesetzt werden, die Genauigkeit und die Durchgängigkeit von Informationsflüssen sowie die Transparenz der Fertigung zu erhöhen ([5], [7], [80] und [92]). Hierbei sollen die heute bereits etablierten Möglichkeiten dieser Systeme aufgezeigt werden. Darüber hinaus sind zusätzlich Instrumente für die Informationsgewinnung aus erfassten Abfüllbetriebsdaten zu entwickeln. Deren Nutzen für die Branche ist zu untersuchen.

Die hohen Kosten sowie der große Engineeringaufwand und die schlechte Wartbarkeit der Spezialsysteme haben eine weite Verbreitung bisher verhindert. Um dem entgegen zu wirken, sind die wichtigsten Funktionen entsprechend dem Grundbedarf der Getränkebranche zusammenzufassen, um so Standardsysteme zu ermöglichen. Abschließend soll betrachtet werden, wie weit ein übergeordnetes IT-System im Abfüllbereich über die Datenerfassung hinaus zur Vorgabe von Parametern und Sollwerten an Maschinen genutzt werden kann und so die Funktionen eines echten Leitsystems übernehmen kann. Hierzu ist ein transparentes Konzept für die zentrale Steuerung und übergeordnete Ausbringungs- und Fördergeschwindigkeitsregelung von gesamten Abfüllanlagen zu erarbeiten und zu bewerten.

Eine Zielgröße bei der Entwicklung und Untersuchung der IT-Werkzeuge muss deren Wirtschaftlichkeit sein. Die Kosten für ihren Einsatz sind also möglichst gering zu halten, wobei ein möglichst hoher Nutzen im Hinblick auf die Effektivität der Abfüllung erreicht werden soll. Die Qualität der Abfüllung, welche sich beispielsweise in einem möglichst kontinuierlichen Füllerbetrieb, der zu hoher Produktqualität führt, oder in einem behälterschonenden Einsatz der Fördereinrichtungen zeigt, ist ebenfalls zu berücksichtigen.

Entsprechend dieser Aufgabenstellung mit den zahlreichen Unterzielen wurde die Arbeit folgendermaßen gegliedert:

Zunächst werden in zwei Kapiteln die für das Verständnis der Arbeit notwendigen Grundlagen zusammengefasst. Die wichtigsten Eigenschaften und die Funktionsweise von Getränkeabfüllanlagen werden Kapitel 2 aus fertigungstechnischer Sicht betrachtet. Auf allgemeine Literatur zur Getränkeabfüllung wird verwiesen. Modellierungsansätze, die das Verständnis verketteter Fertigungslinien erleichtern und in der weiteren Arbeit zur Anwendung kommen, werden beschrieben. Kapitel 3 gibt einen Überblick über informationstechnologisches Basiswissen. Dies sind zum Einen strukturelle und technische Details zur Leittechnik und Datenerfas-

sung. Zum Anderen werden theoretische Grundlagen zum Einsatz künstlicher neuronaler Netzwerke benötigt, welche für Analyse von Füllerstillständen verwendet werden. Auch die Funktionsweise der unscharfen Regelung, die Bestandteil des neu entwickelten übergeordneten Leitkonzepts für Getränkeabfüllanlagen ist, wird aufgezeigt.

Die Kapitel 4 und 5 beschreiben die Lösungsansätze und Ergebnisse dieser Arbeit im Hinblick auf die vorgegebene Aufgabenstellung. Um die Lesbarkeit der Arbeit zu verbessern, werden thematisch zusammengehörende Methoden und Ergebnisse direkt nacheinander behandelt. Kapitel 4 stellt die entwickelten Werkzeuge, Verfahren und Ergebnisse vor, die in Zusammenhang mit dem Erfassen und dem Auswerten von Betriebsdaten erreicht werden konnten. Dies sind die als Basis für den kostengünstigen IT-Einsatz notwendigen spezifizierten Standards für Schnittstellen und Auswertewerkzeuge, die Ergebnisse statischer Datenanalysen sowie ein neu entwickeltes, wissensbasiertes Werkzeug zur dynamischen Analyse von Füllerstillstandsverursachern. In Kapitel 5 wird ein neu konzipiertes übergeordnetes Leitsystem für Getränkeabfüllanlagen vorgestellt. Da ein derartiges System bisher nie in der Praxis realisiert wurde, musste ein Computersimulationsmodell für eine fiktive Referenzanlage entwickelt werden, mit dessen Hilfe das System verbessert und bewertet werden konnte. Auch die Ergebnisse der Simulationsstudien werden in Kapitel 5 gezeigt.

Den Abschluss der Arbeit bildet die Diskussion der erarbeiteten und den in beiden vorangehenden Kapiteln vorgestellten neuen Anwendungen der Informationstechnologie bei Getränkeabfüllanlagen. Besonderes Augenmerk wird im zugehörigen Kapitel 6 auf Umsetzbarkeit in der Praxis sowie den zu erwartenden Nutzen für die Getränkeindustrie gelegt.

2 Getränkeabfüllanlagen

2.1 Verkettete Fertigungslinien störanfälliger Maschinen

Bezeichnungen und Kenngrößen für Abfüllanlagen sind in der DIN 8782 „Begriffe für Abfüllanlagen und einzelne Aggregate“ [19] definiert. Als Abfüllanlage wird hiernach „die Gesamtheit der im Verbund zusammenwirkenden einzelnen Aggregate zum Abfüllen von Getränken, einschließlich der vor- und nachgeschalteten Maschinen und Geräte – in der Regel von der Eingabe des gepackten und gegebenenfalls palettierten Leerguts bis zur Abgabe des gepackten und gegebenenfalls palettierten Vollguts“ bezeichnet.

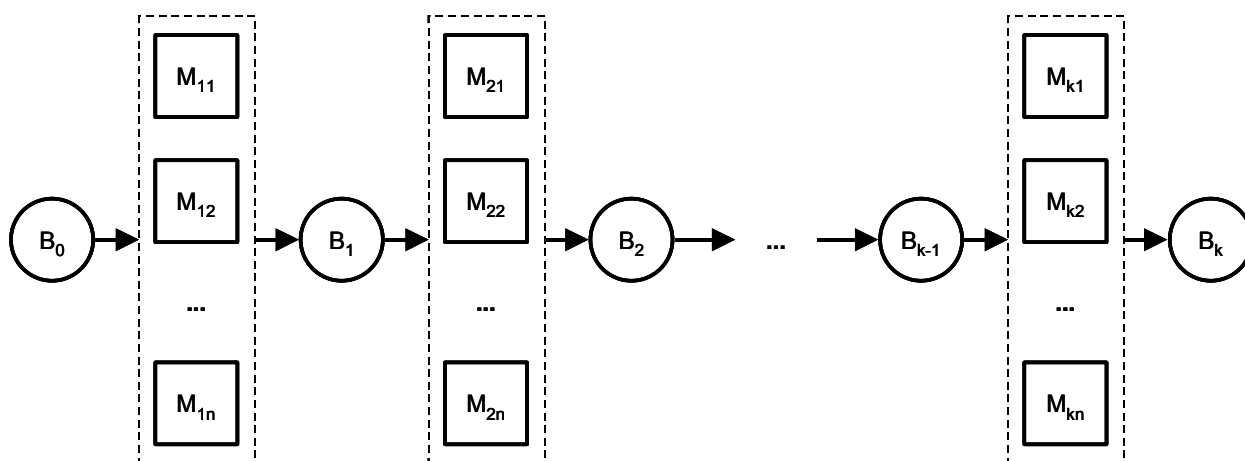


Bild 2.1: Fertigungslinie mit k Fertigungsstationen n parallel angeordneter Maschinen M und $k+1$ Puffern B

Aus fertigungstechnischer Sicht sind Abfüllanlagen als verkettete Linien zu betrachten (vgl. z. B. [11]). Das zu verarbeitende Gut wandert hierbei in einer festgelegten Reihenfolge von Maschine zu Maschine, wobei Puffer mit Speichervermögen zwischengeschaltet sind. Die Arbeitsschritte in jeder Fertigungsstation können von einer oder von mehreren parallel betriebenen Maschinen gleicher Funktion durchgeführt werden. Bild 2.1 veranschaulicht diese Betrachtungsweise schematisch für eine Fertigungslinie mit k Fertigungsstationen und $k+1$ Puffern. Im Vergleich zur allgemeinen Definition einer Fertigungslinie kennzeichnen Getränkeabfüllanlagen jedoch zahlreiche Besonderheiten, die sie als Spezialfall einer verketteten Fertigungslinie störanfälliger Maschinen definieren. Die Wichtigsten sind:

➤ **Parallelbetrieb mehrer Maschinen**

In Abfüllanlagen werden nur selten mehrere Maschinen parallel eingesetzt. In Einzelfällen können jedoch die Nennausbringungen einzelner Maschinen zu klein sein, um eine geforderte Ausbringung zu erreichen. In diesen Fällen werden zwei meist baugleiche Maschinen parallel betrieben.

➤ **Blockaggregate**

Bestimmte Maschinen werden oft ohne das Dazwischenschalten von Puffern zu Blockaggregaten zusammengefasst. Hierbei muss zwischen mechanischer (z. B. Blockaggregat aus Füll-, Verschleiß und Ausstattungsmaschine) und elektronischer Verblockung (z. B. Inspektions- und Füllmaschine) unterschieden werden. Mechanisch werden Maschinen durch gekoppelte Übergabeeinrichtungen verblockt.

Bei elektronisch verblockten Aggregaten werden die Behälter im einsträngigen Transport von einer Maschine zur anderen gefördert. Die Regelung dieses Transports übernimmt eine Maschinensteuerung.

➤ **Geschlossene Nebenströme im Materialfluss**

Da in Abfüllanlagen neben den Behältern auch Sekundärverpackungen (z. B. Kasten, Karton, ...) und Tertiärverpackungen (Förderhilfsmittel wie Paletten) transportiert werden müssen, existieren neben dem Hauptgüterstrom weitere meist geschlossene Güterkreisläufe. Diese können beispielsweise durch Kasten-transport von der Auspack- zur Einpackmaschine oder durch Palettentransport von der Palettenent- zur Palettenbelademaschine entstehen.

➤ **Unterschiedliche Maschineausbringungen [19]**

Während bei der allgemeinen Betrachtung von Fertigungslinien in der Regel von konstanten und bei allen Fertigungsstationen identischen Ausbringungen ausgegangen wird, besitzen die Maschinen einer Abfüllanlage unterschiedliche Ausbringungen im Hinblick auf den möglichst kontinuierlichen Betrieb eines Zentralaggregats (vgl. 2.3.3). Darüber hinaus werden Maschinen moderner Abfüllanlagen in ihrer Ausbringung geregelt (vgl. 5).

➤ **Störanfälligkeit**

Maschinen in Abfüllanlagen arbeiten mit hohen Ausbringungen. In Folge der schnellen Bewegungen mobiler Bauteile sind sie störungsanfällig. Hierbei treten die meisten Störungen dann auf, wenn die Maschine arbeitet und sich Maschinenteile oder Güter bewegen. Genauer wird das Störverhalten in 4.3 untersucht.

➤ **Durchlaufpuffer**

Puffer in Abfüllanlagen können durch ihr Speichervermögen die aus Störungen resultierenden Maschinenstillstände überbrücken. Hierdurch wird ein Durchschlagen auf vor- oder nachgeschaltete Maschinen und so letztendlich ein Stillstand der gesamten Anlage vermieden. Darüber hinaus sind sie in der Regel für den Transport der Güter von Maschine zu Maschine verantwortlich (vgl. 2.3.1). Ausnahmen sind Kastenmagazine und sogenannte „Flow Table“ (vgl. 2.3.2). Puffer, die zusätzlich Förderfunktion übernehmen, werden als Durchlaufpuffer bezeichnet.

➤ **Speichervermögen der Maschinen**

Neben den Puffern können auch einzelne Maschinen in Abfüllanlagen eine nicht unerhebliche Anzahl an Gütern aufnehmen. Dies ist bei der Betrachtung ihrer Funktionsweise zu berücksichtigen. Insbesondere das An- und Abfahrverhalten nach Maschinenstillständen hat Auswirkungen auf das Betriebsverhalten der gesamten Anlage.

➤ **Prüfeinrichtungen mit Ausstoßverhalten**

In Abfüllanlagen werden durch Kontrollgeräte nach vielen Bearbeitungsschritten Prüfungen vorgenommen. Ein negatives Ergebnis des Prüfverfahrens führt direkt nachfolgend zur Ausschleusung des betrachteten Gutes. In Einzelfällen wird das Gut auch einer vorgeschalteten Bearbeitungsstufe zugeführt (z. B. erneute Reinigung verschmutzter Flaschen).

Als Beispiel für eine Abfüllanlage wird in dieser Arbeit die in 2.3.2 beschriebene, fiktive Referenzanlage betrachtet. Ein Fließbild dieser Anlage mit den enthaltenen Gütern Nebenströmen zeigt Bild 2.2.

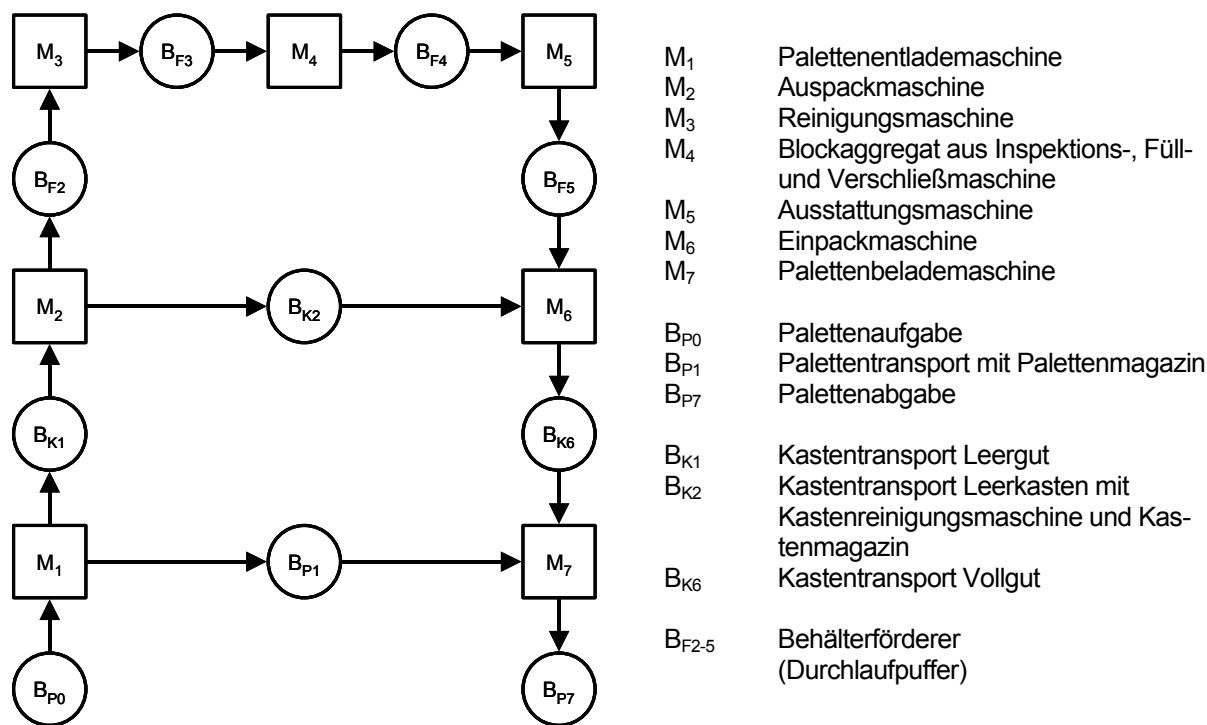


Bild 2.2: Fertigungstechnisches Flussdiagramm der Referenzanlage

2.2 Modellieren von Abfüllanlagen

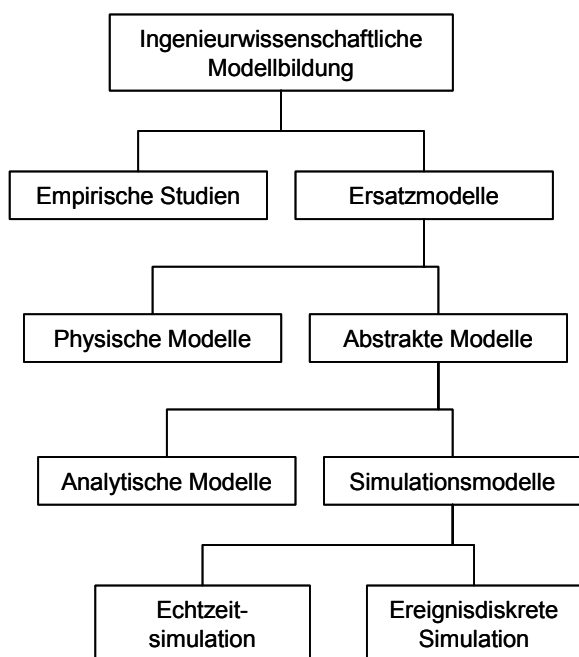


Bild 2.3: Einteilung der Modelltypen in den Ingenieurwissenschaften (in Anlehnung an [12], [53], [69])

Systemanalyse und Modellaufbau sind nach SCHMIDT [69] „grundlegend für das wissenschaftliche Vorgehen“. Hierbei kann zwischen empirischen Untersuchungen und abstrakter Modellbildung unterschieden werden. In den Ingenieurwissenschaften haben neben empirischen Studien physikalische und analytische Modelle sowie Computersimulationsmodelle Bedeutung erlangt [12]. Eine mögliche Einteilung der verschiedenen Modellierungsarten zeigt Bild 2.3.

Für das Modellieren von gesamten Abfüllanlagen scheiden physische Modelle aus, da sie sehr detailliert und somit extrem kostenaufwendig erstellt werden müssten, um ein Scale-up wenigstens begrenzt zu ermöglichen. Lediglich für Teilbereiche (wenige Maschinen, Förderabschnitte) können Versuchsaufbauten im Technikummaßstab dienen. Ein Beispiel hierfür ist

der Behälterrundlauf, welchen bereits RÄDLER [66] für seine Untersuchungen am Lehrstuhl für Brauereianlagen und Lebensmittel-Verpackungstechnik verwendete. Dieser konnte auch zu Beginn dieser Arbeit für das grundsätzliche Studium der Behälterförderung genutzt werden.

2.2.1 Analytische Modelle

Für die Untersuchung kompletter Abfüllanlagen ist man neben empirischen Untersuchungen in Abfüllbetrieben (vgl. 4.3) auf Ersatzmodelle angewiesen. Für das grobe Studium im Hinblick auf die Gesamteffizienz verketteter Fertigungslinien können analytische Modelle dienen. In zahlreichen Veröffentlichungen sind Ansätze auf Basis von Markovprozessen und daraus abgeleiteten Differenzialgleichungen zu finden (z. B. [21], [33], [49], [61] und [66]). Es handelt sich hierbei um stochastische Modelle, die die Zustandsübergänge einer Anlage, bestehend aus m Maschinen und $m-1$ Puffern, in Differenzialgleichungssystemen beschreiben. Diese basieren jedoch meist auf einer Verknüpfung mehrerer Zweimaschinenmodelle und sind somit nur in Näherung verwendbar. Lösbare, bzw. numerisch iterierbare Gleichungssysteme werden nur erreicht, wenn zuvor folgende Vereinfachungen getroffen wurden:

➤ **Stationärer Anlagenzustand**

Es wird angenommen, dass keine instationären Veränderungen vorkommen, wie sie z. B. beim An- und Auslaufen einer Abfüllanlage oder bei geregelten Maschinen- und Fördergeschwindigkeiten zu erwarten sind.

➤ **Unabhängige Zufallsvariablen**

Fertigungskettenmodelle auf der Grundlage von Markovprozessen gehen davon aus, dass Störungen an einer Fertigungsstation unabhängig vom Zustand der anderen Stationen auftreten: Das bedeutet, dass Mangel- und Stauzustände, bedingt durch Störungen vor- oder nachgeschalteter Stationen, keine Auswirkung auf die Störanfälligkeit einer anderen Maschine haben.

➤ **Ausreichend Bedienpersonal**

Störungen können innerhalb ihrer stochastisch ermittelten Stördauer behoben werden.

➤ **Laufzeitbezogene Maschinenstörungen**

Störungen an Maschinen können nur auftreten, wenn diese arbeiten, sich also in der Regel in Bewegung befinden. Befindet sich eine Maschine in Stau- oder Mangelzustand, kann keine Störung auftreten.

➤ **Keine verlorenen Güter**

Entlang der gesamten Anlage werden keine Güter ausgeschleust.

Derartige analytische Modelle eignen sich aufgrund kurzer Rechenzeiten bestens für Optimierungsverfahren bei der Grobplanung von Abfüllanlagen. Ein Vergleich dieser Annahmen mit den in 2.1 beschriebenen Eigenschaften von Getränkeabfüllanlagen macht jedoch deutlich, dass die genannten Modelle für ihre exakte Abbildung nur bedingt geeignet sind. Da in dieser Arbeit die Untersuchung des instationären Verhaltens von Getränkeabfüllanlagen im Vordergrund steht (vgl. Kapitel 5), wurde der analytische Ansatz nicht weiter verfolgt. Stattdessen wurde auf die Computersimulation als Werkzeug für die Entwicklung neuer Einsatzmethoden der Informationstechnologie gesetzt. Dies entspricht auch der Einschätzung von RÄDLER [65]: „Das

Anwenden der Simulation ist vor allem beim Studieren verschiedener Steuerkonzepte für das Ändern von Maschinenausbringungen unerlässlich, da in diesem Fall das System Abfülllinie den mittels Modellierung berechenbaren stationären Zustand verlässt."

2.2.2 Ereignisdiskrete Simulation

Wo analytische Ansätze an ihre Grenzen stoßen, bietet die Simulation einige Vorteile [72]. Als Simulation wird nach [82] das „Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell bezeichnet.“ Mit dieser sollen Erkenntnisse erlangt werden, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind.

Die einzelnen Schritte bei Durchführung einer Simulationsstudie veranschaulicht Bild 2.4. Zunächst sind Machbarkeitsüberlegungen anzustellen. Hiernach folgt die Datenermittlung, welche sich bei der Simulation von Getränkeabfüllanlagen zeitaufwändig und problematisch gestalten kann. Zum Einen sind Datenerfassungssysteme bis heute nur sporadisch verbreitet und auch nicht standardisiert. Zum Anderen werden korrekte Aufzeich-

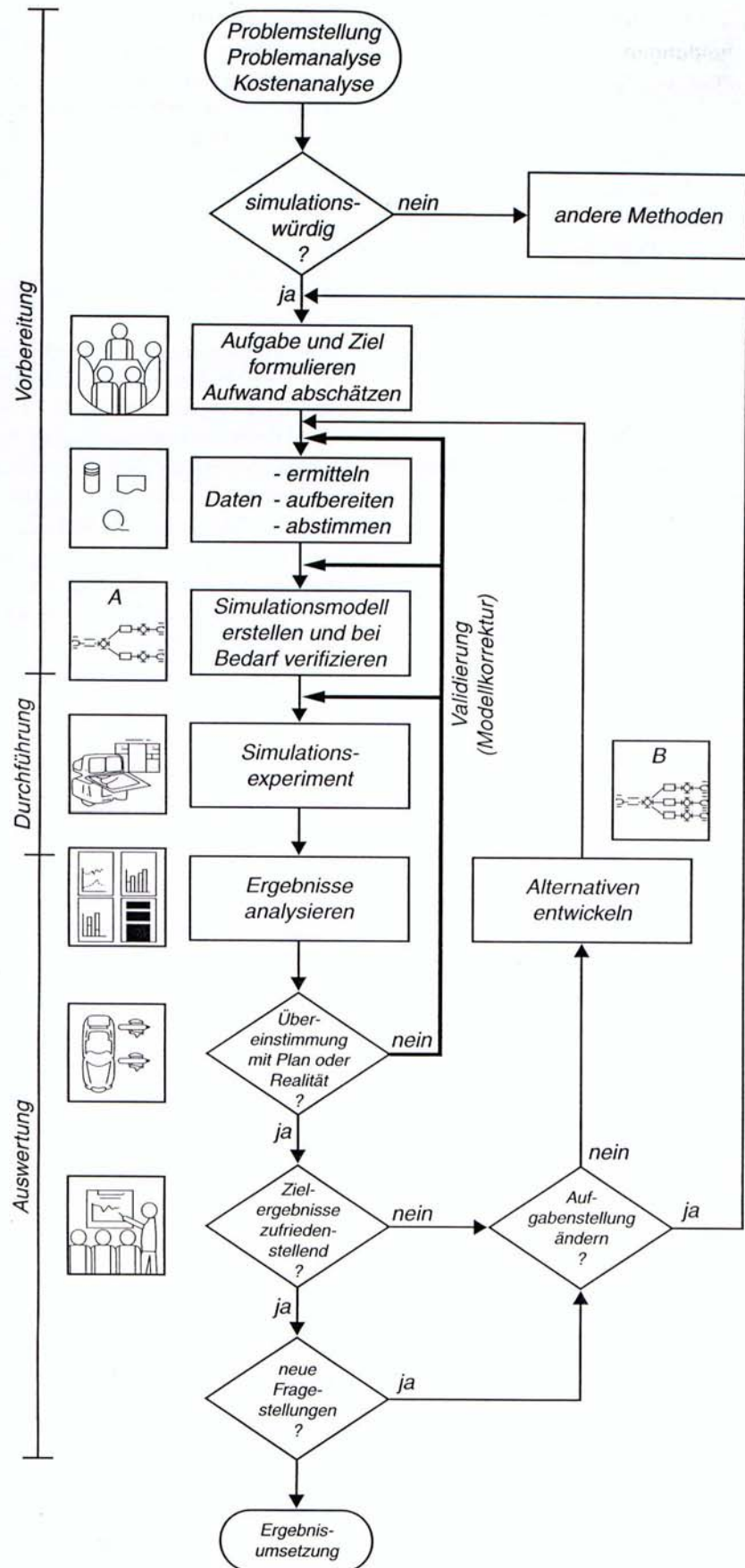


Bild 2.4: Vorgehensweise bei einer Simulationsstudie [82]

nungen über lange Zeiträume benötigt.

Entscheidend für die Aussagefähigkeit eines Simulationsmodells ist die gewissenhafte Verifizierung und Validierung vor dem Einsatz in Simulationsversuchen. Für die Validierung von Modellen real existierender Anlagen sind hierbei ausreichend korrekte Betriebsdaten erforderlich, bei geplanten oder fiktiven Anlagen muss die Verifizierung intensiviert und eine Validierung anhand verfügbarer Erfahrungswerte vorgenommen werden.

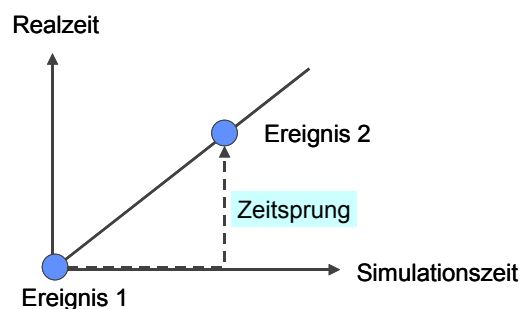


Bild 2.5: Sprung von Ereignis zu Ereignis bei der diskreten Ereignissimulation

In dieser Arbeit fand die Technik der ereignisorientierten Simulation Anwendung, bei der es sich meistens um Zufallsexperimente handelt. Ereignisorientiert bedeutet hierbei, dass zu bestimmten Zeitpunkten auftretende, diskrete Zustandsänderungen des betrachteten Systems zeitlich geordnet und in einer Ereignisliste verwaltet werden. Im Gegensatz zur Echtzeitsimulation werden Zeitabschnitte, in denen der Systemzustand konstant ist, übersprungen und die Simulationszeit um den entsprechenden Wert weitergezählt (vgl. Bild 2.5). Dies führt zu einem erheblichen Geschwindigkeitsvorteil gegenüber der Echtzeitsimulation.

Bild 2.6 verdeutlicht den Programmablauf der ereignisorientierten und zeitdiskreten Simulation. Entscheidende Funktion hat hierbei die „Ereignisliste“, in welche alle vorhersehbaren Ereignisse eingetragen werden und welche nach Abarbeitung des frühesten Ereignisses um alle neu vorhersehbaren Ereignisse ergänzt wird. Für die in dieser Arbeit erstellten Simulationsmodelle konnte die vollständig objektorientierte Standardsoftware eM-Plant ([77], vgl. 5.3) zum grafischen und integrativen Erstellen von Materialflussmodellen und zeitdiskreter Simulation als Basis herangezogen werden. Auf die Erläuterung der programmtechnischen Umsetzung ereignisdiskreter Simulationsmodelle wird deshalb an dieser Stelle verzichtet. Der interessierte Leser sei auf die Literatur (z. B. [53], [67], [69] oder [73]) verwiesen.

Mithilfe der Visualisierungsfunktionen und der „Quasi-Echzeit“-Simulation der verwendeten Standardsoftware ist es auch möglich, das dynamische Modellverhalten gezielt zu beobachten. So können einzelne Zustandsübergänge auch zeitlich abgebildet werden. Dies ist besonders wichtig, wenn Feinheiten und Sonderfälle eine Rolle spielen.

2.2.3 Stochastische Grundlagen

Wesentlich für die Aussagefähigkeit von Simulationsmodellen von Getränkeabfüllanlagen ist das exakte Abbilden des Störverhaltens störanfälliger Maschinen. Zur Theorie der Zuverlässigkeit von Anlagenkompo-

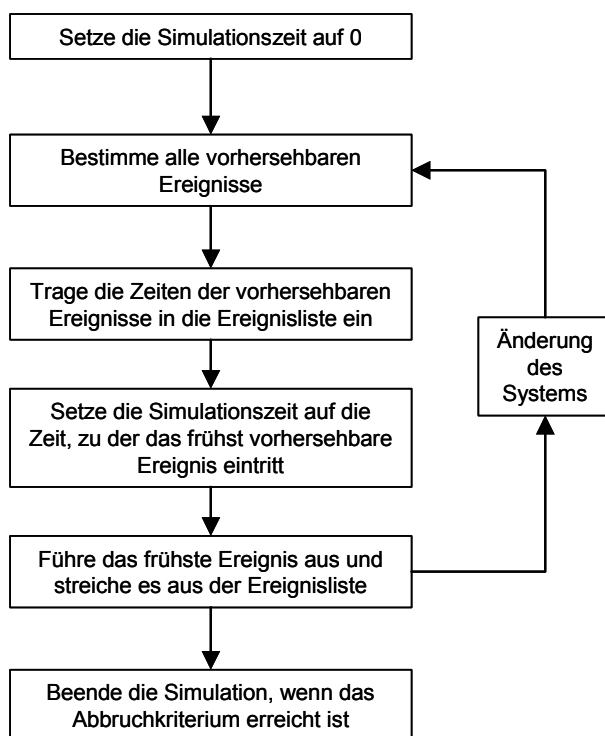


Bild 2.6: Ablauf der ereignisdiskreten Simulation

zenten ist umfangreiche Literatur verfügbar. Als Beispiele sollen hier nur [3], [58] und [94] genannt werden. Nachfolgend werden die für diese Arbeit notwendigen Grundlagen zusammengefasst.

Da in der Literatur keine einheitliche Symbolik für Kenngrößen der Zuverlässigkeitstheorie benutzt wird, wird nachfolgend, unter Berücksichtigungen der DIN 40 041 [18] sowie DIN 8287 [19] definiert:

➤ **Maschinenstörung**

Unter dem Begriff Maschinenstörung (kurz Störung) werden alle Ausfälle einer Maschine zusammengefasst. Auf eine Unterscheidung, wie sie nach DIN 8782 in maschinenbedingte oder maschinenfremde Störungen vorgenommen wird, wird beim Betrachten des Störverhaltens von Maschinen (vgl. 4.3) verzichtet. Maschinenstillstände aufgrund von Mangel- oder Stausituationen, die durch Störungen vor- oder nachgeschalteter Maschinen hervorgerufen wurden, werden selbstverständlich nicht als Störung betrachtet. In diesen Zeiten können auch keine Störungen beginnen.

➤ **Betriebsdauer T**

Die Betriebsdauer T ist ein Maß für die Zeit zwischen zwei Maschinenstörungen. Dies entspricht der Definition der TBF (time between failures) nach DIN 40 041. Bei irreparablen Komponenten einer Anlage spricht man von der Lebensdauer T einer Komponente.

➤ **Ausfallverteilungsfunktion F**

Bei unzuverlässigen Maschinen ist die Betriebsdauer T eine stochastische Größe. Die zugehörige Verteilungsfunktion wird als Ausfallverteilungsfunktion bezeichnet. Sie gibt Auskunft über die Wahrscheinlichkeit P, dass eine Maschine zum Zeitpunkt t ausgefallen ist.

$$F(t) = P(T \leq t) \quad (2.1)$$

➤ **Ausfalldichte f**

Als Ausfalldichte f wird die Ableitung der Ausfallverteilungsfunktion definiert, falls diese existiert.

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (2.2)$$

➤ **Zuverlässigkeitsfunktion R**

Aus der Komplementärwahrscheinlichkeit ergibt sich die Zuverlässigkeitsfunktion R als Maß für die Wahrscheinlichkeit, dass eine Maschine zum Zeitpunkt t arbeitet. Sie wird in der Literatur häufig auch als Überlebenswahrscheinlichkeit (survival probability) bezeichnet.

$$R(t) = P(T > t) = 1 - F(t) \quad (2.3)$$

Der Verlauf von Zuverlässigkeitsfunktionen realer Maschinen kann durch das empirische Ermitteln von Betriebsdauerverteilungen und anschließendes Normieren genähert werden. Häufig wird jedoch auf das Normieren verzichtet und der reale Verlauf der Betriebsdauerverteilung mittels geeigneter Funktionen (siehe unten) genähert.

➤ **Ausfallrate h**

Die Ausfallrate h gibt die Wahrscheinlichkeit dafür an, dass eine Maschine im Zeitintervall $[t; t+dt]$ ausfällt, nachdem sie bis zum Zeitpunkt t intakt war.

$$h(t) = \frac{P(t < T \leq t + dt \mid T > t)}{dt} \quad (2.4)$$

Entsprechend der Berechnung der bedingten Wahrscheinlichkeit folgt hieraus:

$$h(t) = \frac{P(t < T \leq t + dt \cap T > t)}{P(T > t)dt} = \frac{F(t + dt) - F(t)}{dt} \cdot \frac{1}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.5)$$

Durch Umformung mithilfe der Gleichungen 2.2 und 2.3 ergibt sich aus Gleichung 2.5 die folgende, inhomogene Differenzialgleichung 1. Ordnung, welche den Zusammenhang der Ausfallverteilungsfunktion einer Maschine und ihrer Ausfallrate verdeutlicht:

$$\frac{dF(t)}{dt} + h(t)F(t) = h(t) \quad (2.6)$$

Für das Nachbilden des Störverhaltens von Maschinen im Simulationsmodell ist es notwendig, die in der Wirklichkeit zeitlich schwankenden Ausfallraten zu nähern. Am gebräuchlichsten ist es, hierbei von konstanten, bzw. monoton wachsenden oder fallenden Ausfallraten auszugehen. Entsprechend eignen sich als Lösungen von Gleichung 2.6 folgende Verteilungen für die Ausfallverteilungsfunktion F :

➤ **Exponentialverteilung**

Die Exponentialverteilung ergibt sich für konstante $h(t) = \frac{1}{\beta}$. Hierbei wurde die reziproke Schreibweise des Parameters β gewählt, da dieser dem Erwartungswert der Verteilung entspricht. β ist somit gleichbedeutend mit der mittleren Zeit zwischen zwei Maschinenstörungen bei konstanter Ausfallrate. Diese Zeit entspricht der MTBF (Mean Time between Failures) nach DIN 40 041.

$$F(t) = 1 - e^{-\frac{t}{\beta}} \quad (2.7)$$

$$f(t) = \frac{1}{\beta} \cdot e^{-\frac{t}{\beta}} \quad (2.8)$$

$$R(t) = e^{-\frac{t}{\beta}} \quad (2.9)$$

➤ **Weibullverteilung**

Die Weibullverteilung ermöglicht das Nähern monoton wachsender ($\alpha > 1$) und monoton fallender ($\alpha < 1$) Ausfallraten. Für $\alpha = 1$ ist die Exponentialfunktion als Sonderfall in ihr enthalten.

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha} \quad (2.10)$$

$$f(t) = \frac{\alpha}{\beta^\alpha} \cdot t^{\alpha-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha} \quad (2.11)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha} \quad (2.12)$$

Der Mittelwert der Weibullverteilung ergibt sich zu $\frac{\beta}{\alpha} \cdot \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right)$ wobei für $\Gamma(x)$ entsprechend der Gammafunktion (verallgemeinerte Fakultät) gilt: $\Gamma(x) = \int_0^\infty t^{x-1} \cdot e^{-t} dt$ mit $x \in \mathbb{R}^+$.

2.3 Eigenschaften von Getränkeabfüllanlagen

Allgemeine Informationen zum Aufbau und der Funktionsweise von Getränkeabfüllanlagen finden sich in Fachbüchern und Berichten der Brau- und Getränkeindustrie (z. B. [24], [32], [37], [54], [62] und [84]). Nachfolgend werden die für das Verständnis der in dieser Arbeit betrachteten Referenzanlage notwendigen Grundlagen und Bestandteile kurz erläutert.

2.3.1 Aufbau von Abfüllanlagen

Je nach ihrer Aufgabe werden unterschiedliche Anlagenkonfigurationen für die Getränkeabfüllung realisiert. Die Anzahl und Art der verwendeten Maschinen richtet sich hierbei nach dem zu verarbeitenden Sortiment, dem Produktionsverfahren und dem Automatisierungsgrad. Für verschiedene Getränkebehälter wie Dosen, Kunststoffflaschen und Glasflaschen existieren spezielle Maschinen. Auch die Pufferstrecken und ihre Fördergeschwindigkeiten sind speziell auf das Transportverhalten der Behälter, abhängig von Gewicht, Schwerpunkt und Reibungseigenschaften, anzupassen.

Die deutlichsten Unterschiede ergeben sich in Abhängigkeit davon, ob die Abfüllanlage für Ein- oder Mehrweg-Behälter ausgelegt ist. Da bei Einweganlagen nicht für Sortierung und Reinigung des Rücklaufleerguts gesorgt werden muss, haben derartige Anlagen deutlich weniger, der Füll- und Verschleißmaschine vorge-schaltete Maschinen. Die räumliche Anordnung der Maschinen richtet sich häufig nach vorgegebenen baulichen Voraussetzungen. Nach Anordnung der Bedienungseinrichtungen der Maschinen werden jedoch folgende Anlagenaufstellungen unterschieden [29]:

Arena-Aufstellung

Bei der Arena-Aufstellung (Bild 2.7) werden die Maschinen so angeordnet, dass ihre Bedieneinrichtungen nach innen ausgerichtet sind. Dies ermöglicht im laufenden Betrieb kurze Wege für das Bedienpersonal. Allerdings ist es problematisch, im Innenraum dieser Anlagen Formatteile, die bei Umstellungen benötigt werden, vorzuhalten. Häufig sind von den innen liegenden Bedienplätzen auch die Transport-, Pack und Palettiereinrichtungen nur schwierig zu erreichen, so dass Störungen in diesem Bereich zu längeren Stillständen führen können. Nachteilig ist auch der hohe Flächenbedarf der Arena-Aufstellung.

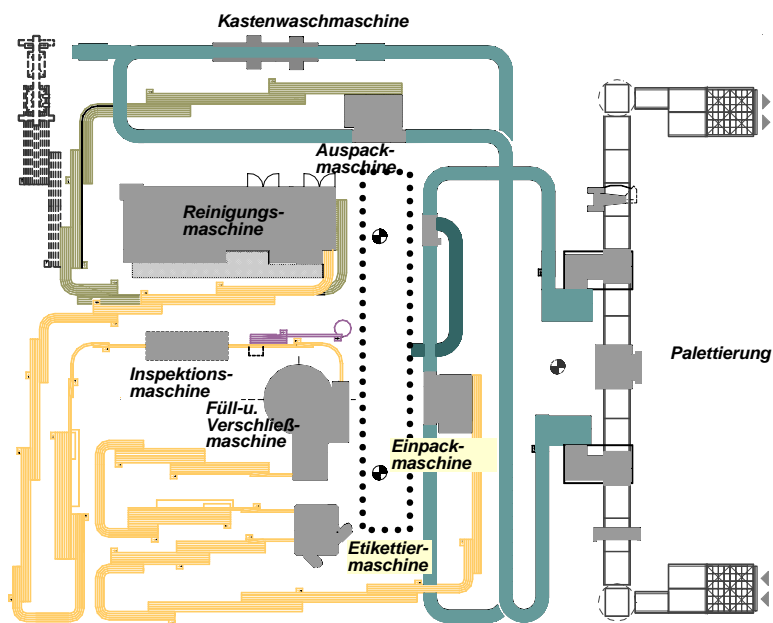


Bild 2.7: Mehrweganlage für Glasflaschen in Arena-Aufstellung

Kamm-Aufstellung

Heutzutage hat sich bei der Planung von Getränkeabfüllanlagen die Kamm-Aufstellung am meisten etabliert. Dies begründet sich im kleinen Flächenbedarf und der übersichtlichen Anlagengestaltung ohne die Kreuzung von Förderstrecken. Hierbei sind die Bedieneinrichtungen entlang einer Linie nebeneinander angeordnet (Bild 2.8). Die Kammaufstellung ermöglicht es, zwei Anlagen spiegelverkehrt nebeneinander anzuordnen, um so Bedienpersonal einzusparen. Allerdings sind die Wege zu den Bedieneinrichtungen verschiedener Maschinen deutlich länger als bei der Arena-Aufstellung.

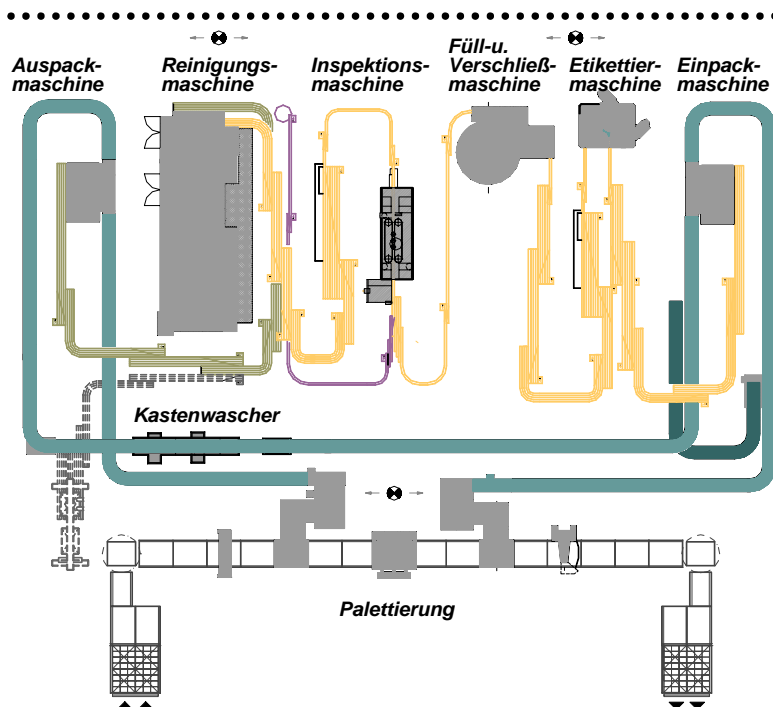


Bild 2.8: Mehrweganlage für Glasflaschen in Kamm-Aufstellung

L-Form

Als Sonderform der Kamm-Aufstellung kann die L-Form betrachtet werden (Bild 2.9). Hierbei werden die Bedieneinrichtungen entlang zweier Linien angeordnet, die sich im 90°-Winkel treffen. Diese Aufstellung eignet sich vor allem für Anlagen mit sehr vielen Aggregaten und einem kleinen Flächenbedarf für Transporteinrichtungen.

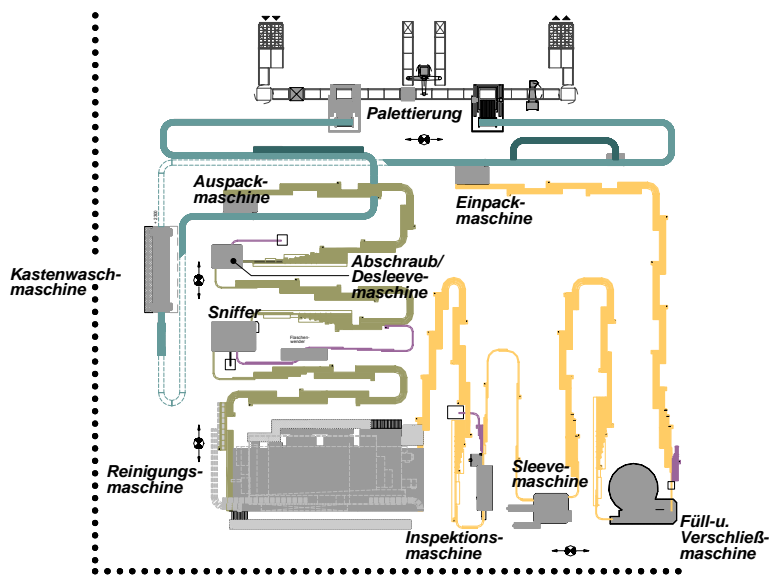


Bild 2.9: Mehrweganlage für Kunststoffflaschen in L-Form

2.3.2 Referenzanlage

Als Referenzanlage wird in dieser Arbeit eine Mehrwegabfüllanlage in Kamm-Aufstellung für Glasflaschen herangezogen (vgl. Bild 2.10). Diese Anlagenform ist nach wie vor am häufigsten in Brauereien und Abfüll-

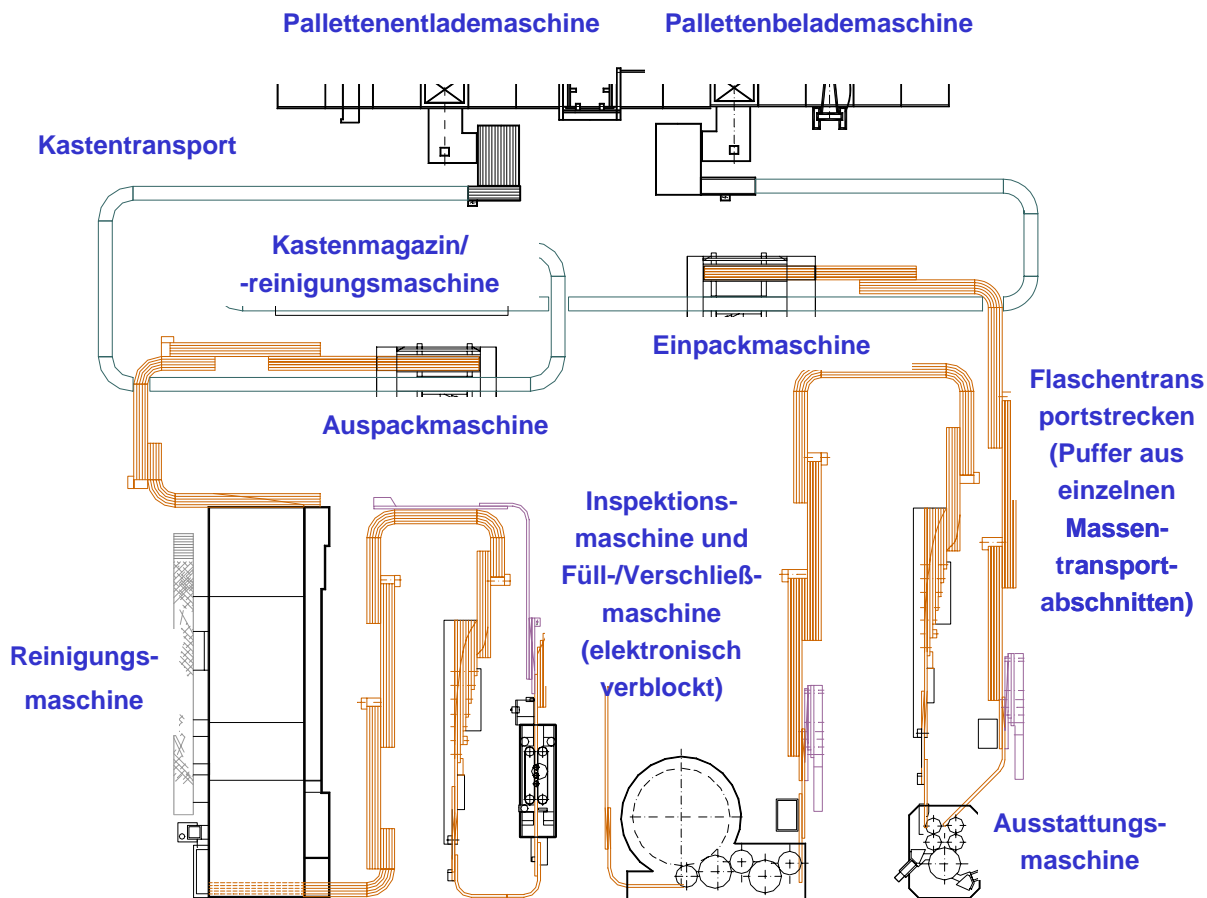


Bild 2.10: Referenzanlage für die Entwicklung eines Leitsystems

betrieben der Brunnenindustrie anzutreffen und soll deshalb als Basismodell für die Entwicklung der übergeordneten Anlagenregelung dienen.

Da Anlagen aus dem Kunststoff- bzw. Einwegbereich im Allgemeinen eine geringere Komplexität aufweisen, sind die anhand dieses Modells gesammelten Ergebnisse in einfacher Weise übertragbar. Die Maschinen der Referenzanlage werden im Folgenden kurz beschrieben. Durchlaufaggregate mit Kontroll- oder Sortieraufgaben, die keinen Einfluss auf das regelbare Anlagenverhalten besitzen, werden im Simulationsmodell der Referenzanlage (vgl. 5.3.1) nicht berücksichtigt.

Aggregate

➤ Palettentlademaschine

Die Palettentlademaschine lädt die Getränkekästen von der Palette auf einen Kastenförderer. Die entladenen Kästen werden dann der Kastensortierung zugeführt. Die entladenen Paletten werden überprüft und in einem Palettenmagazin zwischen gestapelt oder, sofern sie defekt sind, aus der Produktion entfernt.

➤ Auspackmaschine

Die Auspackmaschine packt die Flaschen aus dem Getränkekasten mit einem Greifkopf aus und setzt die Flaschen auf einen Flaschenförderer. Die Flaschen werden nach einer Flaschenvorsortierung der Reinigungsmaschine zugeführt. Ihre Ausbringung richtet sich nach den folgenden Maschinen und dem verfügbaren Platz auf den Pufferbereichen der Flaschenförderer. Die Befüllung der Flaschenförderer wird mittels Stauschalter ermittelt. Eine vollständige Befüllung der nachfolgenden Transportketten führt zum Abschalten der Auspackmaschine.

➤ Kastenmagazin/-reinigungsmaschine

Die Getränkekästen durchlaufen eine Kastenreinigungsmaschine. Bei Kastenüberschuss werden sie vor dem Wiederbefüllen mit vollen Flaschen in einem Kastenmagazin zwischengelagert.

➤ Flaschenreinigungsmaschine

In der Flaschenreinigungsmaschine werden die Flaschen von Verunreinigungen befreit. Die zu reinigenden Flaschen werden in Flaschenzellen, die an einer Kette befestigt sind, durch verschiedene Lauge- und Wasserbäder befördert.

➤ Leerflascheninspektionsmaschine

Die aus der Reinigungsmaschine kommenden Flaschen werden durch die Leerflascheninspektionsmaschine geprüft und der Füllmaschine zugeführt. Die Leerflascheninspektionsmaschine hat die Aufgabe, mittels Kamera-, Infrarot- und Hochfrequenztechnik mögliche Beschädigungen oder Verschmutzungen der Flaschen oder Restflüssigkeiten in den Flaschen zu erkennen und die Flaschen aus dem Prozess zu entfernen. So soll eine Gefährdung von Produkt und Konsumenten vermieden werden. Im Falle einer Beschädigung werden die Flaschen zu einer Altglasmulde geleitet und wiederverwertet. Im Falle von Verunreinigungen oder Restflüssigkeiten werden die Flaschen nochmals der Reinigungsmaschine zugeführt. Heutige Leerflascheninspektionsmaschinen sind häufig als Linearmaschinen ausgeführt und in ihrer Ausbringung frei regelbar. Um Pufferstrecken zu sparen, werden sie oft (wie auch im Referenzmodell) elektronisch mit der Füll-

und Verschließmaschine verblockt. Die Leerflascheninspektionsmaschine wird hierbei über eine in der Fördergeschwindigkeit elektronisch regelbare einsträngige Transportkette ohne Speichervermögen mit der Füll- und Verschließmaschine verbunden.

➤ **Füll- und Verschließmaschine**

In der Füllmaschine werden die Flaschen mit dem Getränk gefüllt und anschließend mit einem Kronenkorken, einem Anrollverschluss oder einem Schraubverschluss versehen.

➤ **Ausstattungsmaschine**

In der Ausstattungsmaschine werden Etiketten auf die Flaschen aufgebracht, um die Flaschen vorschriftsmäßig zu kennzeichnen und ihnen ein für den Verbraucher ansprechendes Äußeres zu verleihen.

➤ **Einpackmaschine**

In der Einpackmaschine werden die gefüllten Flaschen, analog zur Auspackmaschine, wieder in die Kästen gepackt.

➤ **Palettenbelademaschine**

Die Palettenbelademaschine funktioniert analog zur Entlademaschine. Sie stapelt die Kästen wieder auf Paletten, die dann in das Vollgutlager transportiert werden.

➤ **Behälterförderer**

Behältertransporteure befördern die Flaschen von einer Maschine zur anderen. Sie bestehen im Allgemeinen aus Maschinenauslauf/Flaschenverteilung, mehreren Massentransportabschnitten und einer Flaschenvereinzelung. Neben der Transportfunktion erfüllen sie zusätzlich eine Pufferfunktion. Diese soll nach Möglichkeit die gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Maschinen einschränken und Folgestörungen verhindern.

➤ **Kastenförderer**

Zum Transport der Getränkekästen von der Auspack- bis zur Einpackmaschine werden ein- oder mehrsträngige, staufähige Förderstrecken – ausgeführt als Rollenbahnen oder Kettenbänder – verwendet.

Behälterpufferstrecken

Abfüllanlagen sind lineare Netzwerke mehrerer Einzelmaschinen. Für den Transport der Behälter von Maschine zu Maschine dienen Scharnierbandketten aus Edelstahl oder Kunststoff. Der Antrieb erfolgt über Umlenkrollen, die durch Elektromotoren angetrieben werden. Die Behälter werden auf den Ketten stehend vom Auslauf der vor- zum Einlauf der nachgeschalteten Maschine befördert.

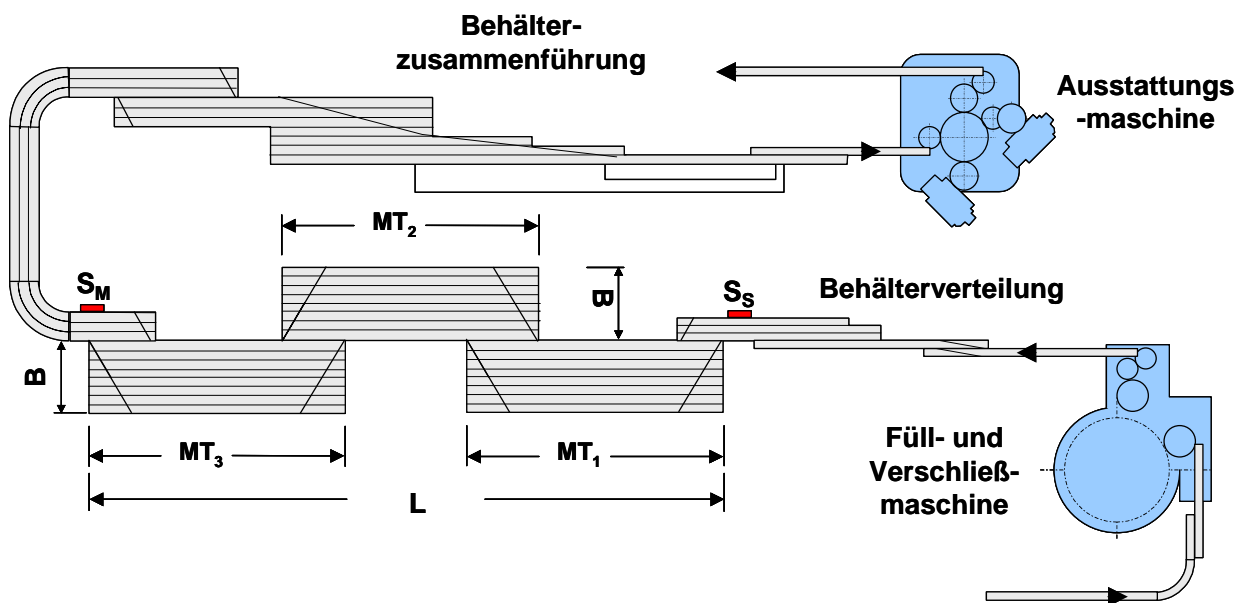


Bild 2.11: Pufferstrecke aus Verteilung, drei Massentransportabschnitten und einer Zusammenführung

Soll nur der Transport bewerkstelligt werden, genügt eine einzelne Transportkette, auf der die Behälter zweiseitig durch Gleitgeländer einsträngig geführt werden. Neben dem Transport von der vorgeschalteten zur nachgeschalteten Maschine soll aber auch eine Pufferfunktion wahrgenommen werden. Hierzu werden breitere Transporteure eingesetzt, die mit ihrem zusätzlichen Speichervermögen störungsbedingte Stillstände von Aggregaten abpuffern können. Damit sowohl Transport- als auch Pufferfunktion zwischen zwei Maschinen wahrgenommen werden können, werden Pufferstrecken für Behälter in Abfüllanlagen heute wie in Bild 2.11 dargestellt aufgebaut.

Die wichtigsten Elemente sind hierbei:

➤ Einspuriger Behältertransport

Maschinen zur Verarbeitung einzelner Behälter benötigen an ihrem Einlauf eine lückenlose, einsträngige Behälterreihe. Daher führt man ihnen die Behälter auf einzelnen Transportketten zu, die beidseitig, entsprechend des Behälterdurchmessers, durch Gleitgeländer begrenzt sind. Der Maschinenauslauf arbeitet in gleicher Weise. Störungen durch umfallende Behälter werden hierdurch auch bei hohen Ein- und Auslaufgeschwindigkeiten weitgehend vermieden.

➤ Behälterverteilung

Beim Übergang vom einspurigen auf mehrspurigen Transport ist die Verteilung des Behälterstroms auf mehrere parallele Behälterreihen notwendig. Hierbei muss auf Lärmreduzierung und das Stehenbleiben der Behälter geachtet werden. Verschiedene Bauarten, wie z. B. der „Wellenformierer“ [53] oder der „Auslaufglidliner“ [52], sind hierzu verfügbar.

➤ **Mehrspuriger Behältertransport**

Der mehrspurige Behältertransport auf breiten Massentransportabschnitten ermöglicht die Pufferfunktion einer Transportstrecke. Um Staudrücke zu vermeiden, wird die Behälterübergabe durch paralleles Aneinandersetzen der Massentransportabschnitte bei beidseitiger Gleitführung des Behälterstroms realisiert. Entscheidend für die Effektivität einer Pufferstrecke sind das Verhältnis von Länge zu Breite der Massentransporteure sowie die realisierbaren Fördergeschwindigkeiten und das Regelverhalten.

In Bild 2.11 ist der mehrspurige Behältertransport beispielhaft aus drei Massentransportabschnitten ($MT_1 - MT_3$) der Breite B und der sich ergebenden Gesamtlänge L zusammengesetzt.

➤ **Behälterzusammenführung**

Um der nachfolgenden Maschine die Behälter wieder in lückenloser Einzelreihe zuführen zu können, werden Zusammenführungen benötigt. Um Staudruck, Lärm und das Umfallen von Behältern zu vermeiden, wird der breite Behälterstrom mithilfe parallel angeordneter Scharnierbandketten mit unterschiedlichen, in Richtung der Zusammenführung zunehmenden Geschwindigkeiten Schritt für Schritt verschmälert. Verschiedene Bauweisen sind z. B. die waagrecht aufgestellte „drucklose Zusammenführung (DLZ)“ [46] oder der sogenannte „Glideline“ [52], der zusätzlich die Schwerkraftkomponente auf einer schiefen Ebene für die Zusammenführung nutzt.

Da heute sowohl im einsträngigen als auch im mehrsträngigen Transport überwiegend kurvengängige Scharnierbandketten eingesetzt werden, kann bei Richtungsänderungen auf die den Behälter belastenden 90°-Umlenkungen verzichtet werden. „Flow-Table“ aus mehreren quer zur Transportrichtung angeordneten Scharnierbandketten können im Vollgutbereich als zusätzliche Puffereinrichtungen zum Einsatz kommen. Diese arbeiten jedoch nicht nach dem „First In/First Out“-Prinzip, was technologische und mikrobiologische Nachteile mit sich bringen kann.

2.3.3 Herkömmliche Maschinenauslegung

Wichtigstes Ziel der Auslegung von Maschinen und Transporteuren in Getränkeabfüllanlagen ist ein möglichst stillstandsfreier Betrieb des Zentralaggregats bzw. der Leitmaschine. Bei der Getränkeabfüllung wird meist die Füll- und Verschließmaschine als Leitmaschine angesehen. Ihrem kontinuierlichen Betrieb kommt besondere Bedeutung zu, da es durch lange und häufige Stillstände zu Produktschädigungen kommen kann. Zum Einen erwärmt sich das Produkt bei längeren Stillständen, zum Anderen kommt es durch häufiges Anfahren und Abschalten der Füllmaschine zu einer höheren Sauerstoffaufnahme im Füllgut. Daher soll die Füll- und Verschließmaschine weitestgehend von etwaigen Störungen durch andere Teilanlagen entkoppelt werden. In Sonderfällen werden Abfüllanlagen aber auch auf eine andere Leitmaschine hin (z. B. Pasteuriersmaschine oder Streckblasmaschine im Einwegbereich) ausgelegt.

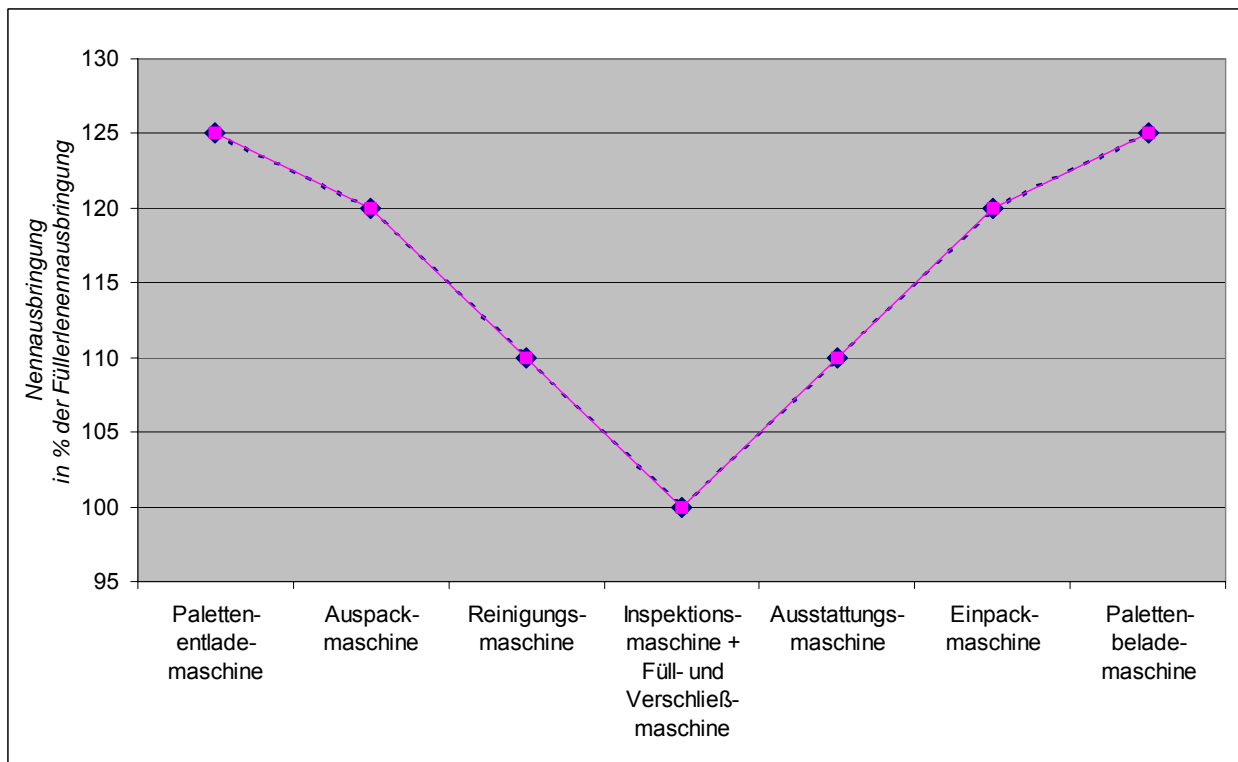


Bild 2.12: Ausbringungsabstufung der Referenzanlage nach Berg [8]

Um Stau- und Mangelsituationen bei der Leitmaschine zu vermeiden, werden die vor- und nachgeschalteten Aggregate mit höheren Nennausbringungen dimensioniert. Bei Untersuchungen von RÄDLER [66] zeigte sich, dass bei vor- und nachgeschalteten Aggregaten eine höhere Ausbringung notwendig ist, diese aber im Hinblick auf das sichere Erreichen von Garantiewerten von den Anlagenherstellern oft zu hoch ausfällt. Dies scheint wirtschaftlich kaum vertretbar. Dennoch erfolgt auch die Auslegung neuer Abfüllanlagen heute immer noch entsprechend dem in Bild 2.12 für die Referenzanlage (vgl. 2.3.2) dargestellten V-Diagramm nach Berg (Bergsche Kurve) [8].

3 Grundlagen aus Informationstechnik und -technologie

3.1 Informationsorientierte Leittechnik

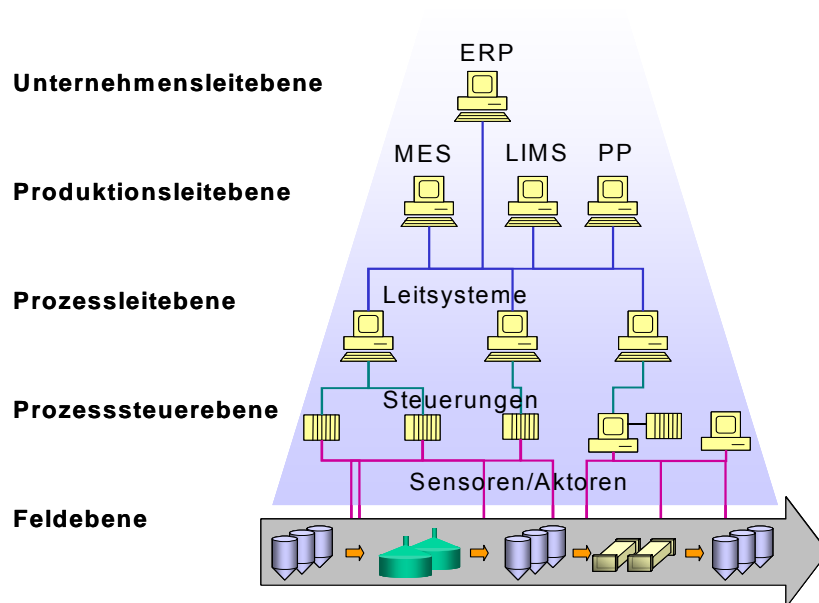


Bild 3.1: Ebenenmodell der Prozessleittechnik in Anlehnung an [63]

Leittechnische Anlagen haben in der Lebensmittel- und Getränkeindustrie mehr und mehr an Bedeutung gewonnen. Die Information hat sich in den letzten 15 - 20 Jahren hierbei nach POLKE [63] neben den klassischen Produktionsfaktoren Energie, Arbeitskraft, Rohstoff und bewährter Produktionstechnik „nicht nur zu einem zusätzlichen, sondern wahrscheinlich zum wichtigsten Faktor“ entwickelt. „Ohne zu übertreiben kann man deshalb sagen, dass die Entwicklung der Leittechnik von einer signalorientierten hin zu einer informationsorientierten Disziplin verläuft“ [2].

Bild 3.1 zeigt ein Ebenenmodell der Prozessleittechnik in Anlehnung an [63]. Voraussetzung für den Signal- bzw. Datenaustausch zwischen den verschiedenen Ebenen ist die durchgängige vertikale Vernetzung der leittechnischen Einrichtungen. Sensoren und Aktoren in der Feldebene werden hierzu über analoge Zweidrahtleitungen oder Feldbusssysteme mit den prozessnahen Komponenten (Steuerungen) verbunden. Der Datenaustausch zwischen Prozesssteuer- und Prozessleitebene erfolgt über den Prozessbus. Letztlich ermöglicht ein Systembus die betriebsweite Integration einzelner Leitsysteme sowie die Anbindung von Funktionen zur Produktions- und Unternehmensleitung. Gute Erläuterungen zum technischen Stand leittechnischer Einrichtungen finden sich in Fachbüchern wie [2], [26], [63] und [75].



Bild 3.2: Vertikale Integration SCADA-MES-ERP [68]

Die Verlagerung des Schwerpunkts leittechnischer Anlage hin zur Informationsverarbeitung hat auch Auswirkung auf die Betrachtungsweise ihrer Struktur. So werden in neueren Veröffentlichungen (z. B. [68], vgl. Bild 3.2) die Funktionen zum Bedienen und Beobachten von Produktionsprozessen unter dem Begriff SCADA-System (Supervisory Control and Data Acquisition)

zusammengefasst, während die Funktionen zur Informationsverarbeitung aus der Prozessleit- und Produktionsleitebene mit dem Begriff MES (Management Execution System) zusammengefasst werden. Mit Hilfe eines MES sind dann Aufgaben wie Technisches Controlling (Datenakquise, Performanceanalysen, Schwachstellensuche), Chargenverfolgung, Qualitätsmanagement, Instandhaltungsplanung und Steuerung oder Produktionsplanung zu bewältigen.

Leit- bzw. SCADA-Systeme für die Getränkeabfüllung sind bisher nicht eingesetzt worden. Dies behindert die vertikale Integration dieses Bereichs in ein informationstechnisches Gesamtsystem (vgl. 1.1). Erste installierte Systeme dienen der reinen Datenerfassung ([13], [47]). Die hierfür notwendigen leittechnischen Einrichtungen sind jedoch mit den in der Prozessleittechnik verwendeten identisch.

Die Kommunikation bisher eingeführter Datenerfassungssysteme mit den Steuerungen der Maschinen erfolgt über den Prozessbus (vgl. Bild 3.3). Auch bei Abfüllanlagen

werden überwiegend speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) zur Steuerung der Maschinen eingesetzt. Darüber hinaus gewinnen Industrie-PCs sowie proprietäre Mikroelektroniksteuerungen zunehmend an Bedeutung. Für den Datenaustausch mit dem Datenerfassungssystem werden die Steuerungen mit Kommunikationsbaugruppen ausgestattet und über ein ausreichend gegen elektromagnetische Einstrahlung abgeschirmtes Bus-Kabel mit dem Datenerfassungsserver verbunden. Alternativ dazu kann die Verbindung bei größeren Systemen auch über eine oder mehrere Kopfsteuerungen erfolgen. Diese bündeln als Datenkonzentrator die Informationen mehrerer Maschinensteuerungen und verringern somit die Zahl der vom Server zu verarbeitenden Datentelegramme. Falls sie mit Speichermedien ausgestattet sind, können sie als Datenspooler fungieren und Datenverluste vermeiden. In neuerer Zeit übernimmt die Funktion einer Kopfsteuerung häufig eine Soft-SPS. Hierzu wird eine Einsteckkarte direkt in den Datenerfassungsserver eingebaut.

Als Prozessbus für die Datenerfassung bei Abfüllanlagen werden bisher hauptsächlich zwei Systeme eingesetzt. Werden hauptsächlich Steuerungen der Firma Siemens angebunden, ist der Profibus die preisgünstigste Alternative. Mit dem Einzug der PC-Technik in die Steuerungstechnik der Maschinen erlangt das Ethernet zunehmende Bedeutung. Die wichtigsten Eigenschaften der beiden Bussysteme sind in Tabelle 3.1 zusammengestellt.

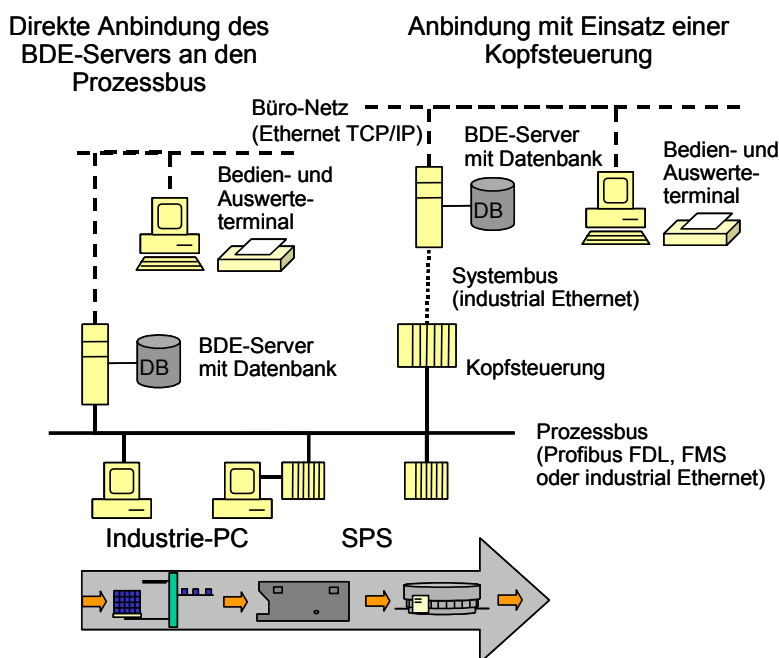


Bild 3.3: Architekturen von Datenerfassungssystemen

Tabelle 3.1: Profibus und Ethernet [70]

	Profibus	Ethernet
Standard	DIN 19 245 [17], EN 50 170	IEEE 802.3 [39]
Topologien	Elektrisch: Linie, Stern optisch: Linie, Stern, Ring drahtlos: Punkt zu Punkt, Punkt zu Mehrpunkt	Linie, Baum, redundanter Ring, Stern
Zeitverhalten	Deterministisch	nicht deterministisch, für Datenerfassung aber ausreichend
Zugriffsverfahren	Hybrides Verfahren: Token Passing mit unterlagertem Master/Slave	CSMA/CD (Carrier Sensing multiple Access/Collision Detection)
Anzahl der Teilnehmer	Max. 127	Unbegrenzt
Typ. Telegrammlänge	120 – 230 Byte (nach Siemens)	220 - 515 Byte (nach Siemens)
max. Telegrammlänge	246 Byte (nach DIN)	unbegrenzt
Übertragungsmedien	geschirmte Zweidrahtleitung, Lichtwellenleiter, (Glas, PFC und Plastik) Infrarot	Triaxialkabel, industrial Twisted Pair und Twisted Pair Leitung Lichtwellenleiter Glas
Netzgrößen	Elektrisch: 9,6 km Optisch 90 km	elektrisch: 1,5 km optisch: 4,5 km
Übertragungsraten	93,75 kBit/s, 187,5 kBit/s, 500 kBit/s, 1,500 MBit/s bei Datenerfassungssystemen üblich: 500 kBit/s	10 MBit/s 100 MBit/s (Fast Ethernet)

Der Profibus wurde als Feldbus in Deutschland standardisiert und bietet die Möglichkeit des Datenaustauschs bei begrenzter Telegrammlänge. Mit geringen Kosten für Profibus-Baugruppen und dank hoher Robustheit eignet sich der Profibus gut für den Einsatz bei der Betriebsdatenerfassung, insbesondere bei kleineren Datenerfassungssystemen für überwiegend mit speicherprogrammierbaren Steuerungen ausgestattete Maschinen.

Die den Buszugriff steuernden Dienste des Profibus werden als Fieldbus Data Link (FDL) bezeichnet. Durch direkten Zugriff auf die FDL-Dienste durch Treiberprogramme in den Steuerungen der Einzelaggregate kann der Datenaustausch über den Profibus mit hoher Übertragungsleistung erreicht werden.

Eine einfachere Möglichkeit stellt die Verwendung der vom Profibus zur Verfügung gestellten Anwendungsdienste mit der Bezeichnung Fieldbus Message Specification (FMS) dar. Im Vergleich zum direkten Zugriff auf FDL-Dienste muss hier allerdings mit einer um etwa die Hälfte reduzierten Übertragungsleistung gerechnet werden. Bei dieser Vorgehensweise kann jedoch auf Treiberprogramme in den Einzelsteuerungen verzichtet werden und sie ermöglicht ein einfaches zyklisches Abfragen und Senden von Betriebsdaten. Der Profibus FMS wird weltweit von Siemens unter der Bezeichnung Sinec L2 – FMS angeboten. Die von Sie-

mens angegebene typische Telegrammlänge von 120 bis 230 Byte und eine Übertragungsrate von 187,5 kBit/s (evtl. auch 500 kBit/s) sollten für einen zuverlässigen Busbetrieb nicht überschritten werden.

Aufgrund der begrenzten Telegrammlänge scheidet der Profibus für die Übertragung größerer Datenmengen aus, wie sie beim Einsatz einer Kopfsteuerung als Datenkonzentrator anfallen. Für die Kommunikation der Kopfsteuerung mit dem Datenerfassungserver über den Systembus kommt deshalb überwiegend das an die Bedingungen der Prozesstechnik angepasste Ethernet (industrial Ethernet) mit dem TCP/IP-Protokoll (Transmission Control Protocol / Internet Protocol) zum Einsatz. Es ermöglicht deutlich höhere Übertragungsraten als der Profibus bei unbegrenzter Telegrammlänge, verursacht allerdings zurzeit etwa um den Faktor 1,5 höhere Kosten. Auch die direkte Anbindung einzelner Maschinensteuerungen an den Datenerfassungserver mittels Ethernet ist möglich. Durch die weite Verbreitung in der PC-Welt und die wachsende Bedeutung des Internets werden die Kosten für Ethernet-Komponenten in Zukunft sicher weiter sinken. Bei der Anbindung neuer Abfüllanlagen mit zahlreichen PC-Steuerungen wird deshalb Ethernet unverzichtbar sein.

Um historische Auswertungen zu ermöglichen, müssen die während des Betriebs einer Abfüllanlage anfallenden Daten gespeichert werden. Zu diesem Zweck stehen leistungsfähige Datenbanksysteme zur Verfügung, die Betriebsdaten strukturiert archivieren können. Stand der Technik sind heute relationale Datenbanken (z. B. Oracle, MS-SQL Server). Charakteristisch für diese Datenbanksysteme ist das Ablegen der Daten in Tabellen. Dabei besteht jeder Datensatz aus einer oder mehreren Spalten, den sogenannten Attributen. Die Daten können auf mehrere Tabellen in der Weise aufgeteilt werden, dass Datenredundanzen, also das Mehrfachspeichern von Daten, vermieden werden.

Der Zugriff auf die Daten erfolgt mit Hilfe der Abfragesprache SQL (structured query language), einer standardisierten Datenbanksprache zum Aufbau und zur Manipulation relationaler Datenbanken, die in der ISO 9075 [42] definiert ist. Auf Grund der Normung ist diese Sprache unabhängig von dem verwendeten Datenbanksystem lauffähig. Sie stellt einen einfachen und kompakten Code zur Verfügung, mit dessen Hilfe beliebige Abfragen generiert werden können. Für die Zukunft ist auch die Verwendung von Datenbank-Systemen vorstellbar, die anhand objektorientierter oder multidimensionaler Datenmodelle aufgebaut sind.

3.2 Einsatz künstlicher neuronale Netze

3.2.1 Knowledge Discovery in Databases

Knowledge Discovery in Databases (KDD) bezeichnet den Vorgang, Wissen aus großen Datenmengen zu extrahieren. Dieses ist ein komplexer Prozess, bestehend aus mehreren Schritten, der interaktiv und iterativ durchlaufen wird (vgl. Bild 3.4). Der Anwender muss sowohl Wissen über den betrachteten Fachbereich als auch über die Datenanalyse besitzen. Am Ende des Prozesses erhält man das gewonnene Wissen in Form eines Modells bzw. Expertensystems, welches dann letztlich integriert, also einer Anwendung zugeführt werden kann.

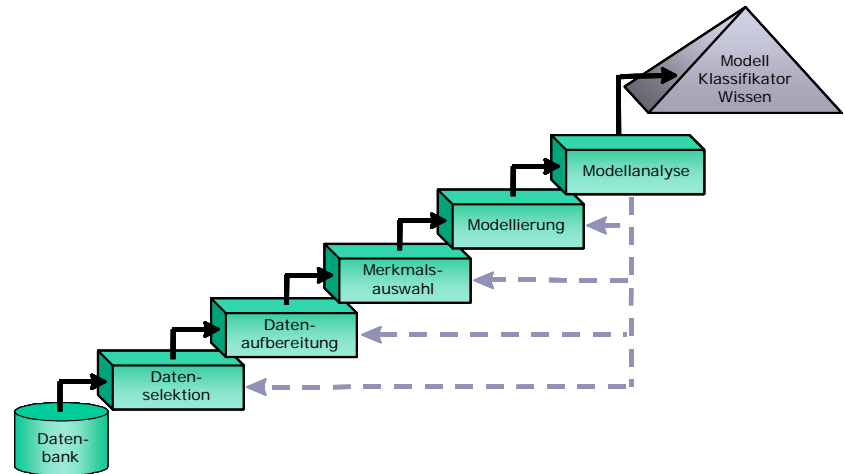


Bild 3.4: Teilschritte des KDD-Prozesses [56]

Die technische Basis des KDD ist das maschinelle Lernen. In dieser Arbeit wurde ein künstliche neuronales Netzwerk (KNN) als lernfähiges System eingesetzt, um das dynamische Fortschreiten von Maschinenstillständen entlang einer Abfüllanlage zu modellieren. Nach einem überwachten Lernprozess, bei welchem das Netzwerk an das Verhalten einer speziellen Abfüllanlage angepasst wird, können mithilfe des erhaltenen Expertensystems dann die Auswirkungen von Stillständen vor- und nachgeschalteter Maschinen auf das Zentralaggregat anhand aufgezeichneter Betriebsdaten analysiert werden (vgl. 0). Künstliche neuronale Netzwerke erwiesen sich im behandelten Fall als geeignete Instrumente, da mit ihrer Hilfe Muster und Regelmäßigkeiten in den Datenstrukturen erkannt und nach einer Aufbereitung in Form von Information dargestellt werden konnten. Vereinfachende Annahmen, wie sie bei Verwendung eines analytischen Modellansatzes zu treffen gewesen wären, mussten nicht berücksichtigt werden.

Bei der retrospektiven Analyse aufgezeichneter Betriebsdaten wurde der Einsatz künstlicher neuronaler Netzwerke schon mehrfach verfolgt. Als Beispiele können die Fehlerdiagnose in elektrischen Energieübertragungssystemen [9] und Zeitreihenuntersuchungen in Alarmdatenbanken von Telekommunikationsanlagen [35] [57] oder natürlichen Systemen [91] genannt werden. In der Lebensmittelindustrie haben sie bisher im Bereich der Bioprozessmodellierung [23] oder auch der Intelligenten Sensorik [38] Anwendung gefunden.

Über die Theorie des Einsatzes künstlicher neuronaler Netze in der Informationstechnologie kann sich der interessierte Leser in zahlreich verfügbarer Fachliteratur informieren (z. B. [14], [27], [51] und [93]). Die Grundlagen zum Verständnis der in dieser Arbeit entwickelten Anwendung sind in den nachfolgenden Abschnitten 3.2.2 - 3.2.4 zusammengefasst.

3.2.2 Neuronale Netzwerke in der Natur

Prinzipiell sind künstliche neuronale Netzwerke Rechenvorschriften, die aus bereitgestellten Eingangsdaten Ergebnisse ermitteln. Diese Rechenvorschriften basieren auf einer Nachempfindung der Datenverarbeitung empfindungsfähiger Lebewesen.

Bei Lebewesen geschieht diese Datenverarbeitung in den Nervenzellen. Sie erhalten über dünne, röhrenförmige und meist stark verästelte Fortsätze der Zelle, den Dendriten, Impulse, die sie an den Zellkern weiterleiten. Diese Impulse werden durch einen Strom von geladenen Atomen hervorgerufen, der durch die Dendriten fließt. Sie bewirken durch die Ladungsverschiebung im Zellkern eine Änderung der γ -Struktur der Zellmembranproteine. Ist ein zellspezifisches Ladungspotenzial vorhanden, werden die Zellmembranen durchlässig für die Ionen in der Zelle. So gibt die Zelle ihrerseits einen Ionenstrom an das Axon weiter. Axone sind den Dendriten sehr ähnlich, allerdings leiten sie die Nervenimpulse von der Zelle weg. Sie sind mit den Dendriten der nachfolgenden Zellen über Synapsen gekoppelt.

Durch Vernetzung der Nervenzellen, deren Anzahl beim Menschen etwa 100 Milliarden beträgt, kommen Assoziationen zwischen den Nervenzellen der Sinnesorgane und Handlungsweisen oder Erinnerungen zustande. Diese Assoziationen muss das Lebewesen erlernen. Dies geschieht durch das Kappen von synaptischen Verbindungen, Veränderung der Fließgeschwindigkeit der Ionen in den Dendriten und des Potenzials, das nötig ist, um die γ -Struktur der Membranproteine zu ändern. Künstliche neuronale Netze simulieren die Datenverarbeitung empfindungsfähiger Lebewesen. Sie bestehen aus Knoten und Verbindungen. Die Knoten entsprechen den Zellen, die Verbindungen den Dendriten und Axonen. Die Knoten sind über die Verbindungen mit anderen Knoten verknüpft.

Sollen reale Fragestellungen mit Hilfe Künstliche neuronale Netzwerke bearbeitet werden, so sind die Informationen über die zugrundeliegende Problemstellung zunächst in Form von Zahlenwerten zu abstrahieren. Über eine entsprechende Anzahl von Eingangsknoten kann diese Information dann dem künstlichen neuronalen Netzwerk zur Verfügung gestellt werden. Hierbei erfahren die Eingangsknoten eine entsprechende Aktivierung, die anhand der aktuellen Parameterwerte des Knotens umgerechnet und über gewichtete Verbindungen an die darauffolgenden Knoten weitergegeben wird. Der Zielknoten berechnet mit Hilfe der Aktivierungsfunktion seine eigene Aktivierung aus der Summe der Eingänge. Eine Ausgabefunktion ermittelt danach aus der Aktivierung des Knotens seinen Ausgabewert. Weitere Verbindungen, die Ausgangsverbindungen, leiten den Ausgabewert an andere Knoten weiter. Am Ende des Netzwerkes stehen die Ausgabeknoten, die das Ergebnis der Datenverarbeitung bereitstellen. Ihre Anzahl wird wiederum durch die der Abstraktion zugrundeliegende Fragestellung bestimmt.

Knoten, die weder eine Eingabe von dem Problem erhalten, noch eine Ausgabe des Netzwerkergebnisses darstellen, nennt man verdeckte Knoten. Ihre Anzahl ist nicht eingeschränkt. Durch Testen der Qualität mit der das Netzwerk die gewünschte Ausgabe berechnet, ermittelt der Benutzer während des Entwickelns von künstlichen neuronalen Netzen die optimale Anzahl. Mehrere Knoten mit derselben Aufgabe sind zu Verarbeitungsschichten zusammengefasst. Ein Knoten dieser logischen Gruppierung besitzt jeweils eine Verbindung mit jedem Knoten aus der vor- bzw. nachgelagerten Schicht.

Bild 3.5 verdeutlicht grafisch eine Netzwerktopologie mit 3 Schichten. Dieses Netzwerk ist für die Lösung des XOR-Problems geeignet, das in den folgenden Kapiteln die Arbeitsweise von künstlichen neuronalen Netzwerken verdeutlichen soll. Das XOR-Problem entspricht der exklusiv-oder-Funktion aus der booleschen Algebra. Entsprechend sind zwei boolesche Eingänge vorhanden, die so miteinander verknüpft werden müssen, dass die in Tabelle 3.2 aufgeführten Ergebnisse entstehen.

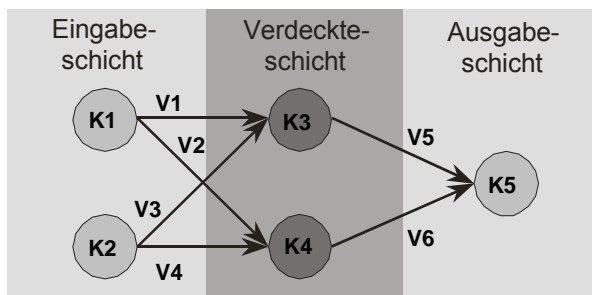


Bild 3.5: Netztopologie eines künstlichen neuronalen Netzwerkes zur Lösung des XOR-Problems

Im Zusammenhang mit der Datenbereitstellung für künstliche neuronale Netzwerke wird auch von Patterns gesprochen. Ein Pattern ist ein Vektor, dessen Anzahl an Elementen von der Anzahl der Eingangsknoten abhängt. Zum Training des Netzwerkes besitzt jedes Pattern auch noch einen Ausgabevektor, dessen Werteanzahl der Anzahl der Ausgangsknoten des Netzwerkes entspricht.

Tabelle 3.2: Ergebnistabelle der XOR-Funktion

Eingabewert 1	Eingabewert 2	Ausgabewert
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	0

3.2.3 Arbeitsweise

Die Arbeitsweise der einfachsten neuronalen Netzwerke nennt man Forwardpropagation („zum Nächsten leiten“). Die Eingabewerte werden hierbei den Eingangsknoten übermittelt. Die Knoten verarbeiten die erhaltenen Werte. Die Ausgangsverbindungen leiten den so erhaltenen Wert an die folgenden Knoten weiter. Dieser Vorgang wiederholt sich so oft, bis die Ausgangsknoten erreicht sind. Während der Weiterleitung der Werte von einem Knoten zum nächsten werden sie mit dem Gewicht der Verbindungen multipliziert. In diesem Projekt wurden Netzwerke vom Typ Multilayer Perceptron (MLP) eingesetzt. Hierbei handelt es sich um Feedforward-Netzwerke, die mit der Backpropagation-Lernregel trainiert werden. Das bedeutet, dass zum Netztraining Trainingspatterns mit bekannter Netzwerk-Soll-Ausgabe zur Verfügung stehen müssen. Diese Netze eignen sich

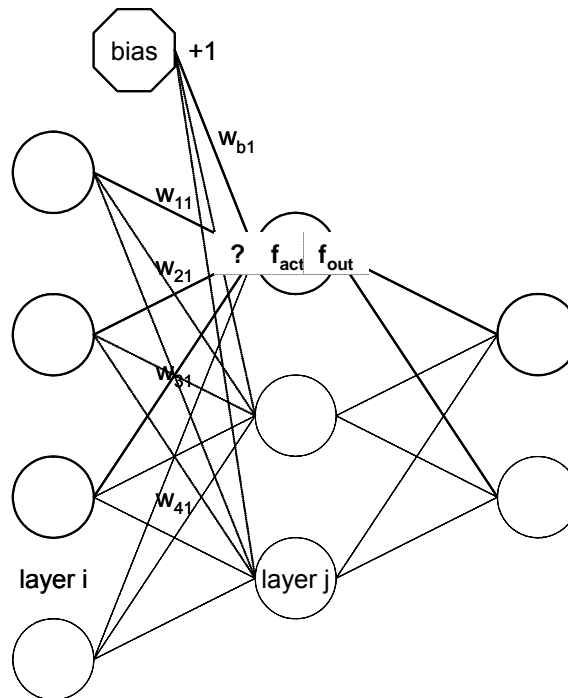


Bild 3.6: Architektur eines Multilayer Perceptron

gut für Klassifizierungsaufgaben. In dieser Arbeit handelt es sich um ein derartiges Problem. Füllerstillstände müssen ihren Verursachern zugeordnet werden, wobei die Anzahl der Klassen der Zahl der möglichen,

stillstandsverursachenden Maschinen entspricht. Einen Ausschnitt aus der Architektur eines MLPs zeigt Bild 3.6.

Bei der Forwardpropagation werden die Netzeingänge so lange von Neuron zu Neuron weitergeleitet, bis die Ausgangsschicht erreicht ist. Innerhalb eines Neurons werden die Werte entsprechend folgender Gleichung verarbeitet:

$$o_j = f_{out} \left(f_{act} \left(\sum_{i=1}^n o_i w_{ij} + w_{bj} \right) \right) \quad (3.1)$$

Zunächst werden alle eingehenden Werte summiert. Der Knoten addiert zusätzlich den vom Bias-Knoten anliegenden Wert. Bias-Knoten sind Neuronen mit konstanten Ausgängen (in der Regel 1). Durch die Anpassungsmöglichkeit der Verbindungsgewichte w_{ij} entspricht deren Verwendung dem Einsatz variabler Schwellenwerte für die Neuronen aller Schichten mit Ausnahme der Eingangsschicht. Die so erhaltene Summe wird in die Aktivierungsfunktion eingesetzt und das Ergebnis wird durch die Ausgabefunktion bearbeitet. Der so entstandene Wert ist die Ausgabe des Knotens. Die Gleichungen 3.2 bis 3.4 verdeutlichen diese Einzelschritte:

$$net_j = \sum_{i=1}^n o_i w_{ij} \quad (3.2)$$

$$a_j = f_{act}(net_j + w_{bj}) \quad (3.3)$$

$$o_j = f_{out}(a_j) \quad (3.4)$$

Die einzelnen Parameter haben hierbei die folgenden Bedeutungen:

- net_j = Eingabe der Werte aus den vorherigen Knoten
- a_j = Aktivierung des Knotens j
- o_i = Eingabe des Knotens
- o_j = Ausgabe des Knotens
- w_{ij} = Gewicht der Verbindung zwischen den Knoten i und j
- Θ_j = Variable Bias mit Schwellenwertfunktion
- f_{act} = Aktivierungsfunktion
- f_{out} = Ausgabefunktion

Welche Funktion für die Aktivierungs- bzw. Ausgabefunktion verwendet wird, bleibt dem Architekten des künstlichen neuronalen Netzwerkes überlassen. Üblicherweise beschränkt sich die Auswahl auf 4 verschiedene Funktionen:

- Die **Identität**, bei der ein Wert unverändert weitergegeben wird.

- Die **binäre Funktion**: Die Ausgabe ist hierbei 0 oder -1 für negative und 1 für positive.
- Die **logistische Funktion** (Gleichung 3.5), die vollständig differenzierbar ist, was für den Lernalgorithmus wichtig ist (vgl. 3.2.4).

$$f_{\log}(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \tag{3.5}$$

- Der **Tangenshyperbolicus**: Dieser ähnelt im Funktionsgraf der logistischen Funktion. Der Unterschied besteht im Grenzwert bei x gegen minus unendlich. Der Tangenshyperbolicus hat hier einen Grenzwert von -1, während die logistische Funktion einen Grenzwert von 0 aufweist. Auch diese Funktion ist vollständig differenzierbar.

$$f_{\tanh}(x) = \tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \tag{3.6}$$

In dem genannten Beispiel zum XOR-Problem (vgl. Bild 3.5) besitzen die Knoten eine Aktivierungs- und Ausgabefunktion des Typs „Identität“.

Tabelle 3.3: Initialisierungsgewichte des XOR-Netzwerks

Verbindung	Gewicht w
V1 (K1→K3)	0,5
V2 (K1→K4)	-0,8
V3 (K2→K3)	0,2
V4 (K2→K4)	-0,5
V5 (K3→K5)	0,3
V6 (K4→K5)	-0,7

Tabelle 3.4: Initialisierung der Knotenschwellenwerte im XOR-Netzwerk

Knoten	Schwellenwert Θ
K3	0,8
K4	0,3
K5	-0,2

Wenn die Gewichte der Verbindungen die Werte der Tabelle 3.3 annehmen und die Schwellenwerte der Knoten den Werten der Tabelle 3.4 entsprechen, errechnet sich die Netzwerkausgabe für die Netzwerkeingabe 1, 0 wie folgt.

Netzwerkeingabe:

$$I_{K1} = 1; I_{K2} = 0$$

Verdeckte Schicht:

$$Net_{K3} = I_{K1} \cdot w_{K1-K3} + I_{K2} \cdot w_{K2-K3} + \Theta_{K3}$$

$$= 1 \cdot 0,5 + 0 \cdot 0,2 + 0,8 = 1,3$$

$$O_{K3} = a_{K3} = f_{akt}(Net_{K3}) = Net_{K3} = 1,3$$

$$\begin{aligned}
 \text{Net}_{K4} &= I_{K1} \cdot w_{K1-K4} + I_{K2} \cdot w_{K2-K4} + \Theta_{K4} \\
 &= 1 \cdot -0,8 + 0 \cdot -0,5 + 0,3 = -0,5 \\
 o_{K4} &= a_{K4} = f_{\text{akt}}(\text{Net}_{K4}) = \text{Net}_{K4} = -0,5
 \end{aligned}$$

Ausgabeschicht:

$$\begin{aligned}
 \text{Net}_{K5} &= o_{K3} \cdot w_{K3-K5} + o_{K4} \cdot w_{K4-K5} + \Theta_{K5} \\
 &= 1,3 \cdot 0,3 + -0,5 \cdot -0,7 + -0,2 = 0,54 \\
 o_{K5} &= a_{K5} = f_{\text{akt}}(\text{Net}_{K5}) = \text{Net}_{K5} = 0,54
 \end{aligned}$$

Die hier eingesetzten Gewichte und Schwellenwerte des Netzwerkes lösen jedoch noch nicht das oben genannte XOR-Problem.

3.2.4 Backpropagation-Lernregel

Beim Trainingsvorgang (Lernen) werden die Gewichte und Schwellenwerte eines künstlichen neuronalen Netzwerkes so verändert, dass ein aussagekräftiges künstliches neuronales Netzwerk entsteht. Dies kann durch iteratives Annähern der Ist-Ausgabe an die Soll-Ausgabe erreicht werden. Hierzu sind geeignete Algorithmen zu finden. Ein solcher ist die Backpropagation-Lernregel, welche auf der Annäherung von Ist-Ausgabe (o_j) des Netzwerkes an die Soll-Ausgabe (z_j) basiert.

Ziel des Lernalgorithmus ist es, die globale Varianz zu minimieren. Diese berechnet sich nach:

$$E(W) = E_{(w_1, w_2, \dots, w_n)} = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n (z_j - o_j)^2 \quad (3.7)$$

Das iterative Annähern des Fehlers an das Minimum erfolgt durch das Berechnen des Gradienten der Fehlerfunktion $E(W)$. Die einzelnen Gewichte werden um einen Bruchteil dieses Gradienten in die negative Richtung verändert, um ein Minimum der Funktion zu finden. Diesen Bruchteil nennt man Lernrate (η). Für die Veränderung des einzelnen Gewichts vom Knoten i nach Knoten j gilt somit:

$$\Delta w_{ij} = \eta \frac{\partial}{\partial w_{ij}} E(W) = \eta \frac{\partial}{\partial w_{ij}} \cdot \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n (z_j - o_j)^2 \quad (3.8)$$

Durch Differenzieren des vollständigen Integrals $\frac{\partial E}{\partial w}$ ergibt sich die Änderung des Gewichts w_{ij} zu

$$\Delta w_{ij} = \eta o_i \delta_j \quad (3.9).$$

Hierbei ist δ_j der lokale Fehler des betrachteten Knotens j und o_i die Ausgabe des vorhergehenden Knotens i . Der lokale Fehler δ_j berechnet sich als Produkt der Ableitung der Netzeingabefunktion mit dem Fehler der folgenden Schicht.

$$\delta_j = \frac{\partial f_{akt}(net_j)}{\partial net_j} \cdot \sum_k \delta_k w_{jk} = f'_{akt}(net_j) \cdot \sum_k \delta_k w_{jk} \quad (3.10)$$

k umfasst hierbei alle Knoten, die durch Verbindungen vom Knoten j Werte erhalten. Für den Fall, dass der Knoten j ein Ausgabeknoten ist, ergibt sich der Fehler der folgenden Schicht als Differenz von Soll-Ausgabe und Ist-Ausgabe.

Damit lässt sich die Backpropagation-Lernregel mit den folgenden Gleichungen zusammenfassen.

$$\begin{aligned} \Delta w_{ij} &= \eta o_i \delta_j \\ \delta_j &= \begin{cases} f'_{akt}(net_j) \cdot (z_j - o_j) & \text{falls } j \text{ ein Ausgabeknoten ist,} \\ f'_{akt}(net_j) \cdot \sum_k \delta_k w_{jk} & \text{falls } j \text{ ein verdeckter Knoten ist.} \end{cases} \end{aligned} \quad (3.11)$$

An dieser Stelle wird deutlich, warum sich vollständig differenzierbare Funktionen als Aktivierungsfunktionen eignen. Beim Differenzieren der logistischen Funktion entsteht Gleichung 3.12:

$$f'_{\log}(net_j) = f_{\log}(net_j) \cdot (1 - f_{\log}(net_j)) = o_j \cdot (1 - o_j) \quad (3.12)$$

Damit ergibt sich für δ_j eine vereinfachte Gleichung.

$$\delta_j = \begin{cases} o_j \cdot (1 - o_j) \cdot (z_j - o_j) & \text{falls } j \text{ ein Ausgabeknoten ist,} \\ o_j \cdot (1 - o_j) \cdot \sum_k \delta_k w_{jk} & \text{falls } j \text{ ein verdeckter Knoten ist.} \end{cases} \quad (3.13)$$

Um die lokalen Fehler der einzelnen Knoten zu erhalten, wird bei der Anwendung dieses Algorithmus' zunächst der lokale Fehler der Knoten in der Ausgabeschicht berechnet. Davon ausgehend werden die Knoten der vorgelagerten Schicht durchgerechnet. Dies wird so lange fortgeführt, bis die Eingangsschicht erreicht ist (Backpropagation).

Für das oben genannte XOR-Beispiel errechnen sich die Gewichtsveränderungen für die Verbindungen V5, V1 und V2 wie folgt:

$$\begin{aligned} \eta &= 0,6 & f'_{akt} &= 1 \\ \delta_5 &= f'_{akt} \cdot (z_5 - o_5) = 1 \cdot (1 - 0,54) = 0,46 \\ \Delta w_{3,5} &= \eta o_3 \delta_5 = 0,6 \cdot 1,3 \cdot 0,46 = 0,3588 \\ \delta_3 &= f'_{akt} \cdot \delta_5 \cdot w_{3,5} = 1 \cdot 0,46 \cdot 0,3 = 0,138 \\ \Delta w_{1,3} &= \eta o_1 \delta_3 = \eta I_{K1} \delta_3 = 0,6 \cdot 1 \cdot 0,138 = 0,0828 \\ \Delta w_{2,3} &= \eta o_2 \delta_3 = \eta I_{K2} \delta_3 = 0,6 \cdot 0 \cdot 0,138 = 0 \end{aligned}$$

Vor der Anwendung der Backpropagation-Lernregel müssen die Gewichte der einzelnen Knoten initialisiert werden. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Gewichte der Knoten einer Schicht (mit identischen Ausgangs- bzw. Eingangsknoten) nicht dieselben Werte besitzen. Ansonsten können sie während des Trainings niemals unterschiedliche Werte annehmen („Symmetry Breaking“).

Da die Lernregel in flachen Plateaus und steilen Tälern der Fehlerkurve (Globale Varianz der Soll-Ist-Abweichungen) Probleme aufweist, wurde sie um die Momentum-Funktion erweitert. Dabei wird die Änderung eines Gewichts in Abhängigkeit von der vorhergehenden Änderung des Gewichts mit der Gleichung

$$\Delta w_{ij}(t+1) = \eta o_i \delta_j + \alpha \Delta w_{ij}(t) \quad (3.14)$$

modifiziert. Hierbei ist α ein Parameter zwischen 0 und 1, der den Einfluss der vorhergehenden Änderung beschreibt. Durch die Addition des Momentum-Terms wird dem Verfahren eine gewisse Trägheit verliehen. Dadurch steigt die Tendenz, die Richtung der Änderung beizubehalten. So wird es dem Verfahren erleichtert, Minima in steilen Tälern zu erreichen und flache Plateaus schneller zu überwinden. Ein Maß für diese Trägheit ist der Parameter α .

Befindet sich ein Neuron nahe dem Sättigungsbereich der Aktivierungsfunktion, kann es sich beim Training nur schwer wieder aus diesem Zustand entfernen, da die Ableitung der Aktivierungsfunktion sehr kleine Werte annimmt. Dies lässt sich beheben, indem zur Ableitung der konstante Flatspot-Parameter c addiert wird. Aus Gleichung 3.15 wird hierdurch:

$$\begin{aligned} \Delta w_{ij} &= \eta o_i \delta_j \\ \delta_j &= \begin{cases} f'_{akt}((net_j) + c) \cdot (z_j - o_j) & \text{falls } j \text{ ein Ausgabeknoten ist,} \\ f'_{akt}((net_j) + c) \cdot \sum_k \delta_k w_{jk} & \text{falls } j \text{ ein verdeckter Knoten ist.} \end{cases} \end{aligned} \quad (3.15)$$

Die Netzwerktopologie hat auf die Lösbarkeit von Problemen mit Hilfe von künstlichen neuronalen Netzwerken großen Einfluss. So zeigte Zell [93], dass nur solche Probleme mit einem zweischichtigen Netzwerk gelöst werden können, die linear trennbar sind. Dies bedeutet, dass der Ergebnisraum durch eine Ebene getrennt ist. Wird die Netzwerkausgabe als binär betrachtet, sind alle Netzwerkausgaben oberhalb dieser Ebene 1 und unterhalb dieser Ebene 0.

Für das Beispiel des XOR-Problems ist der Ergebnisraum zweidimensional, da nur zwei Eingangsknoten vorhanden sind. Dieser Ergebnisraum ist in Bild 3.7 dargestellt. Dieses einfache Problem benötigt also ein Netzwerk mit drei Schichten.

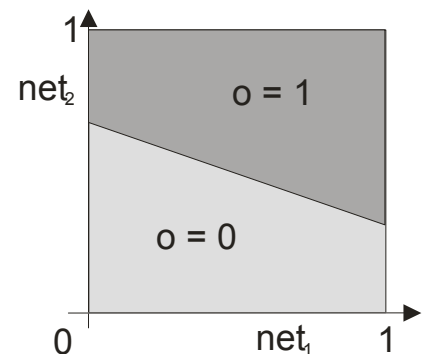


Bild 3.7: Ergebnisraum eines zweischichtigen XOR-Netzwerkes

3.3 Unscharfe Regelung (Fuzzy Control)

Durch die unscharfe Logik (engl. fuzzy logic) wird dem Menschen ermöglicht, Alltagserfahrungen und Begriffe wie „wenig“, „viel“ oder „alt“, „jung“, oder „hoch“, „tief“ mathematisch exakt zu beschreiben und einem Computer verständlich zu machen. Sie stellt eine Erweiterung der klassischen, scharfen Logik dar, die sie als Sonderfälle beinhaltet [79].

Die Regelungstechnik ist heute das Haupteinsatzgebiet der Fuzzy-Logik. Hierdurch wird es in einfacher Weise ermöglicht, das Expertenwissen eines mit der Regelungsaufgabe vertrauten Fachmanns in die Charakteristik einer automatischen Regelung zu übertragen. Industrielle Prozesse in Zement- oder Hochöfen werden heute genau so unscharf geregelt, wie Antiblockiersysteme in der Fahrzeugtechnik oder auch Waschmaschinen [78]. Auch bei der industriellen Bierherstellung kam die unscharfe Regelung schon mehrfach zur Anwendung. Beispiele sind die Phasenerkennung und Regelung bei der Gärung und Reifung von Bier [36] oder der anaeroben Abwasserbehandlung [60] sowie die Beeinflussung des Abläutervorgangs bei der Würzproduktion [4].

In der Getränkeabfülltechnik wurde der Einsatz der Fuzzy-Regelung angedacht (z. B. [11]), konnte sich jedoch noch nicht in der Praxis durchsetzen. In dieser Arbeit wird die unscharfe Regelung als neuer Ansatz für die Vorgabe von Maschinenausbringungen in Abfüllanlagen im Hinblick auf optimierte Pufferfüllungsgrade eingesetzt (vgl. 5.2.2). Diese Vorgehensweise besitzt Parallelen zu Verkehrsleitsystemen, bei welchen ebenfalls auf fuzzy control gesetzt wird [25].

Die theoretischen Grundlagen zur unscharfen Logik sind nachfolgend zusammengefasst. Die Funktionsweise eines unscharfen Reglers wird anschließend anhand eines Beispiels aus der in dieser Arbeit entwickelten Regelbasis erläutert. Zur weiteren Vertiefung kann Fachliteratur wie [10], [43], [78] oder [79] herangezogen werden.

3.3.1 Wichtige Begriffe der Fuzzy-Logik

Unscharfe Mengen – Fuzzy-Terme

Nach der klassischen, scharfen Mengenlehre der Schulmathematik kann ein Element aus einem Wertevorrat X einer Menge entweder vollständig zugehören oder nicht in ihr enthalten sein. Wie in Bild 3.8 dargestellt, ist x_1 ein eindeutiges Element von A ($x_1 \in A$), während x_2 der scharfen Menge A überhaupt nicht zugeordnet werden kann ($x_2 \notin A$).

Die **unscharfe Menge** (fuzzy term) erlaubt neben der vollständigen auch die teilweise Zugehörigkeit eines Elementes zu ihr. Sie besitzt keine klar definierte Grenze, sondern einen „unscharfen“ Übergangsbereich an ihren Rändern. Elemente, die sich in diesem Übergangsbereich befinden, gehören ihr nur zu einem gewissen Grad an. Auch in Bild 3.9 gehört x_1 vollständig zu B und x_2 ist gar nicht enthalten. Das Element x_3 befindet sich im Grenzbereich der unscharfen Menge B und ist ihr nur teilweise zuzuordnen.

Der Grad mit dem ein Element einer unscharfen Menge angehört, ist ein quantitatives Maß dafür, inwieweit es ihre Eigenschaften erfüllt. Er wird in der Fuzzy-Logik als **Zugehörigkeitsgrad** μ bezeichnet. Man verwendet im Allgemeinen nur normalisierte unscharfe Mengen, bei denen die Zugehörigkeitsgrade aller Ele-

mente x im Bereich von null bis einschließlich eins liegen ($\mu(x) \in [0;1]$) [79]. Hierbei bedeutet ein Zugehörigkeitsgrad von eins, dass ein Element vollständig einer Menge, also wie in der klassischen scharfen Logik, zugehört ($\mu(x_1) = 1$). Nicht enthaltene Elemente haben den Zugehörigkeitsgrad Null ($\mu(x_2) = 0$) und Elemente, die teilweise zugeordnet werden können, einen Wert zwischen null und eins (z. B. $\mu(x_3) = 0,45$).

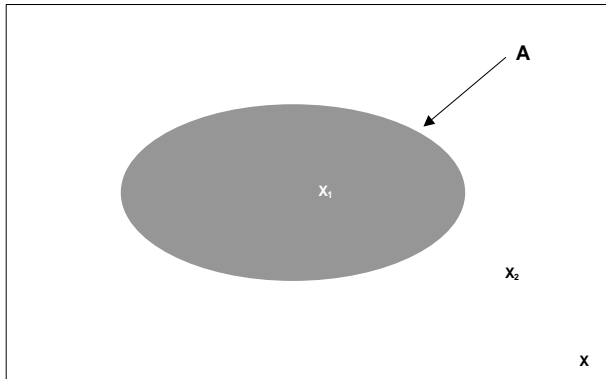


Bild 3.8: Die klassische Menge A im Venn-Diagramm

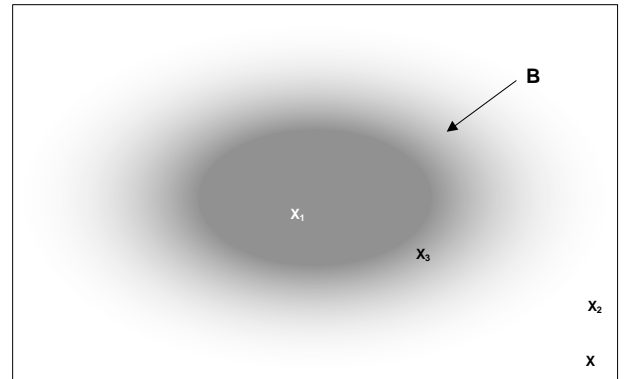


Bild 3.9: Die unscharfe Menge B im Venn-Diagramm

Die Darstellung einer unscharfen Menge kann bei begrenzter Elementenzahl als Menge geordneter Wertepaare in der Form $B = \{(x_1, \mu_1); (x_2, \mu_2); \dots\}$ erfolgen.

Ordnet man allen Elementen eines kontinuierlichen Wertevorrats X einen Zugehörigkeitsgrad $\mu(x)$ zu, erhält man eine Zugehörigkeitsfunktion $x \rightarrow \mu(x)$. Die Darstellung von unscharfen Mengen mit kontinuierlichen Zugehörigkeitsfunktionen erfolgt am besten grafisch (vgl. Bild 3.10).

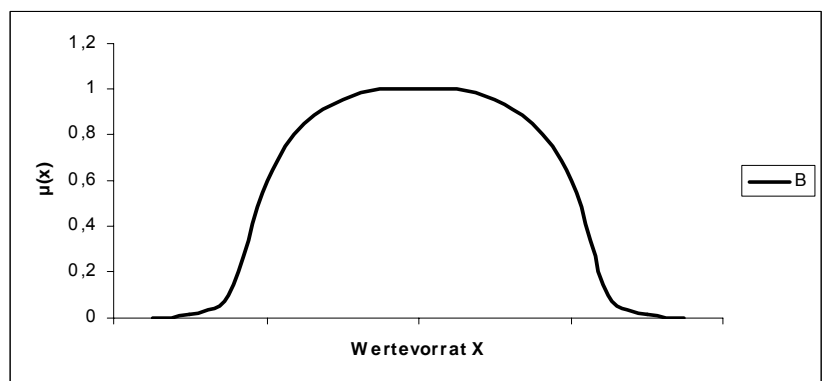


Bild 3.10: Darstellung der unscharfen Menge B (Zugehörigkeitsfunktion willkürlich gewählt)

Linguistische Variablen

Um es beim Einsatz der unscharfen Logik zu ermöglichen, mit sprachlich formulierten Alltagserfahrungen und Expertenwissen umzugehen, verwendet man **linguistische Variablen** (von lat. lingua = Sprache). Man bildet ein Mengensystem aus mehreren, mit linguistischen Termen (z. B. tief, mittel, hoch oder kalt, lauwarm, warm, heiß) bezeichneten unscharfen Mengen (Fuzzy-Terme) über einem (meist physikalisch relevanten) Wertevorrat. Die Zugehörigkeitsfunktionen können hierbei beliebig gewählt werden. Regelungstechnische Anwendungen beschränken sich jedoch meist auf Kurven mit Dreiecks- oder Trapezform sowie Singletons (Menge mit nur einem Element der Zugehörigkeit $\mu = 1$). (vgl. Bild 3.11).

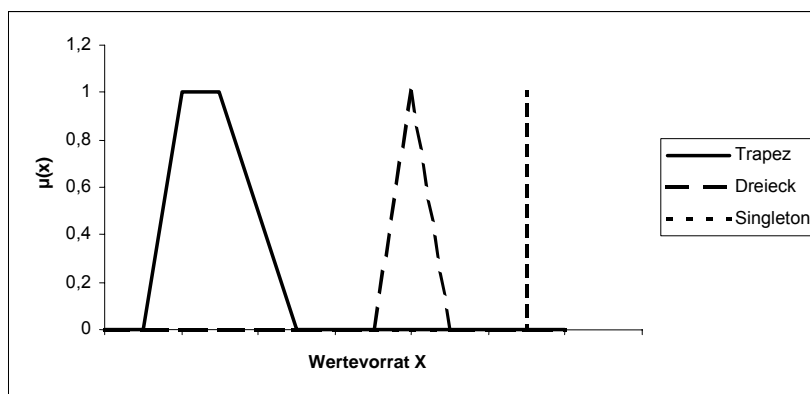


Bild 3.11: Häufige Typen von Zugehörigkeitsfunktionen

Die Bedeutung einer linguistische Variable soll an einer Eingangsgröße des in Kapitel 5 beschriebenen unscharfen Reglers für die Maschinenausbringungen einer Abfüllanlage erklärt werden. Die Abweichung von einem vorgegebenen Sollfüllungsgrad wird für die Pufferstrecke 3 (nach der Füll- und Verschleißmaschine) als Prozentwert ermittelt. Aus Erfahrung lässt sich sagen, dass eine negative Regelabweichung von -20 % und mehr als deutlich zu wenig Flaschen auf dem Puffer entspricht. Eine positive Abweichung von 20 % und mehr bedeutet dagegen zu viele Flaschen. Um diesen Zusammenhang zu quantifizieren, eignet sich die in Bild 3.12 dargestellte linguistische Variable.

Den Wertevorrat der möglichen Regelabweichungen (-100 – 100 %) wird unscharf in die Fuzzy-Terme „zu wenig“, „ok“ und „zu viel“ eingeteilt. Aus der Grafik können die Zugehörigkeitsgrade einer bestimmten Regelabweichung zu den unscharfen Mengen abgelesen werden. Beispielsweise werden 4 % mit einem Grad von 0,8 als „ok“ und mit 0,2 als „zu viel“ interpretiert.

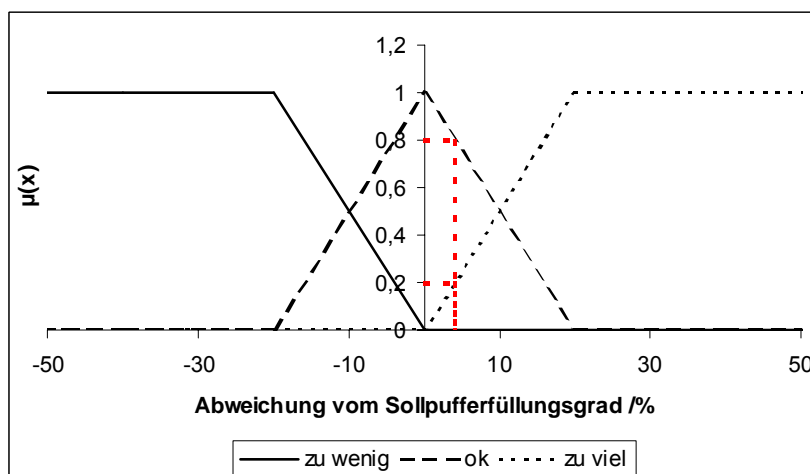


Bild 3.12: Die linguistische Variable *dFüllungP3* („Abweichung vom Sollpufferfüllungsgrad“)

3.3.2 Operationen mit unscharfen Mengen

Die klassische Mengenlehre kennt Operationen, wie die Bildung von Schnitt- und Vereinigungsmengen. Die Verknüpfung von unscharfen Mengen kann durch eine deutlich höhere Anzahl unterschiedlicher Operatoren erfolgen [36]. Sie kommen als Mengen- und Logik-Operatoren zum Einsatz:

- Mengen-Operatoren verknüpfen zwei komplette unscharfe Mengen mit allen ihren Elementen und liefern als Ergebnis wieder eine Menge.
- Logik-Operatoren verknüpfen lediglich die Eigenschaften (z. B. Zugehörigkeitsgrade zu verschiedenen Fuzzy-Termen) eines Elements.

Für den regelungstechnischen Gebrauch sind vor allem die UND-Verknüpfung als konjunktiver Operator, die ODER-Verknüpfung als disjunktiver Operator sowie die Negation von Bedeutung. Die gebräuchlichsten Operatoren zur Realisierung dieser Verknüpfungen sind folgende:

- **UND-Verknüpfung:**

1. Minimum-Operator

$$\mu_{A \text{ UND } B}(x) = \min\{\mu_A(x); \mu_B(x)\}$$

2. Produkt-Operator

$$\mu_{A \text{ UND } B}(x) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$$

3. $\mu_{A \text{ UND } B}(x) = \max\{0; \mu_A(x) + \mu_B(x) - 1\}$

- **Negation:**

Die Negation erfolgt bei normalisierten Zugehörigkeitsfunktionen sehr einfach mit

$$\mu_{\bar{B}}(x) = 1 - \mu_B(x)$$

- **ODER-Verknüpfung:**

1. Maximum-Operator

$$\mu_{A \text{ ODER } B} = \max\{\mu_A(x); \mu_B(x)\}$$

2. $\mu_{A \text{ ODER } B} = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$

3. $\mu_{A \text{ ODER } B} = \min\{1; \mu_A(x) + \mu_B(x)\}$

Für die unscharfen Mengen A und B sind die Zugehörigkeitsgrade einzelner Elemente des Wertevorrates in Bild 3.13 - Bild 3.19 grafisch dargestellt.

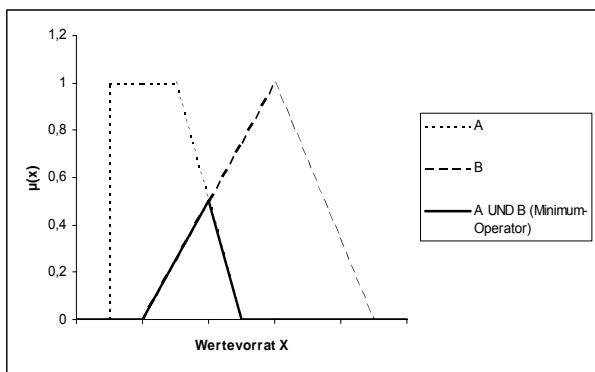


Bild 3.13: A UND B mittels Minimumoperator

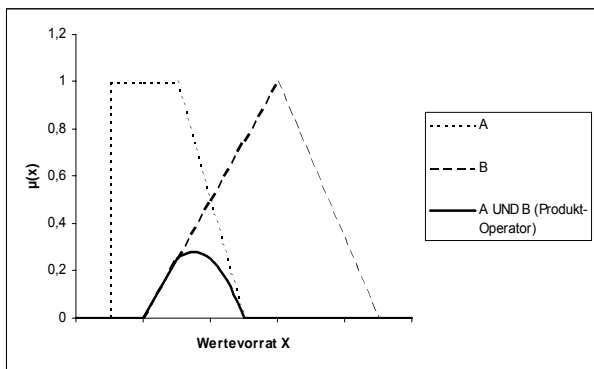


Bild 3.14: A UND B mittels Produktoperator

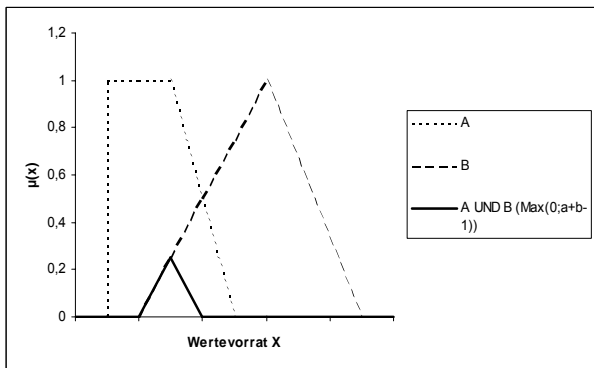


Bild 3.15: A UND B mittels $\max\{0; \mu_A(x) + \mu_B(x) - 1\}$

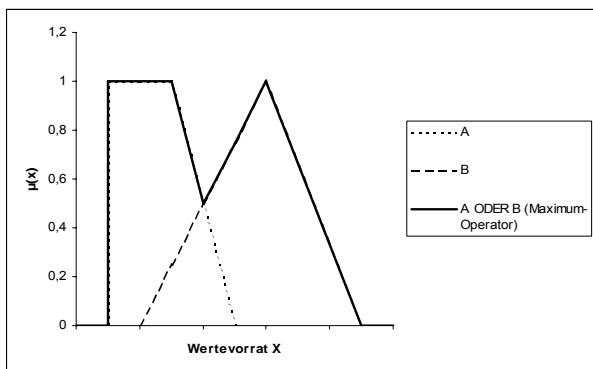


Bild 3.16: A ODER B mit Maximum-Operator

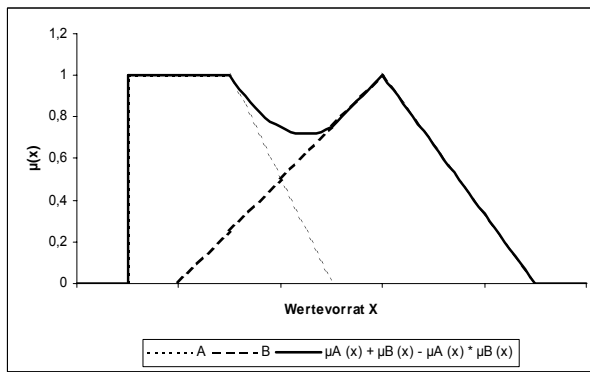


Bild 3.17: A ODER B mit $\mu_A \text{ ODER } B = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$

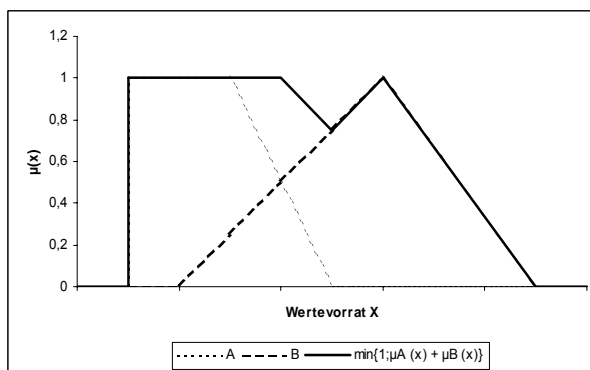


Bild 3.18: A ODER B mit $\mu_A \text{ ODER } B = \min\{1; \mu_A(x) + \mu_B(x)\}$

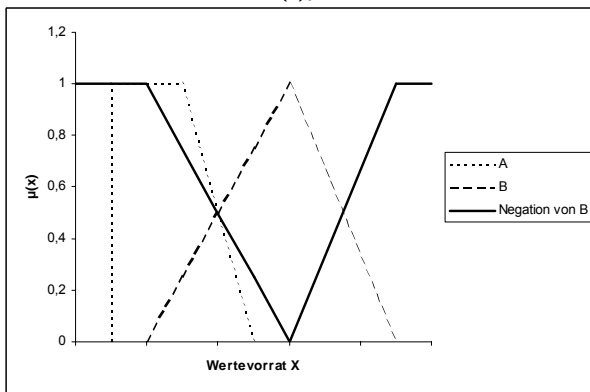


Bild 3.19: Negation von B

3.3.3 Unscharfe Regelung – Fuzzy Control

Entwicklung einer unscharfen Regelung

Den Einsatz der Fuzzy-Logik bei der Prozessregelung bezeichnet man als Fuzzy-Control (unscharfe Regelung). Bei der Entwicklung eines Fuzzy-Reglers müssen folgende Arbeitsschritte beachtet werden [10]:

- Festlegen der Ein- und Ausgangsgrößen:

Als Erstes muss festgelegt werden, welche Werte im Prozess gemessen werden können und als Eingangsgrößen für die Regelung sinnvoll sind. Außerdem muss man sich Klarheit darüber verschaffen, welche Ausgangsgrößen der Regler für die Beeinflussung der Stellglieder im Prozess liefern soll.

- Definition der linguistischen Variablen:

Um unscharf rechnen zu können, müssen für alle scharfen Ein- und Ausgangsgrößen linguistische Variablen definiert werden (siehe 3.3.1).

- Erstellen einer Regelbasis:

Die Charakteristik des Fuzzy-Reglers wird durch das Aufstellen logischer Regeln bestimmt. Sie bestehen aus einem Bedingungsteil (condition) und einer Schlussfolgerung (conclusion) und haben die Form:

WENN *Bedingung* DANN *Schlussfolgerung*

Hierbei können sowohl mehrere Bedingungen als auch Schlussfolgerungen durch Operatoren verknüpft werden.

- Festlegen der Methoden zur Fuzzifizierung, Inferenz und Defuzzifizierung:

Hierbei wird entschieden, nach welchen Gesetzen die Eingangswerte des unscharfen Reglers auf die Ausgangsgrößen abgebildet werden.

Arbeitsweise eines unscharfen Reglers

Der unscharfe Regler (Fuzzy-Controller) arbeitet im Wesentlichen in den drei Schritten [79]:

- Fuzzifizierung,
- Inferenz,
- Defuzzifizierung,

die im Folgenden erläutert und beispielhaft anhand des in 5.2.2 beschriebenen unscharfen Reglers für die Maschinenausbringungen einer Abfüllanlage veranschaulicht werden.

Auf Grundlage der Eingangsgrößen

- *dFuellungP3*: Abweichung des Füllungsgrades des Puffers nach der Füll- und Verschleißmaschine vom vorgegebenen Sollfüllungsgrad
- *FuellungP3*: Aktueller Pufferfüllungsgrad des Puffers nach der Füll- und Verschleißmaschine

- *FuellungP4*: Aktueller Pufferfüllungsgrad des Puffers nach der Ausstattungsmaschine und
- *QistInFuell*: Aktuelle Ausbringung der Füll- und Verschleißmaschine sowie der Leerflascheninspektionsmaschine

soll als Ausgangsgröße der Sollwert für die Einstellausbringung der Ausstattungsmaschine *QsollEtikett* unscharf geregelt werden.

➤ **Fuzzifizierung**

Fuzzifizierung ist das Umwandeln der scharfen Eingangsgrößen des Fuzzy-Controllers in unscharfe Größen (Unscharmachen). Für jede Teilbedingung ergibt sich ihr Erfüllungsgrad aus dem Zugehörigkeitsgrad der Eingangsgrößen zu den in der Bedingung genannten unscharfen Mengen. Bild 3.20 veranschaulicht den Vorgang der Fuzzifizierung für die vier Eingangsgrößen auf Grundlage der in der Entwicklungsumgebung des Reglers definierten zugehörigen linguistischen Variablen.

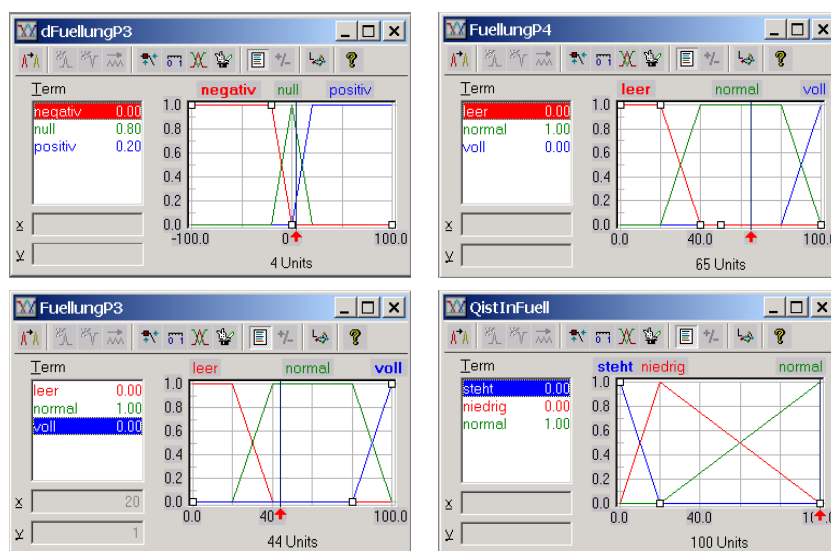


Bild 3.20: Fuzzifizierung der Eingangsgrößen

Beispielsweise besitzt die Eingangsgröße *dFuellungP3* den „scharfen“ Wert von 4 %. Mithilfe der definierten Fuzzy-Terme (vgl. 3.3.1) werden die Zugehörigkeitsgrade dieses Wertes zu den hier als negativ, null und positiv bezeichneten unscharfen Mengen ermittelt. Es ergibt sich

$$\begin{aligned} \mu_{\text{negativ}} (\text{Abweichung vom Sollpufferfüllungsgrad} = 4 \%) &= 0 \\ \mu_{\text{null}} (\text{Abweichung vom Sollpufferfüllungsgrad} = 4 \%) &= 0,8 \\ \mu_{\text{positiv}} (\text{Abweichung vom Sollpufferfüllungsgrad} = 4 \%) &= 0,2 \end{aligned}$$

➤ **Inferenz**

Bild 3.21 zeigt einen Ausschnitt der Regelbasis des betrachteten unscharfen Reglers. Im Schritt der Inferenz werden die hierin definierten Regeln auf die Eingangsgrößen angewendet, wodurch die Zugehörigkeitsgrade der Ausgangsgrößen zu ihren unscharfen Mengen erhalten werden. Sind in einer Regel mehrere Bedingungen miteinander verknüpft, müssen diese zunächst mit den festgelegten Operatoren (vgl. 3.3.2) verknüpft werden (Aggregation).

Im betrachteten Beispiel sind zwei Regeln aktiv, da nur hier ihre Bedingungen mit Zugehörigkeitsgraden größer 0 erfüllt sind:

Regel 8

Wenn die Abweichung vom Sollfüllungsgrad *null* ist und die Füll- und Verschleißmaschine mit einer *normalen* Ausbringung arbeitet, dann soll auch die Ausstattungsmaschine mit einer *normalen* Ausbringung betrieben werden. Die Abweichung vom Sollfüllungsgrad ist mit einem Zugehörigkeitsgrad von 0,8 *null*. Die Ausbringung der Füll- und Verschleißmaschine ist mit einem Zugehörigkeitsgrad von 1,0 *normal*. Diese beiden Bedingungen werden über den Minimum-Operator verknüpft. Demnach muss die Schlussfolgerung der Regel zu 0,8 erfüllt sein. Nach Regel 8 wird also die Zugehörigkeit zur unscharfen Menge *normal* der Einstellausbringung der Ausstattungsmaschine zu 0,8 festgelegt.

#	WENN				DANN	
	dFuellungP3	FuellungP3	FuellungP4	QistinFuell	DoS	OsollEtikett
1	negativ			steht	<input type="checkbox"/> 1.00	niedrig
2	null			steht	<input type="checkbox"/> 1.00	niedrig
3	positiv			steht	<input type="checkbox"/> 1.00	normal
4	negativ			niedrig	<input type="checkbox"/> 1.00	niedrig
5	null			niedrig	<input type="checkbox"/> 1.00	normal
6	positiv			niedrig	<input type="checkbox"/> 1.00	normal
7	negativ			normal	<input type="checkbox"/> 1.00	niedrig
8	null			normal	<input checked="" type="checkbox"/> 1.00	normal
9	positiv			normal	<input checked="" type="checkbox"/> 1.00	hoch
10		leer			<input type="checkbox"/> 1.00	niedrig
11			voll		<input type="checkbox"/> 1.00	niedrig
12		voll	leer		<input type="checkbox"/> 1.00	hoch

Bild 3.21: Auszug aus der Regelbasis

Regel 9

Nach Regel 9 muss die Einstellausbringung der Ausstattungsmaschine zu 0,2 der unscharfen Menge hoch zugeordnet werden, da die Abweichung vom Sollfüllungsgrad mit einem Zugehörigkeitsgrad von 0,2 *positiv* und die Ausbringung der Füll- und Verschleißmaschine wieder mit einem Zugehörigkeitsgrad von 1,0 *normal* sind.

Regeln, die der unscharfen Menge *niedrig* Zugehörigkeitsgrade größer 0 zuordnen würden, sind nicht aktiv.

Für die Zugehörigkeitsgrade der Einstellausbringung der Ausstattungsmaschine ergibt sich also:

$$\mu_{niedrig}(\text{Einstellausbringung der Ausstattungsmaschine}) = 0$$

$$\mu_{normal}(\text{Einstellausbringung der Ausstattungsmaschine}) = 0,8$$

$$\mu_{hoch}(\text{Einstellausbringung der Ausstattungsmaschine}) = 0,2$$

Haben in einer komplexeren Regelbasis mehrere Regeln die gleiche Schlussfolgerung, treten verschiedene Zugehörigkeitsgrade für die gleiche unscharfe Menge auf. In diesem Fall sind verschiedene Verknüpfungsstrategien möglich [79], z. B.:

- Wählen des Maximums der Zugehörigkeitsgrade (ODER-Verknüpfung mit Maximum-Operator)
- Bilden des arithmetischen Mittelwerts der Zugehörigkeitsgrade
- Summieren der Zugehörigkeitsgrade nach $\mu_{A \text{ ODER } B} = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$ (Möglichkeit der ODER-Verknüpfung)

Bei der Entwicklung von Regelbasen ist es zusätzlich möglich, die einzelnen Regeln unterschiedlich stark zu gewichten. Hierbei wählt man ein Gewichtungsmaß zwischen 0 und 1, mit dem die sich ergebenden Zugehörigkeitsgrade im Anschluss an die Regelbearbeitung multipliziert werden.

➤ Defuzzifizierung

Ziel der Defuzzifizierung ist es, aus den unscharf berechneten Zugehörigkeitsgraden der Ergebnis-Terme Werte für die Ausgangsgrößen zu erhalten, die den Stellgliedern im Prozess übergeben werden können. Da häufig mehr als ein Ausgangsterm als wahr angesehen

werden kann, muss ein Kompromiss zwischen den verschiedenen Ergebnissen gefunden werden. Hierzu existieren zahlreiche Defuzzifizierungsmethoden. In dieser Arbeit wird ausschließlich die Center-of-Maximum-Methode angewendet, die bei regelungstechnischen Fällen meistens eingesetzt wird [78]. Hierbei wird lediglich die Lage des Maximums x_i jedes Ergebnisterms betrachtet und mit dem ermittelten Zugehörigkeitsgrad multipliziert. Den scharfen Wert der Ausgangsgröße x erhält man durch gewichtete Mittelwertbil-

$$\text{dung nach } x = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i}.$$

Bild 3.22 zeigt die Center-of-Maximum-Defuzzifizierung für die linguistische Variable *QsollEtikett* (Einstellausbringung der Ausstattungsmaschine). Die Lage der Maxima der individuellen Terme der Zugehörigkeitsfunktionen werden durch einen grauen Balken, das Ergebnis der Inferenz wird durch die Höhe des schwarzen Balkens dargestellt.

Auf diese Weise wird für das betrachtete Beispiel eine scharfe Sollvorgabe von 106 %, bezogen auf die Nennausbringung der Füll- und Verschleißmaschine, ermittelt.

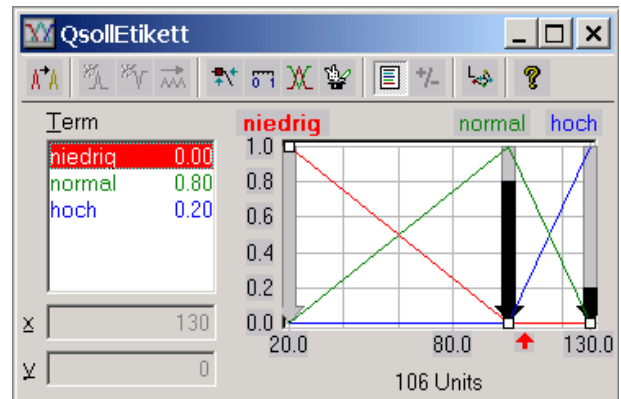


Bild 3.22: Defuzzifizierung nach der Center-of-Maximum-Methode

4 Erfassen und Nutzen von Betriebsdaten

4.1 Informationsbedarf bei der Getränkeabfüllung

Um die Grundlagen für den Einsatz der Informationstechnologie im Abfüllbereich zu schaffen, mussten zunächst Standardmethoden für den Einsatz der Betriebsdatenerfassung bei Getränkeabfüllanlagen erarbeitet werden (vgl. 4.2). Grundlage hierfür war die nachfolgend erläuterte Ermittlung des aktuellen Informationsbedarfs von Getränkeabfüllunternehmen.

4.1.1 Umfrage bei Abfüllbetrieben

Zum Zwecke der Bedarfsermittlung wurden Anlagenbetreiber zunächst mithilfe eines Fragebogens (vgl. Anhang A) nach ihren Anforderungen an Datenerfassungssysteme befragt. Ziel war es herauszufinden, welche Informationen über den Abfüllbetrieb benötigt werden und inwieweit sich die Wünsche bei unterschiedlichen Betrieben decken.

Entsprechend der Fragestellung konnte ausgewertet werden, welcher Anteil der befragten Unternehmen bestimmte Daten erfasst, und bei welchen Unternehmen die Erfassung bereits automatisiert erfolgt. Bei Unklarheiten wurden die Antworten in den Fragebögen durch ergänzende persönliche Befragung der antwortenden Personen präzisiert. In die nachfolgend dargestellten Statistiken konnten auf diese Weise die Antworten von 20 Abfüllbetrieben, bestehend aus 13 Brauereien und 7 Brunnenbetrieben bzw. Süßgetränkeabfüllunternehmen, einfließen.

Stammdaten

Stammdaten sind zur Identifikation der einzelnen Chargen und somit auch zur Chargenrückverfolgung notwendig. Da viele Daten aus anderen Bereichen, z. B. Labordaten, Bezug auf eine bestimmte Charge nehmen, müssen die Identifikation und die Zuordnung eindeutig sein. Sollten bei einer abgefüllten Flasche im Nachhinein Probleme auftreten, (beispielsweise durch eine Kontamination mit Mikroorganismen) können anhand der Stammdaten der Abfüllzeitpunkt und der Tank (Drucktank DT oder Siruptank), aus dem abgefüllt wurde, bestimmt werden. Durch eine Vernetzung mit Datenerfassungssystemen in anderen Produktionsabteilungen kann die Rückverfolgung sogar noch weitergehend betrieben werden. Somit wird es ermöglicht, in Kombination mit den entsprechenden Qualitätsdaten der Charge unternehmensintern Schwachpunkte zu finden und zu analysieren oder Probleme mit Rohstoffen zu erkennen. Bild 4.1 zeigt den Bedarf der Unternehmen an Stammdaten.

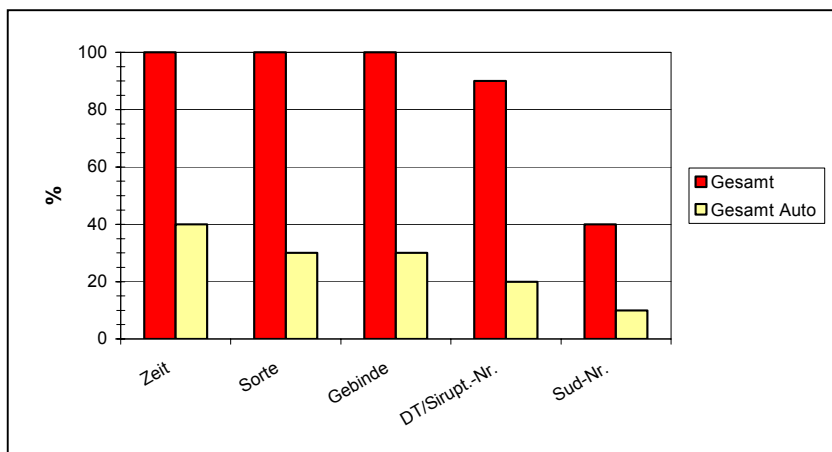


Bild 4.1: Statistische Auswertung der Stammdatenerfassung

Das Ergebnis ist eindeutig und war auf Grund obiger Ausführungen auch zu erwarten. Sowohl Zeitdaten als auch Daten zu Sorte und Gebindeart werden zur Identifikation einer Charge benötigt. Das Erfassen des zum Abfüllen herangezogenen Tanks ist eine sinnvolle Ergänzung, da auf diese Weise die Rückverfolgbarkeit eines verdorbenen Produkts über den Bereich Abfüllung hinaus deutlich erweitert wird.

Die Zahlen zum Erfassen der Sudnummer wurden durch die gemeinsame Auswertung von Brauereien und Brunnenbetrieben verfälscht. Insgesamt erfassen 50 % der Brauereien beim Abfüllen die Sudnummer bzw. die Sudnummern, die im Laufe der Kellerarbeit miteinander verschnitten wurden. In den meisten Fällen geschieht dies, um eine einheitliche Chargendefinition während des gesamten Herstellungsprozesses und die Rückverfolgung über die gesamte Brauerei zu ermöglichen. Falls die Sudnummer nicht erfasst wird, sollte auf jeden Fall die Drucktanknummer beziehungsweise die Chargenbezeichnung der vorgelagerten Prozessstufe erfasst werden.

Mengendaten

Mengendaten dienen dazu, die abgefüllten Mengen pro Zeiteinheit zu überwachen. Hier ergeben sich sehr viele Möglichkeiten der Zählweise: mittels eines Durchflussmessers zwischen Tank und Füllmaschine, mithilfe der Vollgutkontrolle über die Anzahl der abgefüllten Flaschen, das Zählen der vollen Kästen oder das Zählen der Vollgutpaletten nach der Palettenbelademaschine. Wie Bild 4.2 zeigt, sind alle diese Möglichkeiten in der Praxis realisiert; Mehrfachnennungen waren möglich.

Über die Zweckmäßigkeit einer mehrfachen Mengenerfassung kann man streiten. Festzustellen bleibt, dass ein einfaches Erfassen der abgefüllten Menge aus betriebswirtschaftlicher Sicht vollständig ausreichen würde. Eine Mehrfacherfassung an Füllmaschine, Vollgutkontrolle, Einpackmaschine und Palettenbelademaschine kostet mehr Geld. Für Logistik und Materialwirtschaft ist die einzig interessante Größe der nach Getränkesorten getrennte Vollgutzugang im Lager bzw. in der Disposition. Wenn man allerdings Mengendifferenzen zwischen einzelnen Aggregaten der Abfüllanlage betrachten möchte, um z. B. den Schwand zu ermitteln, ist ein Erfassen an mehreren Aggregaten unerlässlich.

Beim Erfassen der Mengendaten gibt es keine großen Unterschiede zwischen Brauereien und Brunnenbetrieben. Tendenziell erfassen Brunnenbetriebe die abgefüllte Menge eher in hl oder es wird mengenunabhängig die Zahl der Füllungen erfasst, während in Brauereien eher Kästen bzw. Paletten gezählt werden.

Qualitätsdaten

Die Qualitätsdaten stellen sich als eine sehr heterogene Datengruppe dar. Hier sind sowohl Qualitätsdaten, die das Produkt direkt betreffen (beispielsweise der CO₂-Gehalt beim Abfüllen), als auch Daten, die sich mit der Qualität bestimmter

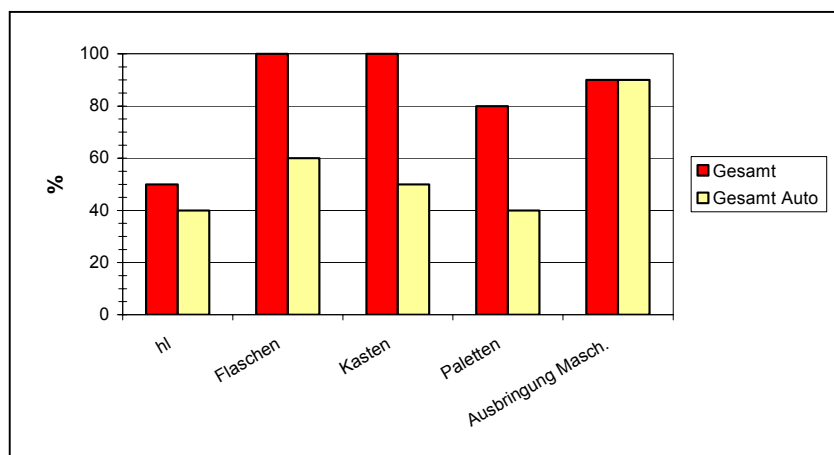


Bild 4.2: Statistische Auswertung der Mengendatenerfassung

Hilfsstoffe, wie z. B. der Laugenkonzentration in der Flaschenreinigungsmaschine beschäftigen, enthalten. Auch die Funktionen von Maschinen werden teilweise durch Qualitätsdaten dokumentiert, so z. B. die Ausschleusungsraten der Lerrflascheninspektionsmaschine. Schließlich zählen auch die Labordaten zu den Qualitätsdaten. Alle diese Daten dokumentieren Größen, die unmittelbar die Produktqualität betreffen, daher sind die Unterschiede beim Erfassen zwischen Brauereien und Brunnenbetrieben minimal. Bild 4.3 zeigt die Ergebnisse der Auswertung.

Der Wert für den O₂-Gehalt wird dadurch verfälscht, dass er hauptsächlich in Brauereien erfasst wird. Für viele Brunnenbetriebe ist er weniger relevant. Tatsächlich erfassen 100 % der befragten Brauereien den Wert für den O₂-Gehalt im Bier unmittelbar vor dem Abfüllen und nur weniger als 10 % der Brunnenbetriebe. Die Abfülltemperatur

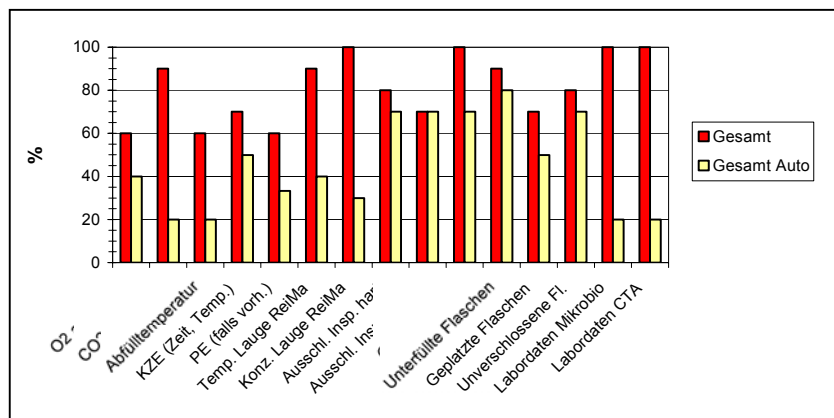


Bild 4.3: Statistische Auswertung der Qualitätsdatenerfassung

hingegen wird von fast allen befragten Brunnen ermittelt und dokumentiert, jedoch nur von der Hälfte der Brauereien. Die Parameter F-Wert und PE-Wert für den Kurzzeiterhitzer sowie die Pasteureinheiten beziehen sich nur auf die Unternehmen, die tatsächlich eine entsprechende Maschine im Einsatz haben. Bei der Lerrflascheninspektionsmaschine wurde zwischen einem „harten“ Ausschleusen, also dem Verwerfen der fehlerhaften Flasche, und einem „weichen“ Ausschleusen, also der Rückführung der betreffenden Flasche zur Reinigungsmaschine, unterschieden. In allen befragten Unternehmen wird wenigstens eine dieser Ausschleusungsraten erfasst und dokumentiert. Dies ist für das Erfüllen der Dokumentationspflichten im Sinne der Produkthaftung von besonderer Bedeutung [83].

Eindeutig als relevant wird von allen Unternehmen das Erfassen der Laugenqualität in der Flaschenreinigungsmaschine eingestuft. Dies ist vor dem Hintergrund der Forderung nach einer einwandfreien Produktqualität verständlich. In diesem Zusammenhang ist auch das Erfassen der Ausschleusungsraten an der Leerflascheninspektionsmaschine zu sehen. Auch die CIP-Vorgänge sollten aus diesem Grund unbedingt erfasst werden, ebenso die Daten, die sich auf das abgefüllte Vollgut beziehen.

Die Labordaten der entsprechenden Chargen werden in den befragten Unternehmen zu 100 % erfasst, in den meisten Fällen allerdings nicht automatisch. Dies legt die Vermutung nahe, dass die Informationsflüsse in den Unternehmen Spielraum für Verbesserungen bieten, denn eine Online-Anbindung eines Laborinformations- und Managementsystems (LIMS) an das Datenerfassungssystem der Getränkeabfüllanlagen ist durchaus realisierbar und bietet eindeutige Vorteile beim Handhaben und Verarbeiten der entsprechenden Daten. Ebenso können auf diese Weise Manipulationsmöglichkeiten ausgeschlossen werden, was der Validierbarkeit des Systems zugute kommt.

Verbrauchsdaten

Die Verbrauchsdaten beziehen sich auf den Verbrauch von Hilfs- und Betriebsstoffen. Darin eingeschlossen ist Material, das der Flaschenausstattung dient (Etiketten, Kronenkorken bzw. Verschlüsse), Reinigungs- und Desinfektionsmittel, Heiß- und Kaltwasser, elektrischer Strom sowie weitere Betriebsstoffe, wie z. B. Ketten- gleitmittel.

Aus Bild 4.4 ist eindeutig erkennbar, dass ein großes Interesse am Erfassen der verbrauchten Flaschenausstattung besteht. Auch die Zahl der verbrauchten Gebinde wird von fast 80 % der befragten Unternehmen erfasst. Strom und sonstige Betriebsstoffe werden sogar zu 90 % erfasst. Die Frage nach den sonsti-

gen Betriebsstoffen wurde von allen Unternehmen mit „Ja“ beantwortet,

ohne tatsächlich die Betriebsstoffe, deren Verbrauch erfasst wird, explizit zu nennen. Eine Ausnahme sind einmalig genannte Laugenadditive sowie Reinigungs- und Desinfektionsmittel. Auffällig ist der recht kleine Anteil der automatischen Datenerfassung. Dies lässt sich auf technische Schwierigkeiten sowie auf unverhältnismäßig hohe Kosten zurückführen, die beim Erfassen der Verbrauchsmengen auftreten.

Ein deutlicher Unterschied zwischen Brunnenbetrieben und Brauereien zeigte sich beim Erfassen des Heißwasserverbrauchs. Während immerhin die Hälfte aller Brauereien den Verbrauch an Heißwasser erfasste, tat dies so gut wie kein Brunnenbetrieb.

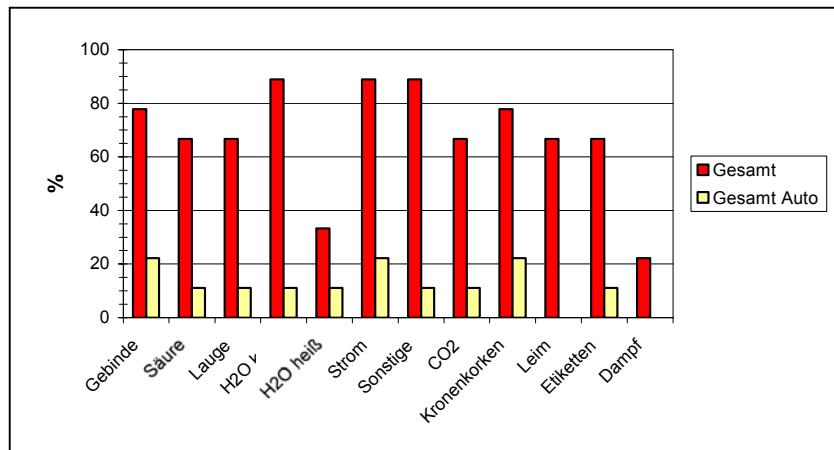


Bild 4.4: Statistische Auswertung der Verbrauchsdatenerfassung

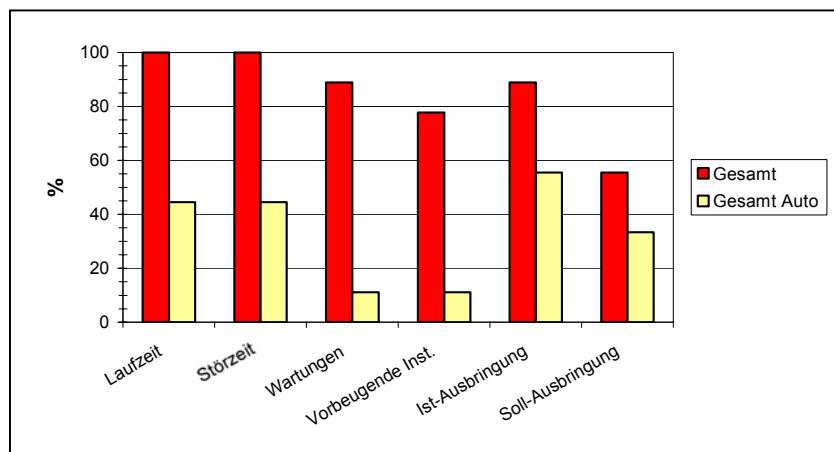


Bild 4.5: Statistische Auswertung der Maschinendatenerfassung

Maschinendaten

Große Einigkeit unter den Unternehmen herrscht beim Erfassen der Maschinendaten, wie aus Bild 4.5 ersichtlich ist. Die Maschinendaten dienen dazu, einzelne Maschinen hinsichtlich Laufzeit oder Ausbringung zu beurteilen. Sie werden auch benötigt, um maschinenbezogene Kennzahlen zu ermitteln.

Die Daten für Laufzeit, Störzeit, Wartungszeit und Ist-Ausbringung werden daher erwartungsgemäß in fast allen befragten Brauereien und Brunnenbetrieben erfasst. Erstaunlich ist jedoch, dass viele Unternehmen auch Daten zur vorbeugenden Instandhaltung erfassen. Dies ist begrüßenswert, da im automatischen Erfas-

sen und Auswerten dieser Daten sicherlich ein recht großes Einsparungspotenzial liegt und eine Verbesserung des Ausfallverhaltens erreicht werden kann. Leider geht aus den Befragungen nicht hervor, welche Daten in welcher Weise erfasst werden. Sinn und Zweck eines Erfassens von Daten zur vorbeugenden Instandhaltung ist es, die Ausfallraten der einzelnen Maschinen zu überwachen, um eine Verschlechterung des Maschinenverhaltens rechtzeitig zu erkennen und entsprechende Maßnahmen zur Instandhaltung einzuleiten. Daneben kann der Umfang dieser Maßnahmen auch durch die Anzahl der Schaltspiele und der Betriebsstunden beurteilt werden. Eine vorbeugende Instandhaltung ist allerdings nur dann wirtschaftlich, wenn die Kosten der Maßnahme unter den Ausfallfolgekosten und den Kosten einer Instandhaltungsmaßnahme nach Eintritt des Ausfalls liegen und die vorbeugende Instandhaltung den Anlagenzustand verbessert. Dies muss schon beim Erfassen der notwendigen Daten berücksichtigt werden. Vorschläge, welche Daten sinnvoll sind und in welcher Weise sie erfasst werden sollten, werden in 4.2 gemacht.

Personaldaten

Den Umfang der Personaldatenerfassung zeigt Bild 4.6. Eindeutige Priorität liegt auf dem Erfassen der Namen der Schichtangehörigen sowie deren Arbeitszeit. Vor allem das Erfassen der Arbeitszeit ist sinnvoll, da nur auf diese Weise die Kennzahl „Mannstunden pro hl“ errechnet werden kann. Ein befragtes Unternehmen errechnet auch die Kennzahl „Mannstunden pro

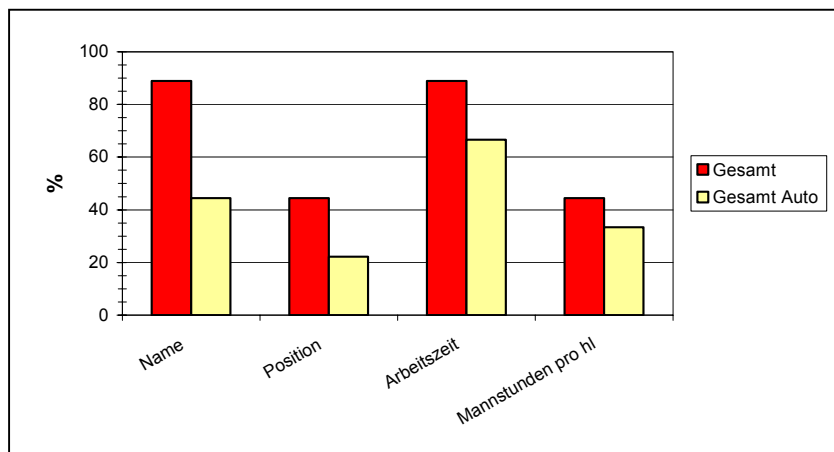


Bild 4.6: Statistische Auswertung der Personaldatenerfassung

Flasche“. Die Entscheidung darüber, welche dieser Kennzahlen den Bedürfnissen besser genügt, sollte jedes Unternehmen selber fällen. Tatsache ist, dass Unterschiede in der Produktivität durch den Vergleich der Kennzahl „Mannstunden pro hl“ deutlicher aufgezeigt werden. Zudem errechnen die meisten Brauereien und Getränkehersteller den Preis des Produkts pro hl, so dass sich diese Kennzahl anbietet. Beide Zahlen lassen sich allerdings problemlos ineinander umrechnen. Weiterhin wird die Kennzahl „Füllungen pro Lohnstunde“ durch ein befragtes Unternehmen ermittelt. Diese Zahl entspricht einer genau umgekehrten Betrachtungsweise und kann aus denselben Grunddaten errechnet werden, allerdings erscheint die produktbezogene Betrachtungsweise sinnvoller.

Das Erfassen der Namen des Bedienpersonals dient der Vollständigkeit, kann aber auch auf den Schichtführer beschränkt werden. Diese Möglichkeit hat allerdings keines der befragten Unternehmen in Betracht gezogen. Bei einer automatischen Personaldatenerfassung, die elektronisch an das Datenerfassungssystem in der Abfüllung angeschlossen ist, ist das Erfassen der Daten mit minimalem Aufwand verbunden und die Daten werden nur einfach erfasst. Ein solches System nutzen 50 % der befragten Unternehmen beim Erfassen der Namen und 67 % der Unternehmen beim Erfassen der Arbeitszeit. Es kann beispielsweise durch eine elektronische Stempeluhr realisiert werden, die eine Schnittstelle zu anderen Datenerfassungssystemen aufweist und die Daten in entsprechender Form weitergibt.

Das Erfassen der Position der Schichtangehörigen spielt eine untergeordnete Rolle und wird nur von wenigen Unternehmen durchgeführt. Hierbei sollte geklärt werden, ob das Erfassen sowie das Speichern und datentechnische Verarbeiten der Positionsangaben überhaupt gestattet sind und vom Betriebsrat genehmigt werden. § 87 des Betriebsverfassungsgesetzes räumt dem Betriebsrat nämlich ein Mitspracherecht in solchen Fragen ein. Im Übrigen hat die Position des Bedienpersonals für das Berichtswesen keine weitere Bedeutung und wird in keinem uns bekannten Bericht dokumentiert.

Stördaten

Dem Erfassen von Stördaten kommt eine besonders große Bedeutung zu. Alle befragten Unternehmen erfassen Störungsdaten und fast alle Unternehmen werten diese Daten in einem eigenen Bericht (siehe S. 25) aus, da sie eine hohe Relevanz haben. Bild 4.7 zeigt, in welchem Umfang Daten zu aufgetretenen Störungen erfasst werden.

Alle befragten Unternehmen erfassen die Stördauer sowie die Störursache.

Fast alle Unternehmen nehmen eine Zuordnung der aufgetretenen Störungen zu einzelnen Aggregaten vor.

Alle befragten Unternehmen erfassen die Stördauer sowie die Störursache. Fast alle Unternehmen nehmen eine Zuordnung der aufgetretenen Störungen zu einzelnen Aggregaten vor.

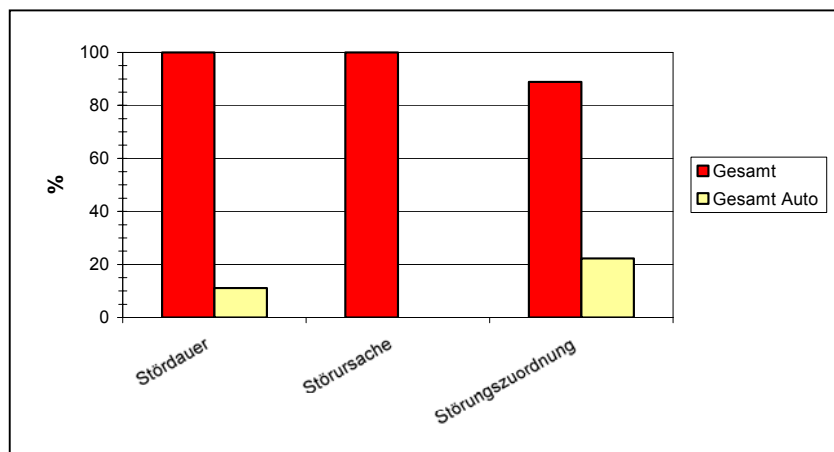


Bild 4.7: Statistische Auswertung der Stördatenerfassung

Die Effektivität ist ein entscheidendes Kriterium für eine Abfüllanlage, messbar beispielsweise über den Ausnutzungsgrad. Störungen mindern die Effektivität. Deshalb sollten alle Störungen protokolliert und die Schwachstelle, die für die Störung verantwortlich ist, mittels einer Schwachstellenanalyse (vgl. 0) erkannt und untersucht werden. Auch das Erfassen der Störungsursache ist von Bedeutung, da es neben maschine- oder anlagebedingten Störungen auch Fremdstörungen gibt. Das ist entscheidend für die Kennzahlenberechnung nach DIN 8782.

Allerdings treten beim Erfassen der Ursache einer Störung Probleme auf. Kann man die Stördauer noch weitgehend automatisch aus der Maschinensteuerung erfassen, muss das Erfassen der Störursache größtenteils per Handeingabe erfolgen. Entscheidend hierbei ist die korrekte Zuordnung der Störursache zu der entsprechenden Störung. Auch eine Unterscheidung zwischen Eigen- und Fremdstörung ist nicht ohne weiteres automatisch realisierbar. Als Beispiel sei hier die Auspackmaschine genannt: Wird eine Flasche so hart auf Fördertisch aufgesetzt, dass sie zu Bruch geht und kommt es dadurch zu einer Störung, so ist dies eine Eigenstörung. Wird aber eine bereits defekte Flasche auf dem Fördertisch aufgesetzt und es kommt zu einer Störung, so ist dies eine Fremdstörung. In beiden Fällen war jedoch eine defekte Flasche für die Störung verantwortlich.

Diese Problematik zeigt sich auch in Bild 4.7. Keines der befragten Unternehmen kann die Störursache automatisch erfassen, auch bei modernen Datenerfassungssystemen ist hier eine Handeingabe erforderlich.

Zeitdaten

Schließlich wurde nach dem Umfang der Zeitdatenerfassung als letzter Datengruppe gefragt. Wie aus Bild 4.8 ersichtlich ist, herrscht hier große Einigkeit unter den befragten Unternehmen. Sowohl alle Brauereien als auch alle Brunnenbetriebe erfassen die aufgeführten Zeitdaten. Dies lässt auf eine hohe Relevanz dieser Daten für die Unternehmen schließen.

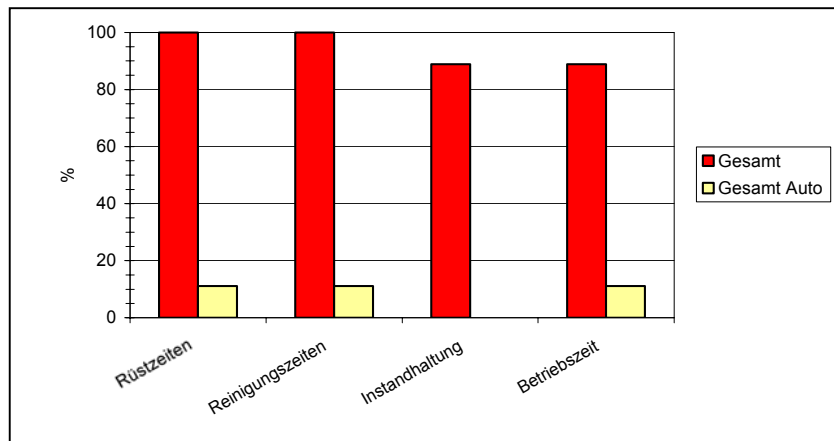


Bild 4.8: Statistische Auswertung der Zeitdatenerfassung

Das Erfassen der aufgeführten Zeitdaten ist aus zwei Gründen sinnvoll. Zum Einen sind diverse Zeitangaben unerlässlich zum Berechnen einzelner Kennzahlen, mit denen das Abfüllgeschehen beurteilt werden kann. Zum Anderen dienen die Zeitdaten selbst als Kriterium einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des Abfüllprozesses. Fallen beispielsweise übermäßig lange Rüstzeiten an, sollte der Abfüllprozess in organisatorischer Hinsicht geändert werden. Die Zeiten, die für die Instandhaltung benötigt werden, sind eine Entscheidungshilfe bei der Erneuerung des Maschinenparks. Steigen die Zeiten für Instandhaltung deutlich an, sollte über eine Ersatzinvestition als wirtschaftlichere Alternative nachgedacht werden. Das schichtweise Erfassen der Zeitdaten, wie es bei Rüst- und Reinigungszeit von über 80 % der Unternehmen durchgeführt wird, ermöglicht auch den Vergleich zwischen zwei oder mehr Arbeitsschichten. Auf diese Weise können die Arbeitsschichten neu organisiert und hinsichtlich der Effektivität optimiert werden.

Der Anteil der automatischen Erfassung der Zeitdaten ist gerade bei den Nebenzeiten sehr gering. Dies lässt sich auf einen unverhältnismäßig hohen Aufwand zurückführen. Eine Möglichkeit des halbautomatischen Erfassens läge im Erfassen der Daten durch verschiedene Taster, die beim Betätigen ein dem momentanen Anlagenstatus entsprechendes Zeitsignal auslösen, welches durch das Datenerfassungssystem erfasst wird.

Bestehende Berichtssysteme

Von Interesse war neben den reinen Daten auch, in welcher Form diese verwendet und aufbereitet werden. Eine weitere Fragestellung sowohl bei Besuchen in Brauereien als auch im Fragebogen befasste sich daher mit den im Unternehmen verwendeten Berichten und Protokollen. In vielen Fällen haben die Unternehmen Exemplare ihrer Berichtsformulare zur weiteren Untersuchung zur Verfügung gestellt.

Nicht alle Daten sind für jeden Entscheidungsträger von Bedeutung, denn nur diejenigen Daten stellen Informationen dar, die ein Entscheidungsträger zweckgebunden verwenden kann [48]. Aus diesem Grund ist es nicht sinnvoll, alle während des Abfüllens angefallenen und erfassten Daten in einem einzigen Bericht auszuwerten. Darüber hinaus würde das die Übersichtlichkeit und somit auch die Akzeptanz dieses Berichts deutlich mindern. Berichte müssen für jede Unternehmensebene und für jeden Entscheidungsträger maßgeschneidert sein.

Bild 4.9 zeigt, dass in den befragten Unternehmen eine Vielzahl von Berichten verwendet wird. Das Ergebnis überrascht nicht und wurde in etwa so erwartet. Schicht- und Abfüllbericht sind inhaltlich in einigen Fällen identisch. Daneben finden in manchen Unternehmen Tagesberichte Verwendung, die prinzipiell die zugehörigen Chargen- bzw. Schichtberichte zum Inhalt haben, deren Informationsgehalt jedoch weiter verdichtet wurde.

Nicht alle der befragten Unternehmen haben einen speziellen Störbericht, obwohl alle Unternehmen Stördaten erfassen. Dies liegt daran, dass teilweise die Auswertung der Stördaten im Chargenbericht, bzw. im Schichtbericht, integriert ist, eine Vorgehensweise, die bei kleineren Anlagen und kleineren Abfüllmengen auf Grund der besseren Zuordnung der Daten von Vorteil sein kann. Ab einer gewissen Betriebsgröße bietet sich jedoch die Auswertung in einem Störbericht an. Die Art der Auswertung von Stördaten ist sehr unterschiedlich. Weit verbreitet und in fast jedem Berichtswesen anzutreffen ist eine tabellarische Übersicht über alle aufgetretenen Störungen mit Angaben zu Störungszeitpunkt, Störursache und Stördauer. Diese tabellarischen Auflistungen werden nach unterschiedlichen Kriterien sortiert, z. B. nach Stördauer, Ort der Störung oder nach Stördauer pro Artikel. Hierbei werden auch längere Zeiträume, z. B. ein Quartal, ausgewertet. Daneben werden die Stördaten auch grafisch aufbereitet. Die Variante eines Balkendiagramms für alle Aggregate einer Abfüllanlage ist sehr verbreitet. Teilweise werden grafische Auswertungen in Maschinenberichten vorgenommen, die über Ausfalldauer und Ausfallhäufigkeit informieren.

Das Erstellen von Berichten über längere Zeiträume wird sehr unterschiedlich gehandhabt. Während alle Unternehmen einen Monatsbericht erstellen, werden Wochen- und Quartalsberichte nur von einem kleinen Anteil gefordert. Allerdings wünschen sich viele Unternehmen flexible Berichte, die zu beliebigen Zeitpunkten erstellt werden können, womit sich die Unterschiede im Zeitbezug relativieren. Einigkeit herrscht wiederum bei den Berichten, die nur die Qualitätsdaten betreffen. Annähernd 100 % der befragten Unternehmen erstellen einen Bericht, der die Funktion und das Verhalten der Leerflascheninspektionsmaschine dokumentiert sowie einen Bericht, der sich mit der Reinigung und den CIP-Vorgängen befasst. Beides sind sehr wichtige Berichte, sollte es zu einem Schadensfall mit Schadenersatzforderungen kommen.

Neben diesen allgemein verwendeten Berichten existieren in einzelnen Unternehmen weitere spezielle Berichte, die im Folgenden kurz erläutert werden sollen. Ein befragtes Unternehmen geht im Qualitätsmanagement so weit, dass ein eigener Bericht für routinemäßige Abschmierungen der Maschinen existiert. Ebenfalls in den Bereich Qualitätsdaten ist die von einem Unternehmen täglich erstellte Sauerstoffkonzentrationskurve einzuordnen, die den kontinuierlichen

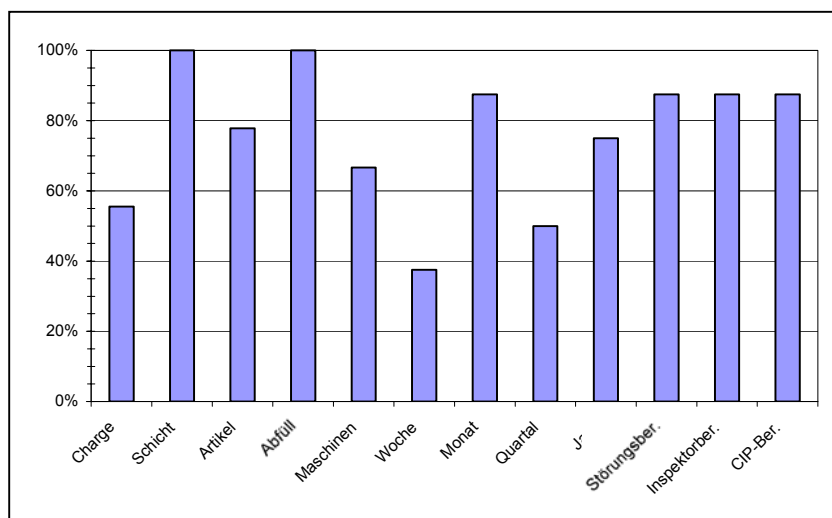


Bild 4.9: In Unternehmen der Getränkeindustrie verwendete Berichte

Verlauf der O₂-Konzentration im Bier darstellt. Daneben werden auch eine Statistik der Verschleißorgane sowie eine Ventilstatistik an der Füllmaschine erstellt, über die Fehler der einzelnen Füll- und Verschleißorgane statistisch ausgewertet werden können. Dies ist für die technische Instandhaltung interessant. Voraussetzung ist allerdings eine Verblockung von Füllmaschine und Vollgutkontrolle. Sinnvoll erscheint auch ein höher verdichteter Abfüllbericht, der täglich erstellt wird und nur über abgefüllte Artikel und die entsprechenden Mengen informiert. In einem weiteren Unternehmen wird ein eigenes Abfüllprotokoll für die Biersteuer erstellt, das nur die Angaben zur Anzahl befüllter Kästen sowie zur Brucherfassung nach dem Kastenzähler enthält. Von solchen Spezialberichten ist allerdings abzuraten, da sie das Berichtswesen unnötig aufblähen und somit hohe Kosten verursachen. Wenn solche Informationen notwendig erscheinen, können die Zahlen aus anderen Standardberichten übernommen werden. Die sinnvoll erscheinenden Ergänzungen sind:

- hoch verdichteter Abfüllbericht
- Ventilstatistik an der Füllmaschine
- Angaben zu Instandhaltungsmaßnahmen in Maschinen- oder Abfüllberichten
- neben Maschinenberichten auch eine Übersicht über die gesamte Anlage

4.1.2 Implementieren eines Datenerfassungssystems für eine mittelständische Brauerei

Über die in 4.1.1 genannte Umfrage hinaus konnten wichtige Erkenntnisse über den aktuellen Bedarf an Informationstechnologie bei Vorortbesuchen in Abfüllbetrieben gewonnen werden. Wertvolle Erfahrungen konnten auch bei der Gestaltung und Inbetriebnahme eines Datenerfassungssystems im Praxismaßstab gewonnen werden. Hierzu wurde an einer im Jahr 1998 in Betrieb gegangenen Abfüllanlage einer mittelständischen Brauerei begleitend zu dieser Arbeit ein Datenerfassungssystem auf Basis des Standard-Systems AquisIT der Firma Proleit [64] installiert. Dieses ermöglicht die automatische Erfassung von Daten aus den wichtigsten Maschinensteuerungen, die Recherche über Mess-, Zähl- und Stördaten, die Planung und manuelle Zuordnung von Arbeitsschichten und Chargen sowie deren Auswertung mittels speziell konfigurierter HTML-Berichte. Bild 4.10 zeigt im unteren Bereich die über Profibus-FMS an dieses System angebundene Maschinensteuerungen, links die Konfigurationswerkzeuge des Systems sowie rechts die nachfolgend beschriebenen Auswertewerkzeuge.

Bei der Installation des Systems konnten wichtige Erfahrungen im Bereich der Netzwerkinstallation und der praktischen Umsetzung von Informationswerkzeugen entsprechend des allgemein ermittelten Informationsbedarfs (vgl. 4.1.1) gesammelt werden. Die Realisierung eines bidirektionalen Datenaustausches wurde vorgesehen. Da es sich aber um Maschinen unterschiedlicher Hersteller und um ältere Steuerungen handelt, konnten diese Möglichkeiten bisher nicht zur Realisierung einer übergeordneten Anlagenregelung (vgl. Kapitel 5) genutzt werden.

Entsprechend den Wünschen der Bauerei wurde das Basissystem um die folgenden speziellen Front-End-Werkzeuge erweitert:

- **Planungstafel für die Chargenplanung**
- **Online Werkzeug mit den Funktionen:**
 - Manuelles Erfassen von Schicht-, Chargen- und Nebenzeiten
 - Nachträgliches Dokumentieren von Füllerstillständen und Nebenzeiten
- **Online-Darstellung aktueller Mess- und Zählwerte sowie Meldungsdaten**
- **HTML-basiertes Berichtswesen**
 - Chargenbericht
 - Schichtbericht
 - Abfüllberichte mit variablen Bezugszeiträumen
 - Erfassen zusätzlicher Handeingaben

Eine Beschreibung der entwickelten Werkzeuge befindet sich in Anhang B.

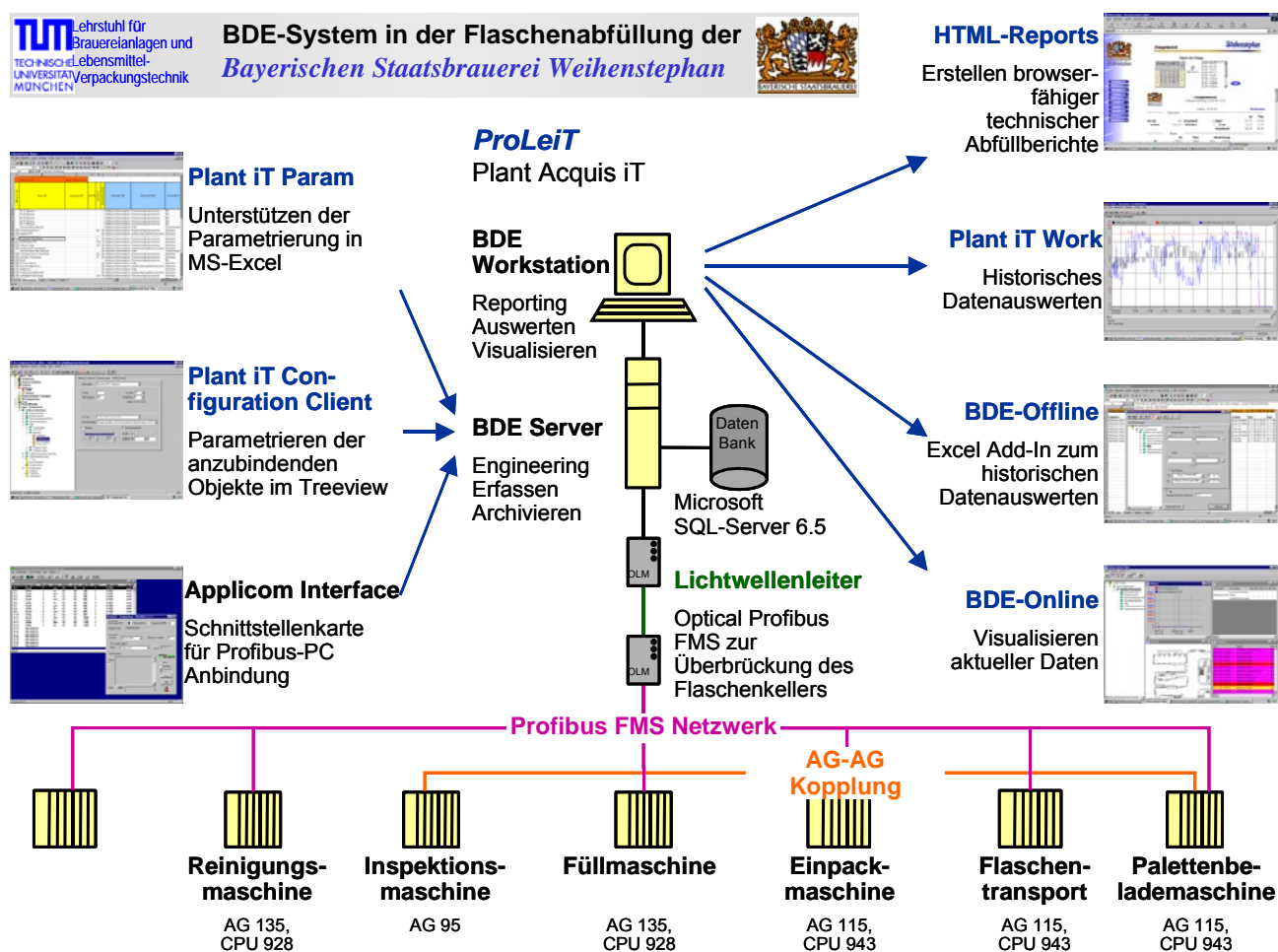


Bild 4.10: Übersicht über die Komponenten des Datenerfassungssystems der Bayerischen Staatsbrauerei Weihenstephan

4.2 Standardvorgaben für die informationstechnische Integration von Getränkeabfüllanlagen

Die bei der Bedarfsermittlung (vgl. 4.1) erhaltenen Ergebnisse der Betriebsbefragungen, Fachgespräche und die Analyse praktischer Realisierungen machen deutlich, dass bei Informationssystemen in Getränkeabfüllbetrieben noch erheblicher Automatisierungsbedarf besteht. Der Grund für die geringe Verbreitung ist vor allem in den hohen Kosten und dem oft sehr begrenzten Nutzen dieser Systeme zu sehen. Standardvorgaben für die technische Systemrealisierung könnten hier zu einer erheblichen Kostensenkung beitragen. Durch standardisierte Konzepte für die Softwaregestaltung könnten die Effizienz der Systeme verbessert und somit ihre Akzeptanz erhöht werden.

Mit diesem Ziel wurden die nachfolgenden Vorgaben für das informationstechnische Implementieren und das Gestalten von IT-Systemen für Getränkeabfüllanlagen erarbeitet. Um hierbei schnelle Umsetzung in der Praxis zu ermöglichen, wurde zunächst der derzeitige Bedarf von Getränkeabfüllunternehmen zugrundegelegt (vgl. 4.1). Die erhaltenen Ergebnisse wurden fortwährend mit Industrievertretern abgestimmt. Optionen für zukünftige neue Werkzeuge, wie sie in dieser Arbeit entwickelt wurden (vgl. 0 und 5.2), wurden ebenfalls berücksichtigt.

4.2.1 Technische Realisierung der Datenübertragung

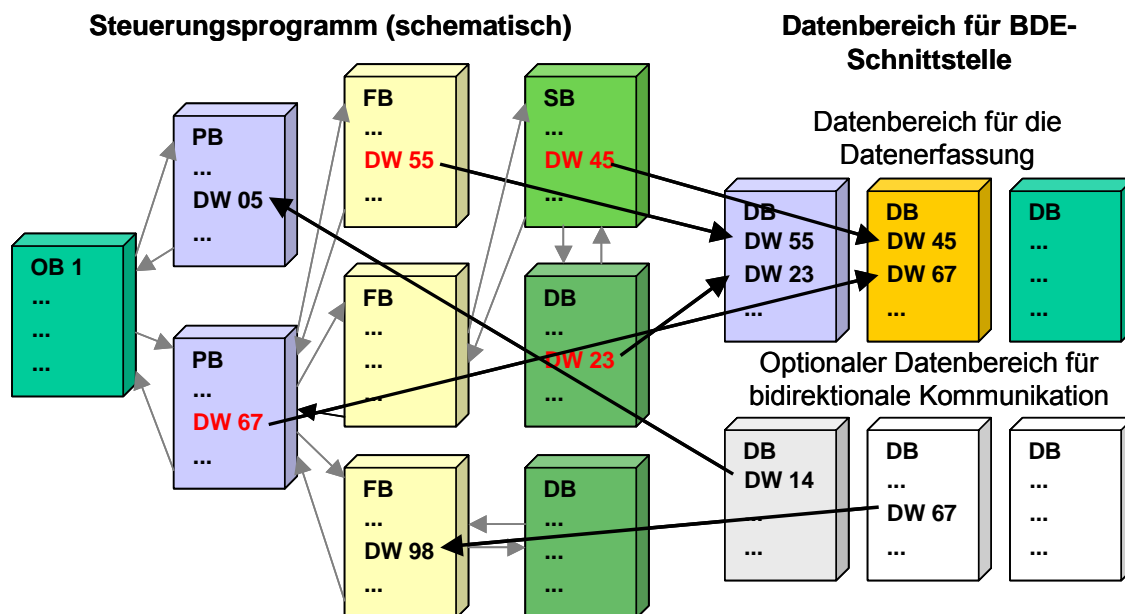


Bild 4.11: Rangieren zu erfassender Daten im SPS-Programm (z. B. Simatic S5)

Steuerungen von Maschinen in Getränkeabfüllanlagen verarbeiten eine große Zahl an Informationen und Daten, von denen nur ein kleiner Teil für den Austausch mit einem übergeordneten Informationssystem von Bedeutung ist. Diese Datenwörter sind verteilt in einem Programmgerüst, wie Bild 4.11 veranschaulicht. Um eine Schnittstelle für die Datenerfassung zu schaffen, müssen sie in reservierte Datenbereiche rangiert und dort stetig aktualisiert werden. So zusammengefügt können die Daten über den Prozessbus mit einem übergeordneten IT-System ausgetauscht werden. Neben der Datenerfassung bietet das Senden von Informationen von einem übergeordneten System an Maschinen für Abfüllanlagenbetreiber weitere Möglichkeiten. (vgl.

Kapitel 5). Hierzu ist ein gesonderter Datenbereich für die Schnittstelle notwendig. Die Vernetzung auf Prozessbusebene erfolgt im Abfüllbereich analog zum Stand der Technik in der Prozessleittechnik (vgl. 3.1). Zur Kostensenkung trägt die Verwendung eines einheitlichen Bussystems für den Datenaustausch bei. Aufgrund der zunehmenden Bedeutung des Standards in allen Industriezweigen kann für die Zukunft nur noch Ethernet mit TCP/IP empfohlen werden. Diese weit verbreitete und zukunftsweisende Technologie ermöglicht bidirektionale Kommunikation, hohe Datenraten und weitere Funktionen von Datenerfassungssystemen, wie Fernwartung und übergeordnete Produktionssteuerung.

4.2.2 Inhaltliche Definition einer Standardschnittstelle

Zum Realisieren einer einheitlichen Schnittstelle sind die relevanten Datenworte in Maschinen- und Transportsteuerungen zu definieren. Eine mögliche Aufteilung des Speicherbereichs für das Ablegen der relevanten Daten und Hinweise für die programmtechnische Realisierung zeigt Tabelle 4.1.

Die aufzulegenden Daten wurden entsprechend dem aus 4.1 ermittelten Grundbedarf der Getränkeindustrie festgelegt und können als Vorlage für die erfolgreiche Realisierung einer Datenerfassungsschnittstelle gesehen werden. Die Datenworte sind nach Kategorien geordnet. Sie sollten bei allen Abfüllmaschinen und Fördereinrichtungen bereitgestellt werden. Bei den Begriffsfestlegungen wurden die einschlägigen DIN-Normen ([15], [16], [19] und [20]) zugrundegelegt. Die Möglichkeiten der Datencodierung sowie die genannten Datenworte werden nachfolgend erläutert:

Datencodierung

Entsprechend den Ergebnissen dieser Arbeit sind folgende Formate für die Codierung von Daten in Maschinen- und Transportsteuerungen geeignet:

➤ Binäre Codierung

Für jede mögliche Information ist ein einzelnes Bit vorzusehen. Dieses ist auf 1 zu setzen, wenn die zugehörige Betriebsart gewählt ist, ein entsprechendes Programm gefahren wird oder der jeweilige Maschinenzustand vorliegt. Im letzten Fall gilt also beispielsweise:

Bit = 1 → entspricht Maschinenzustand liegt vor

Bit = 0 → entspricht Maschinenzustand liegt nicht vor.

Diese Vorgehensweise benötigt wenig logische Programmierung innerhalb der Steuerung, ist somit für einen Maschinenhersteller leicht zu realisieren und verlangsamt den Programmablauf kaum. Zum anderen ermöglicht diese Kodierung das Darstellen mehrerer Informationen gleichzeitig.

Tabelle 4.1: Struktur des Datenbereichs für eine Datenerfassungsschnittstelle

Kategorie	DBB	Bit							
	
Maschinenzustand, Betriebsart ¹	...	Aus	Hand	Teil-automatik	Automatik				
Programm ^{1,2,3}	...	Produktion	Anlaufen/Vollfahren	Auslaufen/Leerfahren	Reinigen	Rüsten	Warten	Pause	
Betriebszustand ^{1,3}	...	Bereit	Betrieb	Eigenstörung	Bediener-eingriff	Fremdstörung	Mangel am Einlauf	Stau am Auslauf	Stau/Mangel Nebenstrom
maschinenspezifische Meldungen ⁴	...								
Störmeldung ⁵	...	16-Bit Integer-Datenwort für Störmeldungen							
Hinweismeldung ⁶	...	16-Bit Integer-Datenwort für Hinweismeldungen							
Programmschritt	...	16-Bit Integer-Datenwort für die Programmschrittnummer							
Parameter	...	16-Bit Integer-Datenwort für Parameter 1							
	...	16-Bit Integer-Datenwort für Parameter 2							
							
	...								
	...								
Messwerte ⁷	...	16- oder 32-Bit Integer-Datenwort für Messwert 1							
	...	16- oder 32-Bit Integer-Datenwort für Messwert 2							
							
	...								
	...								
Zählwerte ⁸	...	16-Bit Low-Datenwort für Zählwert 1							
	...	16-Bit High-Datenwort für Zählwert 1							
	...	16-Bit Low-Datenwort für Zählwert 2							
	...	16-Bit High-Datenwort für Zählwert 2							
							
	...								
	...								
	...								

¹ Diese Informationen können neben der bitweisen Codierung auch als 16-Bit Integer-Datenwort aufgelegt werden.

² Falls Abfüllmaschinen keine Programme für Reinigen, Rüsten und Warten besitzen, ist eine Information für das Zeitkonto Nebenzeit einzurichten. Zusätzliche Programme sind maschinenspezifisch anzufügen.

³ Die Betriebszustände sind in Verbindung mit dem jeweiligen Programm für die Berechnung von Kenngrößen erforderlich und müssen für jede Abfüllmaschine exklusiv oder aufgelegt werden.

⁴ Hier können auch alle Meldungen (Stör- und Hinweismeldungen), die die Steuerung zur Verfügung stellt, aufgelegt werden. Generell sind die Meldungen mit einer Deklaration über den Meldungstyp (Stör-, Hinweismeldung) zu versehen.

⁵ Störmeldungen sollten als Erstwertmeldung als 16-Bit Integer-Datenwort von der Steuerung von Abfüllmaschinen ausgegeben werden. Falls dies der Hersteller in der Maschinensteuerung nicht realisieren kann, ist ein bitweise codiertes Auflegen der Störmeldungen unter den maschinenspezifischen Meldungen erforderlich.

⁶ Falls alle Hinweismeldungen bitweise codiert als maschinenspezifische Meldungen ausgegeben werden, kann das 16-Bit Integer-Datenwort für die Hinweismeldung (Neuwertmeldung) entfallen.

⁷ Für die Berechnung der Kenngrößen wird für die Abfüllmaschinen die Einstellausbringung benötigt.

⁸ Für die Berechnung der Kenngrößen werden für die Abfüllmaschinen die Zähler für die verarbeiteten Güter benötigt.

➤ Codierung im Aufzählungsmodus (16-Bit Integer-Datenwort)

Neben der binären Codierung können Informationen als 16-Bit Integer-Datenwort übermittelt werden. Über eine zugehörige Zuordnungstabelle kann das Datenerfassungssystem dem Anwender die im Zahlenwert enthaltene Information zur Verfügung stellen. Durch diese Form der Codierung wird immer nur eine eindeutige Information übermittelt. Als Beispiel ist in Tabelle 4.2 ein Auszug aus einer derartigen Zuordnungstabelle für Störmeldungen dargestellt.

Meldungen, die gleichzeitig anliegen können und von der Steuerung dem Datenerfassungssystem mitgeteilt werden sollen, müssen binär codiert werden.

Zur Übermittlung von Störmeldungen, Hinweismeldungen und Programmschritten

ist eine Integer-Zahl als 16-Bit Integer-Datenwort geeignet. Da Stör- und Hinweismeldungen gleichzeitig auftreten können, ist in der Steuerung eine Priorisierung notwendig, um das Datenerfassungssystem mit der für den Benutzer interessanten Information zu versorgen. So ist bei Störungen nur die Erstwertmeldung aufzulegen. Auf weiter auflaufende Folgemeldungen kann dann verzichtet werden. Bei Hinweismeldungen ist die Neuwertmeldung von Interesse.

➤ 16- oder 32-Bit Integer-Datenworte für Parameter und Messwerte

Die in Maschinensteuerungen vorliegenden Parameter und Messwerte sind als Integer-Zahlen mit einer Größe von 16 oder 32 Bit aufzulegen. Etwaige Einheiten und Umrechnungsfaktoren für die korrekte Dezimalstelle sind in die Dokumentation einzuarbeiten.

➤ 32-Bit Integer-Datenworte für Zählwerte

Zählwerte dienen zum Erfassen von Stückzahlen, Mengen- und im Einzelfall auch Zeitinformationen. Sie können mit fortschreitender Zeit nur größer werden. Man unterscheidet grundsätzlich zwei Arten von Zählern:

➤ Absolute Zähler:

Bei diesen Zählleinrichtungen besteht die Möglichkeit, sie zu bestimmten Zeitpunkten, z. B. zu Beginn einer neuen Abfüllcharge, auf Null zu setzen. Dies geschieht in der Regel durch eine Rücksetztaste direkt an einer Maschine und ermöglicht die direkte Anzeige des Zählwerts am Display. Beispielsweise kann so die absolute Zahl der abgefüllten Flaschen einer laufenden Abfüllcharge angezeigt werden.

➤ Umlaufende Zähler:

Umlaufende Zählwerte werden nie auf Null zurückgesetzt. Den absoluten Wert eines umlaufenden Zähl-

Tabelle 4.2: Beispiel für eine Zuordnungstabelle

Zahlenwert des Integer-Datenworts für die Störmeldung	Bedeutung
...	...
...	...
45	Sicherheitskreis Not-Aus
46	Sicherheitskreis Vortisch
47	Sicherheitskreis Ringkessel
49	Netzschützüberwachung
50	Motorschutz Hauptantrieb
51	Motorschutz Einlaufbänder
52	Motorschutz Auslaufbänder
65	Motorschutz Vakuumpumpe
66	Motorschutz HDE
...	...

lers ermittelt man durch Differenzbildung aus Anfangs- und Endwert im Bezugszeitraum. Wenn der Zählwert seinen maximalen Wertebereich überschreitet, kommt es zum Überlauf, und der Zähler beginnt erneut von Null zu zählen. In diesem Fall wird der Endwert des Bezugszeitraums kleiner sein als der Anfangswert. Zur Differenz muss dann der Maximalwert des Zählers addiert werden, um den absoluten Zählwert zu erhalten.

Das manuelle Zurücksetzen absoluter Zählwerte stellt eine Fehlerquelle dar. Deshalb sind für Datenerfassungssysteme ausschließlich umlaufende Zähler zu bevorzugen. Es muss vermieden werden, dass es innerhalb eines Bezugszeitraums zu mehreren Überläufen eines Zählwerts kommt. Aus diesem Grund sind Zählwerte im Doppeldatumformat mit 32 Bit zu codieren.

Datenworte

➤ **Maschinenzustand**

Der Maschinenzustand gibt Auskunft darüber, ob die Maschine außer Betrieb gesetzt ist (Aus: zugehöriges Bit = 1 oder Kennzeichnung durch dokumentierte Integer-Zahl). Wenn dieses Bit nicht gesetzt ist, ist die Maschine in Betrieb und befindet sich in einer der folgenden Betriebsarten.

➤ **Betriebsart**

Die Betriebsart informiert über Art und Umfang der Eingriffe in eine Steuerungseinrichtung durch den Bedienenden oder auch durch Rückmeldungen aus der zu steuernden Anlage [16]. Für Maschinen innerhalb von Getränkeabfüllanlagen sind die folgende Betriebsarten relevant:

➤ **Automatik:**

Betriebsart, in der die Steuerung ohne Eingriff des Bedienenden in einem gestarteten Steuerungsablauf programmgemäß arbeitet. Dies bedeutet, dass die Maschinen einer Abfüllanlage in das Regelkonzept der Gesamtanlage integriert sind und in ihren Einstellausbringungen automatisch geregelt werden.

➤ **Teilautomatik:**

Betriebsart, in der nur Teile der Steuerung oder des Programms ohne Eingriff des Bedienenden programmgemäß arbeiten. Dies bedeutet, dass die Maschinen einer Abfüllanlage nicht in das Regelkonzept der Gesamtanlage integriert sind und die Einstellausbringungen mittels Hand vor Ort eingestellt werden.

➤ **Hand:**

Betriebsart, in der die Steuerungseinrichtung durch Eingriff des Bedienenden nur in Abhängigkeit von etwaigen Verriegelungen arbeitet. Auch die Betriebsarten Einrichten, Schrittsetzen und Tippen sind hier mit inbegriffen.

➤ **Programm (Programmbaustein einer Steuerung)**

Das Programm ist eine zusammengehörende Folge von Steuerungsanweisungen für eine in sich abgeschlossene, anwendungsorientierte Funktion. Bei Abfüllmaschinen sind von Bedeutung:

➤ **Produktion:**

Die Maschine befindet sich in der Funktion, für die sie nach den Angaben des Herstellers geeignet ist.

- **Produktion Anlaufen/Vollfahren:**
Die Maschine befindet sich zwar in der Funktion, für die sie nach den Angaben des Herstellers geeignet ist, allerdings in einem Startprogramm, das ein bestimmungsgemäßes oder sicherheitsbedingtes Anlaufen oder, bei Güter speichernden Maschinen, Vollfahren der Maschine sicherstellt.
- **Produktion Auslaufen/Leerfahren:**
Die Maschine befindet sich zwar in der Funktion, für die sie nach den Angaben des Herstellers geeignet ist, allerdings in einem Stoppprogramm, das ein bestimmungsgemäßes oder sicherheitsbedingtes Auslaufen oder, bei Güter speichernden Maschinen, Leerfahren der Maschine sicherstellt.
- **Reinigen:**
Die Maschine befindet sich in der Funktion Reinigen. Dieses Programm kann aus Programmschritten bestehen, die unabhängig voneinander angesteuert werden können, z. B. Programmschritt „Überschwalen“ bei der Füll- oder Verschleißmaschine oder Programmschritt „Kopfraumdesinfektion“ bei der Reinigungsmaschine.
- **Rüsten:**
Die Maschine befindet sich im Programm Rüsten, in dem automatische Maschineneinstellungen in Abhängigkeit von Parametern geändert werden.
- **Warten:**
Die Maschine befindet sich im Programm, in dem Wartungs- und Pflegearbeiten durchgeführt werden.
- **Pause:**
Die Maschine befindet sich in einem Pausenprogramm, das ein bestimmungsgemäßes Inbetriebnehmen der Maschine nach der Pause sicherstellt.

Falls Abfüllmaschinen keine Programme für Reinigen, Rüsten und Warten besitzen, ist eine entsprechende Information für das Zeitkonto Nebenzeit notwendig. Zusätzliche Programme, insbesondere für die prozesstechnische Peripherie, sollten dann maschinen- bzw. anlagenspezifisch angefügt werden.

➤ **Betriebszustand**

Beim Abarbeiten des programmgemäßen Steuerungsablaufs können bei störungsbehafteten Maschinen verschiedene Betriebszustände auftreten. Diese sind für jedes Programm eine Auswahl aus den nachfolgend erklärten Zuständen: „Bereit“, „Betrieb“, „Eigenstörung“, „Bedienereingriff“, „Fremdstörung“, „Mangel am Einlauf“, „Stau am Auslauf“ oder „Mangel/Stau im Nebenstrom“, die nur „exklusiv oder“ auftreten können.

- **Bereit:**
Die Maschine ist bereit ihre vorgesehene Funktion auszuführen; sie ist allerdings gerade in einem Wartezustand und muss vom Bedienenden in Betrieb gesetzt werden (Kein Mangel- oder Stauzustand).
- **Betrieb:**
Die Maschine führt ihre vorgesehene Funktion aus [20].
- **Eigenstörung (maschinenbedingte Störung):**
Störung, die an der Maschine selbst auftritt und die zu einem Maschinenstopp führt. Im Betriebszustand Eigenstörung führt die Maschine ihre vorgesehene Funktion infolge einer vom Sensorsystem der Steue-

rung der Maschine erkannten, unzulässigen Abweichung vom Soll-Zustand (Störmeldung) nicht aus (Maschinenstopp). Die unzulässige Abweichung ist in der Steuerung als Eigenstörung parametrisiert.

➤ **Bedienereingriff:**

Die Maschine führt ihre vorgesehene Funktion infolge einer nicht vom Sensorsystem der Steuerung, sondern vom Bedienenden erkannten, unzulässigen Abweichung vom Soll-Zustand nicht aus (Maschinenstopp), so dass der Bedienende eingreift und hierfür trennende Schutzeinrichtungen öffnet, den Not-Aus-Taster drückt oder die Maschine mittels Hand-Aus außer Betrieb setzt.

➤ **Fremdstörung (maschinenfremde Störung):**

Störung, die der Maschine nicht selbst zuzuordnen ist, aber dennoch zu einem Maschinenstopp führt (nach DIN 8782). Im Betriebszustand Fremdstörung führt die Maschine ihre vorgesehene Funktion infolge einer vom Sensorsystem der Steuerung erkannten, unzulässigen Abweichung vom Soll-Zustand (Störmeldung) nicht aus (Maschinenstopp). Die unzulässige Abweichung ist in der Steuerung als Fremdstörung parametrisiert. Die Fremdstörungen Mangel am Einlauf, Stau am Auslauf und Stau/Mangel im Nebenstrom werden separat erfasst und werden somit nicht diesem Betriebszustand zugeordnet. Sonstige Mangel- oder Stausituationen werden dagegen als Fremdstörung erfasst.

Eine Unterscheidung von Maschinenausfällen in die Kategorien Eigenstörung, Fremdstörung und Bedienereingriff ist für zukünftige Datenerfassungssysteme wünschenswert. In vielen Fällen ist diese jedoch nur durch Handeingaben des Bedienpersonals möglich und wurde in der Vergangenheit kaum realisiert. Deshalb werden diese Betriebszustände bei der Datenbewertung (vgl. z. B. 4.3) unter dem Begriff Störung (vgl. 2.2.3) zusammengefasst.

➤ **Mangel am Einlauf:**

Die Maschine führt ihre vorgesehene Funktion infolge eines vom Sensorsystem der Steuerung erkannten Güterstrommangels in der Zuführung der Maschine nicht aus (Maschinenstopp). Bei Maschinen, die mehrere Einläufe besitzen, bezieht sich der Zustand Mangel im Einlauf auf den Hauptstrom, d. h. auf das Gut (Primär-, Sekundär- oder Tertiärverpackung), welches in Richtung der Füllmaschine (zentrale Maschine) geführt wird bzw. von der Füllmaschine weggeführt wird. Der Mangel im Einlauf ist eine Fremdstörung, sollte aber aufgrund der Bedeutung für die Visualisierung und das technische Berichtswesen separat betrachtet werden.

➤ **Stau im Auslauf:**

Die Maschine führt ihre vorgesehene Funktion infolge eines vom Sensorsystem der Steuerung erkannten Staus in der Güterstromabführung der Maschine nicht aus (Maschinenstopp). Bei Maschinen, die mehrere Abführungen besitzen, bezieht sich der Zustand Stau im Auslauf auf den Hauptstrom, d. h. auf das Gut (Primär-, Sekundär- oder Tertiärverpackung), welches in Richtung der Füllmaschine (zentrale Maschine) geführt wird bzw. von der Füllmaschine weggeführt wird. Der Stau im Auslauf ist eine Fremdstörung, sollte aber aufgrund der Bedeutung für die Visualisierung und das technische Berichtswesen separat betrachtet werden.

➤ **Stau/Mangel im Nebenstrom:**

Die Maschine führt ihre vorgesehene Funktion infolge eines vom Sensorsystem der Steuerung erkannten

Mangels in der Nebenstromzuführung oder Staus in der Nebenstromabführung der Maschine nicht aus (Maschinenstopp). Dieser Zustand kann nur bei Maschinen auftreten, die zwei oder mehrere Ab- bzw. Zuführungen besitzen und bei denen der Nebenstrom wiederum Eingang bzw. Ausgang einer vor- oder nachgeschalteten Maschine der Abfüllanlage ist (Pack- und Palettiermaschinen). Der Nebenstrom bezieht sich auf das Gut (Primär-, Sekundär- oder Tertiärverpackung), das weiter entfernt von der Füllmaschine (zentrale Maschine) geführt wird. Der Stau/Mangel im Nebenstrom ist eine Fremdstörung, sollte aber aufgrund der Bedeutung für die Visualisierung und das technische Berichtswesen separat aufgelegt werden.

➤ **Maschinenspezifische Meldungen**

Bei Auftreten einer Störung soll das Datenerfassungssystem die Störursache protokollieren. Diese Störursachen sind maschinenspezifisch aufzulisten und, da mehrere gleichzeitig auftreten können, bitweise zu codieren. Das gleiche gilt für maschinenspezifische Hinweismeldungen, die für Visualisierungsaufgaben und/oder für die Protokollierung des Datenerfassungssystems von Bedeutung sind. Da sich maschinenspezifische Meldungen je nach Maschinentyp unterscheiden können, ist ihre ausführliche Dokumentation wichtig. Eine Deklaration des Meldungstyps (Stör- oder Hinweismeldung) ist notwendig.

➤ **Störmeldung**

Eine Störmeldung meldet die unzulässige Abweichung des Ist-Zustandes vom Soll-Zustand. Dies bedeutet, dass die Steuerung infolge der festgestellten, unzulässigen Abweichung die Maschine außer Betrieb setzt (Maschinenstopp).

➤ **Hinweismeldung**

Eine Hinweismeldung fordert zur Durchführung bestimmter Maßnahmen auf. Dies bedeutet, dass die Steuerung eine Abweichung des Ist-Zustandes vom Soll-Zustand festgestellt hat, die zwar noch nicht zu einem Maschinenstopp führt, sondern über die der Bedienende lediglich informiert wird.

➤ **Programmschritt (Ablaufschritt, Schritt)**

Die kleinste funktionelle Einheit des Programms von Ablaufsteuerungen wird als Programmschritt bezeichnet. Um die Nachvollziehbarkeit der Vorgänge bei Abfüllanlagen sicherzustellen, sind in Einzelfällen zusätzlich zum Programm die einzelnen in Abarbeitung befindlichen Schritte von Interesse.

➤ **Parameter**

Unter Parametern werden die Einstellungen einer Maschine für das Verarbeiten gegebener Getränkesorten sowie Packmittel, Packhilfsmittel oder Sammelpackungen verstanden.

➤ **Messwerte**

Gleitend schwankende Prozessgrößen (Temperaturen, Drücke, usw.) und Kenngrößen von Maschinen (z. B. Einstellausbringung) werden unter dem Begriff Messwerte zusammengefasst.

➤ **Zählwerte**

Zählwerte dienen zum Erfassen von Stückzahlen, Mengen- und evtl. auch Zeitinformationen (z. B. Betriebsstundenzähler). Sie können mit fortschreitender Zeit nur größer werden.

Eine Zusammenstellung notwendiger maschinenspezifischer Meldungen, Parameter, Messwerte und Zählwerte für Aggregate der Referenzanlage findet sich in Anhang C.

Für eine umfassende Beurteilung des Abfüllbetriebs sollten auch einer Abfüllanlage zugehörige prozesstechnische Einrichtungen mit in ein Datenerfassungssystem eingebunden werden. Hierunter werden Anlagen verstanden, die unmittelbar mit der bestimmungsgemäßen Funktion der Abfüllanlage in Zusammenhang stehen. Vornehmlich sind hier zu nennen: Kurzzeiterhitzung mit/ohne Puffertank, CIP-Anlage und Aseptik-Systeme. Für die Anbindung sind die Daten analog zur Schnittstelle bei Abfüllmaschinen in den Steuerungen der Prozessanlagen aufzulegen. Zusätzlich sollten hierbei die Stellungen der Ventile als prozessspezifische Meldungen mit erfasst werden, um vergangene Abläufe im Bedarfsfall exakt nachvollziehen zu können. Eine Zusammenstellung spezieller Datenpunkte für die prozesstechnischen Anlagen findet sich ebenfalls in Anhang C.

4.2.3 Herkömmliche Auswertewerkzeuge

Die Möglichkeiten der grafischen und quantitativen Auswertung aktuell vorliegender und historischer Betriebsdaten unterscheiden sich bei den heute angebotenen und im Abfüllbereich einsetzbaren Datenerfassungssystemen stark [6]. Folgende Grundfunktionen können heute jedoch für jedes Datenerfassungssystem empfohlen werden [88]:

- Prozessvisualisierung
- Online-Darstellung von Daten in Balkendiagrammen und Trend-Charts
- Störungsanalyse
- Chargen- und Schichtbezug
- Kennzahlen und Zeitbegriffe
- Vorbeugende Instandhaltung

Visualisierungssysteme können dem Anlagenbediener an zentraler Stelle einen schnellen Überblick über aktuelle Zustände einer Gesamtanlage und einzelner Aggregate verschaffen. Sinn und Zweck des Visualisierens ist das Darstellen von Maschinen- und Anlagenzuständen, aktuellen und kumulierten Mengendaten, Messwerten sowie Daten zu Störungen bzw. zur Störungsbeseitigung. Auf diese Weise können Verlauf und Fortschritt des Abfüllvorgangs zu jedem Zeitpunkt überwacht werden. Als Übersichtsgrafik einer Abfüllanlage genügt ein einfaches Fließbild, bei dem durch farbliche Animation einzelner Maschinen und Transportabschnitte ihre Zustände dargestellt werden. Ausgehend von dieser Gesamtübersicht könnten sich beispielsweise durch Anwählen einer Maschine (z. B. per Mausklick) zugehörige Details wie Zählerstände oder Messwerte aufrufen lassen (Top-Down Funktionalität).

Zum Auffinden von Schwachstellen hat sich in der Vergangenheit ein Sortieren aufgetretener Störungen nach Störungsdauer und -häufigkeit bewährt [45]. Stellt man die Ergebnisse beispielsweise in einem Balkendiagramm grafisch dar, können sehr gut Maschinen erhöhter Störungsanfälligkeit erkannt werden. Des Weiteren sollten für die Maschinen die mittleren Störungsdauern und mittleren Betriebsdauern protokolliert werden. Verkürzungen der mittleren Betriebsdauern sind mit zunehmendem Alter der Maschinen in Kauf zu

nehmen. Diesen kann durch Wartung und Instandhaltung entgegengewirkt werden. Darüber hinaus sind für den Anlagenbetreiber vor allem die Störungen von Interesse, die einen Stillstand der Füllmaschine verursachen und somit den Wirkungsgrad einer Anlage vermindern. Hierfür sind unterschiedliche Verfahren der Störunguzuordnung in [88] erläutert und wurden in dieser Arbeit auf Basis moderner Datamining-Methoden weiterentwickelt (vgl. 0). Eine Beurteilung von Flaschenpuffern anhand der Puffereffektivität und durchschnittlichen Belegungsgraden ist ebenfalls empfehlenswert ([34], [66]).

Effektive Laufzeit <i>Produktion + Betrieb</i>	Maschinen- oder anlagebedingte Störzeit <i>Produktion + Eigenstörung oder Bedienerereingriff</i>	Maschinen- oder anlagefremde Störzeit <i>Produktion + Bereit oder Fremdstörung oder Mangel oder Stau</i>	Nebenzeiten <i>Reinigen, Rüsten, Warten, Pause</i>
Allgemeine Laufzeit			
Betriebszeit <i>Produktion</i>			
Arbeitszeit			

Bild 4.12: Automatische Zeitenermittlung (nach DIN 8782)

Abfüllanlage zu unterschiedlichen Zeiten an unterschiedlichen Orten erfolgen. Heute wird die Aufteilung einer Anlage in wenige Chargengebiete vorgenommen, in denen sich nach der Logik des Datenerfassungssystems immer nur Packmittel und Getränk einer Charge gleichzeitig aufhalten können. Strategien zum automatischen Erkennen des gleitenden Chargenwechsels werden [88] vorgestellt. Die Bezeichnungen für die Produktionschargen sollten automatisch von einem Produktionsplanungssystem übernommen werden können. Bei verschiedenen Schichtrythmen sind die Schichtzeiten mitzuerfassen, wodurch die Auswertung von Betriebsdaten mit Bezug zum jeweiligen Schichtpersonal ermöglicht wird.

Zeitbegriffe und Kennzahlen zur Beurteilung der Abfüllarbeit legt die DIN 8782 [19] fest. Das automatische Ermitteln der Zeiten mit Hilfe der im Standard definierten Datenpunkte zeigt Bild 4.12. Zum Beurteilen der Ausbringung und Störanfälligkeit einzelner Maschinen stellt die DIN 8782 den maschinenbezogenen Wirkungsgrad zur Verfügung (vgl. Bild 4.13). Da die Unterscheidung anlagenbedingter und anlagenfremder Störungen der gesamten Abfüllanlagen nicht automatisch durchgeführt werden kann, wurde der Anlagenliefergrad entsprechend $\lambda^{\#}$ modifiziert.

Um Betriebsdaten mit Bezug auf einzelne Abfüllchargen erfassen und auswerten zu können, muss das Datenerfassungssystem Informationen über die aktuell in einer Anlage vorliegende Charge bekommen.

Problematisch ist hierbei, dass Chargenwechsel innerhalb einer

Wirkungsgrad eines Aggregats η_E (nach DIN 8782):

Verhältnis von Effektivausbringung zur Einstellausbringung

$$\eta_E = \frac{\text{Effektive Laufzeit}}{\text{Allgemeine Laufzeit}} = \frac{\text{Effektive Laufzeit}}{\text{Effektive Laufzeit} + \text{maschinenbedingte Störzeit}} \left(= \frac{Q_{\text{eff E}}}{Q_{\text{est E}}} \right)$$

Liefergrad einer Abfüllanlage λ_A (nach DIN 8782):

Verhältnis von Effektivausbringung zur Nennausbringung der Abfüllanlage:

$$\lambda_A = \frac{\text{Effektivausbringung}}{\text{Nennausbringung}} = \frac{Q_{\text{eff A}}}{Q_{\text{n A}}} = \frac{\frac{\text{Stückzahl}}{\text{Allgemeine Laufzeit}}}{\frac{\text{Stückzahl}}{\text{Nennausbringung}}}$$

Liefergrad einer Abfüllanlage $\lambda_A^{\#}$ (Definition Pflichtenheft):

$$\lambda_A^{\#} = \frac{\text{Effektivausbringung}^{\#}}{\text{Nennausbringung}} = \frac{Q_{\text{eff A}}^{\#}}{Q_{\text{n A}}} = \frac{\frac{\text{Stückzahl}}{\text{Betriebszeit}}}{\frac{\text{Stückzahl}}{\text{Nennausbringung}}}$$

Bild 4.13: Wichtige Kenngrößen von Abfüllanlagen

4.2.4 Technisches Berichtswesen

Technische Berichte dienen der Information der Entscheidungsträger unterschiedlicher Abteilungen und Hierarchieebenen in einem Unternehmen. Das Informationsbedürfnis richtet sich dabei nach den zu verrichtenden Aufgaben und variiert zwischen den Ebenen entsprechend stark. Aus diesem Grund müssen für jeden Prozessverantwortlichen individuelle Berichte erstellt werden, mit deren Hilfe er den Aufgaben der Planung, Steuerung, Kontrolle und Dokumentation nachkommen kann.

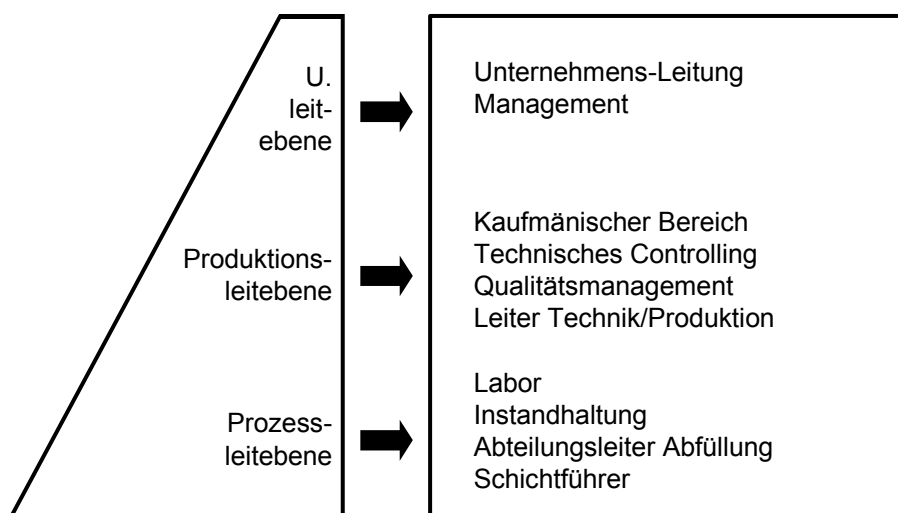


Bild 4.14: Berichtsempfänger im Abfüllbetrieb

Bild 4.14 zeigt die Berichtsempfänger der Ebenen eines Abfüllbetriebs. Ihr Informationsbedarf unterscheidet sich nicht nur im Umfang der Daten, sondern auch in ihrer Qualität, Aktualität und im jeweiligen Verdichtungsgrad. Entscheidend ist, welcher Berichtszweck auf der entsprechenden Ebene dominiert. Dabei gilt grundsätzlich, dass die Informationsmenge abnimmt, je höher die Unternehmensebene ist, der Verdichtungsgrad hingegen mit aufsteigender Ebene zunimmt. Dies hängt mit der bereichsübergreifenden Sichtweise auf höheren Unternehmensebenen zusammen. Da hier Informationen aus allen Bereichen und Abteilungen eines Unternehmens zusammenlaufen, müssen die einzelnen Informationen kompakter sein, um die Datenmenge überschaubar zu halten.

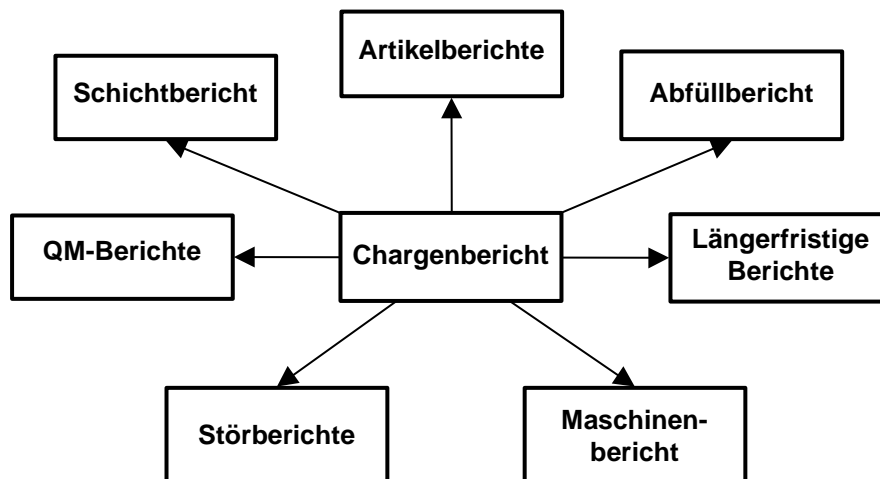


Bild 4.15: Berichtswesen auf Basis chargenbezogene Betriebsdaten

Eine wesentliche Forderung der Unternehmen an das Berichtswesen ist eine Top Down Funktionalität. Das bedeutet, dass von einem Bericht aus einer höheren Unternehmensebene über definierte Bezugspunkte – beispielsweise über die Chargennummer – auf untergeordnete Berichte zugegriffen und auf diese Weise eine detailliertere Ansicht betrachtet werden kann. Die Anzahl der Berichte ist möglichst gering zu halten. Nur dadurch bleibt das Berichtswesen übersichtlich und kann effektiv arbeiten. Trotzdem müssen alle relevanten Informationen ihre Empfänger erreichen. Bild 4.15 zeigt die Struktur eines technischen Berichtssystems, welches in dieser Arbeit entworfen wurde. Es soll das Informationsbedürfnis aller Prozessverantwortlichen abdecken. Beim Erstellen dieser Berichte wurden Forderungen nach kurzen, übersichtlichen Berichten beachtet. Daher ist keiner der Berichte länger als eine DIN A4-Seite. Alle Berichte ermöglichen die Auswertung über variable Auswerteziträume, was zu hoher Flexibilität und guten Vergleichsmöglichkeiten führt. Ausdrucke der Berichte sind in Anhang D zu finden.

4.3 Störverhalten von Maschinen

Zur Bewertung von Abfüllanlagen und einzelner Maschinen werden üblicherweise die in 4.2.1 genannten Kennzahlen Anlagenliefergrad und Maschinenwirkungsgrad herangezogen. Diese sind Richtwerte für die Zuverlässigkeit und eignen sich für die Leistungskontrolle im laufenden Betrieb. Für die Entwicklung informationstechnischer Werkzeuge zur Optimierung von Abfüllanlagen muss das Störverhalten einzelner Maschinen in Abfüllanlagen genauer untersucht werden. Vor allem Dauer und Häufigkeit von Betriebs- und Stördauern sowie deren Erwartungswerte sind hierbei von Interesse.

4.3.1 Stochastisches Auftreten von Maschinenstörungen

Um das Störverhalten von Maschinen in Getränkeabfüllanlagen genauer beschreiben zu können, wurden automatisch aufgezeichnete Betriebsdaten einer Abfüllanlage mittlerer Größe (Nennausbringung 35 000 Flaschen/h) für 0,5-l-Bügelverschlussflaschen (in dieser Arbeit als Anlage F bezeichnet) untersucht. Diese Anlage wurde ausgewählt, da es sich um eine neue Abfüllanlage (Inbetriebnahme Januar 2002) handelt. Da die automatische Betriebsdatenerfassung erst im Jahr 2003 fertig angebunden wurde, konnte nur ein Aufzeichnungszeitraum von rund 2 Monaten analysiert werden.

Dies wurde in Kauf genommen, da es sich bei der installierten Datenerfassung um eines der ersten Systeme im Praxismaßstab handelt, die auf Grundlage der in 4.2 ausgearbeiteten Vorgaben realisiert wurden. Die Daten lagen in Form eines Datenbankauszuges aus dem integrierten Datenerfassungssystem (MS-SQL-Server) vor und konnten somit ohne Einschränkungen verwendet werden.

Bezüglich des Betriebs- und Störverhaltens der einzelnen Aggregate wurden mithilfe geeigneter Datenbankabfragen alle Betriebs- und Störintervalle im Bezugszeitraum bestimmt und die zugehörigen Zeiten TBF und DT ermittelt. Hierbei wurden nur die Zeiträume betrachtet, in welchen die Maschinen im Abfüllbetrieb eingesetzt wurden. Nebenzeiten wurden herausgeschnitten. Im Hinblick auf den Zustand *Störung* wurde bei der Auswertung des Störverhaltens der Maschinen nicht zwischen den Betriebszuständen *Eigenstörung*, *Fremdstörung* und *Bedienereingriff* unterschieden. Die Zeiten der durch Mangel- oder Stausituationen bedingten Maschinenstillstände wurden beim Ermitteln der Betriebsdauern übersprungen.

Um die Betriebs- und Stördauern als Häufigkeitsverteilungen darzustellen, wurde die Zeitachse individuell in Klassen eingeteilt. Deren Breite B ergab sich jeweils aus der Division des größten Wertes der Stichprobe durch die gewünschte Klassenanzahl i , die aus der Quadratwurzel des Stichprobenumfangs N ermittelt wurde. In Anhang E sind für jedes Aggregat die absoluten Häufigkeiten b_i der Betriebs- und Stördauern innerhalb der gebildeten Klassen als Histogramme dargestellt. Bild 4.16 und Bild 4.17 zeigen Beispiele für die Auswertung der Füllmaschine.

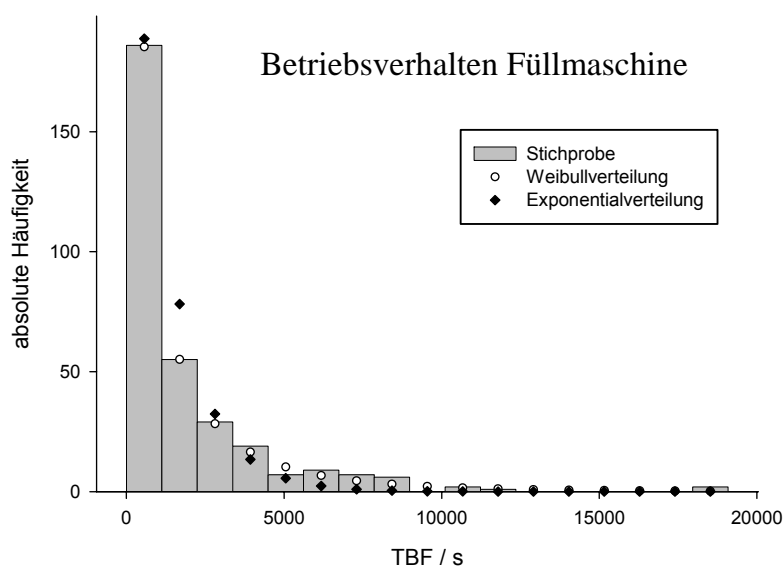


Bild 4.16: Empirische Verteilung der Betriebsdauern und nach den angenäherten stetigen Zuverlässigkeitsfunktionen zu erwartende Häufigkeiten

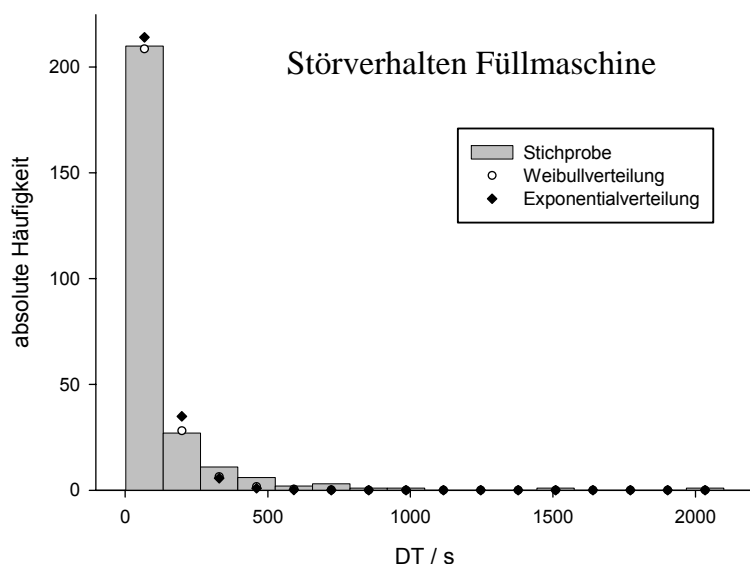


Bild 4.17: Empirische Verteilung der Stördauern mit den nach angenäherten stetigen Funktionen zu erwartenden Häufigkeiten

Die individuellen Klasseneinteilungen und zugehörigen absoluten Häufigkeiten waren im Folgenden die Grundlage für das Ermitteln der Parameter von genäherten Betriebsdauerverteilungsfunktionen mittels nichtlinearer Regression. Untersucht wurden die nach 2.2.3 zu erwartenden Verteilungsformen Exponentialverteilung und Weibullverteilung, mit welchen sich die theoretisch zu erwartenden Klassenhäufigkeiten e_i nach Gleichung 4.1 und Gleichung 4.2 ergeben. Für die Näherung der

Stördauerverteilungsfunktionen wurden ebenfalls Exponential- und Weibullverteilung zugrunde gelegt. Dies entspricht der Annahme, dass die Maschinen nicht nur mit konstanten, bzw. monoton steigenden oder fallenden Raten ausfallen, sondern vom Personal auch mit konstanten bzw. monoton steigenden oder fallenden Raten („Reparatur- oder Instandsetzungsrate“) wieder in Betrieb gesetzt werden. Die erhaltenen Parameter der genäherten Verteilungen, deren Mittelwerte μ und Beschreibungsgüten σ_{est} (Standardabweichung der Schätzung) sind in Tabelle 4.3 zusammengefasst. Die Beschreibungsgüte

σ_{est} einer Regressionskurve ergibt sich nach Gleichung 4.3, wobei hier auch leere Klassen erfasst und die zu erwartenden Klassenhäufigkeiten e_i nicht auf ganze Zahlen gerundet wurden.

$$e_{i, \text{negExp}} = \left\{ \exp\left[-\frac{t_{\text{untere Grenze, } i}}{\beta}\right] - \exp\left[-\frac{t_{\text{obere Grenze, } i}}{\beta}\right] \right\} * N \quad (4.1)$$

$$e_{i, \text{Weibull}} = \left\{ \exp\left[-\left(\frac{t_{\text{untere Grenze, } i}}{\beta}\right)^\alpha\right] - \exp\left[-\left(\frac{t_{\text{obere Grenze, } i}}{\beta}\right)^\alpha\right] \right\} * N \quad (4.2)$$

$$\sigma_{\text{est}} = \sqrt{\frac{\sum (b_i - e_i)^2}{i - \text{Parameteranzahl}}} \quad (4.3)$$

Tabelle 4.3: Parameter der Weibull- und Exponentialverteilung bezüglich des Betriebs- und Störverhaltens der Maschinen von Anlage F

Aggregat	B / s	i	Weibull				Exponential		
			α	β	μ	σ_{est}	β	μ	σ_{est}
Betriebsverhalten									
Palettentlademaschine	853,4	15	0,74	1520,9	1838,9	5,19	1381,6	1381,6	7,46
Auspackmaschine 1	640,4	12	1,04	981,8	965,1	1,53	995,5	995,5	1,55
Auspackmaschine 2	675,4	11	0,90	920,4	969,3	1,41	894,5	894,5	1,77
Reinigungsmaschine	34,6	62	0,96	120,2	122,7	7,51	117,3	117,3	9,66
Füllmaschine	1122,5	17	0,68	1334,4	1733,2	1,78	1273,3	1273,3	6,67
Verschleißmaschine 1	1934,1	13	0,64	2329,0	3227,4	2,33	2155,5	2155,5	5,31
Verschleißmaschine 2	1510,7	10	1,03	4875,5	4820,1	2,91	4951,6	4951,6	2,77
Ausstattungsmaschine	113,8	35	0,76	371,2	437,3	4,61	317,5	317,5	16,3
Einpackmaschine	133,4	33	0,60	246,6	374,8	4,73	212,8	212,8	24,5
Palettenbelademaschine	1754,9	14	0,63	2502,3	3481,8	2,86	2260,6	2260,6	6,80
Störverhalten									
Palettentlademaschine	88,6	15	0,85	54,5	59,4	0,90	60,0	60,0	1,56
Auspackmaschine 1	97,1	9	0,94	54,1	55,6	0,97	57,3	57,3	0,97
Auspackmaschine 2	87,3	10	0,89	47,7	50,3	1,34	53,1	53,1	1,40
Reinigungsmaschine	24,4	61	0,98	29,3	29,5	6,14	29,4	29,4	6,36
Füllmaschine	131,0	16	0,80	57,2	64,9	2,02	72,3	72,3	3,16
Verschleißmaschine 1	43,8	10	0,81	27,7	31,2	1,56	32,0	32,0	2,06
Verschleißmaschine 2	63,7	7	1,11	31,9	30,7	1,39	27,9	27,9	1,47
Ausstattungsmaschine	56,9	34	0,75	22,4	26,6	8,15	31,6	31,6	13,6
Einpackmaschine	28,5	32	0,96	21,2	21,7	3,19	21,8	21,8	3,56
Palettenbelademaschine	31,3	12	1,06	36,3	35,5	2,96	35,3	35,3	2,93

Zunächst ist festzuhalten, dass die Verläufe beider Funktionen geeignet sind, das Störverhalten der Maschinen zu beschreiben (vgl. Bild 4.16 und Bild 4.17 sowie Anhang E). Der α -Parameter der Weibullverteilung liegt in den meisten Fällen nahe 1, was die Ähnlichkeit der Kurven bestätigt. Für $\alpha = 1$ sind ja beide Funktionen identisch. Anhand des Gütekriteriums σ_{est} wird deutlich, dass die Weibullverteilung die gegebenen empirischen Verteilungen bis auf wenige Ausnahmen besser beschreibt als die Exponentialverteilung. Dies war bei der Regression auch zu erwarten, da bei der Weibullverteilung zwei Parameter im Gegensatz von nur einem Parameter bei der Exponentialverteilung angepasst werden können (vgl. Gleichungen 2.7 und 2.9).

Auffällig sind die Fälle, in welchen die α -Parameter für die Stördauerverteilungen stärker von 1 abweichen. Hier wurden fast immer Werte für $\alpha < 1$ erhalten. Dies lässt darauf schließen, dass die betrachteten Maschinen im Betrachtungszeitraum sinkende Ausfallraten aufweisen. Zuverlässigkeitsuntersuchungen in der Fertigungstechnik ergaben, dass sich die Ausfallraten über die Lebensdauer von Maschinen entsprechend der in Bild 4.18 dargestellten „Badewannenkurve“ ändern. Nach einer Phase sinkender Ausfallraten, in der vor allem Frühausfälle auftreten, folgt eine Phase mit Zufallsausfällen und konstanter Ausfallrate. Gegen Ende der Lebensdauer kommt es vermehrt zu Spätausfällen und wieder steigender Ausfallrate. Die aus $\alpha < 1$ folgende sinkende Ausfallrate könnte den Schluss zulassen, dass sich die betrachtete Abfüllanlage noch in der Phase vermehrter, aber seltener werdender Frühausfälle befindet. Da es sich um eine neue Abfüllanlage handelt, erscheint dies durchaus plausibel.

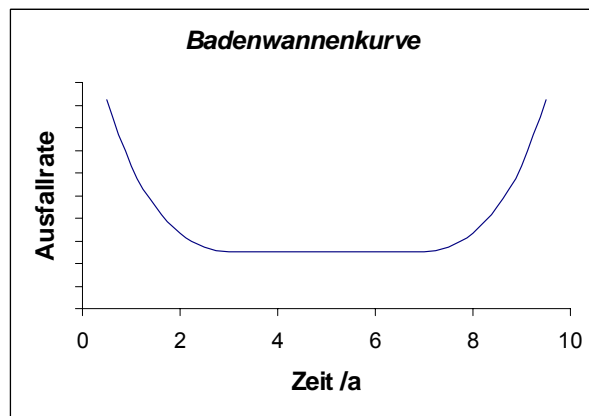


Bild 4.18: Verlauf der Ausfallrate fertigungstechnischer Maschinen bei einer Lebensdauer von etwa 10 Jahren (in Anlehnung an [58])

Die α -Parameter der mit der Weibullverteilung genäherten Stördauerverteilungen liegen nahe 1. Hieraus kann man ableiten, dass sich die Leistungsfähigkeit des Bedienpersonals mit der Zeit nur wenig verändert hat und von gleich bleibenden Reparaturdauern bzw. Zeiten zur Störungsbehebung ausgegangen werden kann.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass sich mit den gewählten Verteilungen das Störverhalten von Maschinen in Getränkeabfüllanlagen gut nähern lässt. Da es sich jedoch um reale Betriebsdaten handelt, welchen ein stochastisches Störverhalten zugrunde liegt, kommt es unabhängig von der Wahl der Klassenbreiten zu leeren Klassen bzw. „Ausreißern“ in den Stichproben. Auf eine Manipulation der realen Daten wurde jedoch bewusst verzichtet. Deshalb wird an dieser Stelle auf eine statistische Festigung der Hypothesen (Stichprobenwerte stammen jeweils aus Grundgesamtheiten, die jeweils die untersuchten Verteilungen mit den ermittelten Parametern aufweisen) mithilfe eines χ^2 -Tests verzichtet.

Für die Beschreibung des Maschinenstörverhaltens für die Anlagensimulation (vgl. 5.3.3) wird in dieser Arbeit die Exponentialverteilung zugrunde gelegt. Da hierbei eine beispielhafte Referenzanlage betrachtet wird, die das Verhalten möglichst vieler realer Anlagen widerspiegeln soll, wird entsprechend Bild 4.18 von der längsten Lebensdauerphase mit Zufallsausfällen und konstanter Ausfallrate ausgegangen. Obwohl die Regressionen mittels Weibullverteilung bei der betrachteten neuen Anlage niedrigere Standardabweichungen ergaben, kann das Störverhalten der vorliegenden Maschinen auch ausreichend genau mit der Exponentialverteilung (α nahe 1) beschrieben werden. Die Exponentialverteilung bietet darüber hinaus den Vorteil, dass ihr Verlauf nur durch den Parameter β festgelegt wird. Dieser Parameter ist gleichzeitig der Mittelwert der Verteilung (vgl. 2.2.3).

Legt man eine Exponentialverteilung zugrunde, kann das Störverhalten der Maschinen also vollständig durch die Mittelwerte der Betriebs- und Stördauerverteilungen beschrieben werden. Nach DIN 40 041 [18] wird der

„Erwartungswert der Verteilung der Betriebsdauern zwischen zwei Ausfällen“ als MTBF (mean time between failures) bezeichnet. Die Begriffe Ausfall und Störung werden in dieser Arbeit analog verwendet. Die MTBF ist somit ein direktes Maß für die Häufigkeit von Störungen. Der „Erwartungswert der Verteilung der Störungsdauern“ wird mit MDT (mean down time) benannt. Diese ist ein geeignetes Maß für die Dauer von Störungen und gibt Anhaltspunkte für die Auslegung von Pufferzeiten und dem Regelkonzept einer Anlage. Wird, wie in dieser Arbeit, auf eine Differenzierung von maschinenbedingten und maschinenfremden Störungen verzichtet, kann der nach DIN 8782 definierte Einzelwirkungsgrad η_E einer Maschine aus den Größen MDT und MTBF nach Gleichung 4.1. berechnet werden.

$$\eta_E = \frac{MTBF}{MTBF + MDT} \quad (4.4)$$

Die Ergebnisse der Berechnung von MTBF und MDT aus den Anlagendaten von Anlage F sowie die berechnete Maschinenwirkungsgrade zeigt Tabelle 4.4. Der auffallend niedrige Wirkungsgrad der Reinigungsmaschine ist auf einen Fehler in der Datenaufzeichnung bei Anlage F zurückzuführen. Neben wirklichen Störungen wurden auch Stauzustände als Störung der Maschine bewertet. Dies erklärt auch die hohe Zahl an einzelnen Betriebszeiten und die daraus resultierende kleine Klassenbreite bei der Regressionsrechnung. Wie zu erwarten, stimmen die ermittelten MTBF-Zeiten gut mit den β -Parametern der genäherten Exponentialfunktionen für die Betriebsdauerverteilungen (Tabelle 4.3) überein.

Tabelle 4.4: Mittlere Betriebs- (MTBF) und Stördauern (MDT) der Anlage F
(Zeiten in s; N: Stichprobenumfang; η_E : Einzelwirkungsgrad)

Aggregat	N	TBF _{min}	TBF _{max}	MTBF	N	DT _{min}	DT _{max}	MDT	η_E
Palettenentlademaschine	250	1	12802	1499	190	1	1330	79	0,95
Auspackroboter 1	144	1	7686	975	84	3	877	77	0,93
Auspackroboter 2	138	1	7431	936	78	3	876	71	0,93
<i>Reinigungsmaschine</i>	<i>3877</i>	<i>1</i>	<i>2147</i>	<i>138</i>	<i>3817</i>	<i>1</i>	<i>1489</i>	<i>37</i>	<i>0,79</i>
Füllmaschine	323	3	19086	1789	263	2	2099	106	0,94
Verschleißmaschine 1	176	1	25144	2715	116	1	439	51	0,98
Verschleißmaschine 2	118	4	15111	4169	58	4	450	59	0,99
Austattungsmaschine	1244	1	3985	423	1184	1	1935	57	0,88
Einpackmaschine	1134	1	4404	362	1074	1	914	33	0,92
Palettenbelademaschine	220	3	24572	3066	160	4	380	46	0,99

Um für die Simulation des Maschinenverhaltens in 5.3 möglichst repräsentative Werte für MTBF und MDT einsetzen zu können, wurden die Daten einer weiteren Anlage (Anlage E) ausgewertet. Zusätzlich konnte auf Ergebnisse von RÄDLER [66] zurückgegriffen werden, welcher 4 weitere Anlagen untersucht hat (Anlage A-D in dieser Arbeit). Die Ergebnisse zu den Maschinen dieser 6 Anlagen finden sich in Anhang E. Tabelle 4.5 fasst die Ergebnisse zusammen. Es zeigt sich, dass die Werte für Maschinen gleicher Funktion, aber unterschiedlicher Anlagen sehr stark differieren können. Um die starken Schwankungen zu verdeutlichen, wurde jeweils die Spannweite (kleinster und größter ermittelter Wert) für jeden Maschinentyp hinzugefügt. Zusätzlich sind die Mittelwerte für alle Maschinen und die daraus nach Gleichung 4.4 berechneten Einzelwirkungsgrade aufgetragen.

Tabelle 4.5: Zuverlässigkeitswerte von Maschinen in Abfüllanlagen

Maschine		Minimum /s	Maximum /s	Mittelwert /s	η_E /% (aus Mittelwerten berechnet)
Palettenentlademaschine	MTBF /s	411,23	4674,00	1487,86	94,82
	MDT /s	59,04	135,15	81,27	
Auspackmaschine	MTBF /s	936,00	2754,00	1862,14	94,93
	MDT /s	64,00	161,26	99,55	
Reinigungsmaschine	MTBF /s	617,00	3342,00	1552,38	96,23
	MDT /s	38,54	82,72	60,75	
Füllmaschine (auch Blockaggregate mit ggf. Rinser, Verschleißmaschine, Ausstattungsmaschine)	MTBF /s	678,97	3545,00	1706,49	96,28
	MDT /s	41,00	106,00	65,88	
Ausstattungsmaschine	MTBF /s	383,96	5502,00	1689,74	94,75
	MDT /s	57,00	133,07	93,58	
Einpackmaschine	MTBF /s	362,00	2495,00	844,07	92,00
	MDT /s	33,00	90,10	73,43	
Palettenbelademaschine	MTBF /s	745,90	4154,00	2153,15	95,25
	MDT /s	46,00	138,86	107,44	

4.3.2 Abhängigkeit des Störverhaltens gekoppelter Maschinen

Bei bisherigen analytischen Modellbetrachtungen von Fertigungslinien bzw. Abfüllanlagen wurde davon ausgegangen, dass Störungen an Maschinen rein zufällig auftreten. Längere Störungen, welche sich durch das Verursachen von Mangel- und Stausituationen auf andere Maschinen auswirken, haben demnach keine Auswirkungen auf deren Störverhalten. Diese Annahme entspricht der Zuverlässigkeitstheorie, nach welcher sich fertigungstechnische Maschinen den größten Teil ihrer Lebensdauer in einer Phase konstanter Ausfallraten befinden. Für Modelle, die der Planung und Auslegung von Abfüllanlagen dienen sollen, erschien diese Sichtweise bisher ausreichend.

Für die Entwicklung eines übergeordneten Leitsystems (vgl. Kapitel 5) ist die Frage, ob auftretende Stillstände, und das darauf folgende wieder Anlaufen von Maschinen durch Behältermangel oder Rückstau (Stop and Go), die Eigenstöranfälligkeit von Maschinen negativ beeinträchtigen, durchaus von Bedeutung. Diese Vermutung war älteren Arbeiten und zahlreichen mündlichen Mitteilungen von Fachleuten aus der Branche zu entnehmen. So schreibt RÄDLER [66]: Ein „Stop and Go Betrieb mag bei taktweise arbeitenden Maschinen, wie Palettiermaschinen, Setzpacker und Reinigungsmaschine durchaus akzeptabel sein, bei kontinuierlichen Maschinen, wie Umlaufpacker, Inspektions- sowie Ausstattungsmaschinen geht diese Betriebsweise aber sicherlich mit vermehrten Störzeiten einher.“ Auch die Füllmaschine sollte hier zusätzlich als kontinuierlich arbeitende Maschine, welcher bei der Betrachtung von Stillständen besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden muss, genannt werden.

Ein Einfluss auf die Eigenstöranfälligkeit würde bedeuten, dass die langfristig konstanten Ausfallraten der Maschinen von einem kurzfristigen Effekt erhöhter Ausfallraten in Abhängigkeit von Unterbrechungen der Zu- und Abfuhr zu verarbeitender Güter überlagert würden. Falls dieser in der Praxis vermutete Zusammenhang besteht, sollte die Charakteristik eines übergeordneten Leitsystems auf ein Vermeiden dieses Stop and

Go Betriebs von Maschinen abgestimmt werden. Der Effekt wurde deshalb anhand der vorliegenden Betriebsdaten genauer untersucht. Hierfür wurde folgende Methode entwickelt:

Zeitfensteranalyse

Die Analyse basiert auf dem Vergleich unterschiedlicher Zeitfenster des Betriebs einer Maschine. Hierbei werden definierte Zeiträume betrachtet, in welchen die Anlage produziert. Aus aufgezeichneten Zustandsdaten dieser Zeiträume werden die MTBF als Maß für Häufigkeit von Eigenstörungen sowie die Anzahl der Mangel- und Stauzustände an der Maschine bezogen auf eine Stunde als Maß für die Intensität des Stop and Go Betriebs ermittelt. Bei einer Vielzahl untersuchter Zeitfenster variiert die Häufigkeit von Stop and Gos in den Zeitfenstern. So kann der Zusammenhang mit der MTBF aufgetragen werden. Sollte nun kein Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Stop and Gos und der Eigenstöranfälligkeit bestehen, so müsste die MTBF innerhalb stochastischer Schwankungen konstant bleiben (gestrichelte Gerade in Bild 4.19). Bei der in der Praxis vermuteten negativen Auswirkung würde die MTBF mit zunehmender Zahl der Stop and Gos sinken (durchgezogene Gerade in Bild 4.19).

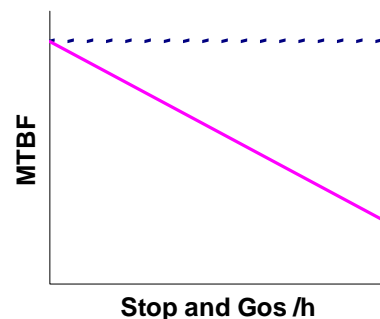


Bild 4.19: Zu erwartende Ergebnisse bei der Zeitfensteranalyse

Untersuchung der Daten von den Anlagen F und G

Mit der Methode der Zeitfensteranalyse wurden aus der Datenbank ermittelte Betriebsintervalle von Anlage F (vgl. 4.3.1) untersucht. Hierbei wurden die mittleren Betriebsdauern in den Betriebsintervallen aller kontinuierlich arbeitenden Maschinen aus Anlage F bestimmt und über die Häufigkeit von Stop and Gos aufgetragen. Bild 4.20 zeigt dies beispielhaft für die Füllmaschine. Die Diagramme zu den übrigen Maschinen der Anlage finden sich in Anhang F.

Da es sich um sehr kurze Betriebsintervalle handelte, waren hier Schwankungen der MTBF zu erwarten, welche sich in den Punktwolken der Diagramme (vgl. auch Anhang F) äußern. Um entsprechend der Methodik der Zeitfensteranalyse eine Tendenz ableiten zu können, wurden Trendgeraden durch lineare Regression in MS Excel ermittelt. Deren Geradengleichungen nähern den Zusammenhang zwischen der Anzahl der Stop

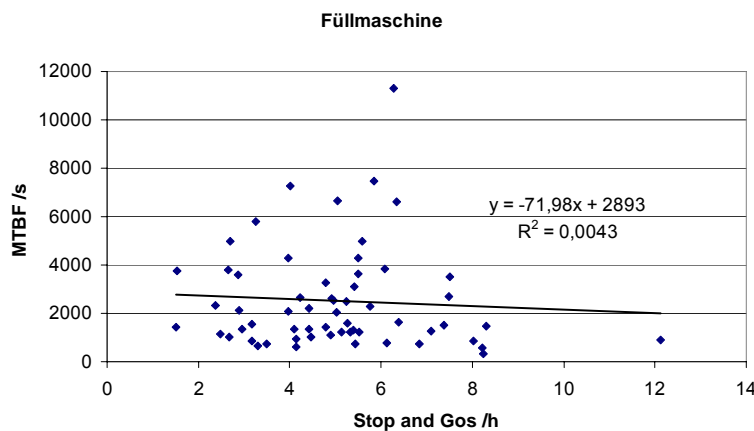


Bild 4.20: Ergebnisdiagramm der Zeitfensteranalyse der Füllmaschine aus Anlage F

and Gos und der MTBF in der Form:

$$MTBF = MTBF_{\max} + \gamma \cdot z_{\text{Stop and Go/h}} \quad (4.5)$$

Hierbei gibt γ als Steigung der Geraden in s/Stop and Go/h darüber Auskunft, mit welcher Tendenz sich eine bestimmte Anzahl $z_{\text{Stop and Go/h}}$ von Stop and Gos innerhalb einer Stunde auf die mittlere Betriebsdauer einer betrachteten Maschine auswirkt. Die Gleichungsparameter der Regressionsgeraden für kontinuierlich arbeitende Maschinen der Anlage F zeigt Tabelle 4.3. Alle Trendgeraden weisen negative Steigungen γ auf. Dies bestätigt die Vermutung aus der Praxis einer Abnahme der MTBF, also einer Erhöhung der

Eigenstöranfälligkeit der kontinuierlich arbeitenden Maschinen mit häufigeren Maschinenstillständen durch Mangel- oder Stausituationen. Diese Ergebnisse erlauben jedoch keine Aussagen über die Linearität des Zusammenhangs. Dies zeigt sich neben der Betrachtung der Grafiken im geringen Bestimmtheitsmaß der Regressionsrechnungen.

Zur Vollständigkeit wurde die Zeitfensteranalyse in gleicher Weise bei den taktweise arbeitenden Maschinen der Anlage F durchgeführt. Im Gegensatz zu den kontinuierlich arbeitenden Maschinen konnte hier keine eindeutige Tendenz des Einflusses eines Stop and Go-Betriebs festgestellt werden (vgl. Diagramme in Anhang F). Dies entspricht den Annahmen von RÄDLER [66].

Zusätzlich zu den Maschinen der Anlage F wurden Daten einer Maschine einer Anlage eines mittelständischen Mineralbrunnenbetriebs (Anlage G) analysiert. Hierbei wurde die Zeitfensteranalyse verfeinert. Um nicht nur Betriebsintervalle gegebener Länge auswerten zu können, wurde eine erweiterte Auswertesoftware entwickelt. Diese ermöglicht es, den vorliegenden Datenbankabzug mit Zeitfenstern variabler Länge zu scannen und diese Zeitfenster mit unterschiedlichen Schrittweiten über die Betriebszeiträume der Maschine zu verschieben. So werden Zeitfenster vorzugebender Länge ausgewertet, welche mehrere Betriebsintervalle der Maschine umfassen können. Nebenzeiten werden hierbei übersprungen. Bei der untersuchten Maschine handelt es sich um ein Blockaggregat aus Füll-, Verschleiß- und Ausstattungsmaschine. Daten für andere kontinuierlich arbeitende Maschinen dieser Anlage standen nicht zur Verfügung.

Insgesamt wurden 15 verschiedene Zeitfenstergrößen gewählt und diese entlang der Zeitachse mit je 10 unterschiedlichen Schrittweiten über den gesamten Aufzeichnungsraum verschoben. Bei jedem Zeitschritt wurden dann die Stop and Gos gezählt und die MTBF im Zeitfenster berechnet. Ein typisches Ergebnis einer Zeitfensteranalyse für eine Zeitfenstergröße von 36 000 s und einer Schrittweite von 1 800 s zeigt Bild 4.21. Auch bei diesen Ergebnissen wurde durch lineare Regressionsrechnung für alle 150 Analysen der Einfluss der Stop and Gos auf die MTBF in der jeweiligen Zeitfenstergröße in Form eines Steigungswertes in Sekunden pro Stop and Go quantitativ genähert. Die Parameter der erhaltenen Trendgeraden finden mit den

Tabelle 4.6: Parameter der Regressionsgeraden zur Zeitfensteranalyse bei Anlage F

Maschine	γ / s/Stop and Go/h	MTBFmax /s	Bestimmtheitsmaß R^2
Füllmaschine	-71,98	2893,0	0,0043
Verschleißmaschine 1	-220,84	7393,6	0,1485
Verschleißmaschine 2	-144,08	6474,3	0,0380
Ausstattungsmaschine	-25,69	641,4	0,0575

zugehörigen Zeitfenstergrößen und Schrittweiten in Anhang F. In 149 von 150 Fällen ergab sich eine negative Steigung der Trendgeraden. Auch bei dem betrachteten Blockaggregat zeigte sich also eine Abnahme der MTBF mit zunehmender Anzahl der Stop and Gos. Durch die Möglichkeit, größere Zeitfenster zu betrachten und die Überschneidungen der Zeitfenster einer Zeitfenstergröße wurden hierbei deutlich höhere Bestimm-

theitsmaße erreicht. Diese reichen jedoch ebenfalls noch nicht aus, eine Linearität zu bekräftigen. Auch der Kurvenlauf dieser Ergebnisse lässt eher einen anderen Zusammenhang vermuten. Aufgrund der nach wie vor starken stochastischen Schwankungen wurde jedoch von einer Regression mit Gleichungen höherer Ordnung abgesehen.

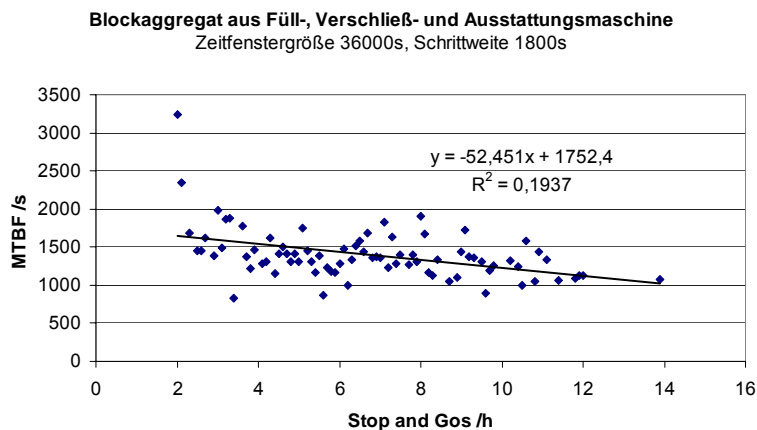


Bild 4.21: Typisches Ergebnisdiagramm der Zeitfensteranalyse beim Blockaggregat aus Füll-, Verschleiß- und Ausstattungsmaschine aus Anlage G

4.4 Schwachstellenanalyse mit Hilfe künstlicher neuronaler Netze

Neben der statischen Analyse des Störverhaltens einzelner Maschinen (vgl. 4.3) ist bei Abfüllanlagen das Auffinden von Schwachstellen innerhalb der gesamten Anlage wichtig. Abfüllanlagen werden auf einen kontinuierlichen Betrieb eines Zentralaggregats (in der Regel die Füll- und Verschleißmaschine) ausgelegt (vgl. 2.3.3). Die Füll- und Verschleißmaschine ist neben der Produktqualität auch für den Liefergrad einer Abfüllanlage verantwortlich. Stillstände sind hier von besonders negativem Einfluss auf die Effizienz und müssen mit allen Mitteln vermieden werden. Besondere Schwachstellen sind deshalb die Maschinen, deren Ausfälle vermehrt zu Stillständen des Zentralaggregats führen.

Ein Ziel innerhalb der Entwicklung informationstechnologischer Werkzeuge für den Einsatz im Abfüllbereich war es deshalb, ein Analysewerkzeug zu entwickeln, welches Stillstände des Zentralaggregats durch automatisierte Auswertung aufgezeichneter Betriebszustände der Maschinen einer Abfüllanlage einem „Verursacher“ zuordnen kann. Analytische bzw. logische Ansätze (z. B. ein Zurückverfolgen von Stillständen aufgrund von Mangel- und Stauzuständen) scheiterten in der Vergangenheit an der Komplexität der betrachteten Anlagen. Maschinen und Fördereinrichtungen moderner Abfüllanlagen werden in ihren Ausbringungen geregelt und analytische Modelle sind nur in Näherung verwendbar (vgl. 2.2.1). In dieser Arbeit wurde deshalb ein wissensbasierter Ansatz auf Basis eines lernfähigen künstlichen neuronalen Netzwerks (vgl. 3.2) verfolgt. Dieses soll die Auswertung von Füllerstillständen durch Mangel oder Stau durch die Betrachtung eines zeitlichen Ausschnitts historischer Daten ermöglichen.

Bild 4.22 veranschaulicht die Problemstellung mithilfe eines Gantt-Charts der Maschinenzustände, aufgetragen über der Zeit. Anhand der dargestellten Zustandsdaten, welche mithilfe des für diese Arbeit entwickelten Simulationsmodells der Referenzanlage aufgezeichnet wurden, wird deutlich, wie sich eine Maschinenstörung der Einpackmaschine durch Stau bzw. Mangel auf benachbarte Aggregate überträgt und letztlich zum Still-

stand des Zentralaggregats führt. Zum Zeitpunkt des Füllerstillstands befindet sich das verursachende Aggregat (Einpackmaschine) bereits wieder in Betrieb.

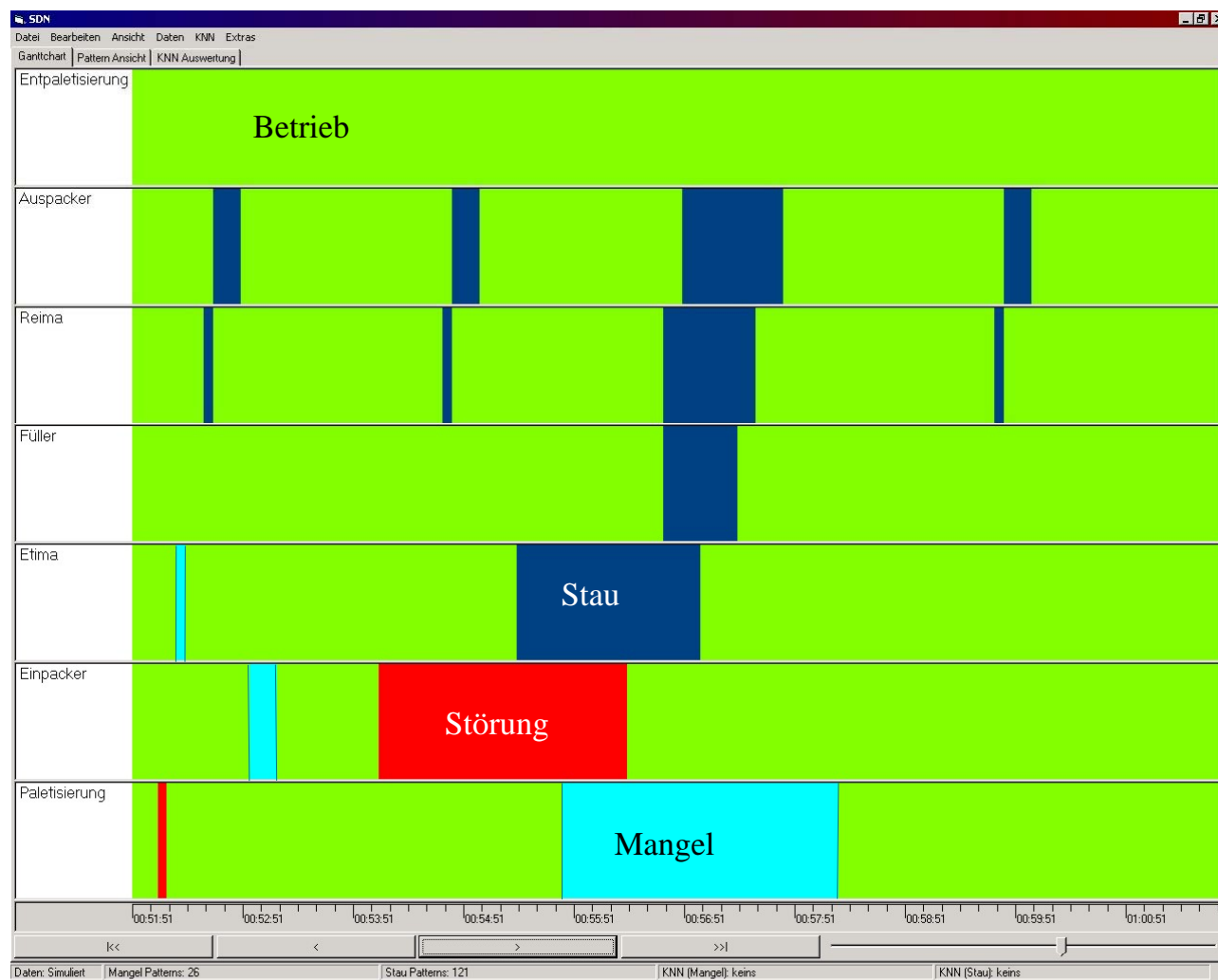


Bild 4.22: Darstellung der Betriebszustände mittels Gantt-Chart

4.4.1 Vorgehensweise

Für das Entwickeln des Werkzeugs zur Schwachstellenanalyse wurden Daten (vgl. Bild 4.22) verwendet, die mithilfe der simulierten Referenzanlage aufgezeichnet wurden. Dies hatte den Vorteil, dass der Datenumfang mit geringem Aufwand beeinflusst werden konnte. Verschiedene Strategien zur Problemlösung konnten so untersucht werden. Für den Praxistest standen anschließend Daten einer komplexen Einwegabfüllanlage für Dosen und Flaschen zur Verfügung (vgl. 6.3).

Die Maschinenzustandsdaten mussten dem neuronalen Netzwerk in aufbereiteter Form präsentiert werden. Zunächst musste festgelegt werden, wie lange die Entstehungsgeschichte eines Stillstandes des Zentralaggregats zurückverfolgt werden sollte. Hieraus resultiert die Größe des zu betrachteten Zeitintervalls. Um die Datenmenge für das künstliche neuronale Netzwerk klein zu halten, war eine Unterscheidung zwischen Stau und Mangel am zentralen Aggregat sinnvoll. Für einen Stau können nur nachgeschaltete Maschinen, für einen Mangel nur vorgeschaltete Maschinen verantwortlich sein (vgl. Bild 4.23). Zu einer weiteren Reduzie-

zung der Eingangsdaten des künstlichen neuronalen Netzwerks trug die Reduzierung der Daten auf die logisch relevanten Betriebszustände Störung, Stau, Mangel und Betrieb bei.

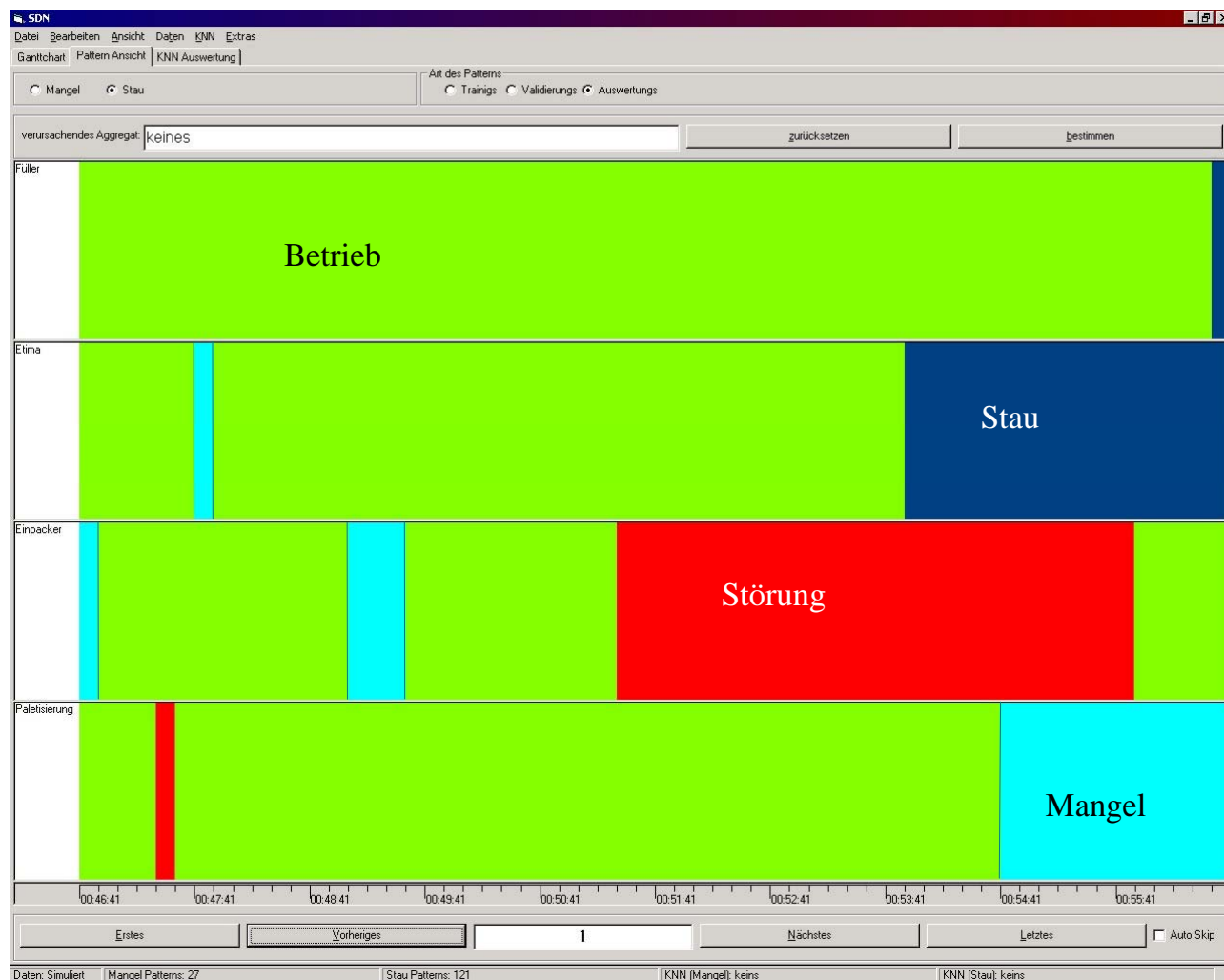


Bild 4.23: Darstellung eines Staus am zentralen Aggregat im reduzierten Gantt-Chart

Das Kodieren der Betriebszustände erfolgte bitweise. Jede Maschine wird von vier Eingangsknoten im neuronalen Netzwerk repräsentiert, welche jeweils den Wert 0 oder 1 annehmen können. Für jeden Betriebszustand einer Maschine werden so vier zugehörige Bits benötigt, von denen jedes einen Zustand repräsentiert. Eine Maschine kann sich zu einem Zeitpunkt nur in einem der vier Zustände befinden (exclusiv oder). Der zeitliche Einfluss wurde durch Addition weiterer Eingangsknoten berücksichtigt, von denen wieder jeweils vier den Betriebszustand einer Maschine zum definierten Zeitpunkt repräsentieren. Sie wurden im Abstand von 5 s vorgegeben (vgl. Tabelle 4.7). Die Länge dieser so entstehenden Zeitfenstermatrix ist von Anlagenkomplexität und Konfiguration abhängig und muss für den Einsatz des Werkzeugs in der Praxis für jede Anlage empirisch ermittelt werden.

Die Anzahl der Ausgangsknoten des künstlichen neuronalen Netzwerks beschränkt sich auf die Zahl der Aggregate, die für einen Stau oder Mangel verantwortlich sein können. Der Wertebereich dieser Ausgangsknoten soll zwischen 0 und 1 liegen, wobei der Knoten, der das verursachende Aggregat widerspiegelt, einen Wert nahe 1 annehmen soll. Wird keine eindeutige Entscheidung getroffen, werden die Werte der Ausgangs-

knoten kleiner als ein vorzugebender Grenzwert sein. Um Mangel und Stau untersuchen zu können, werden für jede Anlagenkonstellation zwei zugehörige Netzwerke benötigt.

Tabelle 4.7: Beispiel zum Kodieren von Datensätzen

Zeitstempel	Palettenlademaschine	Auspackmaschine	Reinigungsmaschine	Füll- und Verschleißmaschine	Ausstattungsmaschine	Einpackmaschine	Palettenbelademaschine	Palettenlademaschine	Auspackmaschine	Reinigungsmaschine	Füll- und Verschleißmaschine	Ausstattungsmaschine	Einpackmaschine	Palettenbelademaschine																				
2:02:28:05	1	1	1	3	4	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0							
2:02:28:10	1	1	1	3	4	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0		
2:02:28:15	1	1	1	3	4	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	
2:02:28:20	1	1	3	3	4	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0
2:02:28:25	1	1	3	3	4	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0
2:02:28:30	1	1	3	3	4	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0

Als künstliches neuronales Netzwerk wurde ein Multilayer-Perceptron mit Bias-Neuronen gewählt (vgl. 3.2.3). Die Anzahl der Eingangs- und Ausgangsknoten wurde variabel gehalten, um das Netz später an bestimmte Abfüllanlagen mit unterschiedlichen Maschinenzahlen und Zeitfenstergrößen anpassen zu können. Auch die Anzahl der versteckten Schichten blieb zunächst variabel. Es zeigte sich jedoch, dass Netze mit einer oder maximal zwei versteckten Schichten völlig ausreichen, um die vorgegebene Problemstellung zu bewältigen.

4.4.2 Training des künstlichen neuronalen Netzwerks

Zur Anpassung an die betrachtete Referenzanlage wurden dem Netzwerk klassifizierte Datensätze (Trainingspatterns) zur Verfügung gestellt, bei welchen der Füllerstillstandsverursacher vorher manuell bestimmt wurde. Mit einer hinreichend großen Anzahl derartiger Trainingspatterns konnte das Netzwerk mit dem für den späteren Einsatz notwendigen Expertenwissen versorgt werden.

Als Trainingsalgorithmus wurde die Backpropagation-Lernregel gewählt (vgl. 3.2.4). Die Einflussfaktoren auf das Netztraining sollen nachfolgend anhand von Beispielen erläutert werden. Für jedes Trainingspattern wurde ein Zeitfenster von 1 000 s vor dem Füllerstillstand betrachtet, wobei zwischen den Datensätzen 5 s liegen. Es sind also 200 Datensätze für 3 Aggregate auszuwerten. Nach der Datenaufbereitung liegen somit 2400 Datenpunkte vor. Die untersuchten neuronalen Netzwerke besitzen 2 400 Eingangsknoten und 3 Ausgangsknoten. Als Aktivierungsfunktion der Ausgabeknoten sowie der versteckten Knoten dient die logistische Funktion, als Ausgabefunktion die Identität. Das Netzwerk initialisiert die Gewichte der Verbindungen im Intervall $[-1;1]$. Für das Training der Netzwerke standen 173 Trainingspatterns zu Verfügung.

Die in diesem Bereich benötigte Funktionalität zum Erzeugen und Trainieren von künstlichen neuronalen Netzwerken stellte das Programm „SNNS“ zur Verfügung. Die Software sowie eine detaillierte Dokumentation ist auf der Homepage der Universität Tübingen zu finden [81].

Einfluss der Trainingsparameter

Es zeigte sich, dass eine Variation der Trainingsparameter nur eine Beschleunigung bzw. Verzögerung im Trainingsverhalten bewirkt. Bild 4.24 zeigt verschiedene Trainingsverläufe. L ist hierbei die Lernrate, M das Moment und F der Flatspot-Parameter. Auffällig ist nur der Verlauf der Kurve „L: 0,6; M: 0,8; F: 0“. Hier ist deutlich der Einfluss des Trainingsparameters Momentumterm zu erkennen. Durch die fehlende Flatspoteliminierung wirkt sich der Einfluss der vorhergehenden Änderung der Gewichte negativ aus. Die Gewichte werden entgegen dem Gradienten verändert.

Die Kurve „L: 0,3; M: 0; F: 0“ verläuft im Gegensatz zur Kurve „L: 0,6; M: 0,8; F: 0“ fast linear fallend. Allerdings zeigt dieser Trainingsverlauf eine deutliche Verzögerung. Nach 10 Epochen ist erst ein Fehler von etwa 1 erreicht. Bei den übrigen Kurven liegt der Fehler nach 10 Epochen zwischen 0,01 und 0,02.

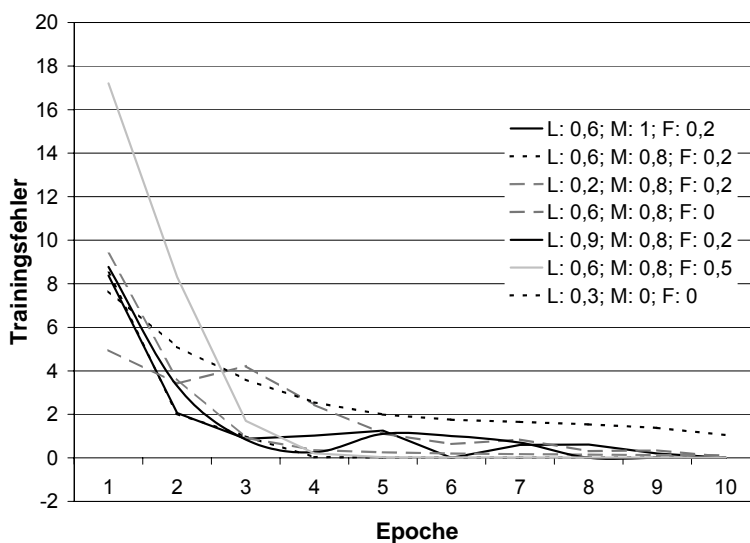


Bild 4.24: Trainingskurven eines künstlichen neuronalen Netzwerkes mit 2400 Eingangsknoten, 32 verdeckten Knoten und 3 Ausgangsknoten, über 10 Epochen mit unterschiedlichen Trainingsparametern

Einfluss der Netzwerktopologie

Die Lösbarkeit von Problemen mithilfe künstlicher neuronaler Netzwerke ist von der Netzwerktopologie abhängig. Bis auf einige Grundprinzipien (z. B., dass die Eingangs- bzw. Ausgangsschicht zum Problem passt) ist der Anwender gezwungen, die optimale Netzwerktopologie durch Tests herauszufinden.

Im Folgenden werden ein Netzwerk mit Eingangs- und Ausgangsschicht (2400/3), ein dreischichtiges Netzwerk mit 32 verdeckten Knoten als Testobjekt (2400/32/3) und ein Netzwerk mit zwei verdeckten

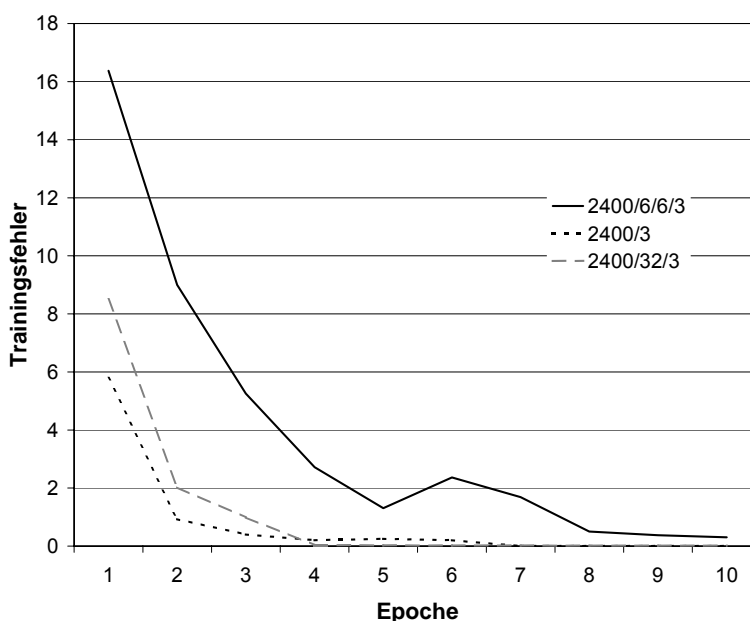


Bild 4.25: Trainingskurven der Testnetzwerke 2400/3, 2400/32/3 und 2400/6/6/3

Schichten mit jeweils 6 Knoten (2400/6/6/3) betrachtet.

Bild 4.25 zeigt den Trainingsverlauf dieser Netzwerke. Wie deutlich zu erkennen ist, startet das vierschichtiger neuronale Netzwerk mit dem größten Trainingsfehler. Dieses Netzwerk braucht demzufolge mehr Trainingsepochen, bis es optimal trainiert ist. Diese Topologie wurde anschließend sowohl nach 10, als auch nach 15 Epochen (25e) getestet.

4.4.3 Ergebnisse

Nach dem Training erkannte jedes Netzwerk die ihm zugewiesenen Trainingspatterns in korrekter Weise. Die Güte eines künstlichen neuronalen Netzwerkes hängt jedoch nicht nur von der Wiedererkennung der Trainingspatterns, sondern vor allem von der Erkennung neuer, untrainierter Patterns ab. Dies muss durch einen Vergleich

Tabelle 4.8: Güte der Zuordnung der Netzwerke 2400/3, 2400/32/3 und 2400/6/6/3 (nach 12 bzw. 25 Epochen (25e))

Netzwerk-topologie	Wahre Aussagen	Falsche Aussagen	Anteil der richtig zugeordneten Validierungspatterns /%
2400/3	177	1	99,4
2400/32/3	178	0	100,0
2400/6/6/3	175	3	98,3
2400/6/6/3 (25e)	177	1	99,4

der Netzwerkausgabe mit zusätzlichen, beim Training nicht berücksichtigten Validierungspatterns überprüft werden. Hierzu wurden die Aussagen der Netzwerke bei 178 Mangelzuständen der Füllmaschine mit dem Urteil des Experten verglichen. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse zeigt Tabelle 4.8. Hiernach liefern alle untersuchten Netzwerktopologien gute Zuordnungsergebnisse. Das dreischichtige Netzwerk scheint für die gegebene Problemstellung am besten geeignet.

Auf Grundlage dieser Ergebnisse kann festgehalten werden, dass der Einsatz künstlicher neuronaler Netzwerke eine geeignete Methode darstellt, die Verursacher von Stillständen des Zentralaggregats einer Abfüllanlage automatisch zu diagnostizieren. Um nochmals zu veranschaulichen, wie das künstliche neuronale Netzwerk diese Diagnose anhand aufgezeichneter Zustandsdaten vornehmen kann, ist ein Vergleich mit dem menschlichen Erkennungsvorgang angebracht. Der Mensch arbeitet mit visuellen Eindrücken und seinem Fachwissen. Das künstliche neuronale Netzwerk versucht auf ganz ähnliche Weise, die Bilder, die es durch ein Training erlernt hat, mit den zu Untersuchenden zu vergleichen und daraus Schlussfolgerungen zu ziehen. Es liegt also prinzipiell eine Bilderkennung vor. Das Fachwissen, das ein Mensch beim Betrachten des Bildes mitbringt, muss von einem Netzwerk während der Trainingsphase gelernt werden.

5 Übergeordnete Regelung von Getränkeabfüllanlagen

Grundlage für den Einsatz der Informationstechnologie bei Getränkeabfüllanlagen ist die Vernetzung der Steuerungen einzelner Maschinen mit einem übergeordneten IT-System (vgl. 4.2.1). Sind derartige Systeme in der Praxis realisiert, werden sie bisher nur für die Datenerfassung genutzt. Die heutigen, leittechnischen Kommunikationssysteme (Bussysteme) ermöglichen jedoch immer den bidirektionalen Austausch von Daten. Somit bleibt bei Getränkeabfüllanlagen die Möglichkeit der Datenvorgabe von einem übergeordneten System zur Maschinensteuerung ungenutzt, deren Verwendung in der Prozessleittechnik seit langem Stand der Technik ist. Da in der Nutzung dieser Kommunikationsrichtung viele Potenziale für Optimierungen des Abfüllbetriebs sowie Einsparungen liegen, wurde in dieser Arbeit ein Konzept für ein übergeordnetes Leitsystem für Getränkeabfüllanlagen entwickelt, welches auf Grundlage erfasster Betriebsdaten Sollwerte für Ausbringungen von Maschinen und Geschwindigkeiten von Förderern vorgibt.

Hierbei wurde das Ziel verfolgt, ein skalierbares Leitsystem auf Basis modularer Funktionsbausteine zu schaffen, das das flexible Reagieren auf sich ändernde Anlagenbedingungen (z. B. sich ändernde Störanfälligkeiten) und das einfache Einbringen von Bediener-Know-How in das Regelkonzept ermöglicht. Im Einzelnen wurden folgende Verbesserungen für den Anlagenbetrieb angestrebt:

- Produktschonung durch möglichst kontinuierlichen Anlagenbetrieb
- Pufferzeitmaximierung
- längere Maschinenlaufzeiten (Vermeiden von Stop and Go Betrieb, vgl. 4.3.2)
- höhere Anlagenliefergrade
- Materialentlastung
- Flaschenschonung
- Geräuschminimierung

Für die Umsetzung in der Betriebspraxis bietet es sich an, das System mit leistungsfähigen PCs zu betreiben. Wie bei Leitsystemen aus der Prozesstechnik seit langem üblich, lassen sich hierbei auf Basis von preiswerter Standardsoftware intelligente Regelalgorithmen umsetzen und intuitiv verständliche Benutzeroberflächen realisieren. Ein PC bzw. mehrere redundant ausgelegte PCs werden ohnehin bereits für die Implementierung einer reinen Datenerfassung benötigt.

5.1 Stand der Technik

Die herkömmliche Betriebsweise in Abfüllanlagen ist der unregelmäßige Betrieb von Maschinen mit den entsprechend der Bergschen Kurve (vgl. 2.3.3) festgelegten Einstellausbringungen. Dieser Maschinenbetrieb führt dazu, dass bei ungestörtem Anlagenbetrieb Pufferstrecken zwischen den der Füll- und Verschleißmaschine vorgeschalteten Maschinen gefüllt und Pufferstrecken zwischen nachgeschalteten Maschinen leer sind. Dies kommt einem kontinuierlichen Lauf der Leitmaschine zugute.

Transport mit konstanter Geschwindigkeit

Der Antrieb der Transportketten erfolgt im einfachsten Fall mit konstanter Geschwindigkeit. Diese Art der Steuerung ist bei älteren Abfüllanlagen noch häufig anzutreffen. Man benötigt hierzu keine Frequenzumrichter, kann allerdings auch keine unterschiedlichen Kettengeschwindigkeiten erreichen. Diese sind fest durch die Antriebsgetriebe vorgegeben. Hieraus ergibt sich für den Betrieb einer der Leitmaschine vorgeschalteten Pufferstrecke zwischen zwei ungestörten Maschinen die in Bild 5.1 dargestellte Arbeitsweise.

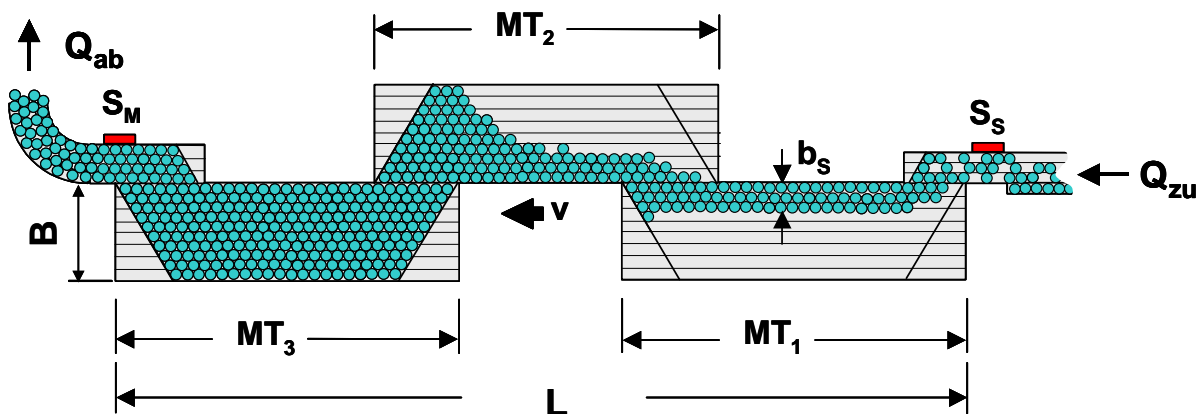


Bild 5.1: Pufferstrecke mit konstanter Kettengeschwindigkeit vor dem Zentralaggregat

Nach dem Behälterauslauf der vorgeschalteten Maschine bildet sich in der Behälterverteilung ein lose gepackter Strom aus Behältern des Durchmessers d . Die Breite b_s hängt hierbei vom Behälterzustrom Q_{zu} und der Kettengeschwindigkeit v ab, mit der sich die auf den Ketten stehenden Behälter bewegen. Gleichung 5.1 gilt für den Fall, dass sich die Behälter in ihrer dichtest möglichen Packung anordnen, was beim losen Behälterstrom jedoch nicht der Fall sein wird. Mit dieser lässt sich somit die Mindestbreite des entstehenden Behälterstroms berechnen. Unabhängig von der Dichte der Behälteranordnung gilt jedoch Gleichung 5.2.

$$b_s = \frac{Q_{zu} \cdot d^2 \cdot \sqrt{3}}{v \cdot 2} \tag{5.1}$$

$$b_s \approx \frac{Q_{zu}}{v} \tag{5.2}$$

$$v_p = \frac{Q_{ab} \cdot d^2 \cdot \sqrt{3}}{B \cdot 2} \tag{5.3}$$

Da Durchsatz der Behälterabführung Q_{ab} aufgrund der höheren Ausbringung der vorgeschalteten Maschine niedriger ist, als die der zugeführten Behälter, kommt es vor der nachgeschalteten Maschine zwangsläufig zu einem Rückstau. Die gestauten Behälter wandern im dicht gepackten Pulk mit der Geschwindigkeit v_p , die im Regelfall kleiner sein wird, als die Kettengeschwindigkeit v und nach Gleichung 5.3 berechnet werden kann. Durch die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen Transportkette und Behältern kommt es zu Staudruck, der das Behältermaterial belastet und der bei Flaschen die Bildung unansehnlicher Scuffingringe [44] verursacht. Zu erhöhter Behälterbeanspruchung und Lärm kommt es auch beim Auftreffen des losen Behälterstroms auf das langsamere Pulkende. Arbeitet die vorgeschaltete Maschine konstant mit höherer

Ausbringung, nähert sich das Pulkende solange der Behälterverteilung, bis es zu einer Stausituation (erkennbar über den Stauschalter S_S) und dem hieraus bedingten Stillstand der Maschine kommt.

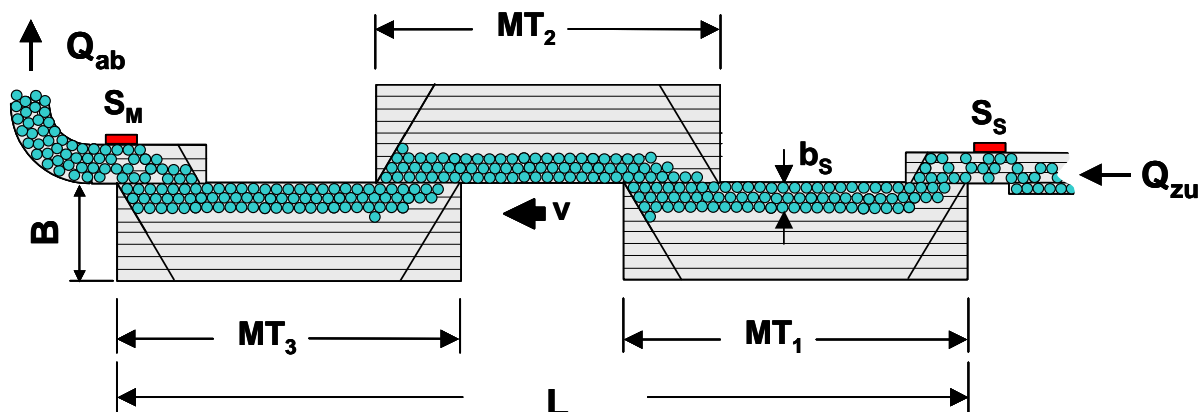


Bild 5.2: Pufferstrecke mit konstanter Kettengeschwindigkeit nach dem Zentralaggregat

Der Leitmaschine nachgeschaltete Pufferstrecken verhalten sich bei konstanter Kettengeschwindigkeit wie in Bild 5.2 dargestellt. Nach der Behälterverteilung ergibt sich wiederum ein loser Flaschenstrom der Breite b_s . Da sich die Breite des Flaschenstroms entlang der Pufferstrecke nicht ändern kann, wird die nachfolgende Maschine, welche ja mit einer erhöhten Ausbringung arbeitet, nicht ausreichend mit Behältern versorgt werden. Deshalb wird sich hier ein Wechselspiel aus Stillstand (wegen Behältermangel - erkennbar über des Stauschalter S_M), anschließendem kurzen Aufstauen von Flaschen und wieder einsetzendem Betrieb einstellen.

Puffertotzeit

Als Pufferzeit T_p wird diejenige Zeit definiert, die eine vor- bzw. nachgeschaltete Maschine (ausgehend von der Leitmaschine) im Mittel weiterarbeiten kann, bis sie durch den Stillstand einer noch weiter vom Leitaggregat entfernten Maschine in Stau bzw. Mangelzustand gebracht wird und somit selbst zum Stillstand kommt. Handelt es sich um eine nachgeschaltete Pufferstrecke, lässt sich die maximale Pufferzeit aus ihrer gesamten freien Behälterkapazität und der Geschwindigkeit der Behälterzuführung Q_{zu} nach Gleichung 5.4 für eine Pufferstrecke der Gesamtlänge L und der Breite B der Massentransportabschnitte berechnen (Maße vgl. Bild 5.3)

$$T_{p(nachgeschaltet)} = \frac{L \cdot B \cdot 2}{Q_{zu} \cdot d^2 \cdot \sqrt{3}} \tag{5.4}$$

$$T_{p(vorgeschaltet)} = \frac{L \cdot B \cdot 2}{Q_{ab} \cdot d^2 \cdot \sqrt{3}} - \frac{L}{v} \tag{5.5}$$

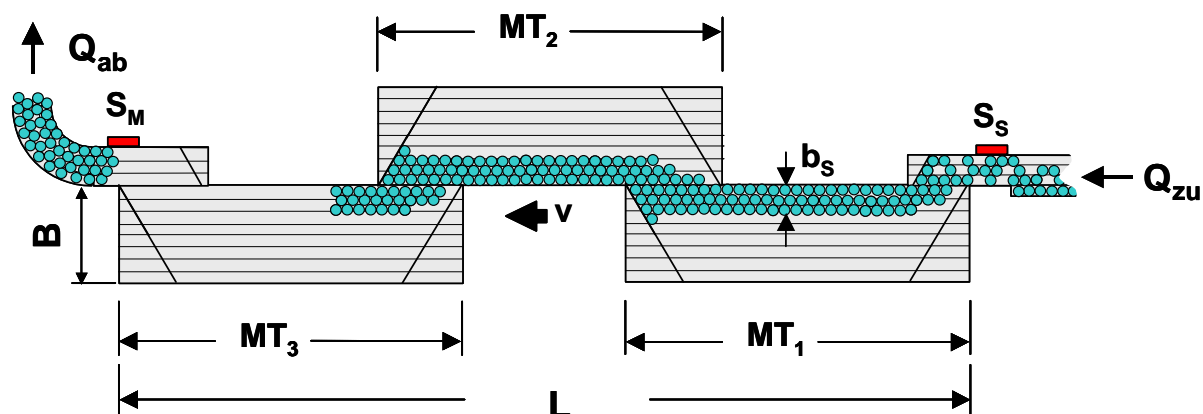


Bild 5.3: Aufholen der Puffertzeit bei konstanter Kettengeschwindigkeit

Hat die Leitmaschine oder eine ihr vorgeschaltete Maschine alle Flaschen des vorgeschalteten Puffers aufgebraucht, kommt sie zum Stillstand. Sie arbeitet nur dann kontinuierlich weiter, wenn die dieser Maschine vorgeschaltete Maschine bereits um so viel früher wieder in Betrieb gegangen war, dass entlang der Pufferlänge L die Behälter wieder aufholen konnten und die durch den Stillstand entstandene Lücke wieder geschlossen werden konnte (vgl. Bild 5.3). Dieser Aufholzeitraum wird als Puffertzeit T_T definiert, welche über die Kettengeschwindigkeit v und die Pufferlänge L berechnet werden kann. Die Pufferzeit einer der Leitmaschine vorgeschalteten Pufferstrecke ergibt sich demnach in Näherung nach Gleichung 5.5.

Anlagenregelung

Der herkömmliche Betrieb von Abfüllanlagen mit konstanten Überausbringungen vor- und nachgeschalteter Maschinen sowie konstanten Kettengeschwindigkeiten ist von einem Stop and Go Verhalten der Maschinen mit den in 4.3.2 nachgewiesenen Nachteilen und die Behälter belastenden Förderbedingungen gekennzeichnet. Da die Differenzgeschwindigkeit eines losen Behälterstroms und eines gestauten Behälterpulses nicht zu groß sein darf, kann die Kettengeschwindigkeit auch nicht zu hoch gewählt werden (z. B. max. etwa 0,3 m/s bei leeren NRW-Glasflaschen). Dies führt zu langen Puffertotzeiten der dem Zentralaggregat vorgeschalteten Pufferstrecken.

Aus diesen Gründen werden bei heutigen Anlagen Frequenzumrichter vor die Antriebsmotoren von Förderketten und Maschinen geschaltet, um regelbare Kettengeschwindigkeiten bzw. Ausbringungen zu erreichen. Hierbei erfolgt nach heutigem Stand der Technik die Steuerung der Maschinen in Form einer Stufenregelung. Mit Hilfe von Stauschaltern, deren mögliche Anordnung Bild 5.4 zeigt, kann eine begrenzte Anzahl von Pufferzuständen erkannt und daraus mittels logischer Wahrheitstabellen eine Zahl von Maschinenzuständen (Ausbringungsstufen) vorgegeben werden. Diese derzeit verfügbaren „übergeordneten Anlagenregelungen“ sind auf SPS-Ebene realisiert und besitzen keine Transparenz für den Anlagenbetreiber (starrs Regelkonzept). Durch sie kann der Stop and Go Betrieb von Maschinen verringert werden. Da aber keine stufenlose Regelung von Ausbringungen und Geschwindigkeiten erfolgt, kommt es nach wie vor zu häufigem Herauf- und Herunterregeln mit damit verbundenen Lastwechseln. Auch die Geschwindigkeitsregelung der Behältertransporteure über wenige Stauschalter in Stufen bietet aber bereits deutliche Vorteile gegenüber dem Transport mit konstanter Geschwindigkeit und kann auf SPS-Ebene ebenfalls einfach realisiert werden.

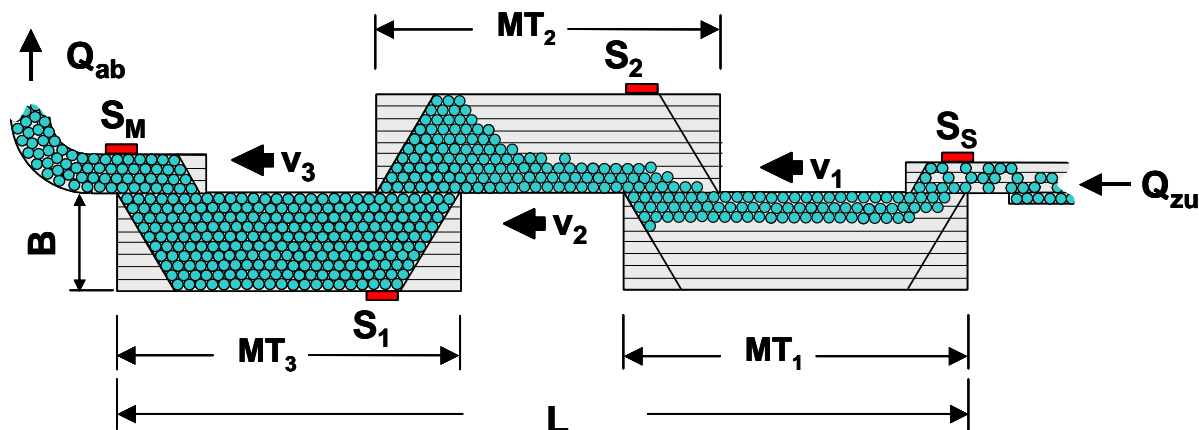


Bild 5.4: Stauschalteranordnung bei Stufenregelung

5.2 Kontinuierliche übergeordnete Anlagenregelung

5.2.1 Kontinuierliche Regelung der Transporteure

In dieser Arbeit wurde ein völlig neuartiges übergeordnetes Leitsystem für Abfüllanlagen konzipiert. Basis hierfür ist die Vernetzung der Maschinen- und Transporteursteuerungen einer Anlage mit einem übergeordneten Leitreechner. Nach diesem Konzept wird über die heute im Einsatz befindliche Stufenregelung hinaus eine kontinuierliche, stufenlose Geschwindigkeitsregelung von Förderstrecken und die kontinuierliche Ausbringungsregelung von Maschinen ermöglicht. Die Funktionsweise der Transporteurregelung wird nachfolgend erläutert.

Pufferfüllungsgrad

Eine wichtige Führungsgröße für die kontinuierliche Anlagenregelung ist der Pufferfüllungsgrad f . Er wird als das Verhältnis der aktuell auf den Massentransportabschnitten einer Pufferstrecke befindlichen Behälteranzahl n zu der maximalen Aufnahmekapazität n_{\max} der Massentransportabschnitte definiert. Hieraus erhält das Leitsystem über die schon bisher genutzten Belegungen von Stauschaltern hinaus Informationen über die aktuelle Zahl der auf einem Pufferabschnitt befindlichen Behälter und die noch freie Aufnahmekapazität.

$$f = \frac{n_{zu} - n_{ab} - n_0}{n_{\max}} \quad (5.6)$$

Ein übergeordneter Leitreechner kann mittels „Softwaresensor“ den aktuellen Füllungsgrad auf einer Pufferstrecke mithilfe des Zählwertes n_{zu} der zugeführten Flaschen und des Zählwertes n_{ab} der abgeführten Flaschen ermitteln. Da sich jedoch auch in Verteilung und Zusammenführung Flaschen befinden und in den Zählern der Maschinen umfallende oder von Hand eingestellte Behälter nicht erfasst werden, ist ein Abgleich über den Kalibrierwert n_0 notwendig. Dieser kann bei Mangel bzw. Stausituation auf der Pufferstrecke (komplett leere bzw. volle Massentransportabschnitte) festgestellt und aktualisiert werden. Die Berechnung des Pufferfüllungsgrades im Leitsystem erfolgt nach Gleichung 5.6.

Die Erläuterung des entwickelten Konzepts zur kontinuierlichen Transporteurregelung soll erneut anhand einer Pufferstrecke mit drei Massentransportabschnitten erfolgen. Die Anordnungen der Stauschalter S_1 und

S_2 wurden im Vergleich zur allgemein üblichen Anordnung (Bild 5.4), die dem Erkennen des Endes eines Rückstaupekls dient, modifiziert. Auf diese Weise können nun an den Behälterüberschüben zwischen den einzelnen Massentransportabschnitten Lücken im Flaschenstrom erkannt werden.

Für den Betrieb der Regelung müssen die Antriebe der einzelnen Massentransportabschnitte über Frequenzumrichter verfügen, damit unterschiedliche Geschwindigkeiten $v_{1,3}$ vorgegeben werden können. Die Regelalgorithmen wurden so gestaltet, dass sie sich sowohl für Pufferstrecken vor als auch nach der Leitmaschine eignen. Bei der Anpassung des Regelkonzepts an eine andere Zahl von Massentransportabschnitten sind einzelne Reglerbausteine lediglich zu vervielfältigen. Die Transporteurregelung arbeitet eng mit der im darauf folgenden Abschnitt beschriebenen unscharfen Regelung der Maschinenausbringungen zusammen. Mithilfe eines Computersimulationsmodells konnte das Regelverhalten bereits während ihrer Entwicklung studiert und seine Funktionsweise getestet und iterativ verbessert werden.

Ungestörter Betrieb

Treten keine Lücken im Flaschenstrom auf, erfolgt die Regelung der Kettengeschwindigkeiten anhand des Pufferfüllungsgrades f und dem Durchsatz der abgeführten Flaschen Q_{ab} . Wenn die Maschinen vor und nach dem Pufferabschnitt stillstandsfrei arbeiten, tritt dieser Zustand nach kurzer Zeit ein. In diesem Fall wird die Kettengeschwindigkeit aller Massentransportabschnitte vom Regler so eingestellt, dass die nachfolgende Maschine exakt mit der ihrer aktuellen Ausbringung entsprechenden Behälteranzahl versorgt wird. Zunächst wird die Geschwindigkeit v_3 des letzten Massentransportabschnittes ermittelt. Analog zu Gleichung 5.3 lässt sich die für die Versorgung der nachfolgenden Maschine notwendige Kettengeschwindigkeit unter Berücksichtigung der Puffergeometrie nach Gleichung 5.7 berechnen. Wird der Puffer nahezu leer ($f \rightarrow 0$), so wird anstelle des berechneten Wertes die maximal mögliche Kettengeschwindigkeit vorgegeben.

$$v_3 = v_2 = v_1 = \frac{Q_{ab} \cdot d^2 \cdot \sqrt{3}}{f \cdot B \cdot 2} \quad (5.7)$$

Der ermittelte Sollwert wird zunächst für den letzten Massentransportabschnitt (im Beispiel MT_3) vorgegeben und dann sukzessive auch für die vorgeschalteten Abschnitte (im Beispiel zunächst MT_2 , zuletzt MT_1) verwendet. Wird also am Stauschalter S_1 keine Lücke erkannt, kann für v_2 der ebenfalls für v_3 ermittelte Sollwert vorgegeben werden. Liegt auch am Stauschalter S_2 keine Lücke vor, erhält v_1 den Wert von v_2 . Auf diese Weise kann sich beim ungestörten Anlagenbetrieb die für die Versorgung der nachfolgenden Maschine optimale Geschwindigkeitsvorgabe entlang eines Puffers mit beliebig vielen Massentransportabschnitten fortpflanzen und das Regelkonzept kann unabhängig von ihrer Anzahl zum Einsatz kommen.

Bild 5.5 veranschaulicht, wie sich durch diese Regelung ein kontinuierlicher, staudruckloser Flaschenstrom auf dem Puffer einstellt. Dieser ermöglicht einen lärmarmen und behälterschonenden Betrieb. Da alle Abschnitte mit der gleichen Kettengeschwindigkeit betrieben werden, besteht bei Behälterüberschüben nicht die Gefahr umfallender Flaschen und darüber hinaus werden Lärmemissionen durch aufeinander prallende Behälter vermieden.

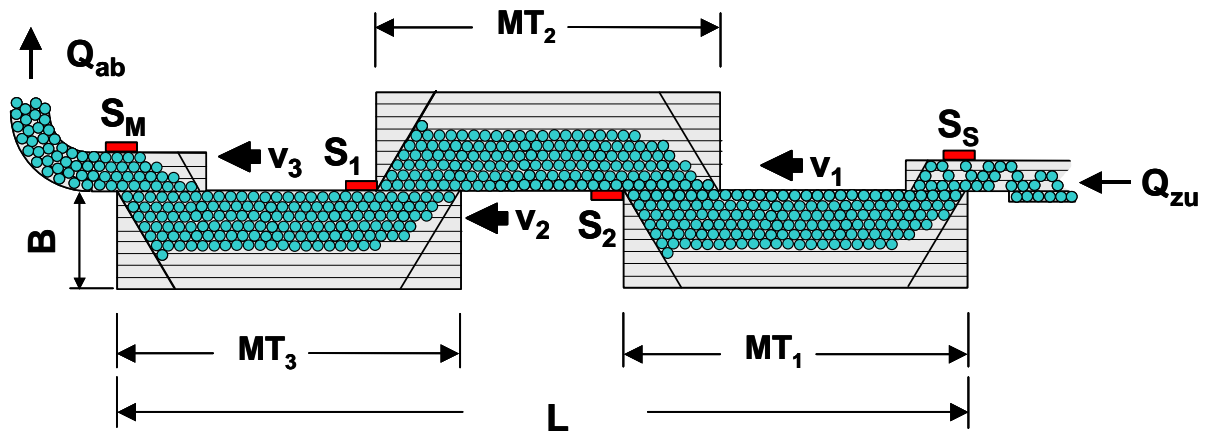


Bild 5.5: Kontinuierlich geregelter Behältertransport im ungestörten Fall

Lücken im Behälterstrom

Wie bereits angesprochen, können durch die geänderte Stauschalteranordnung Lücken im Flaschenstrom erkannt werden, während sie die Behälterüberschübe passieren. Hierdurch wird es möglich, diese Lücken Flaschen schonend zu schließen, indem die Kettengeschwindigkeit des Massentransportabschnitts vor dem Überschub um einen von der Behälterart abhängigen Geschwindigkeitswert Δv_{\max} erhöht wird. Werden an mehreren Überschüben Lücken erkannt, kann die Transportgeschwindigkeit der vorgeschalteten Abschnitte bis zu einem durch die Antriebstechnik vorgegebenen, maximalen Wert gesteigert werden, um die Lücken möglichst schnell zu schließen, bzw. die Puffertotzeit zu minimieren. Durch das Schließen von Lücken an Überschüben werden das Aufeinander Prallen von Behältern mit hohen Differenzgeschwindigkeiten und hieraus bedingte Störungen und Behälterabnutzung vermieden.

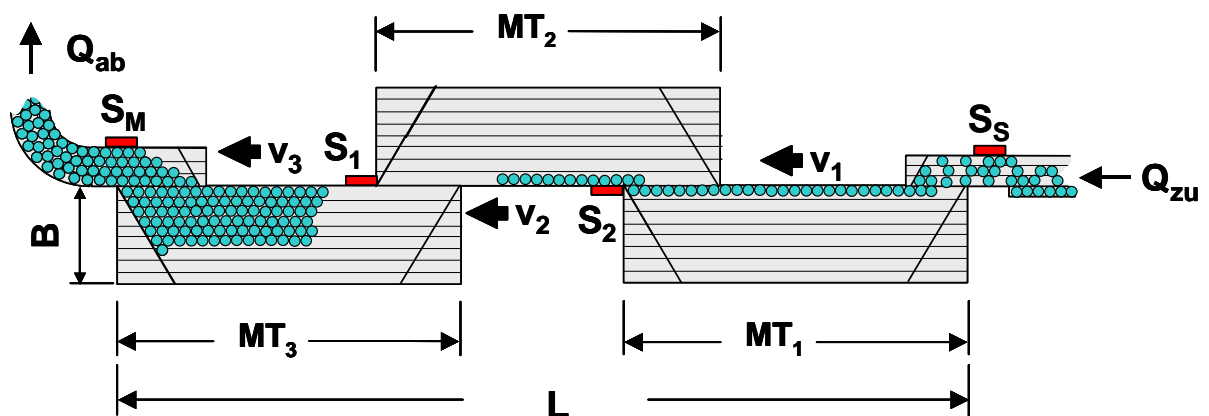


Bild 5.6: Schließen einer Lücke im Behälterstrom

Das Schließen einer Lücke durch die Transporteurregelung veranschaulicht Bild 5.6. Wie im lückenlosen Betrieb wird die Kettengeschwindigkeit zunächst anhand des Pufferfüllungsgrades vorgegeben. Da beim Stauschalter S_1 noch keine Lücke erkannt wurde, wird nach dem Prinzip der sukzessiven Weitergabe der Geschwindigkeitssollwerte entlang der Massentransportabschnitte vom nachgeschalteten zum vorgeschalteten Abschnitt $v_2 = v_3$ eingestellt. Die in Bild 5.6 dargestellte Lücke wird durch den Stauschalter S_2 erkannt, wor-

auf die Geschwindigkeit v_1 des ersten Maschentransportabschnittes auf $v_1 = v_2 + \Delta v_{\max}$ erhöht wird. Erst wenn die Lücke den Stauschalter S_1 im Massentransportabschnitt MT_1 erreicht hat, wird die Geschwindigkeit v_2 erhöht werden. Ist der Stauschalter S_2 dann immer noch nicht belegt, kann v_1 nochmals um Δv_{\max} erhöht werden und es gilt $v_1 = v_2 + \Delta v_{\max} = v_3 + 2 \Delta v_{\max}$. Erkennt der Stauschalter S_2 wieder Flaschen, wird v_1 analog zur Regelung im ungestörten Betrieb an die Geschwindigkeit v_2 des nachgeschalteten Abschnitts angepasst und es gilt $v_1 = v_2 = v_3 + \Delta v_{\max}$.

Sich ändernde Maschinenausbringungen

Bild 5.7 zeigt einen Behälterstrom mit ungleicher Breite b_s . Diese verschiedenen Flaschendichten treten beim Übergang vom störungsbehafteten zum störungsfreien Betrieb und beim Anlaufen oder schnellen Ausbringungsänderungen von Maschinen auf.

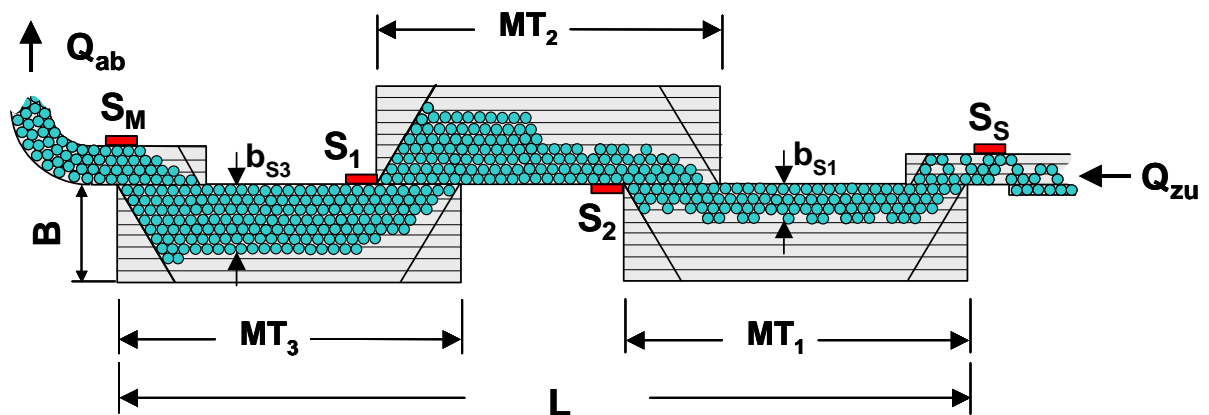


Bild 5.7: Ungleiche Verteilung der Behälterdichte entlang des Puffers

Da die Transporteurregelung auf Änderungen des Pufferfüllungsgrades oder Stauschalterbelegungswechsel reagieren kann, wird auch in diesem Fall die Sollgeschwindigkeit für alle Massentransportabschnitte nach Gleichung 4.7 vorgegeben. Dies kann zu geringfügigem Aufstauen von Behältern am Einlauf der Zusammenführung führen, was aber bei störungsfreiem Betrieb nach kurzer Zeit wieder ausgeglichen wird. Befinden sich im hinteren Bereich vor der Zusammenführung weniger Behälter als im vorderen Bereich der Pufferstrecke, könnte es zum kurzzeitigen Versorgungsengpass der nachgeschalteten Maschine kommen. Diesem wird vorgebeugt, indem beim Erkennen eines Mangels durch den Stauschalter S_M die Kettengeschwindigkeiten sofort erhöht werden.

5.2.2 Unscharfe Regelung der Maschinenausbringungen

Vorrangiges Ziel bei der Entwicklung der übergeordneten Regelung von Maschinenausbringungen war, den materialschonenden, lärmarmen und kontinuierlichen Betrieb aller Maschinen in einer Abfüllanlage zu ermöglichen. Durch das Vermeiden eines Stop and Go Betriebs können hierbei dessen negative Auswirkungen auf die Störanfälligkeit von Maschinen (vgl. 4.3.2) vermieden und höhere Anlageliefergrade erreicht werden.

Moderne Abfüllanlagen sind komplex aufgebaute Fertigungslinien. Eine analytische Beschreibung, z. B. durch Differenzialgleichungen, die Basis für die Entwicklung eines Regelalgorithmus sein könnten, ist bei der großen Zahl von Maschinen nicht mehr möglich. Allerdings können die Zusammenhänge innerhalb einer Anlage sehr wohl von einem Experten erfasst und artikuliert werden. Auf Basis dieses Wissens wurde der Regler deshalb mithilfe der unscharfen Logik in Form eines Fuzzycontrollers entwickelt.

Neben den Möglichkeiten, Anwender-Know-how in die Regelcharakteristik zu integrieren, bieten Fuzzycontroller ein stabiles und weiches Regelverhalten und lassen

sich über die heute verfügbaren, intuitiv verständlichen Reglereditoren schnell an sich ändernde Anlagenbedingungen anpassen. Bild 5.8 zeigt die Struktur des für die Maschinenregelung entwickelten Fuzzysystems mit den Eingangsgrößen, den Regelblöcken der Regelbasis und den Ausgangsgrößen. Die Verbindungslinien symbolisieren hierbei den Datenfluss. Die Funktionsweise des Reglers wurde in 3.3.3 beispielhaft erläutert.

Der Fuzzycontroller wurde mithilfe der verbreiteten Standardsoftware fuzzyTech der Inform GmbH (Adresse siehe Anhang H) für die Regelung der Maschinen im Nassteil eine Mehrweg-Abfüllanlage erstellt [40]. Folgende Eingänge bilden die Grundlage für die Regelung:

➤ **Fuellung** - aktueller Füllungsgrad f der Pufferstrecken

Der Regler reagiert auf Füllungsgrade der Pufferstrecken. Hierbei achtet er darauf, dass bei störungsfreiem Anlagenbetrieb die Massentransporteur nicht so leer gefahren werden, dass Lücken im Flaschenstrom entstehen. Auch komplett volle Pufferstrecken werden bei störungsfreiem Anlagenbetrieb vermieden, um keine unnötigen Staudrücke zu verursachen.

➤ **dFuellung** - Abweichung des Füllungsgrades vom Sollfüllungsgrad

Durch die übergeordnete Maschinenregelung werden auf den Liefergrad optimierte Pufferfüllungsgrade eingestellt (vgl. 5.3.3). Die vorzugebenden Sollfüllungsgrade hängen vor allem von der Position der Pufferstrecke (vor der Leitmaschine eher voll, danach eher leer) und den MDT-Werten der angrenzenden Maschinen ab. So können die Pufferzeiten durch die Regelung maximiert werden. Damit bei Änderun-

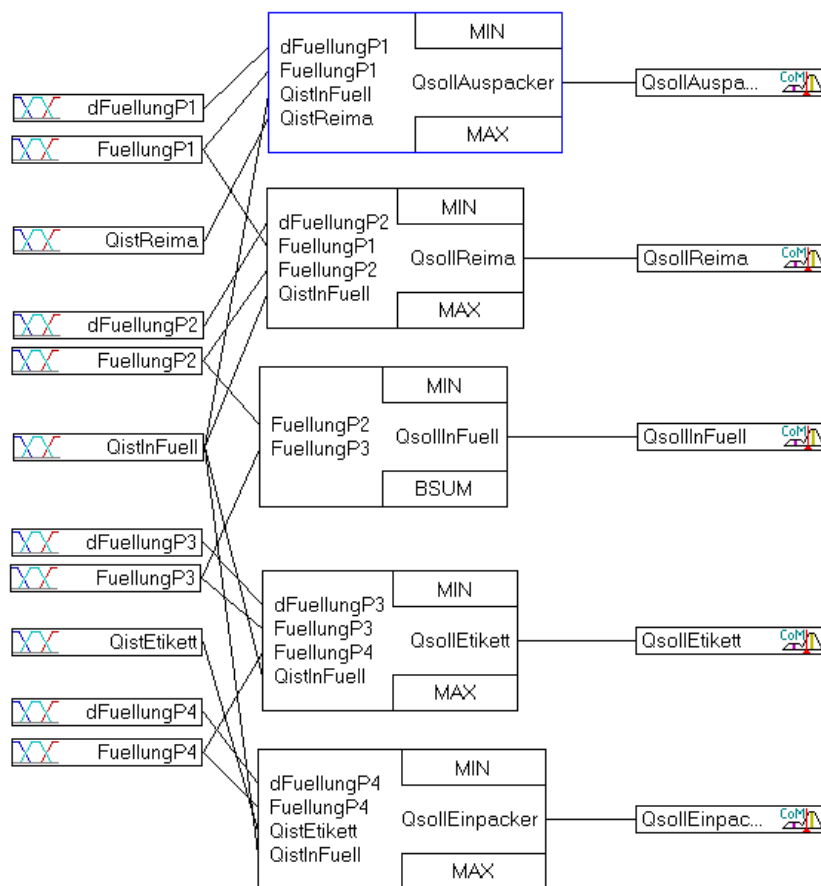


Bild 5.8: Struktur des unscharfen Reglers der Maschinenausbringungen

gen der Anlage nicht die Eingangsterme variiert werden müssen, wird dem Regler die Differenz aus aktuellem Füllungsgrad und Sollwert in % zur Verfügung gestellt.

➤ **Qist** - aktuelle Ist-Ausbringungen der Maschinen

Ein übergeordneter Regler ermöglicht die Sicht auf alle Maschinen einer Abfüllanlage. Deshalb sind die aktuellen Ausbringungen entlang der gesamten Anlage Eingänge des Fuzzycontrollers, und zwar in % bezogen auf die Nennausbringung des Zentralaggregats (z. B. Füll- und Verschleißmaschine). Dies ermöglicht ein frühzeitiges Herauf- und Herunterregeln einzelner Ausbringungen in Abhängigkeit von anderen Aggregaten.

Die Regelbasis des Fuzzycontrollers wurde für die in dieser Arbeit betrachtete Referenzanlage entworfen. Sie ist aus fünf einzelnen Regelblöcken zusammengesetzt, welche jeweils die einer Maschine zugehörigen Wenn-Dann-Regeln beinhalten. Jeder Regelblock berechnet auf Basis seiner zugehörigen Eingangsgrößen einen Sollwert für die Maschinenausbringung in % bezogen auf die Nennausbringung des Zentralaggregats.

Eine genaue Dokumentation des entwickelten Fuzzysystems mit allen Werten und Einstellungen befindet sich in Anhang G.

5.3 Simulationsstudien

Um optimale Voraussetzungen für einen späteren praktischen Einsatz zu schaffen, erfolgte die Entwicklung des übergeordneten Leitsystems mithilfe eines detaillierten Computersimulationsmodells. Dieses wurde auch für das Studium des Verhaltens von Getränkeabfüllanlagen und zum Generieren von Testdaten für das Werkzeug zur Schwachstellenanalyse auf Basis künstlicher neuronaler Netze (vgl. 0) genutzt. Für das Modell wurden auf Basis einer Standardsimulationssoftware zunächst Bausteine für die Komponenten von Getränkeabfüllanlagen entwickelt. Mit diesen modularen Bausteinen konnte dann eine fiktive Referenzanlage abgebildet werden. Damit die Übertragbarkeit der erhaltenen Ergebnisse in die Praxis sichergestellt ist, wurde zusätzlich die real existierende Anlage F abgebildet und das Modellverhalten mit realen Betriebsdaten verglichen. Dies entspricht dem Schritt der Validierung nach der allgemeinen Vorgehensweise bei Simulationsstudien nach [82] (vgl. 2.2.2).

5.3.1 Bausteinentwicklung für die Simulation von Getränkeabfüllanlagen auf Basis von eM-Plant

Die in dieser Arbeit erstellten Simulationsmodelle wurden in der Entwicklungsumgebung eM-Plant (Version 4.6.21, früherer Name: Simple++) erstellt. Diese vollständig objektorientierte Software eM-Plant der Tecnomatix Technologies GmbH (Adresse siehe Anhang H) ist ein Tool zur grafischen und integrierten Modellerstellung, Simulation und Visualisierung von Systemen und Geschäftsprozessen. Aus standardisierten Materialfluss-, Informationsfluss- und Oberflächenbausteinen können Modelle in hierarchischer Struktur unter dem besonderen Aspekt der Vererbung von Bausteineigenschaften aufgebaut werden.

Der eigentliche Materialfluss wird durch so genannte bewegliche Elemente in Form des Förderguts, der Förderhilfsmittel und der Transportfahrzeuge dargestellt. Die vordefinierten Eigenschaften und das Grundverhalten der Bausteine können durch benutzerdefinierte, freie Attribute und Methoden erweitert werden. Dazu stehen verschiedenste Datentypen und insbesondere die softwareeigene Programmiersprache SimTalk zur Verfügung. Mithilfe von Standardmethoden, Schlüsselwörtern, Zuweisungen und Kontrollstrukturen

wird in Instanzen des Grundbausteins Methode das gewünschte Verhalten programmiert. Die Abarbeitung des Codes erfolgt beispielsweise nach Aufruf durch den Baustein, in den die Methode als Steuerung eingetragen wurde, oder durch den Aufruf aus anderen Methoden. Den Methoden können auch Parameter übergeben werden und nach Deklaration als Funktion wird ein Funktionsergebnis zurückgeliefert. Somit können äußerst komplexe Modelle mit detailliertem Verhalten erstellt werden. Bezüglich der Details der einzelnen Bausteine und der Programmiersprache wird hier auf das Referenz- und das Bausteinhandbuch von eM-Plant verwiesen [77].

Als Nachteil im Fall der Simulation von Getränkeabfüllanlagen mit der Technik der beweglichen Elemente ist hier anzuführen, dass hoher Rechenaufwand entsteht. Dies resultiert aus der hohen Ereignisdichte bei der Abbildung jeder einzelnen Flasche oder kleinerer Flaschenpulkts. Entsprechend wird auch bei Verwendung leistungsfähiger Rechner viel Zeit für die Durchführung von Simulationsversuchen benötigt.

Basis für die Abfüllanlagen-simulation war das modulare Abbilden von Maschinen und Transporteuren in Funktionsbausteinen, welche die Skalierbarkeit von Modellen sowie die Übertragbarkeit auf beliebige Anlagenkonstellationen ermöglichen. Die im Bausteinkasten der Simulationsumgebung enthaltenen, fertigungstechnischen Elemente, wie Förderstrecken, Läger oder Einzelstationen bildeten eine Grundlage für das Modellerstellen. Ihre Eigenschaften reichen jedoch für eine ausreichend genaue Abbildung abfülltechnischer Einrichtungen nicht aus. Deshalb wurden zunächst die nachfolgend erläuterten Klassen von Funktionsbausteinen konzipiert, aus welchen durch weitere Verfeinerung dann Modelle einzelner Aggregate einer Abfüllanlage erstellt werden konnten. Besonderes Augenmerk wurde auf die Speicherfähigkeit der Aggregate sowie ihr An- und Ablaufverhalten bei Stau- und Mangelsituationen gelegt.

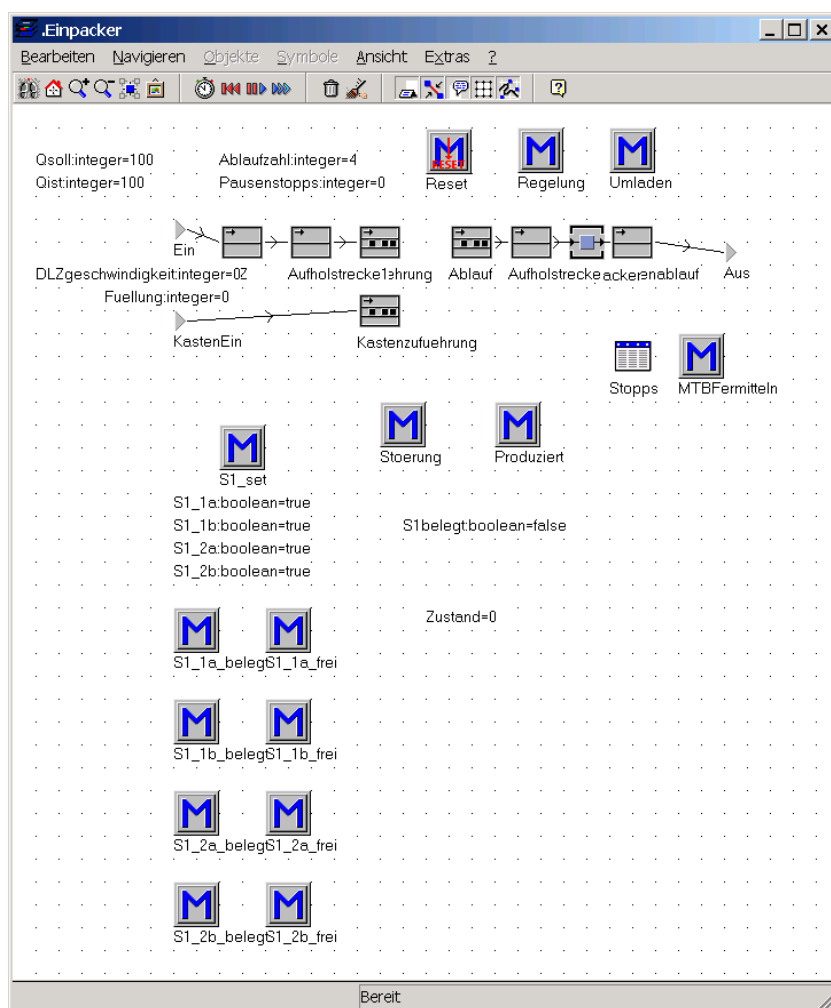


Bild 5.9: Bildschirmabzug des Bausteins für die Einpackmaschine

Das Betriebsverhalten wurde mithilfe von Methoden (M als Symbol in Bild 5.9) verfeinert, die in der Programmiersprache SimTalk entwickelt wurden. Folgende Klassen von Funktionsbausteinen wurden benötigt:

➤ **Montage bzw. Demontagestation**

Montage bzw. Demontagestationen stellen Kreuzungspunkte im Materialfluss einer Anlage dar. Beispiele sind Ein- und Auspack- sowie Palettenbe- bzw. entlademaschinen. Ihr Verhalten wurde durch Kombination mehrerer Lager und Förderstrecken nachgebildet (vgl. Bild 5.9). Die Methode „Umlagern“ bewirkt das Zusammenführen bzw. Trennen von Gütern (z. B. Behälter, Gebinde) und Förderhilfsmittel (Gebinde, Paletten).

➤ **Bearbeitungsstation**

Bearbeitungsstationen dienen der Weiterverarbeitung von Behältern. In der Regel nehmen sie die Behälter nach der Zusammenführung im einsträngigen Transport auf, bearbeiten diese eine gewisse Zeit und geben sie im Anschluss wiederum im einsträngigen Transport frei. Bei der Anpassung von Bearbeitungsstationen an bestimmte Maschinen sind die Aufnahmekapazität und die Bearbeitungsgeschwindigkeit zu berücksichtigen. Insbesondere ist von Bedeutung, ob die aufgenommenen Behälter bei Stillstand in der Maschine verbleiben oder ob die Maschine leer gefahren wird. Beispiele für sind die Reinigungsmaschine, in welcher die zu reinigenden Flaschen bei Stillstand verbleiben, und die Füll- und Verschließmaschine sowie die Ausstattungsmaschine, welche die in ihnen befindlichen Flaschen vor einem Stillstand noch herausfördern.

Das Abbilden von Bearbeitungsstationen erfolgte durch lineare Aneinanderreihung von nicht staufähigen Förderstrecken für die Simulation des Speicherverhaltens sowie einer Einzelstation für die Definition von Bearbeitungszeiten und Störanfälligkeiten. eM-Plant ermöglicht dem Anwender das stochastische Auftreten von Maschinestörungen durch Verwenden eines integrierten Zufallszahlengenerators zu realisieren. Hierbei können Verteilungsformen für die Dauer der Störungen und Betriebszeiten ausgewählt und parametrisiert werden. Auch die Vorgabe empirisch ermittelter Verteilungen ist möglich.

➤ **Sortierstation**

Sortierstationen stellen in der Regel Materialsinken dar. Ein Teil der beweglichen Elemente wird aussortiert und in diesen dem Materialfluss entzogen. Ihr Speichervermögen kann meist vernachlässigt werden. Über den Baustein „Flusssteuerung“ konnten ein stochastisches Ausstoßverhalten über die Vorgabe von Sortierarten nachgebildet werden. Beispiele für Sortierstationen sind die Vollflascheninspektions- oder die Leerkastentrollmaschine.

➤ **Behältertransport**

Da es in dieser Arbeit unter Anderem um die Entwicklung eines Reglers für Kettengeschwindigkeiten ging, wurden die Transporteinrichtungen für Behälter besonders detailliert abgebildet. Im Gegensatz zu der sonst üblichen vereinfachten Modellierung als lineare Förderstrecken wurden Pufferstrecken zwischen Maschinen entsprechend dem in 2.3.1 beschriebenen Aufbau aus Behälterverteilung, mehreren Massentransportstrecken, die wiederum eine größere Anzahl paralleler Flaschenreihen erlauben, sowie Behälterzusammenführung zusammengesetzt (vgl. Bild 5.10). Reale Stauschalter konnten durch Sensoren und eine entsprechende Abfrage-logik in Methoden nachgebildet werden.

➤ **Gebindetransport**

Für das Modellieren des Gebinde transports reichten die im Standardbaukasten vorhandenen Förderstrecken aus. Lediglich für besondere Elemente, wie ein Leerkastenmagazin, mussten zusätzliche Bausteine eingebunden werden (z. B. Pufferelement). Das Abbilden von Stauschaltern erfolgte analog zum Behältertransport.

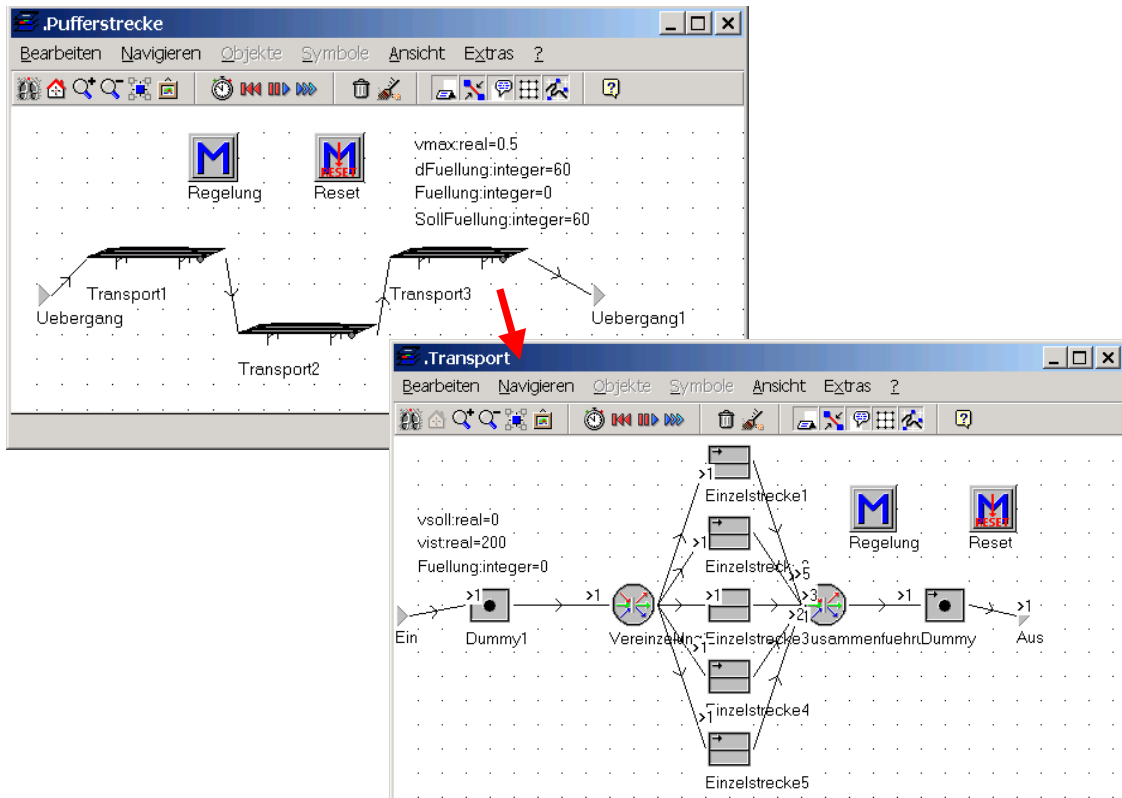


Bild 5.10: Pufferstrecke aus drei Massentransportabschnitten mit jeweils sechs Flaschenreihen

Das in eM-Plant verwirklichte Konzept der Objektorientierung mit Vererbungsmechanismen erleichtert das Mehrfachverwenden der entwickelten Bausteine und den Aufbau hierarchischer Modellstrukturen. Wie aus den Funktionsbausteinen nach vorheriger Anpassung das Modell der simulierten Anlagen zusammengefügt wurde, veranschaulicht Bild 5.11. Lediglich für das Festlegen des Verhaltens der Gesamtanlage und für Schnittstellen zu Software außerhalb der Entwicklungsumgebung war das Schreiben zusätzlicher Programmmethoden notwendig.

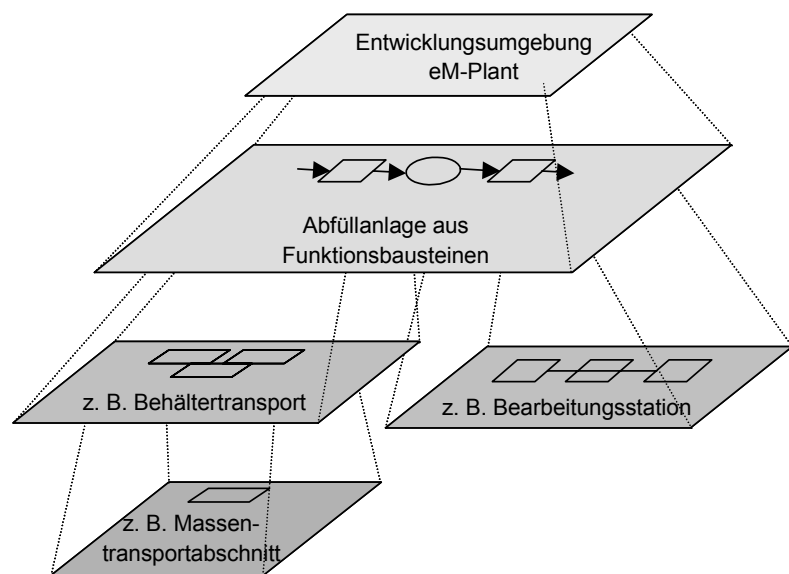


Bild 5.11: Hierarchischer Aufbau von Abfüllanlagenmodellen

5.3.2 Validieren der Simulationsbausteine anhand einer realen Abfüllanlage

Ziel bei der Entwicklung der Simulationsbausteine war das Abbilden einer fiktiven Referenzanlage. Diese repräsentiert eine typische Abfüllanlage für Mehrwegflaschen. Das Konzipieren des übergeordneten Leitsystems mithilfe eines Modells verspricht übertragbare Ergebnisse auf viele Anlagen der Praxis. Zunächst musste jedoch überprüft werden, ob sich die entwickelten Bausteine auch ausreichend realistisch verhalten. Hierzu wurde Anlage F nachgebildet und das Modellverhalten mit dem detailliert vorliegenden Datenmaterial aus der Datenerfassung verglichen.

Anlage F weist im Vergleich zur fiktiven Referenzanlage einige Besonderheiten auf. Zum Einen handelt es sich um eine Mehrweganlage für Bügelverschlussflaschen, wodurch von der Füllmaschine entkoppelte Verschließmaschinen zum Einsatz kommen. Zum Anderen besitzt sie zwei roboterbasierte Auspackmaschinen, welche durch selektives Auspacken eine komplexe Sortierung des Rücklaufleerguts ermöglichen. Für die Modellvalidierung mussten diese Spezialfälle bei der Anpassung der entwickelten Simulationsbausteine berücksichtigt werden.

Die oberste Hierarchieebene des Modells der Anlage F aus den zugehörigen Funktionsbausteinen zeigt Bild 5.12. Die standardmäßige Visualisierung der Bausteine als Blockbitmaps (vgl. Bild 5.16) wurde um die zweidimensionale Darstellung auf Grundlage des Anlagenplans erweitert. Hierdurch wurde die Kommunikation mit dem Anlagenbetreiber vereinfacht, mit welchem bei der Modellerstellung eng zusammengearbeitet wurde.

Aus den vorliegenden Betriebsdaten der realen Anlage wurden zahlreiche Maschinen- und Anlagenparameter ermittelt und mit den Ergebnissen von Simulationsexperimenten verglichen. In einer ersten Reihe von (Zufalls-) Experimenten wurde der ununterbrochene Abfüllbetrieb von etwas mehr als 8 Tagen, was in der Länge der Summe der ausgewerteten Abfüllintervalle (vgl. 4.3.1) entspricht, in 4 unabhängigen Läufen simuliert (Langzeitversuche).

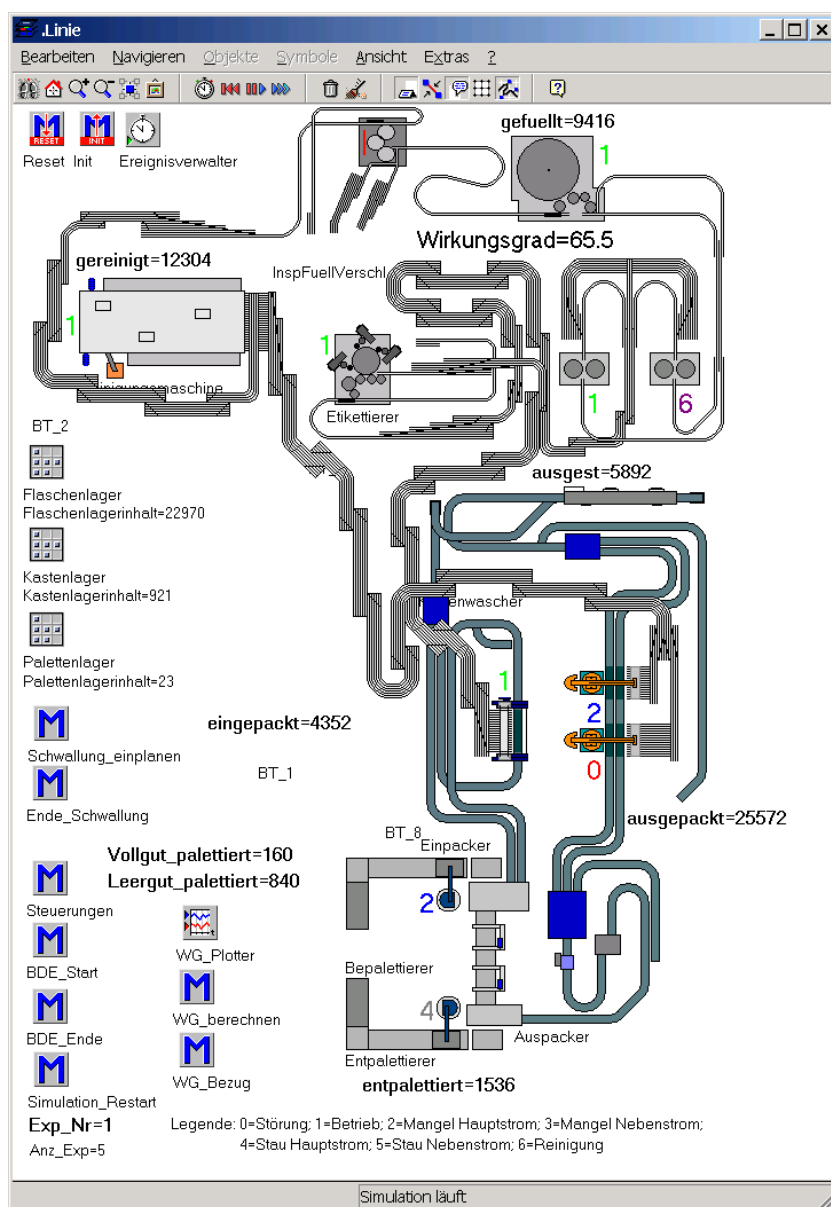


Bild 5.12: Übersicht des Simulationsmodells der Anlage F

Diese unterschieden sich nur in den Startwerten für die Zufallszahlenströme (in der verwendeten Software als „Seedwerte“ bezeichnet), also in den stochastischen Anfangsbedingungen des Zufallszahlengenerators. Hierdurch konnte der Einfluß des stochastischen Auftreten von Maschinenstörungen auf das Modellverhalten betrachtet werden. In einer zweiten Reihe wurden zwei einzelne Abfüllintervalle (Intervalle A und B) simuliert (Simulationszeit jeweils unter 10 h). Bei diesen Versuchen wurden in den Störgeneratoren der Aggregate nur die im jeweiligen Bezugsintervall empirisch ermittelten Betriebs- und Stördauern als empirische Verteilung hinterlegt (Störungen wurden weiterhin zufällig generiert; in mehreren Simulationsläufen wurden daher die Seedwerte der Zufallszahlengeneratoren variiert). Da den ermittelten Betriebsdaten jedes Aggregates verschiedene Bezugszeiträume zugrunde liegen, wurde die Simulationsdatenerfassung jeweils zu bestimmten Zeitpunkten beendet, wie es in Bild 5.13 veranschaulicht ist.

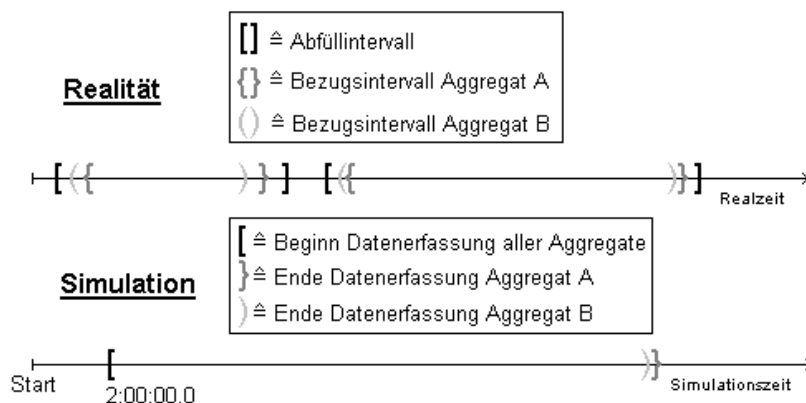


Bild 5.13: Veranschaulichung der realen Zeiträume für die Ermittlung der Validierungsparameter und der Simulationszeiträume

Im Vergleich zwischen Realität und Simulation sollen nur die wichtigsten Ergebnisse zur mittleren Ausbringung Q_m der Aggregate betrachtet werden. Da der Anlagenwirkungsgrad zweifellos die wichtigste Kenngröße einer Abfüllanlage ist, steht dem Q_m -Wert der Füllmaschine die größte Aufmerksamkeit zu.

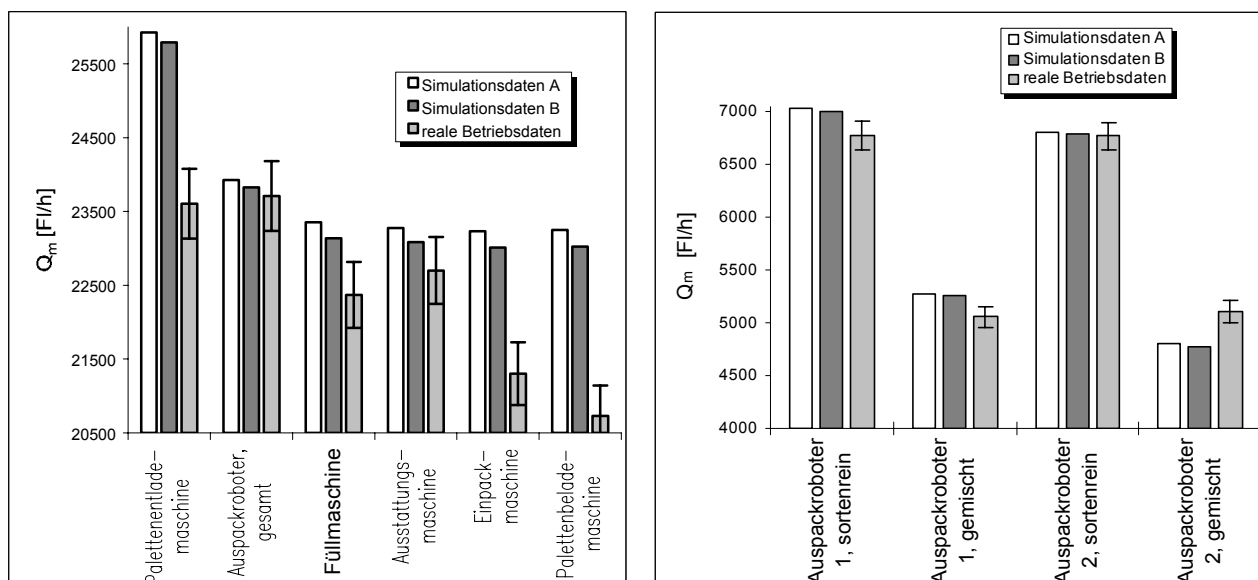


Bild 5.14: Vergleich der gemittelten Simulationsdaten zweier Reihen von Langzeitversuchen (jeweils n = 4) mit den aus allen auswertbaren Bezugsintervallen ermittelten realen Betriebsdaten

Bild 5.14 veranschaulicht die Ergebnisse der ersten Versuchreihe. Für die realen Betriebsdaten wurde eine Abweichungstoleranz von 2 % eingetragen. Wie im linken Diagramm ersichtlich, liegt der gemittelte Q_m -Wert der Füllmaschine des Modells um etwa 3 % höher als die der realen Füllmaschine.

Diese Abweichungen sind zum Einen auf die ebenfalls erhöhte Ausbringung bei Palettenentlade- und Auspackmaschine im Modell zurückzuführen. Diese sind mit fehlenden Informationen über die Fremdflaschenanteile und Leergutqualität, die vom Abfüllbetrieb leider nicht exakt erfasst wurden, zu begründen. Zum Anderen fällt auf, dass für den Q_m -Wert der realen Ausstattungsmaschine ein deutlich höherer Wert als für die Füllmaschine ermittelt wurde. Dies liegt daran, dass von der Ausstattungsmaschine nur 45 von 60 möglichen Bezugsintervallen ausgewertet werden konnten. Somit äußert sich hier der zeitlich schwankende Liefergrad der Anlage, der bezogen auf diese 45 Intervalle wahrscheinlich höher ist, als bezogen auf alle 60 Intervalle. Weiterhin ist zu sehen, dass für die realen Auspackroboter einen höheren Q_m -Wert als für die Palettenentlademaschine berechnet wurde. Bei den Simulationsdaten hingegen ist der Materialfluss, einschließlich der implementierten Ausschleusungsanteile, logisch nachvollziehbar.

Diese Ergebnisse lassen darauf schließen, dass die Abweichungen zum größeren auf systematische Fehler bei der Datenauswertung zurückzuführen sind. Insbesondere konnten die Flaschen, die in den Zeiträumen außerhalb der betrachteten Betriebsintervalle von den Maschinen bearbeitet wurden, anhand der vorliegenden Betriebsdaten nicht bestimmt werden. Eine korrekte Aufzeichnung des Maschinenprogramms, wie in 4.2.2 empfohlen, sowie eine exakte Chargenzuordnung wurde beim Datenerfassungssystem der Anlage F noch nicht realisiert.

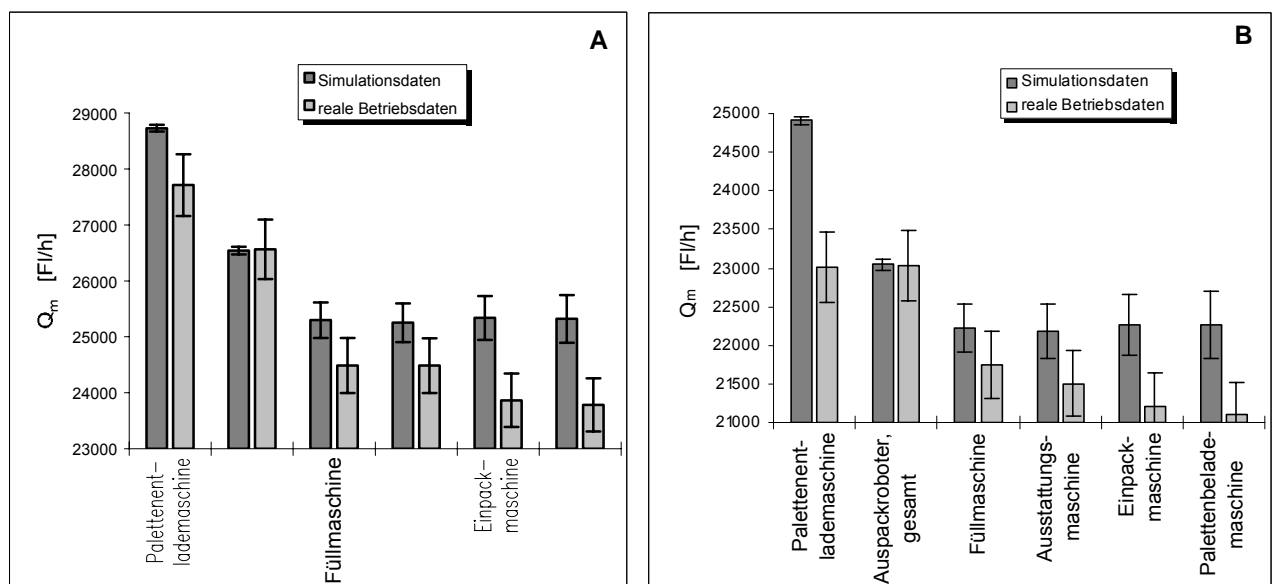


Bild 5.15: Vergleich der gemittelten Simulationsdaten mit den realen Betriebsdaten der betrachteten Abfüllintervalle A (n = 15) und B (n = 10)

Die zweite Versuchreihe (vgl. Bild 5.15) bestätigt die Ergebnisse der ersten Reihe. Die Unterschiede der Ausbringungen von Füll- und Ausstattungsmaschine fallen jedoch geringer aus. Hier beträgt die Abweichung des Q_m -Werts der simulierten Füllmaschine, und somit die Abweichung des Anlagenwirkungsgrades von der Realität, etwa 2 %.

Als Fazit der Validierung der Simulationsbausteine anhand Anlage F kann festgehalten werden, dass Übereinstimmungen der wichtigsten Parameter mit der Realität mit Abweichungen von maximal 2 % erreicht werden konnten. Da der überwiegende Teil der Abweichungen auf systematische Fehler zurückzuführen ist, welche für die Aussage vergleichender Experimente (wie in 5.3.3) mit demselben Modell nicht von Bedeutung sind, können Realitätsnähe und Detaillierungsgrad und der entwickelten Bausteine als völlig ausreichend für den Einsatzzweck in dieser Arbeit bezeichnet werden.

5.3.3 Ergebnisse der Simulationsstudien mit dem Modell der Referenzanlage

Das Simulationsmodell der Referenzanlage wurde unter Verwendung der validierten Funktionsbausteine erstellt. Im Vergleich zum Modell der Anlage F wurde die Visualisierung jedoch für die Versuchszwecke vereinfacht. Eine Übersicht zeigt Bild 5.16.

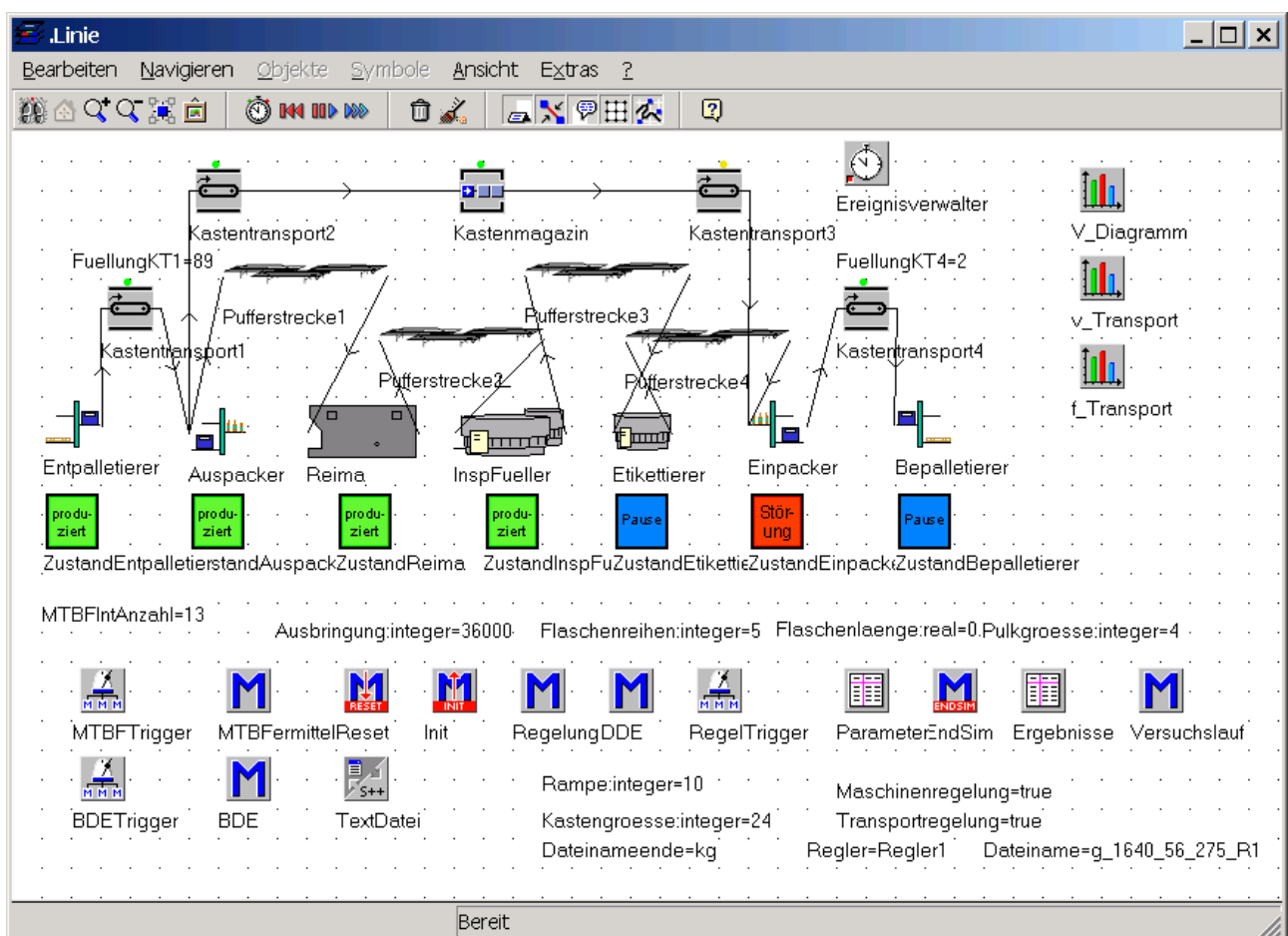


Bild 5.16: Bildschirmabzug des Computersimulationsmodells der Referenzanlage

An die simulierte Referenzanlage wurde die entwickelte, übergeordnete Anlagenregelung angehängt. Das in 5.2.1 vorgestellte Konzept zur Transporteuregelung wurde hierzu in der Sprache SimTalk in Methoden programmiert und direkt in die Simulationsumgebung eingefügt. Die Kommunikation des Fuzzycontrollers für die Vorgabe von Maschinenausbringungen (vgl. 5.2.2), der ja in der separaten Entwicklungsumgebung FuzzyTech erstellt wurde, an das in eM-Plant erstellte Linienmodell erfolgte über eine DDE-Schnittstelle (Dynamic Data Exchange). Diese Verknüpfung ermöglicht den Austausch von Daten zwischen verschiedenen Anwendungen unter Windows. Sie stellt eine Client-Server-Verbindung von gleichzeitig laufenden

Programmen dar. Die Serverapplikation (Fuzzycontroller) erhält im Sekundentakt Informationen über den Ist-Zustand und liefert der Simulation (Clientapplikation) die Sollvorgaben für die Maschinenausbringungen. In ähnlicher Weise kann die Anbindung des Reglers an eine reale Anlage (z. B. über ein Datenerfassungssystem) erfolgen. Die Regelungen für Maschinen und Transporteure können für vergleichende Simulationsversuche wahlweise zu- und abgeschaltet werden. Durch stetiges Aktualisieren des Modells im Verlauf dieser Arbeit stand am Ende eine virtuelle Versuchsanlage zur Verfügung, welche folgende Schritte ermöglicht:

- exakte Modellierung der Referenzanlage sowie realer Anlagen
- kostengünstige Modelländerungen bei hoher Flexibilität
- Anpassen und Verbessern des Leitsystems
- Parameteroptimierung mithilfe genetischer Algorithmen
- Test und Bewertung des Leitsystems
- Generieren von Maschinenzustandsdaten analog zu einem realen Datenerfassungssystem

Durch Visualisierung von Maschinenzuständen und Förderkettengeschwindigkeiten und Pufferfüllungsgraden in Diagrammen ermöglicht das Simulationsmodell die Beobachtung der Anlage mit und ohne Leitsystem. Hierdurch konnte die übergeordnete Regelung nicht nur in Langzeitversuchen, sondern auch in ihrem dynamischen Verhalten getestet und verbessert werden. Zunächst wurde durch gezielte Optimierung nach geeigneten Parametereinstellungen des Systems gesucht. Anschließend konnten die entwickelten Regelkonzepte dann in vergleichenden Studien getestet werden. Die wichtigsten Ergebnisse werden nachfolgend vorgestellt:

Sollwerte für die Pufferfüllungsgrade

Eine wichtige Führungsgröße sowohl für die Maschinen- als auch die Transporteurregelung ist der vorzugebende Pufferfüllungsgrad für die einzelnen Pufferstrecken einer Abfüllanlage. Zunächst wurde untersucht, wie sich mithilfe des erstellten Simulationsmodells bereits im Vorfeld eines praktischen Einsatzes Parameter für diese Reglereinstellungen ermitteln lassen. Hierzu wurden in einem iterativen Verfahren (Bild 5.17) bestimmte Einstellungen vorgegeben, ein Versuchslauf gestartet und das Ergebnis anhand des Anlagenliefergrades und des Stop and Go Betriebs der Einzelaggregate bewertet. Durch fortwährende Veränderung der Soll-einstellungen wurde versucht, sich schrittweise einem Optimum anzunähern.

Bereits bei den vier Behälterpufferstrecken der Referenzanlage ist eine große Zahl an Kombinationen verschiedener Sollfüllungsgrade möglich. Es ist zwar davon auszugehen, dass die dem Zentralaggregat vorgeschalteten Pufferstrecken vor eher voll (also $f >$

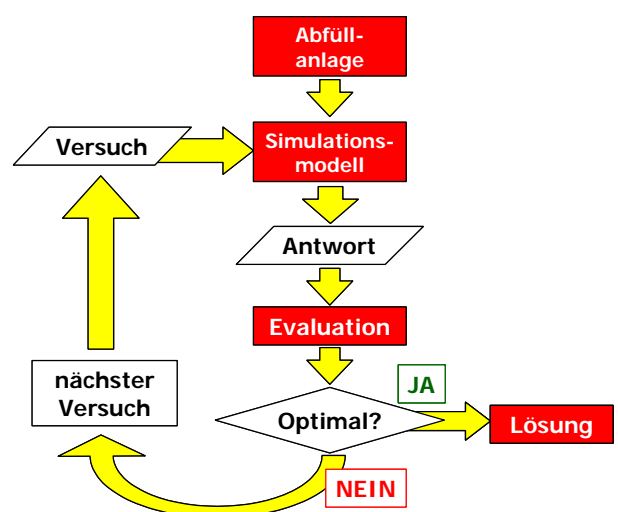


Bild 5.17: Iterative Optimierung der Sollwerte für die Pufferfüllungsgrade

50 %) und nachgeschalteten eher leer ($f < 50\%$) sein müssen. Variiert man die Sollwerte in diesen Bereich nur in vergleichsweise großen Schritten von 5 %, ergeben sich dennoch $10 \times 10 \times 10 \times 10 = 10^4$ unterschiedliche Einstellmöglichkeiten.

Um für diese Anlage in vertretbarer Zeit Ergebnisse zu erhalten, wurde das Simulationsmodell um einen Optimierungsalgorithmus erweitert. Aus technischer Sicht stellt die Evolution ein interessantes Optimierungsverfahren dar. Dieses Verfahren ist in der Lage, in vergleichsweise kurzen Zeiträumen durch Manipulation der Erbinformationen Lebensformen an Umweltbedingungen anzupassen. Die Evolution ist eine Art Suchprozess, der sich in einem gigantischen Suchraum zurechtfindet. Dieser Suchprozess beruht auf den Prinzipien der Mutation, der Rekombination des Erbgutes (Crossover) und der Selektion aufgrund der Tauglichkeit (Güte, Fitnesswert) eines Individuums. Die Mutation ist ein ungerichteter Prozess, dessen Ziel nur im Erzeugen von Varianten und Alternativen liegt. Mit ihrer Hilfe sollen die lokalen Optima überwunden werden. Die Rekombination steht bei der Zielfindung zwischen Mutation und Selektion. Hierbei findet das Crossover zwischen Chromosomen an zufällig ausgewählten Stellen statt. Die eigentliche Rekombination ist dann nicht mehr vom Zufall abhängig (Mendelsche Gesetze). Schließlich ist die Selektion für die eigentliche Steuerung der Evolution verantwortlich. Sie bestimmt die Richtung, in der die Veränderung voranschreiten soll, indem sie festlegt, welches Individuum sich stärker vermehrt. Steuert man ein iteratives Optimierungsverfahren in Anlehnung an die Evolution, spricht man vom Einsatz eines genetischen Algorithmus (GA). Dieser läuft in folgenden Schritten ab (vgl. Bild 5.18)

1. Wähle eine geeignete Codierung der Chromosomen.
2. Initialisiere zufällig eine Population von Chromosomen und nenne die Ausgangspopulation Generation 0. Wiederhole dies, bis die Fitness zufrieden stellend oder das Abbruchkriterium erreicht ist.
3. Bewerte alle Elemente der aktuellen Generation gemäß Gütefunktion/Fitnesswert.
4. Selektiere Paare gemäß Heiratsschema und erzeuge mittels Rekombination (Crossover) Nachkommen der aktuellen Generation.
5. Mutiere die Nachkommen.
6. Ersetze Elemente der aktuellen Generation durch die Nachkommen gemäß Ersetzungsschema und erzeuge so eine neue Generation.
7. Aktualisiere das Abbruchkriterium bzw. stelle einen Vergleich mit der vorgegebenen Anzahl an Generationen an (Generationenzähler).

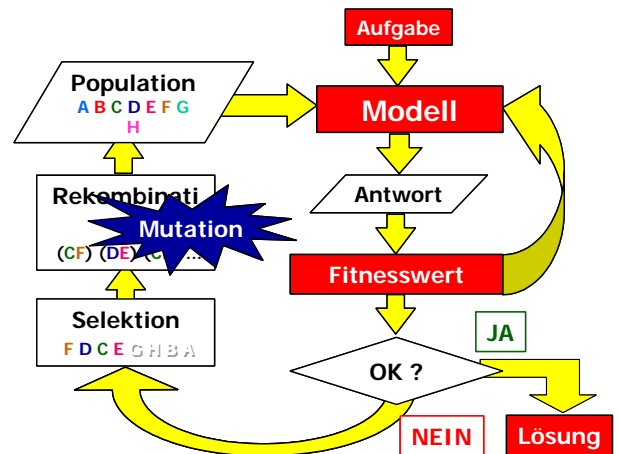


Bild 5.18: Optimierung mithilfe eines genetischen Algorithmus

Für eine effiziente Optimierungsstrategie gibt es, da die Zeit eine Begrenzung darstellt, nur zwei Auswahlmöglichkeiten. Entweder werden die Generationsfolgen sehr kurz gehalten, damit sich die Individuen in der

Generationsfolge schnell den veränderten Bedingungen anpassen können, oder es werden jeweils möglichst viele Individuen zur gleichen Zeit erzeugt, so dass auf diese Weise die benötigte Evolutionszeit verringert wird. Mithilfe der genetischen Algorithmen wird versucht, das Individuum zu finden, bei dem die Gütefunktion einen optimalen Wert annimmt. Als Gütefunktion dient im behandelten

Tabelle 5.1: Mittels genetischen Algorithmus optimierte Sollpufferfüllungsgrade

MTBF/MDT	93 % P1/P2/P3/P4	95 % P1/P2/P3/P4	99 % P1/P2/P3/P4	abgefüllte Flaschen	Stop and Gos	Fitness- wert
532/ 28		65/85/25/35		257.795	27	63.454
664/ 50	75/85/25/35			246.735	53	28.341
1000/ 10			70/80/45/35	276.775	5	424.044
1329/ 100	45/70/40/30			232.675	47	26.801
1425/ 75		55/80/25/45		252.110	46	34.835
2000/ 20			65/85/20/35	276.495	5	422.758
3000/ 30			65/70/40/35	276.375	5	422.208
4000/ 211		65/70/20/35		257.070	46	36.931
5000/ 376	45/85/25/35			242.790	45	44.036

Fall eine Kombination aus abgefüllten Flaschen und gezählten Stop and Gos der Maschinen.

Durch Erweiterung des Simulationsmodells um das Modul GA für die Steuerung von Optimierungsläufen über genetische Algorithmen konnte die Versuchszeit für das Finden optimaler Sollvorgaben für die Pufferfüllungsgrade deutlich verkürzt werden. Auf diese Weise konnten die vorzugebenden Pufferfüllungsgrade für die Pufferstrecken P1 (vor der Reinigungsmaschine), P2 (vor der Füll- und Verschließmaschine), P3 (nach der Füll- und Verschließmaschine) und P4 (nach der Ausstattungsmaschine) der Referenzanlage in Abhängigkeit verschiedener Störanfälligkeiten der Maschinen ermittelt werden. Hierzu wurden jeweils für alle Aggregate die gleichen MTBF- und MDT-Werte vorgegeben und pro Individuum (also einer möglichen Einstellung der Sollfüllungsgrade) die geregelte Abfüllung bei gleichem stochastischem Störverhalten (Seedwerte) über 48 h simuliert. Die Pufferkapazitäten der vier Pufferstrecken blieben bei allen Versuchen konstant. Tabelle 5.1 fasst die Ergebnisse der durchgeführten Optimierungsläufe zusammen.

In Bild 5.19 wurden die Mittelwerte der erhaltenen Ergebnisse über den Einzelwirkungsgraden der Maschinen aufgetragen. Es zeigt sich, dass bei sehr geringen Störanfälligkeiten der Maschinen die Pufferstrecken vor dem Zentralaggregat (Füll- und Verschließmaschine) nahezu komplett gefüllt sein sollten. Nach dem Zentralaggregat genügt ein kleiner Füllungsgrad für das Wahrnehmen der Transportfunktion der Pufferstrecke. Mit abnehmenden Einzelwirkungsgraden sollte aber auch den dem Zentralaggregat vor- und nachgeschalteten Maschinen „Raum zum Atmen“ gegeben werden und die benachbarten Puffer nicht ganz so stark bzw. wenig gefüllt sein.

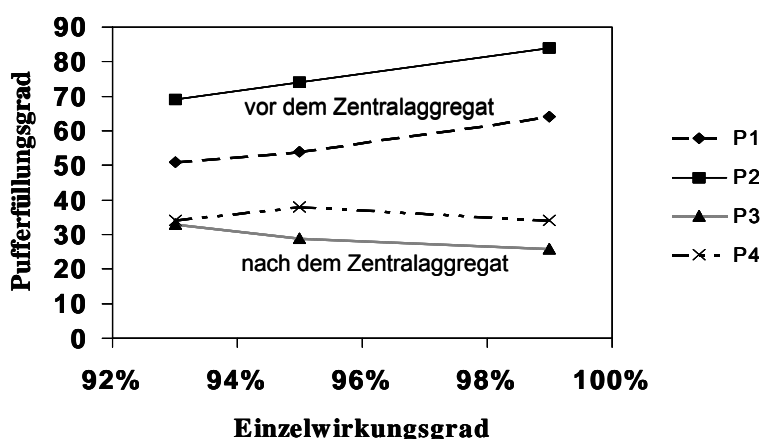


Bild 5.19: Pufferfüllungsgrade in Abhängigkeit vom Einzelwirkungsgrad der Maschinen

so stark bzw. wenig gefüllt sein.

Vergleich von unregelmäßigem und regelmäßigem Anlagenbetrieb

Die übergeordnete Regelung wurde im Hinblick auf den materialschonenden, kontinuierlichen Betrieb von Abfüllanlagen konzipiert. Um die Auswirkungen eines geregelten Betriebs im Vorfeld eines Praxiseinsatzes untersuchen zu können, wurden mit dem vorgestellten Simulationsmodell Abfüllversuche jeweils über einen Zeitraum von 10 Abfülltagen in ununterbrochenem Betrieb (24 Stunden am Tag) durchgeführt. Die lange Versuchszeit war auf Grund der stochastisch auftretenden Maschinenstörungen notwendig. Die Abfüllanlage wurde mit einer Nennausbringung von 36.000 Flaschen/h betrieben. Die Parametereinstellungen für die einzelnen Maschinen zeigt Tabelle 5.2.

Tabelle 5.2: Parametereinstellungen bei den vergleichenden Simulationsversuchen

Aggregat	maximale Ausbringung % Nenn-ausbringung	Sollfüllungsgrad der Pufferstrecke nach dem Aggregat %	MTBF _{max} /s	MDT /s	γ / s/Stop and Go/h
Palettenentlademaschine	120		1487,9	81,3	0,0
Auspackmaschine	120	80	1862,1	99,6	0,0
Reinigungsmaschine	110	90	1552,4	60,8	5,0
Inspektionsmaschine + Füll- und Verschließmaschine	100	30	1706,5	65,9	10,0
Ausstattungsmaschine	110	40	1689,7	93,6	10,0
Einpackmaschine	120		844,1	73,4	0,0
Palettenbelademaschine	120		2153,1	107,4	0,0

Hierbei wurden die maximalen Einstellausbringungen in Anlehnung an BERG (vgl. 2.3.3) vorgegeben. Auf höhere Ausbringungen als 120 % der Füllerausbringung wurde aufgrund der Ergebnisse von RÄDLER [66] verzichtet. Für die mittleren Betriebs- und Stördauern der verschiedenen Maschinen wurden die in 4.3.1 ermittelten Werte herangezogen. Die mittleren Betriebsdauern der Maschinen wurden entsprechend den in 4.3.2 getroffenen Näherungen während des Simulationslaufes dynamisch verändert. In Abhängigkeit von der Anzahl der Stop and Gos /h, ermittelt über den Zeitraum der letzten 6 h, werden diese Werte alle 30 min im Simulationsmodell nach der linearen Gleichung

$$MTBF = MTBF_{\max} + \gamma \cdot z_{\text{Stop and Go}} \quad (\text{vgl. Gleichung 4.5, auf S. 72})$$

berechnet und aktualisiert. Hierbei werden nur Werte für $MTBF > 0$ berücksichtigt. Für γ wurden entsprechend der Ergebnisse aus 4.3.2 realistische Werte vorgegeben. Mit der so parametrisierten Anlage konnte ein Vergleich von regelmäßigem und unregelmäßigem Anlagenbetrieb vorgenommen werden. Zur Differenzierung der Einflüsse wurde die Anlage komplett geregelt, unregelmäßig sowie nur mit Transporteur- bzw. Maschinenregelung betrieben. Hieraus ergeben sich bezüglich der Regelungszuschaltung die folgenden vier Versuchsvarianten:

➤ unregelmäßig (ug)

Alle Maschinen arbeiten konstant mit ihrer maximal möglichen Ausbringung. Die Massentransporteur laufen mit einer konstanten Geschwindigkeit von 0,2 m/s.

➤ ohne Transporteurregelung (ot)

Die Maschinenausbringungen werden vom Fuzzycontroller vorgegeben, Massentransportabschnitte werden jedoch nicht in ihrer Geschwindigkeit geregelt und laufen konstant mit 0,2 m/s.

➤ ohne Maschinenregelung (om)

Die Kettengeschwindigkeiten werden kontinuierlich nach 5.2.1. geregelt, die Maschinen laufen jedoch konstant mit maximaler Ausbringung.

➤ komplett geregelt (kg)

Die Abfüllung erfolgt sowohl bei geregelten Maschinenausbringungen mittels des in 5.2.2 erläuterten Fuzzycontrollers als auch bei geregelten Kettengeschwindigkeiten nach 5.2.1. Die maximale Kettengeschwindigkeit auf Massentransportabschnitten wurde hierbei mit 0,5 m/s vorgegeben.

Nach einer Einlaufzeit von 5 h wurden alle relevanten Maschinendaten über die Versuchsdauer von 10 Tagen aufgezeichnet. Um den aufgrund des stochastischen Maschinenstörverhaltens zu erwartenden Schwankungen Rechnung zu tragen, wurden für jede Versuchsvariante jeweils drei Simulationsversuche mit unterschiedlichen Startparametern der Zufallsgeneratoren (Seedwerten) durchgeführt. Aus den drei Einzelergebnissen wurden die Mittelwerte berechnet. Diese sind mit Konfidenzintervallen, ermittelt auf Grundlage der Student t-Verteilung bei einer Sicherheit von 95 %, dargestellt.

Für die Bewertung der Versuche wurde zunächst der Anteil der effektiven Laufzeit der Füll- und Verschleißmaschine an der Versuchszeit sowie der Anlagenliefergrad anhand der tatsächlich abgefüllten Flaschen berechnet (Bild 5.20).

Es zeigt sich, dass durch den Einsatz der übergeordneten Anlagenregelung bei der simulierten Referenzanlage der Anteil der effektiven Laufzeit der Füll- und Verschleißmaschine an der Versuchszeit um etwa 7 % gegenüber

dem unregelmäßigen Betrieb gesteigert werden kann. Wie die Betrachtung der Vergleichsversuche ohne Maschinenregelung und ohne Transporteurregelung ergibt, ist diese Steigerung zum größeren Anteil dem Einsatz der kontinuierlichen Transporteurregelung zu verdanken, welche höhere Puffereffektivitäten bewirkt. Hinzu kommt eine Füllerlaufzeitverbesserung von etwa 3 % durch den Einsatz des Fuzzycontrollers zur Vorgabe der Maschinenausbringungen.

Auch der Liefergrad fällt bei komplett geregelter Anlagenbetrieb deutlich höher aus als bei Betrieb ohne Regelung. Die im Vergleich zur effektiven Füllerlaufzeit kleinere Steigerung von etwa 5 % ist dadurch zu erklären, dass durch Einsatz der Maschinenregelung auch die Ausbringung der Füll- und Verschleißmaschine mit dem Ziel eines möglichst kontinuierlichen Durchlaufens aller Aggregate zeitweise herabgesetzt wird.

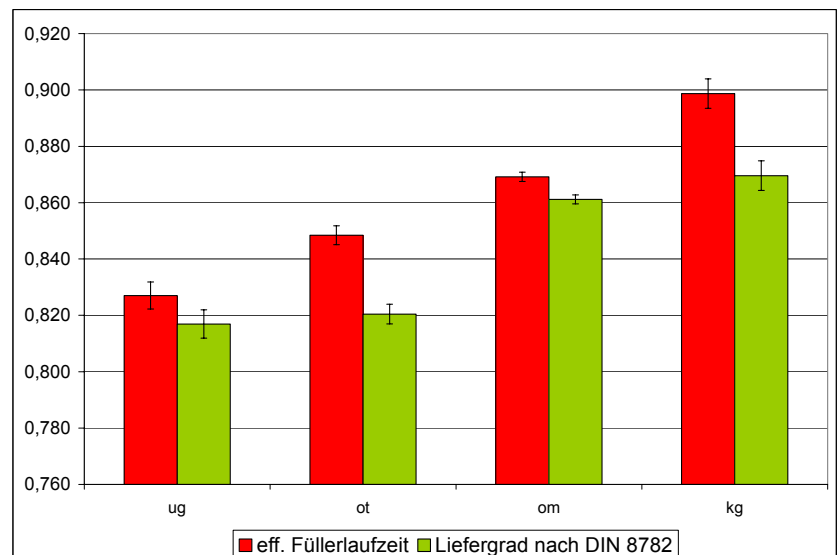


Bild 5.20: Anteil der effektiven Füllerlaufzeit an der Betriebszeit und Anlagenliefergrad nach DIN 8782

Deshalb ergibt sich bereits ein recht hoher Anlagenliefergrad, wenn nur die Transporteuregelung (om) zum Einsatz kommt.

Wie Bild 5.21 verdeutlicht, muss der Verzicht auf das Regeln der Maschinenausbringungen jedoch mit einer deutlichen Zunahme des Stop and Go Betriebs der Maschinen bezahlt werden. Dies führt, entsprechend der zu Grunde gelegten linearen Abnahme der MTBF-Werte, zu der, in Bild 5.22 veranschaulichten, Abnahme der Einzelwirkungsgrade der kontinuierlich arbeitenden Maschinen. Ein möglichst stillstandsfreier, materialschonender und geräuscharmer Betrieb von Abfüllanlagen bei gleichzeitig hohem Anlagenliefergrad kann nach diesen Ergebnissen nur durch den kombinierten Einsatz von Maschinen- und Transporteuregelung erreicht werden.

Inwieweit zusätzliche Verbesserungen, insbesondere beim Anlagenliefergrad durch selteneres Herunterregeln der Füll- und Verschließmaschine, zu erwarten sind,

muss durch die Simulation einer realen Anlage, die exakte Anpassung der Regelparameter auf diese sowie die anschließende praktische Realisierung der übergeordneten Anlagenregelung geklärt werden. Bei der Versuchsführung wurde darüber hinaus deutlich, dass die vorgegebenen Sollfüllungsgrade der Behälterpufferstrecken großen Einfluss auf das Versuchsergebnis besitzen. Auch in der exakten Anpassung dieser Parameter an eine reale Abfüllanlage liegt weiteres Optimierungspotenzial.

Die den Diagrammen zu Grunde liegenden Ergebnisse der vergleichenden Simulationsversuche sind in Anhang H tabellarisch aufgeführt.

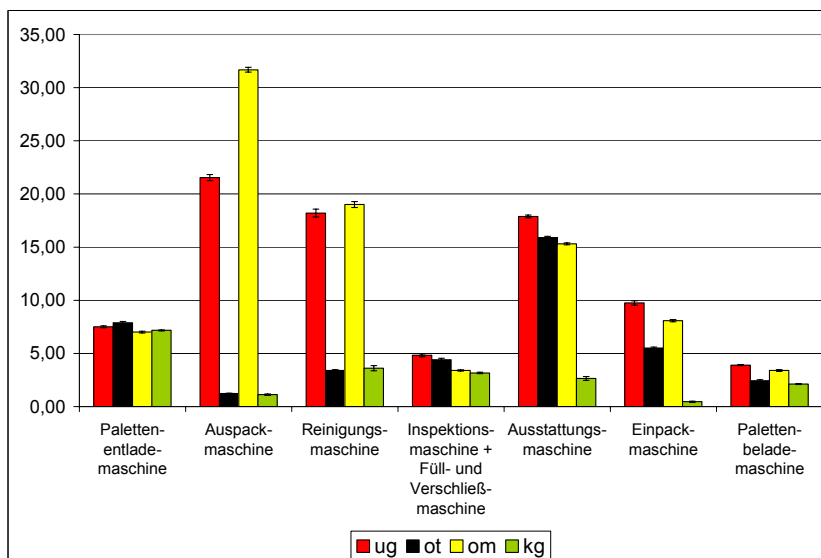


Bild 5.21: Anzahl der Stop and Gos/h, gemittelt über die gesamte Versuchsdauer

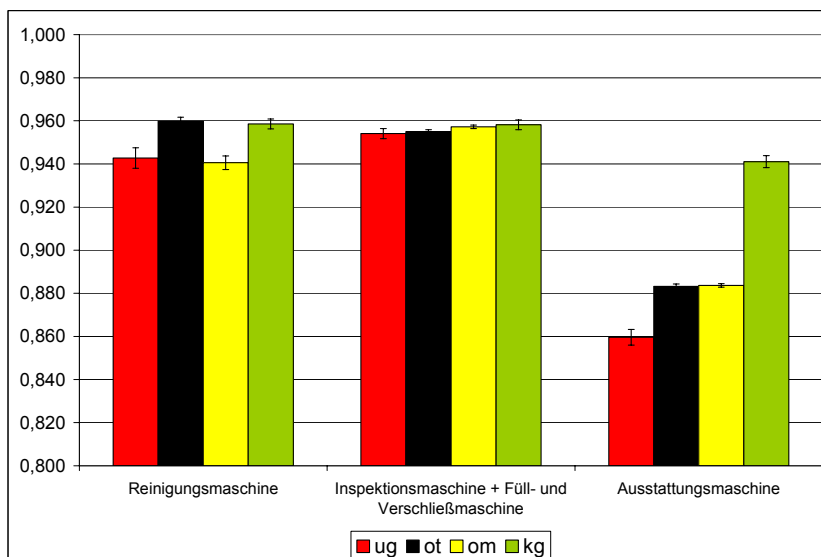


Bild 5.22: Einzelwirkungsgrade der Maschinen

6 Diskussion der Ergebnisse und Ausblick

6.1 Spezifizierte Lieferbedingungen für die informationstechnische Vorbereitung von Maschinen

Die in 4.2 vorgestellten Vorgaben zur informationstechnischen Maschinenvorbereitung bei Abfüllanlagen wurden auf Grundlage des ermittelten Informationsbedarfs von Abfüllbetrieben ausgearbeitet. Sie wurden mit führenden Industrievertretern im Hinblick auf schnelle Umsetzbarkeit in der Branche abgestimmt. Hierzu konnte ein nationaler Industriearbeitskreis mit Vertretern aus Brauereien (Hasseröder, Krombacher, Kulmbacher, Spaten-Franziskaner, Warsteiner), Systemhäusern, (KHS, Proleit, Siemens, Syskron) sowie Maschinenbauunternehmen (Krones, KHS, Heuft, Stratec, Centro, Metec, SIG) ins Leben gerufen werden (genaue Firmenbezeichnungen und Adressen finden sich in Anhang H). Als Ergebnis entstanden „Spezielle Technische Liefer- und Bezugsbedingungen (STLB) für die BDE-Vorbereitung von Maschinen zur Getränkeabfüllung“. Diese besitzen den Charakter einer Empfehlung und erlangen als Zusatz zu Lieferverträge zwischen Abfüllbetrieben und Anlagenlieferanten Gültigkeit. Sie sind zwischenzeitlich von der Gesellschaft für Öffentlichkeitsarbeit der deutschen Brauwirtschaft e.V., Bonn, in Buchform abgedruckt worden [88]. Sie wurden in der Getränkebranche gut angenommen und waren bereits Grundlage für zahlreiche Lastenhefte von Brauereien bei Neuinvestitionen (vgl. z. B. [59]). Durch die genauen inhaltlichen Vorgaben zur Gestaltung von Schnittstellen konnten deutliche Kosteneinsparungen erreicht werden.

Um in Zukunft auch international einen Beitrag zur Kosteneinsparung leisten zu können, erfolgte die Veröffentlichung der Ergebnisse nicht nur national ([85], [86], [87]), sondern auch international [89], [90] (eine Übersetzung in englischer Sprache wurde angefertigt). Das große Interesse an den veröffentlichten Vorgaben machte deutlich, dass Standardisierungsbedarf besteht und Kosteneinsparungen erreicht werden können. Der zugrunde liegende Informationsbedarf, der zu den inhaltlichen Vorgaben in der Standardschnittstelle geführt hat, ist auch heute (zwei Jahre nach der Veröffentlichungen) noch aktuell. Dennoch zeigte sich parallel zu den ersten praktischen Umsetzungen, dass noch sinnvolle Erweiterungen hinzugefügt werden sollten. Deshalb wurde ein Anschlussprojekt begonnen. Hierbei werden die bisherigen Erfahrungen einfließen. Die neusten technischen Entwicklungen und neu entstandene Anforderungen und Wünsche der Getränkeabfüllbetriebe werden hierbei berücksichtigen. Für die folgenden Punkte konnten bereits konkrete Erweiterungen erarbeitet werden. Diese werde zusammen mit zukünftigen Ergebnissen in eine aktualisierte Version der STLB einfließen.

Standardisieren des technischen Datenaustauschs

Durch das Festlegen auf Ethernet-TCP/IP sind zunächst nur die Schichten 1-4 (Physikalische Übertragung, Sicherung, Netzwerk und Transport) des OSI-Referenzmodells (vgl. Tabelle 6.1) definiert. Hierdurch wird es möglich, Steuerungen untereinander und mit dem IT-System physikalisch zu verbinden („zu verkabeln“), eine „Plug and Play“ Kommunikation ist jedoch noch nicht erreicht. Deshalb muss für einen standardisierten Datenaustausch ein exaktes Kommunikationsprotokoll in den Schichten 5-7 (Sitzung, Darstellung und Anwendung) entwickelt und festgeschrieben werden.

Als ein standardisiertes Protokoll für den Informationsaustausch bei Getränkeabfüllanlagen konnte im Konsens mit den im Industrieanwenderkreis beteiligten Firmen eine Lösung auf FTP-Basis festgelegt werden. Für das File Transfer Protokoll ist die notwendige Kommunikationshardware für alle anzubindenden Steuerungstypen (SPS, PC, proprietäre Mikroelektroniksteuerung) verfügbar. Der Standardisierte Datenaustausch wird zunächst mittels Text-Dateien im ASCII-Format erfolgen. Für die

Tabelle 6.1: Ethernet-TCP/IP im OSI-Referenzmodell [41]

Internet-Protokolle								
OSI-Schicht	Internet Protokoll Suite							DOD Schicht
7	Anwendung	File Transfer	Electronic Mail	Terminal Emulation	Usenet News	Domain Name Service	World Wide Web	Art der Kommunikation
6	Darstellung	File Transfer Protocol (FTP) RFC 959	Simple Mail Transfer Protocol (SMTP) RFC 821	Telnet Protocol (Telnet) RFC 854	Usenet News Transfer Protocol (NNTP) RFC 977	Domain Name Service (DNS) RFC 1034	World Wide Web (WWW) RFC	Applikation
5	Sitzung							
4	Transport	Transmission Control Protocol (TCP) RFC 793					User Datagram Protocol (UDP) RFC 768	Host to Host Kommunikation
3	Netzwerk	Address Resolution Protocol (ARP) RFC 826	Internet Protocol (IP) RFC 791				Internet Control Message Protocol RFC 792	Internet
2	Sicherung	Ethernet		Token Ring	DQDB	FDDI	ATM	lokales Netzwerk
1	Physikalische Übertragung	Twisted Pair	Lichtwellenleiter	Coaxkabel		Funk	Laser	Netzzugriff

Zukunft können jedoch auf identischem Wege XML-Dateien ausgetauscht werden, welche dann eine Verknüpfung von Dateninhalt und funktioneller Bedeutung erlauben. Für die umfassende Spezifikation werden in naher Zukunft die Kommunikationsbefehle der Anwendungsschicht einheitlich festgelegt werden. Darüber hinaus wird die in den STLB bereits inhaltlich definierte Standardschnittstelle für die BDE-Anbindung von Maschinensteuerungen um allgemeine Adressen für das Kodieren und Auswerten der ASCII-Dateien sowie um sogenannte „Tags“ für die spätere Informationszuordnung via XML erweitert werden.

Verfolgung von Produktionseinheiten

Ein wesentlicher Grundsatz der Getränkeindustrie muss sein, dass jeder einzelne Abfüllartikel jederzeit seiner Charge zugeordnet werden kann. Dies muss zurück bis zu den einzelnen Roh- oder Ausgangsstoffen lückenlos möglich sein. Deshalb ist eine Datenerfassung mit Bezug zur Abfüllcharge unverzichtbar. Aus kaufmännischen Überlegungen ist auch eine Erfassung mit Bezug zu Artikeln notwendig. Diese Notwendigkeiten müssen in Zukunft bei der Schnittstellengestaltung für die Anbindung von IT-Systemen berücksichtigt werden. Als Grundlage hierfür wurden die Produktionseinheiten Abfüllcharge, Abfüllartikel und Abfüllauftrag sowie ihre Beziehungen untereinander allgemeingültig definiert. Es wird notwendig werden, technische Lösungen für das automatisierte Erkennen von Beginn, Wechsel und Ende der Abfüllung dieser Produktionseinheiten zu erarbeiten und in Standardvorgaben zu berücksichtigen.

Validierung

In Zukunft werden nur zuverlässige IT-Systeme, welche jederzeit korrekte Daten aufzeichnen können, die Akzeptanz der Anlagenbetreiber und des Bedienpersonals finden. Deshalb kann in Zukunft auf eine Validierung unter Berücksichtigung der Verantwortlichkeiten aller beteiligten Unternehmen (Maschinenhersteller, Generalunternehmer, Systemanbieter; Anlagenbetreiber) nicht verzichtet werden. Hierbei sollten folgende Schritte durchgeführt werden:

- Korrektheit der Datenerfassung und Auswertung
- Überprüfen der Signalübermittlung
- Ganzheitliche Systemvalidierung

Berücksichtigen der Anforderungen eines übergeordneten Leitsystems

Die Ergebnisse aus Kapitel 5 zeigen, dass der Einsatz eines übergeordneten Leitsystems bei Getränkeabfüllanlagen Vorteile bietet. Voraussetzung hierfür ist die bidirektionale Kommunikation des Leitrechners mit den Maschinen einer Abfüllanlage. Dies muss bei zukünftigen Standardvorgaben für die Anbindung von IT-Systemen selbstverständlicher Bestandteil sein.

6.2 Störverhalten einzelner Maschinen

In dieser Arbeit wurden Häufigkeitsverteilungen von Maschinenbetriebs- und -stördauern ermittelt und mit Exponential- und Weibullverteilung genähert. Es zeigte sich, dass die Regression mittels Weibullverteilung statistisch bessere Ergebnisse lieferte. Durch die zwei variablen Parameter konnte diese Gleichung besser an reale Betriebsdaten angenähert werden. Interessant ist hierbei, dass die erhaltenen Ergebnisse, entsprechend der Zuverlässigkeitstheorie, Rückschlüsse auf das dynamische Verhalten der Ausfallrate von Maschinen erlauben. Für die untersuchte Anlage bedeutet dies, dass sie sich in einer Phase sinkender Ausfallraten befindet. Nach der allgemein anerkannten „Badewannenkurve“ würden sich die Maschinen in der Phase abnehmender Frühausfälle befinden. Derartige Analysen könnten es ermöglichen, Rückschlüsse auf das Alter bzw. die Phase des Lebenszyklus zu ziehen, in welcher sich Maschinen befinden.. Ob dies zulässig ist, muss jedoch anhand von Daten geprüft werden, welche über die gesamte Lebensdauer von Maschinen in Getränkeabfüllanlagen vorliegen.

Für diese Arbeit zeigte es sich als vorteilhaft, die Exponentialverteilung für das Beschreiben des Maschinenstörverhaltens zu verwenden. Zwar wurden etwas schlechtere Regressionsgüten erreicht, aber sowohl die Verteilungen der Betriebsdauern als auch die Verteilungen der Stördauern konnten gut genähert werden. Wie die Auswertung verschiedener Anlagen zeigte, variiert das Störverhalten von Maschinen gleicher Funktion bei unterschiedlichen Betrieben ohnehin sehr stark. Deshalb erschien diese mathematisch einfachere Näherung ausreichend. Sie bietet darüber hinaus die Möglichkeit, das Störverhalten von Maschinen nur durch die Mittelwerte der Betriebs- und Stördauern (MTBF und MDT) nachzubilden, welche, im Gegensatz zu den Parametern einer Weibullverteilung oder noch komplexeren Verteilungen, einfach aus korrekt aufgezeichneten Betriebsdaten ermittelt werden können.

Auch die für die Maschinen unterschiedlicher Anlagen ermittelte mittlere Stördauern (MDT) zeigten große Unterschiede. Deshalb ist es nicht möglich, von einer charakteristischen mittleren Stördauer einer Maschine bestimmten Typs auszugehen. Die Stördauer scheint vielmehr abhängig von zahlreichen Faktoren zu sein, wie z. B. zu verarbeitete Behälter oder Gebinde, Personal, Produktionsabfolge, Losgröße, Anlagenzustand, Maschinenalter und Betriebsbedingungen. Bei der Anlagengestaltung wird versucht, das Durchschlagen von Maschinenstörungen über Stau- und Mangelzustände auf vor- bzw. nachgeschaltete Maschinen durch das Einplanen von Pufferstrecken zu vermeiden. Hierbei wird in der Praxis von Faustwerten, wie empfohlenen Pufferzeiten von 120 s (vgl. z. B. [84]), ausgegangen. Dies kann hilfreich sein. Die Ergebnisse dieser Arbeit

zeigen jedoch, dass hierdurch kein optimaler Anlagenbetrieb erreicht werden kann. Für die effiziente Pufferauslegung ist die Kenntnis der zu erwartenden Stördauern in Abhängigkeit von möglichen Einflussfaktoren notwendig. Um diese Wissensbasis zu erlangen, werden weitere Analysen korrekter und langfristig ermittelter Betriebsdaten notwendig sein.

Zur Auswertung von Maschinenstördaten muss allgemein angemerkt werden, dass es sich in dieser Arbeit als sehr schwierig erwies, richtige und über lange Zeiträume aufgezeichnete Daten zu erhalten. Dies lag weniger an mangelnder Kooperationsbereitschaft von Abfüllbetrieben, als vielmehr daran, dass wenig korrekt arbeitende Datenerfassungssysteme existieren. Wurden Systeme installiert, sind sie meist nie technisch überprüft oder gar validiert worden. Zudem werden sie oft nur selten und nur für einzelne Zwecke genutzt, weshalb den Betreibern Fehler in der Datenaufzeichnung nicht auffallen. Dies bekräftigt die Wichtigkeit von Standardvorgaben, wie sie in dieser Arbeit entwickelt wurden (vgl. 4.2), und die Notwendigkeit der Entwicklung von Validierungsmaßnahmen. Diese sollten Schwerpunkt zukünftiger Arbeiten im Bereich von Informationssystemen bei der Getränkeabfüllung sein (vgl. 6.1).

Das Störverhalten von Maschinen variiert jedoch nicht nur langfristig und von Anlage zu Anlage, sondern ist auch kurzfristigen Schwankungen unterworfen. Als eine mögliche Ursache wurde in dieser Arbeit der Einfluss von durch Mangel und Stau bedingten Stillständen untersucht. Erfahrungen aus der Praxis ließen vermuten, dass ein derartiger Stop and Go Betrieb negative Auswirkungen auf die Eigenstöranfälligkeit von Maschinen mit sich bringt. Quantitative Nachweise wurden bisher jedoch nicht erbracht. Mit der in dieser Arbeit entwickelten Methode der Zeitfensteranalyse konnte ein Zusammenhang in seiner Tendenz erstmals nachgewiesen werden. Allerdings reichten die Ergebnisse aufgrund stochastischer Schwankungen und zu wenig zur Verfügung stehenden Datenmaterials nicht aus, den Effekt mathematisch exakt zu beschreiben. Dennoch soll als Diskussionspunkt nachfolgend betrachtet werden, in welchen Größenordnungen sich dieser Effekt auf Einzelwirkungsgrade von Maschinen auswirken kann.

Hierzu sollen nochmals die Ergebnisse der Zeitfensteranalysen zum Blockaggregat aus Anlage G betrachtet werden. Geht man von der vereinfachten Sichtweise eines linearen Zusammenhangs aus und bildet die Mittelwerte der erhaltenen Parameter aus Trendgeraden von 150 Zeitfensteranalysen (vgl. Anhang F), ergibt sich für die Beschreibung des Stop and Go Effekts des betrachteten Aggregats folgende Näherungsgleichung:

$$MTBF = 1630 \text{ s} - 30,3 \text{ s/Stop and Go/h} \cdot z_{\text{Stop and Go/h}} \quad (6.1)$$

Wie sich dies rechnerisch auf den Einzelwirkungsgrad η_E des betrachteten Aggregats mit einer mittleren Stördauer von 56,4 s auswirken würde, veranschaulicht Tabelle 6.2. Abfüllintervalle mit Häufigkeiten von 30 und mehr Stop and Gos/h waren in den betrachteten Abfüllbetriebsdaten keine Seltenheit.

Tabelle 6.2: Mögliche Änderung des Einzelwirkungsgrades des Blockaggregats aus Anlage G nach linearer Näherung des Stop and Go Effekts

$Z_{\text{Stop and Go/h}}$	MTBF	η_E /%
0	1630	96,7
2	1569	96,5
4	1509	96,4
6	1448	96,3
8	1388	96,1
10	1327	95,9
12	1266	95,7
14	1206	95,5
16	1145	95,3
18	1085	95,1
20	1024	94,8
22	963	94,5
24	903	94,1
26	842	93,7
28	782	93,3
30	721	92,7

Die Abschätzung zeigt auf, dass sich durch Stop and Go Betrieb der Einzelwirkungsgrad von Maschinen durchaus um einige % verschlechtern kann. Eine derartige Zunahme von Störungen kann durch die Puffer einer Anlage nicht abgefangen werden. Hinzu kommt, dass ähnliche Auswirkungen auch bei anderen, kontinuierlich arbeitenden Maschinen einer Anlage zu erwarten sind und sich die Effekte bei verketteten Maschinen multiplizieren. Im Hinblick auf einen effizienten Abfüllbetrieb sollte der Stop and Go Betrieb einer Anlage möglichst vermieden werden. Einen Beitrag hierzu kann das in dieser Arbeit entwickelte Konzept zur übergeordneten Regelung von Abfüllanlagen (vgl. Kapitel 5) leisten.

6.3 Wissensbasierte Schwachstellenanalyse bei Gesamtanlagen

In der Vergangenheit wurden von Datenerfassungssystementwicklern zahlreiche analytische Ansätze verfolgt, Füllerstillstände den verursachenden Aggregaten zuzuordnen. Diese waren bisher erfolglos. Mit dem wissensbasierten Ansatz, ein künstliches neuronales Netz durch überwachtes Lernen für diese Aufgabe zu trainieren, scheint eine Lösung für dieses Problem gefunden. Hierdurch kann für den Anlagenbetreiber die Schwachstellenanalyse in seinen Abfüllanlagen vereinfacht und beschleunigt werden.

Die Untersuchungen anhand von Daten der simulierten Referenzanlage zeigen, dass die automatische Erkennung von Füllerstillstandsverursachern mithilfe eines speziell angepassten, künstlichen neuronalen Netzwerks möglich ist. Auf Grundlage dieser Ergebnisse konnte der praktische Einsatz dieser Methode in einem Abfüllbetrieb angegangen werden. Hierzu wurde ein bedienerfreundliches Werkzeug entwickelt, welches an bestehende Datenerfassungssysteme angebunden werden konnte. Um die Schwachstellenana-

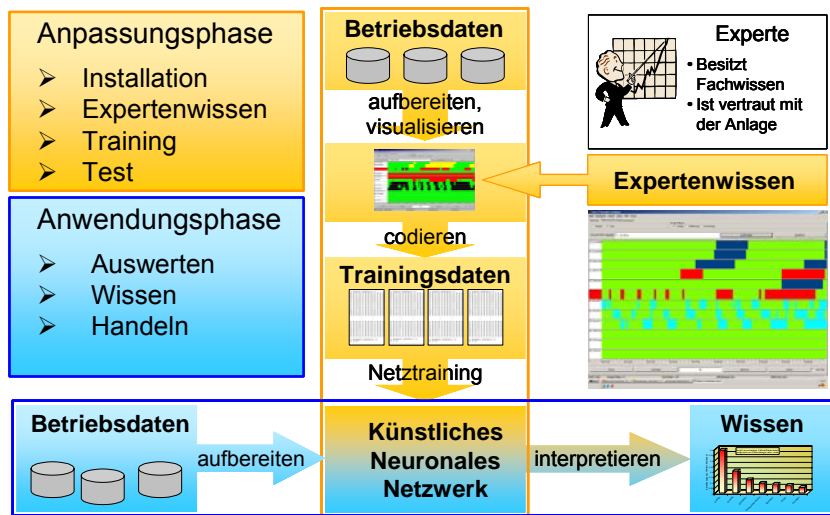


Bild 6.1: Arbeitsweise des „Downtime Analyser“

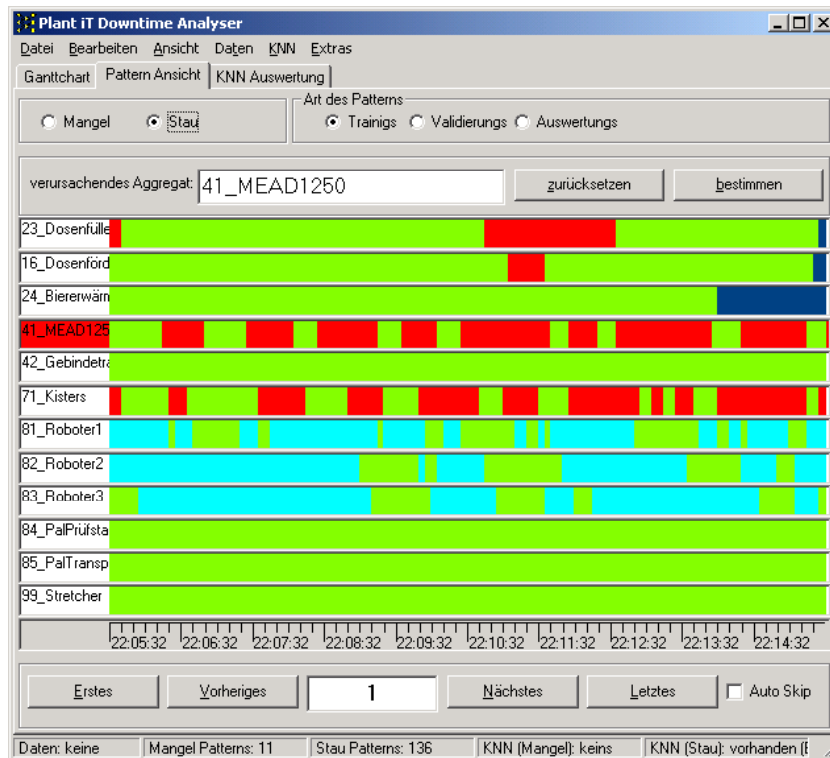


Bild 6.2: Erzeugen von Trainingspatterns mit dem „Downtime Analyser“

lyse als Erweiterung eines Datenerfassungssystems realisieren zu können, entstand das Software-Tool „Downtime Analyser“, welches sowohl die Trainings- als auch die Anwendungsphase künstlicher neuronaler Netzwerke unterstützt (vgl. Bild 6.1).

Dem Anwender wird hierbei die Möglichkeit gegeben, anhand des ihm zur Verfügung stehenden Gantt-Diagramms per Mausklick Trainingspatterns zu erzeugen (vgl. Bild 6.2).

Anschließend können für jede Linienkonstellation zwei Netzwerke (Mangel und Stau am Zentralaggregat) gestaltet und trainiert werden. Mit diesen Netzwerken ist es dann möglich, beliebige Abfüllzeiträume automatisch analysieren zu lassen. Eine übersichtliche Darstellung der Schwachstellen einer untersuchten Getränkedosenabfüllanlage zeigt Bild 6.3.

Die Anbindung dieses Softwaretools an eine kombinierte Dose- sowie Flaschen-Einweganlage einer großen deutschen Brauerei, bei welcher das im Rahmen in dieser Arbeit konzipierte System in Form einer Pilotversion zu Testzwecken implementiert wurde, lieferte erste erfolgversprechende Ergebnisse. Für bestimmte Artikel (Anlagenkonstellationen) konnten Netze trainiert werden, die den überwiegenden Anteil der Füllerstillstände korrekt ihren Verursachern zuordneten. Der Anlagenbetreiber verspricht sich vom installierten System Vorteile wie:

- Erhöhte Transparenz bei der Störungsanalyse
- Objektive Schwachstellenerkennung
- Effiziente Instandhaltung
- Verbesserte Entscheidungsqualität bei gleichzeitiger Arbeitszeiterparnis
- Effizienzsteigerung der Anlage
- Einsparen bei den Abfüllkosten

Da jedoch noch fehlerhafte Zustandsmeldungen von einzelnen Aggregaten aufgezeichnet werden, war eine endgültige Bewertung nicht möglich. Beim Einrichten und ersten Test vor Ort zusammen mit Angestellten der Brauerei wurde deutlich, dass für den Einsatz des Werkzeugs als Standard-Tool in der Praxis in Zukunft noch einige Erweiterungen und Arbeiten notwendig sein werden. Diese betreffen:

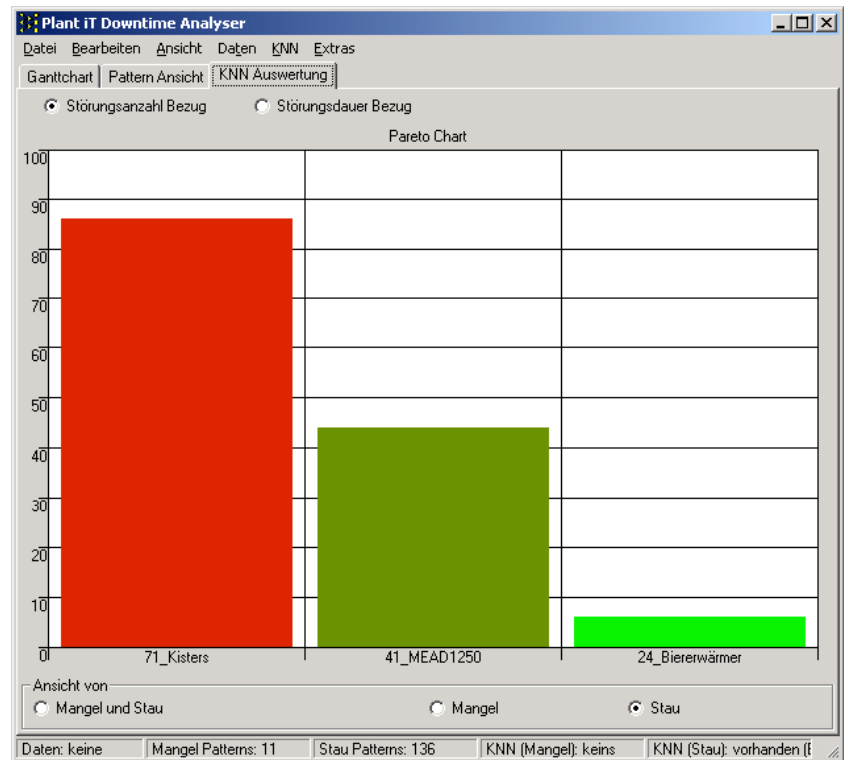


Bild 6.3: Darstellung von stauverursachenden Linienschwachstellen im Pareto-Chart des „Downtime Analysers“

- die Korrektur der Meldungsbereitstellung für die Maschinenzustände in den Steuerungen der Abfüllanlage,
- eine Erweiterung des Trainingstools um eine variable Länge des Bezugszeitraumes sowie die Anzeige der zum Zeitpunkt des Füllerstillstands aufgezeichneten Meldungstexte,
- die empirische Ermittlung von Vorgaben für das Netztraining sowie eines Grenzwertes für die Güte einer Stillstandsauswertung,
- und das Einführen des Verursachers „Unbekannt“ für nicht zuordenbare Füllerstillstände.

6.4 Übergeordnetes Leiten von Getränkeabfüllanlagen

In dieser Arbeit wurde ein völlig neuartiges Konzept für die Ausbringungsregelung von Maschinen und Geschwindigkeitsregelung von Transporteuren in Getränkeabfüllanlagen mit einem wissensbasierten unscharfen Regler als Hauptbestandteil entwickelt. Zielsetzung war hierbei, die schnelle Umsetzbarkeit in der Betriebspraxis zu ermöglichen. Deshalb wurde das System aufbauend auf dem derzeitigen Stand der Technik konzipiert. Aktuelle Entwicklungen der Maschinenhersteller greifen einige Ansätze des Konzepts bereits auf. So wurden Fortschritte im Bereich der Transporteurregelung, allerdings immer noch als Stufenregelung, erzielt. Auch konstruktive Veränderungen der Leitmaschine vorgeschalteter Pufferstrecken, hin zu breiteren und kürzeren Puffern, verbessern das Laufverhalten einer Anlage. Derartig verbesserte Massentransporteur sind seit kurzem bei einigen Maschinenherstellern erhältlich. Der Einsatz neuartiger optischer Stauschalter, wie er von einzelnen Herstellerfirmen bereits durchgeführt wurde, wird in Zukunft zusätzlich die Umsetzung des in dieser Arbeit entwickelten Konzepts erleichtern.

Das für das Leitsystem entwickelte und validierte Simulationsmodell für Getränkeabfüllanlagen bietet eine gute Basis für weitere Optimierungen und die Implementierung. Als Ergebnis stehen Funktionsbausteine zur Verfügung, die das schnelle Abbilden einer realen Anlage und somit die Anpassung des Leitsystems ermöglichen. Der modulare Aufbau des Konzepts trägt hierbei zusätzlich zur Effizienz bei. Insbesondere für eine Parameteranpassung, wie das Finden geeigneter Sollfüllungsgrade von Pufferabschnitten, stellt ein derartiges Modell ein geeignetes Werkzeug dar.

Wie die Ergebnisse der vergleichenden Simulationsstudien zeigen, liegt der Haupterfolg der übergeordneten Anlagenregelung in einer Reduzierung des Stop and Go Betriebs einzelner Maschinen. Die positiven Auswirkungen dieses Effekts wurden bereits erläutert. Darüber hinaus kann ein materialschonenderer und leiserer Betrieb von Anlagen gewährleistet werden, der durch seine „weiche“ Charakteristik auch das Bedienpersonal entlastet. Die unkomplizierte Vorgabe von Sollfüllungsgraden für die Behälterpufferstrecken ermöglicht den Betreibern, auf das Laufverhalten ihrer Anlagen einzuwirken, ohne Fachpersonal der Lieferanten zu benötigen. Auf diese Weise wird die Regelcharakteristik für Sie transparent und manipulierbar. Auf das, sich im Laufe der Lebensdauer einer Abfüllanlage ändernde Maschinenstörverhalten kann somit gezielt reagiert werden.

Hinzu kommt eine nicht zu unterschätzende Erhöhung des Anlageliefergrades durch den Einsatz des neu entwickelten Leitsystems. Diese betrug bei der betrachteten Referenzanlage etwa 5 %. Bezieht man diese Verbesserung auf die hierdurch mögliche Kostenersparnis bei einer Anlage mit einer Nennausbringung von

36 000 Flaschen/Stunde (vgl. 1.1), so ergeben sich jährliche Einsparungen in Höhe von ca. 250 000 €. Geht man von einem üblichen Return on Investment (ROI) von vier Jahren aus, so dürfte dieser übergeordneten Anlagenregelung Kosten in Höhe von 1 000 000 € verursachen, und wäre betriebswirtschaftlich immer noch gerechtfertigt. Da die Einführung des Systems bei einer Anlage mit realisierter Datenerfassung keine neuen Hardwarekomponenten, sondern lediglich Softwareänderungen und die Inbetriebnahme der geänderten Programme erfordert, sind derartig hohe Kosten kaum zu erwarten.

Um den Transfer der erhaltenen Ergebnisse in die Praxis zu ermöglichen, wird die enge Zusammenarbeit mit einem innovativen Maschinenlieferanten sowie einem aufgeschlossenen Anlagenbetreiber erforderlich sein. Benötigt wird eine neuere Abfüllanlage mit regelbaren Maschinenausbringungen sowie frequenzgeregelten Transportantrieben. Bei vorhandener Anbindung für ein Datenerfassungssystem sind die hardwaretechnischen Voraussetzungen für das übergeordnete Leiten gegeben. Die Software in den Maschinensteuerungen ist lediglich um die Vorgabe und Übernahme der in Tabelle 6.3 dargestellten Ist- und Sollwerte zu erweitern.

Tabelle 6.3: Ist- und Sollwerte der übergeordneten Anlagenregelung

	Auspack- maschine	Reinigungs- maschine	Inspektor- Füllmaschine	Ausstattungs- maschine	Einpack- maschine	Flaschen- transport
Istwerte						
aktuelle Ausbringung	X	X	X	X	X	
Flaschenzähler	X	X	X	X	X	
Mangel/Stau bzw Stauschalterbelegung	X	X	X	X	X	X
Sollwerte (Stellgrößen)						
Einstellausbringung bzw. Geschwindigkeit	X	X	X	X	X	X

Vor der Implementierung vor Ort sollte bei einem Pilotprojekt die zu leitende Anlage genau analysiert werden. Hierzu ist das Störverhalten der Maschinen zu untersuchen und ein Simulationsmodell der Anlage zu erstellen. An diesem können dann die Bausteine der übergeordneten Regelung angepasst und getestet werden. Parametereinstellungen können bereits vorab festgelegt werden, um Probleme beim späteren Praxiseinsatz zu minimieren.

6.5 Gesamtkonzept eines Leitstandes für Getränkeabfüllanlagen

In dieser Arbeit wurden unterschiedliche Nutzungsmöglichkeiten der Informationstechnik bei Abfüllanlagen aufgezeigt. Diese sollten in einem übergeordneten Leitssystem zusammengefasst werden, das neben der Datenerfassung und Auswertung gleichzeitig die Aufgaben der Vorgabe von Parametern und Sollwerten (zentrale Parameterverwaltung) und der übergeordneten Anlagenregelung wahrnimmt. Hierdurch wird das Zusammenwirken dieser einzelnen Bausteine ermöglicht. Das Leitssystem kann online auf veränderte Anlagenbedingungen reagieren. Zusätzlich kann durch gemeinsame Nutzung von Hard- und Standardsoftware eine kostengünstige Realisierung erreicht werden.

Ein derartiger Leitstand ist die Voraussetzung für die vertikale Integration des Abfüllbereichs in das Informationssystem eines Gesamtunternehmens (vgl. Bild 6.4) . Neben der Weitergabe von erfassten Informationen an Systeme des Qualitätsmanagements, der Materialwirtschaft und der Instandhaltung wird hier bei zunehmender Bedeutung von ERP (Enterprise Resource Planning)-Systemen wie SAP in Abfüllbetrieben auch die Übernahme von Daten aus überlagerten Systemen immer wichtiger. So könnte beispielsweise durch die Übergabe von Aufträgen aus der Produktionsplanung die Abfüllung bestimmter Produktionschargen ange-

stoßen werden. Beim Chargenwechsel ist mithilfe der zentralen Parameterverwaltung dann eine automatische Änderung von Sollwerten bei den einzelnen Maschinen oder sogar ein selbsttätiges Umrüsten (z. B. ein Greifkopfwechsel bei Packrobotern) möglich. Auch ein Versorgen des Bedienpersonals mit Arbeitsanweisungen auf Maschinendisplays ist denkbar. Hierdurch kann eine Verkürzung von Rüst- und Umstellzeiten erreicht werden.

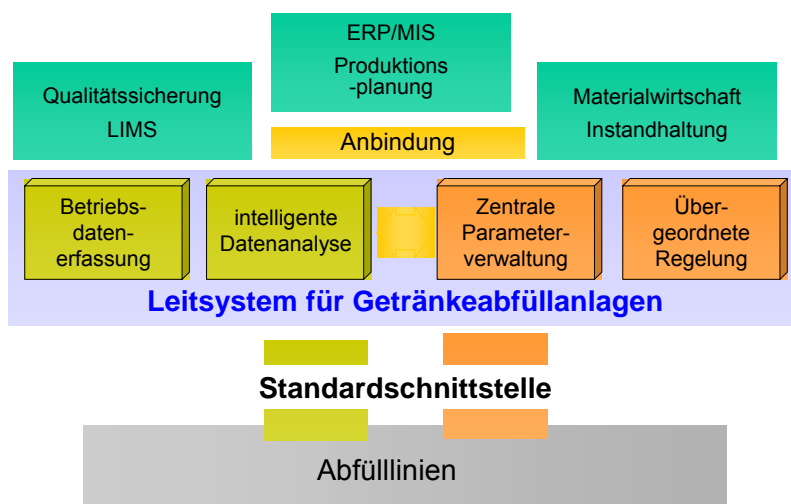


Bild 6.4: Das Leitsystem als Schnittstelle für die vertikale Integration des Abfüllbereichs

Die enge Verknüpfung des Leitstandes mit übergeordneten Systemen ermöglicht die Zuordnung erfasster Informationen zu bereits in elektronischer Form bestehenden Aufträgen. Durch diese Rückkopplung kann die Chargenrückverfolgbarkeit im Sinne der Qualitätssicherung verbessert werden. Darüber hinaus wird die Zuordnung entstehender Abfüllkosten für das Controlling vereinfacht und es wird eine effiziente Nutzung von ERP-Systeme entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Getränkeherstellung ermöglicht.

Die Realisierung eines vollständig integrierten Leitstandes im Flaschenkeller erscheint aufgrund der Ergebnisse dieser Arbeit sinnvoll und sollte das Ziel von Brauereien und Getränkeabfüllbetrieben für die Zukunft sein.

7 Zusammenfassung

Der größte Teil der Herstellungskosten entstehen bei Bier, Mineralwasser und Alkoholfreien Getränken heute bei der Abfüllung und Verpackung. Getränkehersteller befinden sich bei stagnierenden oder sinkenden Absätzen in starkem Verdrängungswettbewerb und sind besonders in diesen Bereichen auf Kostensenkungen angewiesen. Wie die kalkulatorische Betrachtung einer branchenüblichen Getränkeabfüllanlage mittlerer Größe zeigt, ermöglicht bei dieser eine Effizienzsteigerung von nur 1 % Einsparungen in Höhe von rund 50 000 €/Jahr. Zur Optimierung der prozesstechnischen Schritte der Getränkeherstellung wird die Informationstechnologie seit langem in Form verschiedener Werkzeuge eingesetzt. Die automatische Erfassung von Maschinen- und Prozessdaten ermöglicht die Dokumentation sowie die Bewertung der Prozessabläufe. Leitsysteme können auf Veränderungen reagieren und den Produktionsablauf verbessern. In der Getränkeabfülltechnik sind informationstechnische Systeme über die Ebene der Maschinensteuerungen hinaus jedoch bisher kaum im Einsatz.

Ziel dieser Arbeit war es, die Grundlagen für die vermehrte Nutzung von informationstechnischen Werkzeugen zur Optimierung der Getränkeabfüllung zu erarbeiten. Aufbauend auf der Analyse von Getränkeabfüllanlagen anhand erfasster Betriebsdaten und ihrer Modellierung galt es, Werkzeuge für die effiziente Datenauswertung und die übergeordnete Regelung von Abfüllanlagen im Sinne eines bis heute nicht zur Verfügung stehenden Leitsystems zu entwickeln und auch im Hinblick auf die Einsatzfähigkeit in der Praxis zu bewerten.

Grundlagen und Methoden

Getränkeabfüllanlagen bestehen aus zahlreichen, spezialisierten und verketteten Einzelmaschinen. Diese arbeiten mit Ausbringungen bis zu 20 Behälter/s. Störungen im Betrieb sind systembedingt und können nie ganz vermieden werden. Um ein sich Fortpflanzen von Stillständen entlang einer Abfüllanlage über Mangel- oder Stausituationen der nach- bzw. vorgeschalteten Maschine zu vermeiden, sind die Transporteure, welche Behälter von einer Maschine zur nächsten fördern, zusätzlich mit Speichervermögen ausgestattet. Hierdurch erfüllen sie eine Pufferfunktion. Ziel bei der herkömmlichen Auslegung von Getränkeabfüllanlagen ist es, ein möglichst kontinuierliches Arbeiten des Zentralaggregats zu ermöglichen. Als dieses wird in der Regel die Füll- und Verschleißmaschine angesehen, da sich Stillstände hier negativ auf die Produktqualität auswirken. Entsprechend besitzen die dem Zentralaggregat vor- und nachgeschalteten Maschinen im Vergleich höhere Ausbringungen. Als Beispiel wurde in dieser Arbeit eine Mehrwegabfüllanlage für Glasflaschen betrachtet.

Für das Modellieren von Getränkeabfüllanlagen wurden von zahlreichen Autoren analytische Ansätze, vor allem auf Basis von Markovprozessen, verfolgt. Um bei diesen stochastischen Modellen lösbarere Differenzialgleichungssysteme zu erreichen, sind grundlegende Vereinfachungen vorzunehmen. Diese können jedoch für die praxisorientierte Entwicklung neuer Werkzeuge nicht hingenommen werden. Deshalb wurde in dieser Arbeit für das Abbilden der Beispielanlage in einem experimentierfähigen System der Weg der detaillierteren, ereignisorientierten Materialflusssimulation eingeschlagen.

Basis für den Einsatz der Informationstechnologie bei Getränkeabfüllanlagen ist die informationstechnische Vernetzung der Maschinensteuerungen mit einem System in der Prozessleitebene. Viele Projekte scheiterten

in der Vergangenheit an dieser Verknüpfung, da der individuelle Programmieraufwand zu hohe Kosten verursachte und häufig nur eine fehlerbehaftete Datenübertragung erreicht werden konnte. Erster Schritt in dieser Arbeit war deshalb die Definition einer Standardschnittstelle für die Anbindung übergeordneter IT-Systeme an Maschinensteuerungen. Nach einer umfassenden Bedarfserhebung und der Analyse bestehender Individuallösungen konnten die auszutauschenden Daten zunächst inhaltlich zusammengestellt werden. Durch exakte Definition von Semantik und Format der benötigten Daten sowie die Vorgabe geeigneter technischer Kommunikationsmechanismen nach dem Stand der Technik konnte eine Schnittstellenbeschreibung erstellt werden. Diese fand ihre Unterstützung sowohl bei Getränkeabfüllbetrieben als auch bei den wichtigsten, in der deutschen Getränkebranche agierenden Maschinenbau- und Systemhäusern. Frühzeitige Umsetzungen der geschaffenen Vorgaben in Datenerfassungssystemen bestätigten das durch die Standardvorgaben erhoffte Einsparungspotenzial und die verbesserte Datenqualität.

Störverhalten von Maschinen

Einige der ersten, nach den Standardvorgaben realisierten Systeme lieferten auch die Datenbasis für die Analyse des Störverhaltens der Maschinen in Getränkeabfüllanlagen. Diese war zum Einen notwendig, um die Maschinen im Simulationsmodell der Beispielanlage mit realistischem sowie dynamischem Störverhalten abbilden zu können. Zum Anderen ergaben sich hieraus die Zielsetzungen für das Entwickeln neuer informationstechnischer Werkzeuge zum Verbessern des Anlagenbetriebs.

Den Grundlagen aus der Zuverlässigkeitstheorie entsprechend wurden zunächst mittlere Betriebszeiten (Mean time between failures) und mittlere Stördauern (Mean down time) bei Maschinen aus sechs verschiedenen Abfüllanlagen bestimmt. Hierbei zeigte sich, dass diese Kenngrößen bei Maschinen unterschiedlicher Anlagen und Betriebe stark voneinander abweichen. Durch Mittelwertbildung konnten repräsentative Werte bestimmt werden, die die Übertragbarkeit der in dieser Arbeit erhaltenen Simulationsergebnisse auf die Praxis sicherstellen. Entscheidend für ein Nachbilden in der Simulation sind neben den Mittelwerten auch die Verteilungen der Dauern von Betriebs- und Störzeiträumen. Bleiben bei Maschinen die Ausfallraten konstant, sind hierfür exponentiell verteilte Häufigkeiten zu erwarten. Dies konnte durch die exponentielle Näherung der Betriebs- und Stördauerverteilungen aller Maschinen einer hierfür analysierten Abfüllanlage bestätigt werden. Noch genauere Regressionsergebnisse lieferten Näherungen auf Basis der Weibullverteilung, die aufgrund ihres zusätzlichen α -Parameters für die Beschreibung von Maschinen bei sinkenden oder steigenden Ausfallraten genutzt werden kann. Da bezüglich einer sich ändernden Ausfallrate jedoch keine gesicherten Ergebnisse abgeleitet werden konnten, wurde für die Maschinensimulation exponentiell verteiltes Störverhalten zugrunde gelegt. Diese Analysen lieferten somit alle notwendigen Daten zur statischen Beschreibung des Maschinenstörverhaltens.

Bisher wurde üblicherweise davon ausgegangen, dass sich Maschinen einer Abfüllanlage in ihrer Störanfälligkeit unabhängig von Ausfällen anderer Aggregate verhalten. Dies widerspricht Erfahrungen aus der Praxis, nach welchen ein häufiges Stehenbleiben und Wiederanlaufen durch Mangel oder Stausituationen (Stop and Go Betrieb) zu erhöhter Eigenstöranfälligkeit einer Maschine führen kann. Diese Vermutung wurde anhand der zur Verfügung stehenden Betriebsdaten genauer untersucht. Sie konnte mithilfe des hierfür konzipierten Verfahrens der Zeitfensteranalyse für die kontinuierlich arbeitenden Maschinen einer Abfüllanlage erstmals in

Ihrer Tendenz bestätigt und in grober Näherung quantifiziert werden. Die Untersuchung eines weiteren Aggregats einer anderen Abfüllanlage bestätigte diese Ergebnisse.

Datenauswertung und wissensbasierte Schwachstellenanalyse

Die Ergebnisse der Datenanalysen machen deutlich, bei welchen Fragestellungen neu zu entwickelnde IT-Werkzeuge ansetzen müssen, um eine Effizienzsteigerung bei Abfüllanlagen zu ermöglichen. Zunächst müssen Anlagenbetreiber durch ein IT-System in der Auswertung erfasster Betriebsdaten möglichst weitgehend unterstützt werden. Aufbauend auf den in der Standardschnittstelle definierten Datenpunkten wurden zunächst die herkömmlichen Funktionen zur historischen Datenauswertung sowie zum technischen Berichtswesen zusammengestellt und als Standardempfehlung ausgearbeitet. Darüber hinaus wurde ein neues Konzept für die automatisierte Schwachstellenanalyse entwickelt und umgesetzt.

Als Schwachstelle werden in einer Abfüllanlage aus genannten Gründen vor allem die Maschinen angesehen, die vermehrt zu Stillständen des Zentralaggregats führen. Da sich Abfüllanlagen analytisch nur schwer beschreiben lassen, sind diese „Füllerstillstandsverursacher“ durch die herkömmlichen Auswertungen erfasster Betriebsdaten nach logischen Prinzipien nur schwer zu identifizieren. In dieser Arbeit wurde deshalb ein wissensbasiertes Werkzeug auf Basis eines künstlichen neuronalen Netzwerks entwickelt. Dieses wird im ersten Schritt des „überwachten Trainings“ durch die Vorgabe der Daten manuell durch einen mit der Anlage vertrauten Experten identifizierten und Füllerstillstandsverursachern der zu betrachtenden Abfüllanlage angepasst. Wurden eine ausreichende und repräsentative Zahl derartiger Datensätze „trainiert“, ist das System in der Lage, Füllerstillstandsverursacher bis auf wenige Ausnahmen anhand der aktuellen und zurückliegenden Zustände aller Maschinen einer Anlage zu erkennen.

Die Entwicklung des Systems erfolgte zunächst anhand von Testdaten, die mithilfe des Simulationsmodells der Beispielanlage erzeugt wurden. Je nach Topologie des künstlichen neuronalen Netzwerks konnten bis zu 100 % aller Füllerstillstände korrekt zugeordnet werden. Die geeignete Netztopologie, die Anbindung an ein standardisiertes Datenerfassungssystem und die notwendigen Schritte für das Netztraining wurden anschließend in ein benutzerfreundliches Softwaretool umgesetzt. Der praktische Einsatz dieser Software bei einer Abfüllanlage einer deutschen Brauerei lieferte bereits in der Pilotphase für den Betreiber vielversprechende Ergebnisse.

Übergeordnetes Leitsystem für Getränkeabfüllanlagen

Neben der Datenerfassung bietet die Vernetzung eines übergeordneten IT-Systems mit den Maschinensteuerungen auch die Möglichkeit, auf das Verhalten einer Abfüllanlage in Form einer stetigen Regelung einzuwirken. Ein auf diese Weise entstehendes Leitsystem für Getränkeabfüllanlagen ist bis heute jedoch noch nicht verfügbar. Im Sinne der Zielsetzung wurde in dieser Arbeit ein Leitsystem konzipiert, das den durchgehenden Betrieb aller Maschinen ohne Stop and Go Verhalten gewährleisten soll und somit zu einer Steigerung der Effizienz des Abfüllbetriebs beitragen kann.

Ein Bestandteil ist eine, im Gegensatz zu der bisher verfügbaren Stufenregelung auf Steuerungsebene, neu entworfener Regelung für die Behälterpufferstrecken. In Abhängigkeit von dem, mittels Softwaresensor ermittelten, Pufferfüllungsgrad, den über Stauschalter detektierten Lücken im Behälterstrom und den Aus-

bringungen der nachfolgenden Maschinen werden die Geschwindigkeiten der Förderketten so vorgegeben, dass sich auf den Massentransportabschnitten ein ununterbrochener Behälterstrom gleicher Breite einstellt. Dieser führt zu materialschonender, lärmärmer Förderung bei gleichzeitig hoher Puffereffektivität.

Die unscharfe Maschinenregelung (Fuzzy Control) stellt den zweiten, neu entwickelten Bestandteil des Leitsystems dar. Auf Grund der Eingangsgrößen, wie den aktuellen Maschinenausbringungen, Pufferfüllungsgraden und deren Regelabweichungen, ermittelt diese über für den Anwender transparente Wenn-Dann-Regeln Sollwerte für die Maschinenausbringungen. Durch frühzeitiges „Herunterregeln“ wird der Stop and Go Betrieb auch bei den dem Zentralaggregat vor- und nachgeschalteten Maschinen verringert. Entscheidend für die Anpassungsfähigkeit des Systems an unterschiedliche Anlagen und ein sich auch im Laufe der Lebensdauer einer Anlage veränderndes Maschinenstörverhalten ist die Möglichkeit der einfachen Vorgabe verschiedener Sollpufferfüllungsgrade.

Für die Entwicklung und Bewertung des Leitsystems wurde ein Simulationsmodell der in dieser Arbeit betrachteten Beispielanlage erstellt. Es wurde auf der Grundlage der Ergebnisse der Datenanalysen zum Maschinenstörverhalten parametrisiert. Um ausreichende Übereinstimmung des Modellverhaltens mit realen Anlagen sicherzustellen, wurden die entwickelten Modellbausteine durch das Nachbilden einer realen Anlage validiert. Abweichungen des Modells von der Wirklichkeit überschritten die 2-%-Marke bei keiner Bewertungsgröße und waren zum größten Teil auf systematische Fehler zurückzuführen.

Das Simulationsmodell wurde mit dem Leitsystem verknüpft. Durch Vorgabe verschiedener Parameter aus der großen Zahl möglicher Einstellungen mithilfe eines genetischen Algorithmus und der Bewertung anhand des Anlagenliefergrades konnten optimierte Sollfüllungsgrade für die Pufferstrecken der Beispielanlage in Abhängigkeit vom Maschinenstörverhalten bestimmt werden. In abschließenden Simulationsstudien wurde der übergeordnet geregelte Anlagenbetrieb mit dem unregelmäßigen sowie dem Betrieb mit ausschließlich der Transporteur- oder Maschinenregelung verglichen. Durch den Einsatz des kompletten Leitsystems konnte der Liefergrad der Beispielanlage um 5 % gesteigert werden. Diese Verbesserung ist zum größeren Teil auf die Geschwindigkeitsregelung der Förderketten zurückzuführen. Durch kombinierten Einsatz von Transporteur- und Maschinenregelung konnte der Stop and Go Betrieb aller behälterverarbeitenden Maschinen deutlich reduziert werden.

Diskussion der Ergebnisse

Die in dieser Arbeit entwickelten Methoden ermöglichen Getränkeabfüllbetrieben das Optimieren ihrer Abfüllanlagen durch die bisher hierfür weitgehend ungenutzte Informationstechnologie. Hierbei kann eine kostengünstige Implementierung durch den Bezug auf die spezifizierten Standardvorgaben erreicht werden. Die Analyse erster nach diesen Vorgaben aufgezeichneter sowie älterer vorliegender Betriebsdaten in dieser Arbeit lieferten abgesicherte Erkenntnisse zum Störverhalten von Maschinen in Getränkeabfüllanlagen. Erstmals konnte der in der Praxis vermutete, negative Einfluss eines Stop and Go Betriebs kontinuierlich arbeitender Maschinen quantifiziert werden. Das neu entwickelte wissensbasierte Auswertewerkzeug ermöglicht den Anlagenbetreibern, die Suche nach Schwachstellen ihrer Linien zeitsparend durchzuführen und deren Effizienz durch gezielte Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen zu verbessern. Das neu konzipierte übergeordnete Leitsystem verbessert das Betriebsverhalten von Abfüllanlagen und trägt vor allem durch

die Reduzierung des Stop and Go Betriebs der Maschinen zur Material- und Personalentlastung bei. Der größte wirtschaftliche Vorteil liegt in der Steigerung des Anlagenliefergrades, die bei der betrachteten Beispielanlage rund 5 % betrug. Diese kann deutliche Einsparungen (im Beispiel etwa in Höhe von 250 000 €/Jahr) bewirken. Dies führt zu kurzen zu erwartenden Return on Investment-Zeiträumen bei zukünftigem Praxiseinsatz des Leitsystems. Hierbei sollten die entwickelten Komponenten zu einem Leitstand zusammengefasst werden, der dann, vergleichbar mit einem Leitsystem in der Prozesstechnik, als Schnittstelle für die Integration des Abfüllbereichs in das informationstechnologische Gesamtsystems eines Getränkeunternehmens dienen kann.

Literaturverzeichnis

- [1] AAB process automation: Operate IT.
[http://138.227.174.121/GLOBAL/SCOT/SCOT296.nsf/VerityDisplay/A3D463D5CD75F032C1256C30005F35C3/\\$File/3BSE026160R0203.pdf](http://138.227.174.121/GLOBAL/SCOT/SCOT296.nsf/VerityDisplay/A3D463D5CD75F032C1256C30005F35C3/$File/3BSE026160R0203.pdf), Juli 2003
- [2] AHRENS, W.; SCHEUERLEIN, H.-J.; SPOHR, G.-U.: Informationsorientierte Leittechnik. München u. a., Oldenburg, 1997
- [3] AVENAUS, R.: Skriptum zur Vorlesung über Zuverlässigkeitstheorie. Universität der Bundeswehr, München, 2003
- [4] BACK, W.; KROTTENTHALER, M.; VOIGT, T.; STIPPLER, K.; HEGE, U.; VAN DE BRAAK, B.: Neue Regelung für den Abläutervorgang im Läuterbottich. Brauwelt 139(1999), Nr. 37-38, S. 1666-1668
- [5] BECHMANN, F.: Neue Impulse – Betriebsdatenerfassung für Flaschenabfülllinien. Getränkeindustrie 49 (1995), Nr. 7, S. 507-511
- [6] BECHMANN, F.; KEHL, H.; RÄDLER, TH.; WEISSER, H.: Computer Aided Techniques in Breweries. Zouterwoude: European Brewery Convention Technology & Engineering Forum, Report, 1998
- [7] BECHMANN, F.; KEHL, H.; WEISSER, H.: Betriebsdatenerfassung in der Brau- und Getränkeindustrie. Brauwelt 136 (1996), Nr. 3, S. 76-78
- [8] BERG, F.: Technische Flaschenbetriebskontrolle. In: Brauwelt 108 (1968), Nr. 45/46, S. 833-838
- [9] BIELER, K.: Vergleich von Multilayer Perzeptron, Kohonen Maps und Hidden-Markov-Modellen für die Fehlerdiagnose in elektrischen Energieübertragungssystemen. Technische Hochschule Zürich, Dissertation, 1994
- [10] BOTHE, H.: Fuzzy Logic – Einführung in Theorie und Anwendungen. Berlin: Springer, 1995
- [11] BRAGLIA, M.: Designing a belt conveyor controller in a bottling plant using fuzzy logic and genetic algorithms. Packaging Technology and Science 14 (2001), Nr. 6, S. 231-248
- [12] BUZACOTT, J.: Stochastic models of manufacturing systems. Engelwood Cliffs: Prentice Hall, 1993
- [13] CAVALLI, R.: Monitoring and Information System Applied to the Bottling Area. In: EBC (Ed.): Proceedings of the 24th Congress in Oslo (1993). Oxford: Oxford University Press, S. 577-585
- [14] CHEN, M.: Analysis and design of the multi layer perceptron using polynomial basic functions. Dissertation, The University of Texas, 1991
- [15] DIN 19 235: Messen, Steuern, Regeln; Meldung von Betriebszuständen. Berlin: Beuth, 1985
- [16] DIN 19 237: Messen, Steuern, Regeln; Begriffe. Berlin: Beuth, 1980
- [17] DIN 19 245: PROFIBUS-Norm Teil 1 und Teil 2. Berlin: Beuth, 1990
- [18] DIN 40 041: Zuverlässigkeit - Begriffe. Berlin: Beuth, 1990
- [19] DIN 8782: Getränke-Abfülltechnik – Begriffe für Abfüllanlagen und einzelne Aggregate. Berlin: Beuth, 1984
- [20] DIN EN 292: Sicherheit von Maschinen; Grundbegriffe, allgemeine Gestaltungsleitsätze. Berlin: Beuth, 1991
- [21] DOLGUI, A., EREMEEV, A., KOLOKOLOV, A.; SIGAEV, V.: A Genetic Algorithm for the Allocation of Buffer Storage Capacities in a Production Line with Unreliable Machines. Journal of Mathematical Modelling and Algorithms 1 (2002), Nr. 2, S. 89–104

- [22] EVERS, H.: Anforderungen und Auslegung von künftigen Abfüllanlagen. VLB-Berlin, Unterlagen zur 89. Brau- und maschinentechnischen Arbeitstagung der VLB, 2002
- [23] FELLNER, M.; DELGADO, A.; BECKER, T.: Functional neurons in dynamic neural networks for bioprocess modelling. *Bioprocess and Biosystems Engineering* 25 (2003), Nr. 5, S. 263-270
- [24] FOITZIK, B.: Abfüllanlagen für die Getränkeindustrie. Landsberg/Lech, Verlag Moderne Industrie, 2000
- [25] FOLKERTS, G.; KIRSCHFINK, H.; WEBER, R.: Einsatz von Fuzzy-Control für Verkehrsbeeinflussungsanlagen im Außerortsbereich. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (Hrsg.), Bonn, Bundesdruckerei GmbH, 2001
- [26] FRÜH, K.F. (Hrsg.): Handbuch der Prozeßautomatisierung. 2. Auflage, München u. a., Oldenburg, 2000
- [27] GALLAGER, M.: Multi-Layer Perceptron Error Surfaces. University of Queensland, Department of Computer Science and Electrical Engineering, Dissertation, 1999
- [28] GEA Tuchenhagen Automation: OTAS Plant - Open Technology Automation Solutions. Firmenschrift, http://www.tuchenhagen.com/brochures/product_brochures/710e.pdf, Juli 2003
- [29] GRABRUCKER, R.: Abfüllanlagen: Planung, Ausschreibung und Abnahme. Freising: TU München, Lehrstuhl für Brauereianlagen und Lebensmittel-Verpackungstechnik, Unterlagen zum 7. Flaschenkellerseminar, 2000
- [30] GRABRUCKER, R.: Berechnung fixer und variabler Abfüllkosten bei unterschiedlichen Anlagen-Größen. Freising: TU München, Lehrstuhl für Brauereianlagen und Lebensmittel-Verpackungstechnik, Internes Dokument, 2003
- [31] GRABRUCKER, R.; WEISSER, H.: Kapazitätsberechnung von Abfüllanlagen. *Brauindustrie* 83 (1998), Nr. 8, S 475-482
- [32] GÜNTHER A.; KADACHI M.: Simulationsgestützte Planung und Nutzung von Getränke-Abfüllanlagen. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben Nr. 12265-N (AiF), Technische Universität München, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, 2001
- [33] HAN, M-S.; PARK, D-J.: Performance analysis and optimisation of cyclic production lines. *IEE Transactions* 34 (2002), Nr 4, S 411-422
- [34] HÄRTE, F. L.: Efficiency analysis of packaging lines. Delft: University of Technology Delft, Department of Mathematics and Computer Science, Statistics, Stochastics and Operation Research Unit, MSc-thesis, 1997
- [35] HÄTÖNEN, K.; KLEMETTINEN, M.; MANNILA, H.; RÖNKÄINEN, P.; TOIVONEN, H.: TASA: Telecommunications Alarm Sequence Analyzer, or "How to enjoy faults in your network". Proceedings zum IEEE/IFIP 1996 Network Operations and Management Symposium, Kyoto, 1996
- [36] HEGE, U.: Regelung biotechnischer Chargenprozesse mittels unscharfer Logik. TU München, Lehrstuhl für Fluidmechanik und Prozessautomation, Dissertation, 1997
- [37] HEYSE, K.-U. (Hrsg.): Praxishandbuch der Brauerei. Hamburg, Behr's, 9. Aktualisierungslieferung 04/2003
- [38] HUANG, Y.; WHITTAKER, A.; LACEY, R.: Automation for Food Engineering. Boca Raton u. a., CRC Press, 2001
- [39] IEEE 802.3: Local and metropolitan area networks - Specific requirements, Part 3: Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD), 1998
- [40] Inform GmbH: fuzzyTECH 5.3 Benutzerhandbuch, Firmenschrift, Aachen: 1999

- [41] ISO/IEC 7498-1: Information technology - Open Systems Interconnection - Basic Reference Model: The Basic Model, International Organisation for Standardisation, 1994
- [42] ISO/IEC 9075-1: Information technology - Database languages - SQL - Part 1: Framework (SQL/Framework), International Organisation for Standardisation, 1999
- [43] JAANINEH, G.; MAIJOHANN, M.: Fuzzy-Logik und Fuzzy-Control. Würzburg, Vogel, 1996
- [44] JIRIKOVSKY, S., WEISSER, H.: Scuffing – Resistance of Glass Bottles to Internal Pressure and Shock Impact. 3rd Nutrition Symposium – European Research towards Safer and Better Food, 18.-20.10.1998, Karlsruhe, S. 426-434
- [45] KEHL, H.: Organisation und Technik integrierter Informations- und Kommunikationssysteme in Brauereien. Freising-Weihenstephan: TU München, Lehrstuhl für Brauereianlagen und Lebensmittel-Verpackungstechnik, Dissertation, 1996
- [46] KHS Maschinen- und Anlagenbau Aktiengesellschaft: Innoline Behältertransportsysteme. Firmenschrift, <http://www.khs-ag.com/medien/pdf/produkte/innoline/1001924.pdf>, Juli 2003
- [47] KNUDSEN, J.W.: High Level Information Technology in Bottling. In: EBC (Ed.): Proceedings of the 25th Congress in Bruxelles (1995). Oxford: Oxford University Press, 457-466
- [48] KOCH, R.: Betriebliches Berichtswesen als Informations- und Steuerungsinstrument. Frankfurt a. M.: Peter Lang, 1993
- [49] KOUIKOGLOU, S.: Sensitivity analysis and decomposition of unreliable production lines with blocking, Annals of Operations Research 93 (2000), Nr. 1-4, S. 245-264
- [50] KOZIAN, D.; SCHULZ, TH.; PETELER, K.: Manufacturing Execution-System (MES) - Anwendernutzen am Praxisbeispiel. In: Meinhardt, S. (Hrsg.): Fertigungsmanagement in der Supply Chain, dpunkt-Verlag, Heidelberg 2001
- [51] KRATZER, K. P.: Neuronale Netze - Grundlagen und Anwendungen. 2. Auflage, München u. a., Hanser, 1993
- [52] Kronen AG: SynCo Behältertransport. Firmenschrift, http://www.krones.de/pdf/synco_d.pdf, Juli 2003
- [53] KRUG, W.: Modellierung, Simulation und Optimierung für Prozesse der Fertigung, Organisation und Logistik, Ghent u. a., SCS-Europe, 2001
- [54] Kunze, W.: Technologie Brauer und Mälzer. Berlin, VLB, 1998
- [55] LENZNER, G.: Cost of Ownership: Brauwelt 141 (2001), Nr. 8, S. 274-277
- [56] Management Intelligenter Technologien GmbH (MIT): *DataEngine* Überblick und Benutzerdokumentation. Firmenschrift, Aachen, 2000
- [57] MANNILA, H.; TOIVONEN, H.; VERKAMO, I.: Discovery of frequent episodes in event sequences. Data Mining and Knowledge Discovery 1 (1997), Nr. 3, S. 259-289.
- [58] MEXIS, N.: Handbuch Schwachstellenanalyse und –beseitigung. 2. Auflage, Verl. TÜV Rheinland, 1994
- [59] MÖLLER-HERGT, G.; BRENDDEL, TH.; NÖSSNER: BDE-System für die neue Abfüllanlage mit multifunktionalem Verpackungsbereich. Brauwelt 142 (2002), Nr. 45, S. 1656-1660
- [60] MURNLEITNER, E.; BECKER, T.; DELGADO, A.: State Detection and Control of Overloads in the Anaerobic Wastewater Treatment using Fuzzy Logic. Water Research 36 (2002), 201-211

- [61] PAPADOPOULOS H. T.; HEAVEY, C.: Queueing theory in manufacturing systems analysis and design: A classification of models for production and transfer lines. *European Journal of Operational Research* 92 (1996), Nr. 1, S. 1-27
- [62] PETERSEN, H.: Brauereianlagen. Nürnberg, Fachverlag Hans Carl, 1993
- [63] POLKE, M. (HRSG.): Prozessleittechnik. 2. Auflage, München u. a., Oldenburg, 1994
- [64] Proleit AG: Plant Acquis iT, Firmenschrift, http://www.proleit.de/d/products/DataSheet_AcquisIT_d.pdf, Juli 2003
- [65] Proleit AG: Plant Direct iT, Firmenschrift, http://www.proleit.de/d/products/DataSheet_DirectIT_d.pdf, Juli 2003
- [66] RÄDLER, T.: Modellierung und Simulation von Abfülllinien. Freising-Weihenstephan: TU München, Lehrstuhl für Brauereianlagen und Lebensmittel-Verpackungstechnik, Dissertation, 1999
- [67] RÄDLER, T.: Stochastische Modellierung von Abfülllinien. *Chemie Ingenieur Technik* 72 (2000), Nr. 6, S 627-630
- [68] SCHAUER, W.: Prozeßleittechnik im Umbruch – neue Architekturen der Leitsysteme. Universität Rostock, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Unterlagen zum 9. Symposium Maritime Elektronik, 1998
- [69] SCHMIDT, B.: Systemanalyse und Modellaufbau – Grundlagen der Simulationstechnik. Heidelberg u. a., Springer-Verlag, 1985
- [70] SCHNELL, G. (Hrsg.): Bussysteme in der Automatisierungstechnik. 5. Auflage, Braunschweig u. a., 2003
- [71] SCHRAFT, D.; KUHN, C.; HUEN, E.; HUEN, J.: Situationsanalyse in der deutschen Lebensmittelindustrie. Ergebnisse einer Umfrage des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung, Hamburg, LT Food Medien Verlag, 2001
- [72] SEDLACZEK, J.: Projektbegleitende Anlagensimulation spart Zeit und Kosten. *Brauwelt* 140 (2000), Nr. 8, S. 311-315
- [73] SIEGERT, H.-J.: Simulation zeitdiskreter Systeme, München u. a., Oldenburg, 1991
- [74] Siemens AG Automation and Drives: Prozessleitsystem SIMATIC PCS 7. Firmenschrift, http://pcs.khe.siemens.com/efiles/pcs7/pdf/00/prdbrief/kb_pcs7.pdf, Juli 2003
- [75] STROHMANN, G.: Automatisierungstechnik 1. 4. Auflage, München u. a., Oldenburg, 1998
- [76] Syskron GmbH: Syskron präsentiert Neues aus der Prozeßleittechnik. Firmenschrift, http://www.krones.de/syskron/de/1134_4092_DEU_krones_group.htm, Juli 2003
- [77] Tecnomatix Technologies GmbH & Co. KG: eM-Plant 4.6 Referenzhandbuch, Firmenschrift, Stuttgart, 2000
- [78] TILL, T.: Automatisierung mit Fuzzy-Logik. 2. Auflage: München: Franzis-Verlag, 1993
- [79] TRAEGER, D.: Einführung in die Fuzzy-Logik. 2. Auflage, Stuttgart, Teubner, 1994
- [80] ULRICH, P.: Abfüllmanagement und Betriebsdatenerfassung im Flaschenkeller - Realisierungserfahrungen. *Brauwelt* 131 (1991), Nr. 21, 874-879
- [81] Universität Stuttgart; Universität Tübingen: Stuttgart Neural Network Simulator. Dokumentation, <http://www-ra.informatik.uni-tuebingen.de/SNNS/>, Juli 2003
- [82] VDI Richtlinie 3633, Blatt 1: Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen – Grundlagen. Berlin, Beuth, 2000
- [83] VOGELPOHL, H.: Produkthaftung bei der Flaschenabfüllung. *Brauindustrie* 80 (1995), Nr. 3, S. 170-174

-
- [84] VOGELPOHL, H.: Skript Brauereianlagen. Freising-Weihenstephan: TU München, Lehrstuhl für Brauereianlagen und Lebensmittel-Verpackungstechnik, 2003
- [85] VOIGT, T.; RÄDLER, T.; WEISSER, H.: Das Standard-Pflichtenheft für Betriebsdatenerfassung im Abfüllbetrieb, Foren-Dokumentation zur Drinktec-Interbrau, 2001
- [86] VOIGT, T.; RÄDLER, T.; WEISSER, H.: Das Standard-Pflichtenheft für die Betriebsdatenerfassung im Abfüllbetrieb. Der Weihenstephaner 69 (2001), Nr. 4, S. 154-157
- [87] VOIGT, T.; RÄDLER, T.; WEISSER, H.: Das Standard-Pflichtenheft für die Betriebsdatenerfassung im Abfüllbetrieb. Der Mineralbrunnen 52 (2002), Nr. 3, S. 88-91
- [88] VOIGT, T.; RÄDLER, T.; WEISSER, H.: Pflichtenheft, Standard-Pflichtenheft für BDE-Systeme innerhalb von Getränkeabfülllinien, Spezielle Technische Liefer- und Bezugsbedingungen (STLB) für die BDE-Vorbereitung von Maschinen zur Getränkeabfüllung. Bonn: Gesellschaft für Öffentlichkeitsarbeit der deutschen Brauwirtschaft e. V., 2001
- [89] VOIGT, T.; RÄDLER, T.; WEISSER, H.: Standard-Interface between Field and Production Level of Filling Lines. Proceedings of the 28th EBC Congress. Nürnberg: Fachverlag Hans Carl, 2001
- [90] VOIGT, T.; WEISSER, H.: Standards as the Basis for lean and cost-efficient Data Acquisition Systems. Proceedings of the 29th EBC Congress. Nürnberg: Fachverlag Hans Carl, 2003
- [91] WEICHERT, A.: Zeitreihenanalyse natürlicher Systeme mit neuronalen Netzen und Methoden der statischen Physik sowie der nichtlinearen Dynamik. Universität Oldenburg, Fachbereich Physik, Dissertation, 1998
- [92] WEISSER, H.: Betriebsdatenerfassung in der Getränkeindustrie. Flüssiges Obst 64 (1997), Nr. 9, S. 502-506
- [93] ZELL, A.: Simulation neuronaler Netze. München: Oldenburg, 1999
- [94] Zuverlässigkeitstheorie, Instandhaltung und Optimierung, Beiträge zur Modellierung zufälliger Prozesse sowie zur Polyedertheorie. Fakultät für Maschinenbau und Fahrzeugtechnik, Hochschule für Verkehrswesen "Friedrich List", Dresden, 1990

Anhang

2 Welche Berichte werden benötigt?

1. Chargenbericht

ja nein

Empfänger/Unternehmensebene: _____

Verdichtungsgrad: hoch mittel niedrig

2. Schichtbericht

ja nein

Empfänger/Unternehmensebene: _____

Verdichtungsgrad: hoch mittel niedrig

3. Artikelbericht

ja nein

Empfänger/Unternehmensebene: _____

Inhalt: Qualitäts-, Verbrauchs-, Produktions-, Stör-, Maschinen-, Personaldaten (bitte unterstreichen)

Verdichtungsgrad: hoch mittel niedrig

4. Abfüllbericht

ja nein

Empfänger/Unternehmensebene: _____

Inhalt: Qualitäts-, Verbrauchs-, Produktions-, Stör-, Maschinen-, Personaldaten (bitte unterstreichen)

Zeitlicher Rhythmus: täglich, wöchentlich, monatlich, _____

Verdichtungsgrad: hoch mittel niedrig

5. Maschinenbericht

ja nein

Empfänger/Unternehmensebene: _____

Inhalt: Laufzeiten (Instandhaltung), Verbräuche, Störungen, _____

Verdichtungsgrad: hoch mittel niedrig

6. Störberichteja nein

Empfänger/Unternehmensebene: _____

Zeitlicher Rhythmus: täglich, wöchentlich, monatlich, _____

Störungsrückverfolgung: ja nein (→ Schwachstellenanalyse)**7. Qualitätsberichte:****Inspektorausschleusungsbericht:** ja nein **CIP-Bericht:** ja nein **8. Sonstige Berichte:****Wochenberichte:** Empfänger: _____

Inhalt (Berichte nennen): _____

Monatsberichte: Empfänger: _____

Inhalt (Berichte nennen): _____

Quartalsberichte: Empfänger: _____

Inhalt (Berichte nennen): _____

Jahresberichte: Empfänger: _____

Inhalt (Berichte nennen): _____

3 Welche Kennzahlen werden benötigt?

1. **Wirkungsgrad** nach DIN mit Abzug anlagenfremder Störungen: pro Aggregat gesamte Anlage

2. **Wirkungsgrad** ohne Abzug anlagenfremder Störungen: pro Aggregat gesamte Anlage

3. **Ausnutzungsgrad:** gesamte Anlage

4. **Verbrauchszahlen bezogen auf Flasche:** _____

5. **Verbrauchszahlen bezogen auf hl:** _____

6. **Verbrauchszahlen bezogen auf Arbeitszeit:** _____

4 Welche Schnittstellen werden benötigt?

Zu übergeordneter betriebswirtschaftlicher Software: ja nein

Zu Materialwirtschaft: ja nein

Zu technischem Controlling: ja nein

Zu Qualitätssicherung, LIMS: ja nein

Zu Instandhaltung: ja nein

5 Wie stellen Sie sich ein sinnvolles Berichtswesen vor?

(Umfang der Berichte, grafische Auswertungen, Zugriffsmöglichkeiten auf die Daten, Auswertungen mit Standardsoftware wie Excel usw.)

Anhang B. Datenerfassungssystem Weihenstephaner Staatsbrauerei

Chargenplanung

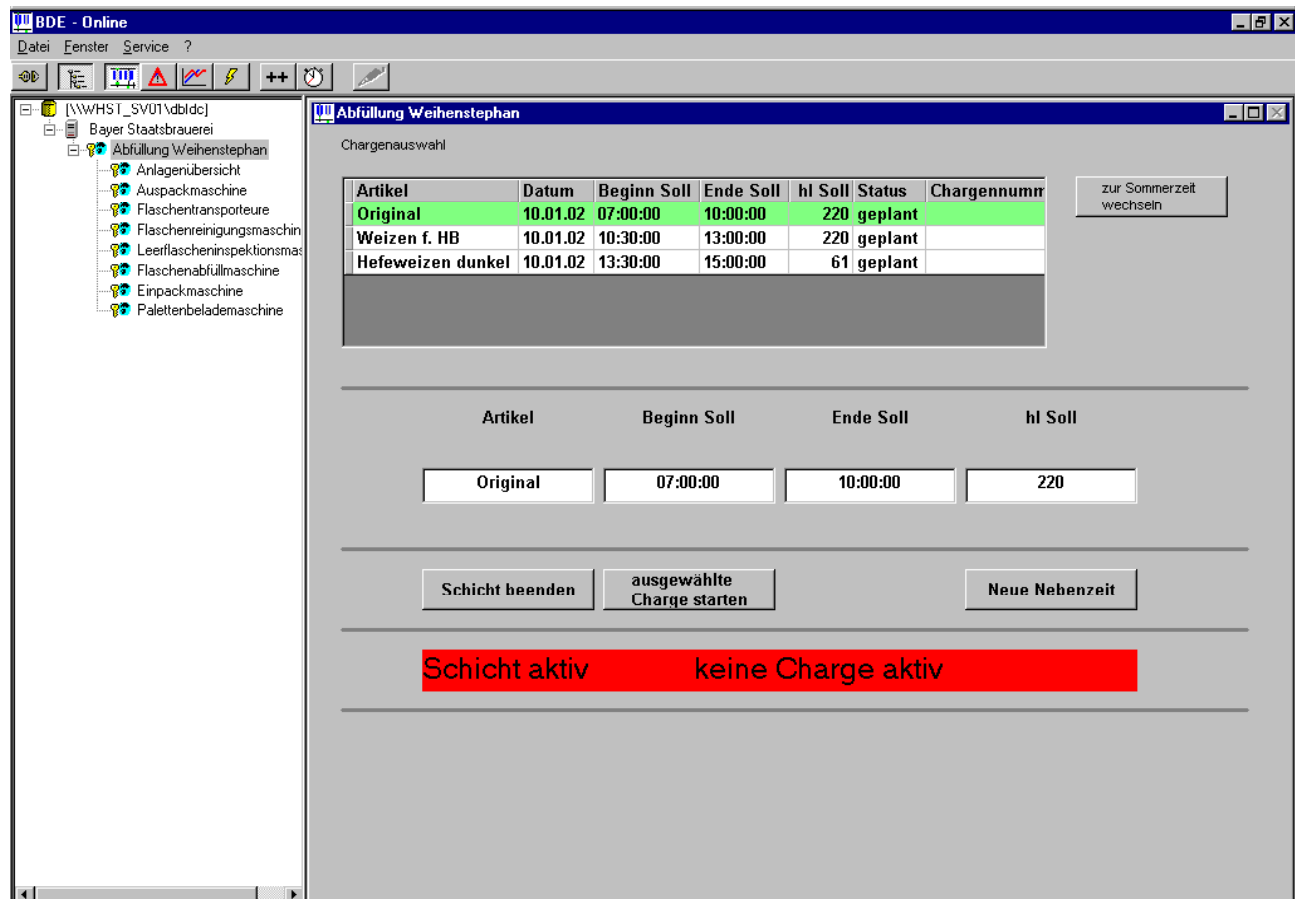
Um die Aufzeichnung von einzelnen Chargen mit exakten Planungsdaten zu ermöglichen, wurde eine Produktionsplanungstafel auf Basis von Microsoft Access entwickelt. Hierzu kann der Abfüllplan, z. B. zu Beginn jeder Woche, in die nachfolgend dargestellte Plantafel eingetragen werden.

Artikel	Datum	hl Soll	Beginn Soll	Ende Soll	Status
Orig USA Bavarian H.	29.11.01	666	06:55	08:55	geplant
Festbier	29.11.01	800	05:00	06:00	geplant
Orig USA Bavarian H.	29.11.01	2800	08:00	10:00	geplant
Festbier	03.12.01	800	08:00	16:00	ausgeführt
FESTBIER USA BAVARIAN	09.01.02	400	15:00	16:00	ausgeführt
Hefeweizen dunkel	10.01.02	61	13:30	15:00	geplant
Weizen f. HB	10.01.02	220	10:30	13:00	geplant
Original	10.01.02	220	07:00	10:00	aktiv
Original	14.01.02	400	13:30	15:00	geplant
Festbier	14.01.02	800	07:00	12:00	geplant
	14.01.02	0			geplant

Plantafel für die Chargenplanung

Online-Werkzeug

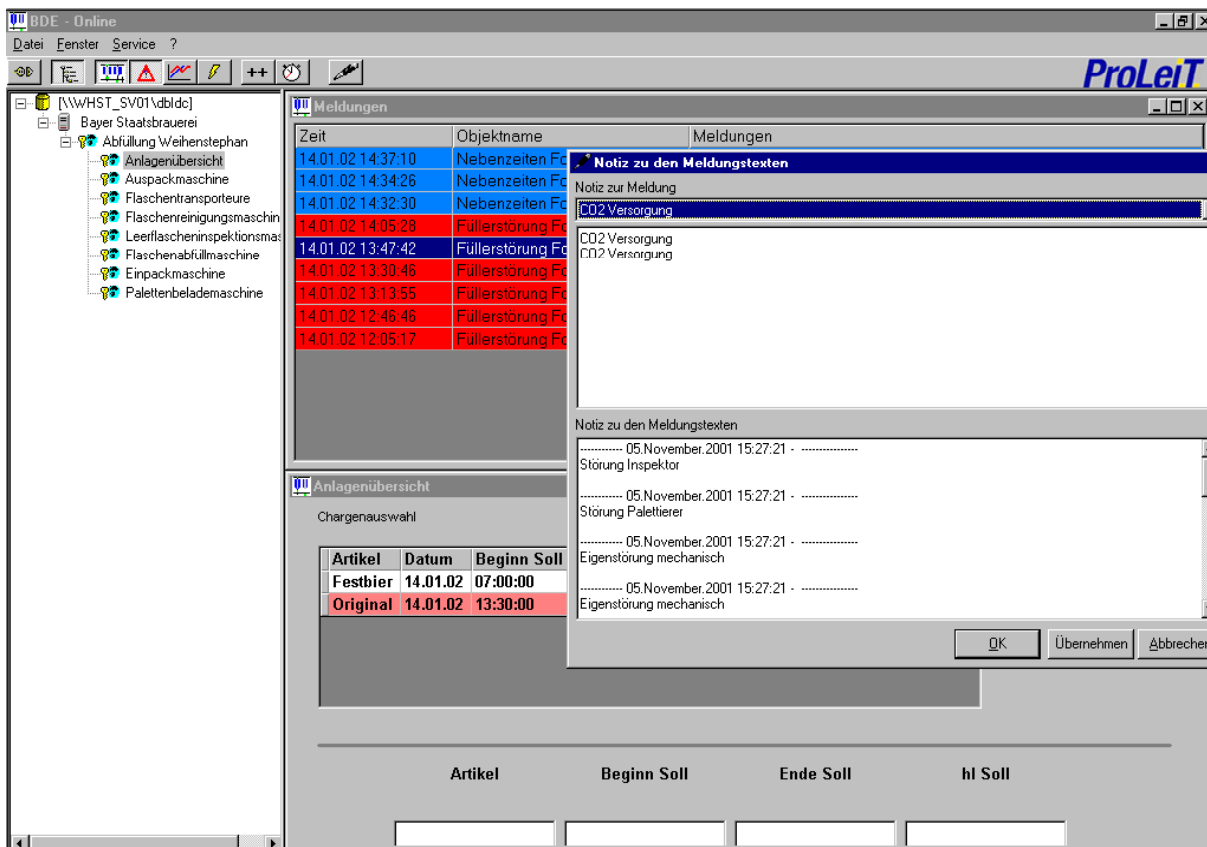
Da keine Online-Signale für den Beginn und das Ende von Chargen und Schichten aus den angebundenen Maschinensteuerungen erhalten werden konnten, wurde das nachfolgend dargestellte Werkzeug für das manuelle Starten und Beenden der Aufzeichnungen entwickelt. Falls mehrere Nebenzeiten unterschiedlicher Ursache nacheinander auftreten, können diese ebenfalls von Hand getrennt aufgezeichnet werden.



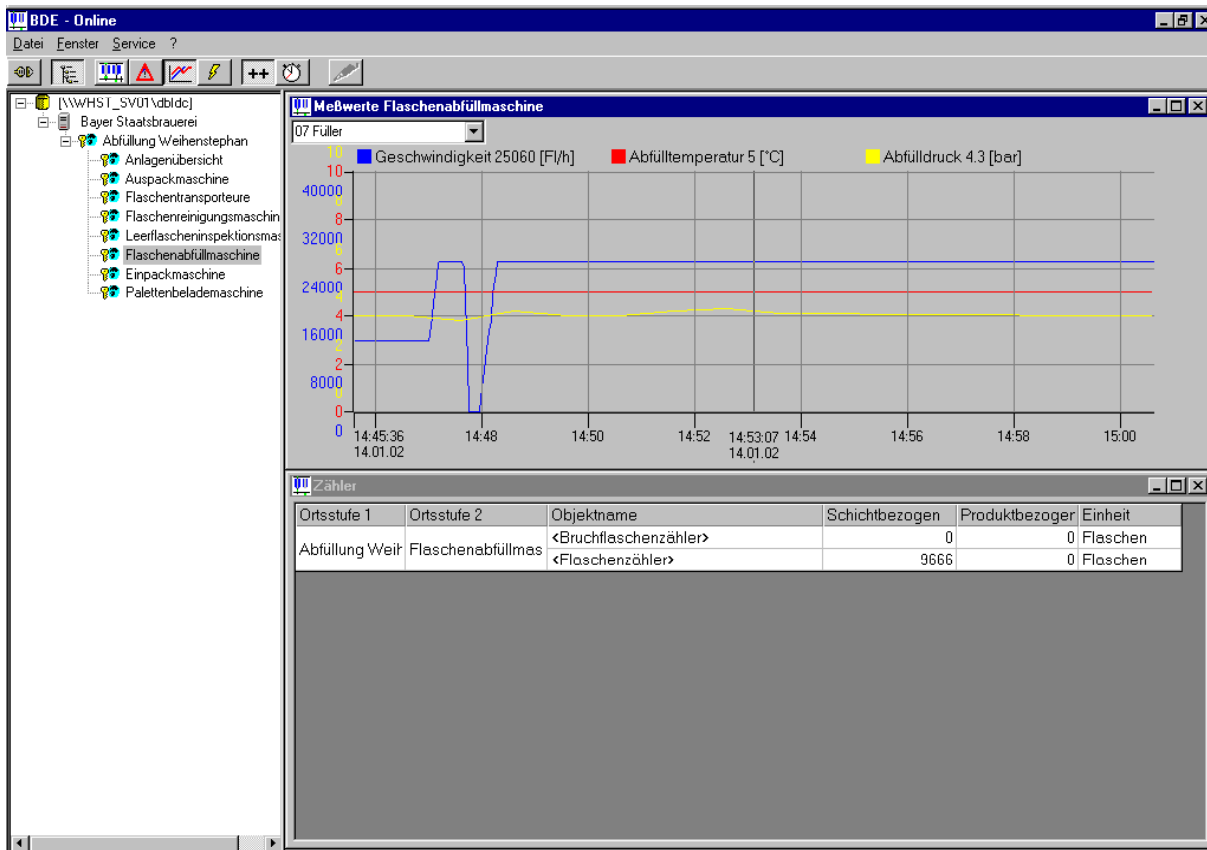
Online-Werkzeug zum zu Starten und Beenden von Chargen und Schichten

Dokumentieren von Füllerstillständen und Nebenzeiten

Das System erfasst automatisch Füllerstillstände mit längerer Dauer sowie Nebenzeiten. Diesen kann im Nachhinein eine Notiz hinzugefügt werden, die dann in einem Bericht mit ausgegeben wird und Aufschluss über die genaue Ursache eines Füllerstillstandes bzw. den Grund einer Nebenzeit geben soll. Die Notizen können im Meldungsfenster des Onlinewerkzeugs aus einer Liste von Standard-Notizen ausgewählt, oder von Hand geschrieben werden.



Dokumentieren von Füllerstillständen und Nebenzeiten



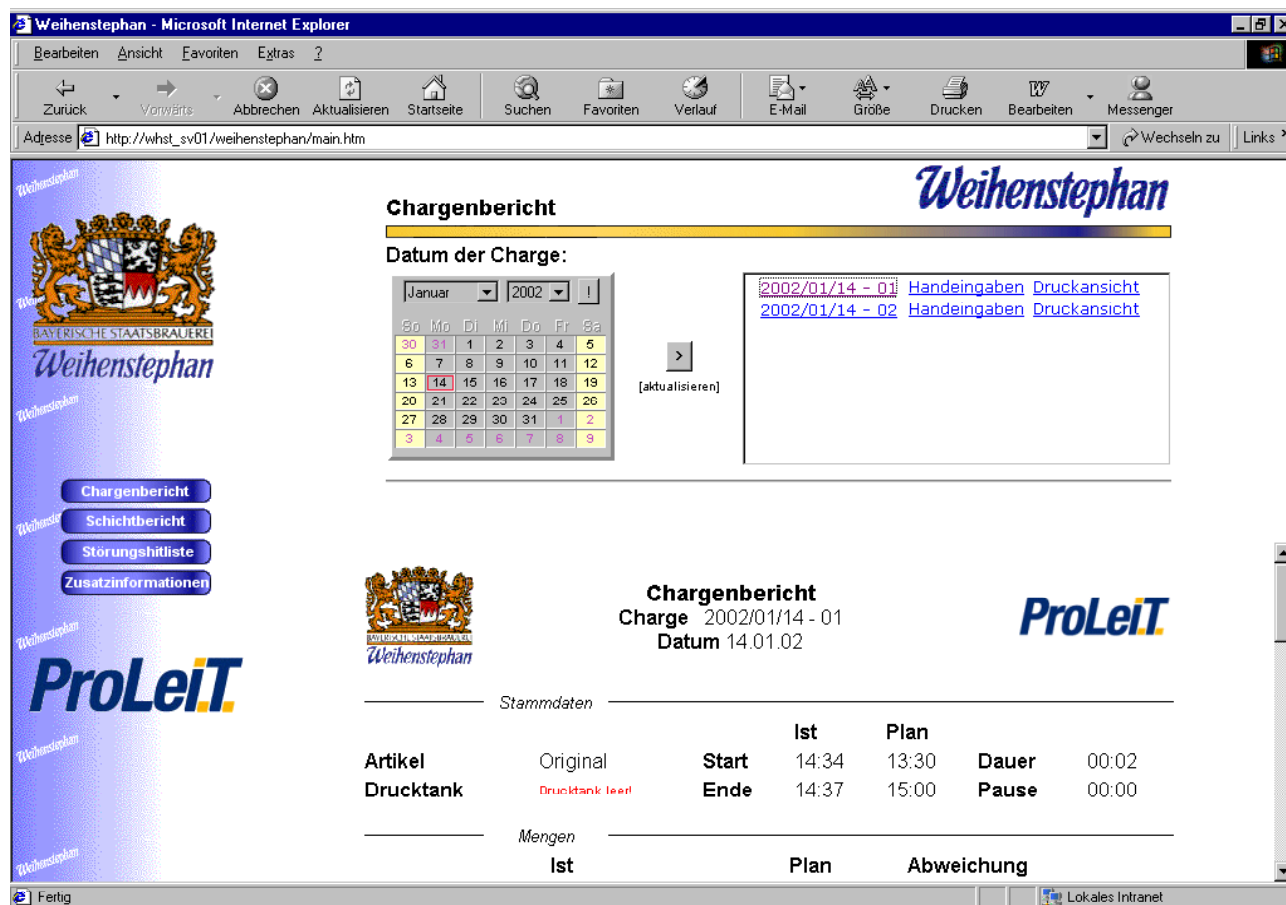
Online-Betrachtung von Mess- und Zählwerten

Online-Betrachtung von Mess- und Zählwerten

Wichtige Mess- und Zählwerte der Anlage können bereits während ihrer Aufzeichnung im Online-Werkzeug angezeigt werden. Natürlich hat der Benutzer auch die Möglichkeit, die gleichen Ansichten zur historischen Analyse von Mess- und Zählwerten zu nutzen. Für das System wurden hier wichtige Größen in vordefinierten Sichten zusammengefasst, die der Brauerei je nach Adressaten einen schnellen Überblick über die vergangene oder die aktuelle Abfüllarbeit verschaffen.

Berichtswesen

Das technische Berichtswesen wurde in HTML realisiert. Dies ermöglicht die Bedienung mit jedem beliebigen WEB-Browser. Beim installierten System erfolgt die Bedienung über den Microsoft-Internet Explorer, bei dem die entsprechende Startseite im Intranet beim Browserstart aufgerufen wird.



HTML-Berichtswesen

Das Berichtssystem bietet die Möglichkeit, in Anlehnung an die Berichte der in dieser Arbeit erarbeiteten Standard-Vorgaben (vgl. 4.2), Chargen, Schichtberichte und Abfüllberichte über unterschiedliche Bezugszeiträume zu erstellen, auszudrucken und zusätzliche Handeingaben zu machen. Die Bedienung von Chargen und Schichtbericht und Abfüllberichten erfolgt analog.

Anhang C. Standardmäßig empfohlene Datenpunkte

Standardmäßig anzubindende Datenpunkte für Abfüllmaschinen und Transporteure

Aggregat	Maschinen-spezifische Meldungen	Parameter	Messwerte	Zählwerte
Palettenentlade-maschine		Palettenart	Einstellausbringung	Paletten gesamt
		Kastenart		Kästen gesamt
		Flaschenform		
		Lagenbild		
Kasten-sortiermaschine für Leergut	Stau aussortierte Kästen	Kastenart	Einstellausbringung	Kästen gesamt
		Flaschenform		Gutflaschen
				Ausstoß nach
				Fehlerflaschen
				Flaschen zu hoch
				Flaschen zu tief
				Flaschenfarbe
				Fächer leer
				Fremdkörper
				Fehlerkasten Farbe
				Fehlerkasten Logo
				Kasten defekt usw.
Flaschenentkork-bzw. entschraub-maschine			Einstellausbringung	
Auspackmaschine			Einstellausbringung	Kästen gesamt
Leerflaschen-sortiermaschine	Stau Ausleitung	Flaschenform	Einstellausbringung	Flaschen gesamt
				aussortierte Flaschen nach
				Flaschenhöhe
				Flaschenform
				Flaschenfarbe
				verschlossen
Flaschenreinigungs-maschine		Flaschenform	Einstellausbringung	Frischwasser-verbrauch
			Temperatur Warmwasser	Heißwasserverbrauch
			Leitwert Hauptlauge	Dampfverbrauch
			Temperatur Hauptlauge	Reinigungsmittel-verbrauch
			Konzentration Hauptlauge	Additivverbrauch
			Temperatur Spritzlauge	
			Konzentration Spritzlauge	
			Spritzdrücke in den einzelnen Zonen	
			Temperatur Warmwasser	
			Redoxpotential Warmwasser	

Fortsetzung der Tabelle

Aggregat	Maschinen-spezifische Meldungen	Parameter	Meßwerte	Zählwerte
Leerflaschen-Inspektionsmaschine	Stau Ausleitung	Flaschenform	Einstellausbringung	Flaschen gesamt
				Gutflaschen gesamt
				Ausschleusung Flaschen Container
				Ausschleusung Flaschen Rücklaufband
				fehlerhafte Flaschen nach
				Mündung
				Boden
				Lauge IR
				Lauge HF
				Seitenwand
				Scuffing
				Fremdkörper
			Flaschenfarbe	
			Kontur	
			usw.	
Flaschenfüllmaschine	Produktmangel	Biersorte	Einstellausbringung	Flaschen gesamt
	Druckluftmangel	Drucktanknummer	Abfülldruck	geplatze Flaschen
	CO2-Mangel	Flaschenform	Abfülltemperatur	Produktmenge
			O2 im Produkt	CO2 Verbrauch
			CO2 im Produkt	
			Temperatur Schwallwasser	
			Extrakt Produkt	
			Temperatur HDE	
			Druck HDE	
			pH-Wert des Produkts	
			Leitwert des Produkts	
Flaschenverschleißmaschine	Verschlußmangel		Einstellausbringung	Flaschen gesamt
Vollflaschen-kontrollmaschine nach Füller	Stau Ausleitung	Flaschenform	Einstellausbringung	Flaschen gesamt
		Ausstattungsart		Gesamtausleitung
		Biersorte		Ausleitung nach:
				unterfüllt
				überfüllt
				Verschluß
				Metall in der Flasche
				usw.
				Füllventilstatistik
Pasteurisiermaschine			Einstellausbringung	Kaltwasserverbrauch
			Temperatur je Pasteurzone	Heißwasserverbrauch
			Fördergeschwindigkeit	Dampfverbrauch
			PE	Additivverbrauch
Flaschenausstattungsmaschine	Etikettenmangel	Datierungscode	Einstellausbringung	Flaschen gesamt
	Leimmangel		Leimtemperatur	Etiketten
	Störung des Datierungsgeräts			


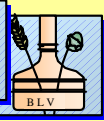
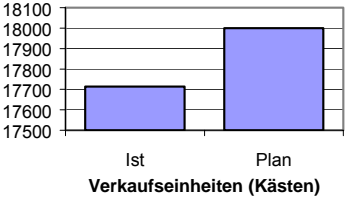
Fortsetzung der Tabelle

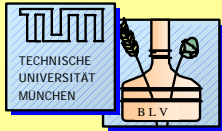
Aggregat	Maschinen-spezifische Meldungen	Parameter	Messwerte	Zählwerte
Vollflaschen-kontroll-maschine nach Etikettierer	Stau Ausleitung	Flaschenform	Einstellausbringung	Flaschen gesamt
		Ausstattungsart		Gesamtausleitung
				Ausleitung nach:
				unterfüllt
				überfüllt
				Etikettierfehler (Bauch, Brust, Rücken, Staniol, Sektschleife)
				Verschuß
				Datierung
			usw.	
Einpackmaschine	Kastenmangel		Einstellausbringung	Kästen gesamt
Vollkasten-kontrollmaschine	Stau ausgeschleuster Kästen	Kastenart		Kästen gesamt
				Kästen schlecht nach
				fehlende Flasche
				Flasche zu hoch
				usw.
Palettenbelade-maschine	Palettenmangel	Palettenart	Einstellausbringung	Paletten gesamt
		Kastenart		nur teilweise Paletten
		Flaschenform		Kästen gesamt
		Lagebild		Kästen Vollgut gesamt
				Kästen leer gesamt
Flaschen-transporteure, Puffer und drucklose Zusammen-führungen	Gleitmitteldosierung ein/aus		Geschwindigkeit bzw. Frequenzen der FUs	Wasserverbrauch
				Kettengleitmittel-verbrauch
Kastenreinigungs-maschine			Einstellausbringung	Wasserverbrauch
			Temperatur	
			Spritzdrücke	
Leerkasten-Inspektions-maschine		Kastenart	Einstellausbringung	Kästen gesamt
				Kästen gut
				Kästen schlecht nach
				Farbe
				defekter Griff
				usw.
Kastenmagazin			Füllungsgrad	
Paletten-Inspektionsmaschine				Paletten gesamt
				Paletten defekt
				Paletten gut
Palettentransport Palettenmagazin			Füllungsgrad	

Datenpunkte für prozesstechnische Anlagen

Aggregat	Maschinen- spezifische Meldungen	Prozess- spezifische Meldungen	Messwerte	Zählwerte
Kurzzeiterhitzer Puffertank		Ventilstellungen	Druck	Durchflussmenge Produkt
			Temperatur	Heißwasserverbrauch
			Volumenstrom Produkt	Dampfverbrauch
			PE	
			Leitwert	
CIP		Ventilstellungen	Leitwert Rücklauf	Verbrauch Reinigungsmedium
			Temperatur Rücklauf	
			Volumenstrom Reinigungsmedium	
CAF		Ventilstellungen	Sterilisationstemperatur	Sterilluftverbrauch
			Überdruck Reinraum	

Anhang D. Beispielberichte für das technische Abfüllberichtswesen

 		Chargenbericht		09.10.1999	16:29
		Chargen-Kennung: 0224-99-123-2			
		Datum: 01.09.99			
Stammdaten					
Art.-Nr.:	123	Drucktank:	14	Start:	Ist 07:15 Plan 07:00
Artikel:	Pils 0,5l	Abfüllanl.:	2	Ende:	13:35 13:30
				Arbeitszeit	06:20 06:30
Mengen					
	Ist	Plan	Abweichung		
hl	1785,5	1800	-14,5	-0,81%	
Flaschen	354687	360000	-5313	-1,48%	
Kästen	17713	18000	-287	-1,59%	
Paletten	354,2	360	-5,8	-1,61%	
Schwand	0,79%				
Biersteuer	1771 hl				
					
Kennzahlen					
Liefergrad[#] Anlage :		89,60%		Ausnutzungsgrad Anlage: 86,50%	
Füllerrelevante Störungen					
Nach Dauer (min)			Nach Häufigkeit (Anzahl)		
Aggregat	Dauer		Aggregat	Häufigkeit	
Vollgutkontr.	23		Füllmasch.	9	
Füllmasch.	18		Einpacker	5	
Einpacker	12		Bepalettierer	3	
EtiMa	5		EtiMa	2	
Auspacker	3		Auspacker	1	
Verbrauchsdaten					
	Ist	Plan	Abweichung		Menge/Flasche Einheit
Gebinde	356040	360000	-3960	-1,10%	1,00000 Flaschen
H2O kalt	720	720	0	0,00%	0,00202 hl
CO2	1,895	1,9	-0,005	-0,26%	0,00001 kg
KK	354458	360000	-5542	-1,54%	0,99556 KK
Qualitätsdaten					
	Mittel	Min	Max	Einheit	
O2 vor Füller	0,24	0,09	0,31	mg/l	
CO2-Gehalt	5,41	4,98	5,53	g/l	
Temp. Lauge ReiMa	82,9	78,1	85	°C	
Leitwert Lauge ReiMa	210	180	225	mS	
Abfülltemperatur	3,1	2,9	3,4	°C	
Laborbefund	DT 14 ohne mikrobiologische Befunde				
Chemisch-technische Analyse	OK				
Ausschleusungsrate Inspektionsmaschine	0,17%	entspricht	612 Flaschen		
Geplatze Flaschen	98				
Unterfüllte Flaschen	456				
Unverschlossene Flaschen	187				



Schichtbericht

09.10.1999

16:29

Frühschicht

Datum: 31.08.99

Stammdaten

Abfülllinie	2	Beginn	07:00	Schichtf.	Maier
		Ende	16:00	Personal	5,0
		Pausen	01:00	Pers.-Zeit	2380 min

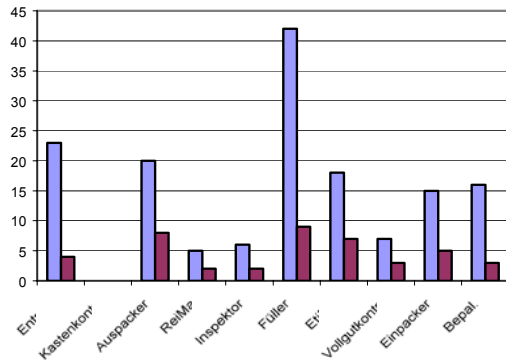
Chargen

	1	2	3	Summe
Chargen-Nr	0217-99-123-2	0218-99-246-2	0221-99-127-2	
Artikel-Nr	123	246	127	
Artikel	Pils 0,5	Hopfenhell 0,5	Pils 0,33	
Abgefüllte hl	945,5	238,7	456,3	1640,5
Abgefüllte Flaschen	189100	47740	138264	375104
Abgefüllte Kästen	9455	2387	5761	17603
Anlauf	00:30	-	-	00:30
Ablauf	-	-	01:00	01:00
Rüstzeiten	-	-	00:30	00:30
sonstige Nebenzeiten	00:02	00:18	00:05	00:25
Summe Nebenzeiten	00:32	00:18	01:35	02:25

Kennzahlen

Liefergrad# Anlage	88,50%	Einstellausbringung	60000
Ausnutzungsgrad Anlage	86,70%	Durchschnittsausbringung	53120

Störungen



Störung	Dauer/min	Häufigkeit
Entpal.	23	4
Kastenkontr.	0	0
Auspacker	20	8
ReiMa	5	2
Inspektor	6	2
Füllmasch.	42	9
EtiMa	18	7
Vollgutkontr.	7	3
Einpacker	15	5
Bepal.	16	3

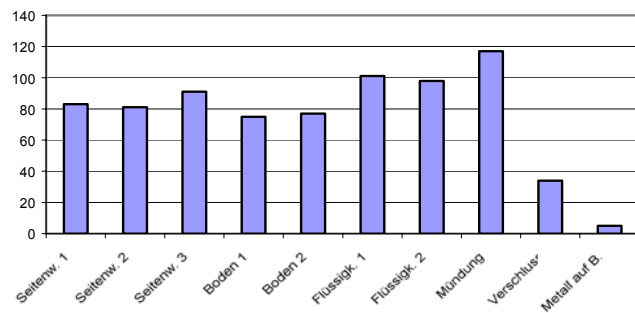
Inspektionsmaschine

Ausschleusung hart

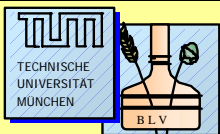
502 Flaschen,

Ausschleusung weich

260 Flaschen



Grund	Anzahl
Seitenwand 1	83
Seitenwand 2	81
Seitenwand 3	91
Boden 1	75
Boden 2	77
Flüssigkeit 1	101
Flüssigkeit 2	98
Mündung	117
Verschluss	34
Metall auf Boden	5



Artikelbericht

09.10.99

16:29

vom: 04.09.99

bis: 08.09.99

Artikel-Nr. 123

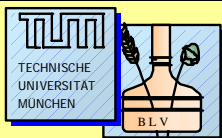


Artikel

Pils 0,5

Übersicht

Chargen-Nr.	Datum	Abgefüllte hl			Abweich.	Füllzeit eff. (h)	Wirk.-Grad
		Ist	Plan				
0225-99-123-2	04.09.99	1762	1800	-38	8,1	89,6	
0226-99-123-2	05.09.99	945,5	950	-4,5	4,2	88,5	
0228-99-123-1	06.09.99	258,6	260	-1,4	1,1	90,5	
0232-99-123-1	07.09.99	1200	1200	0	5	89,8	
0235-99-123-2	08.09.99	1250	1200	50	5,1	89,4	
Summe		5416,1	5410	6,1	10826,1		



Abfüllbericht

09.10.99

16:29

vom: 04.09.99

bis: 08.09.99

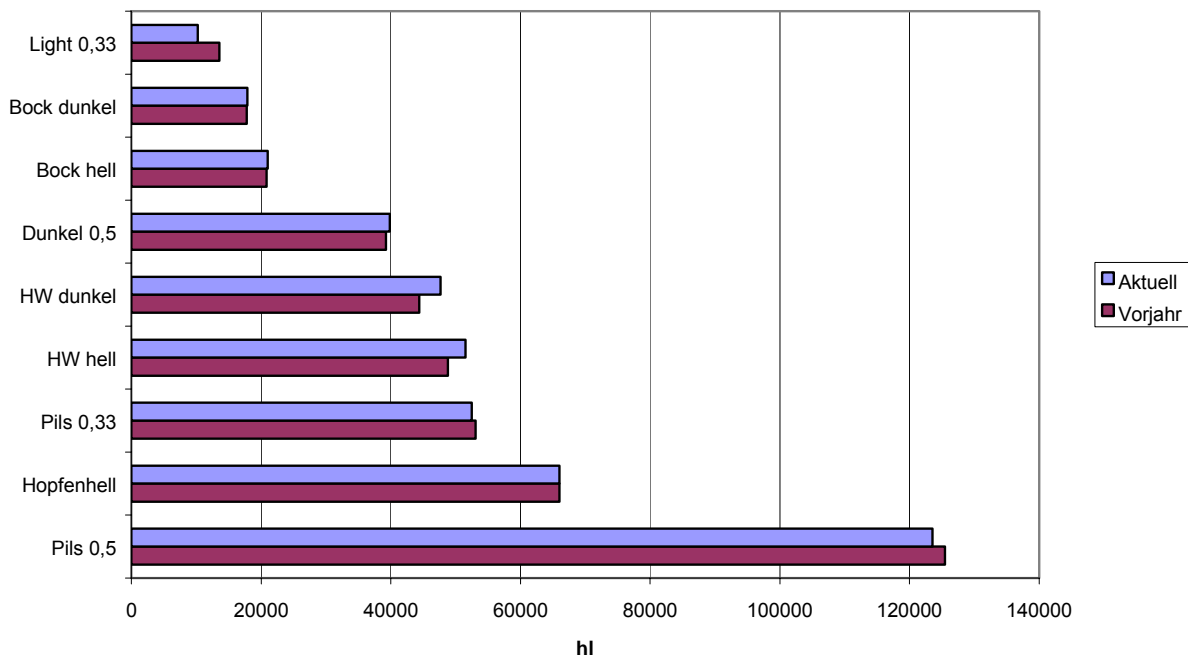
sortiert nach


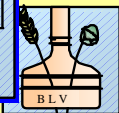
Menge

Übersicht

Art.-Nr.	Artikel	Aktuell	Abgefüllte hl		Kumuliert vom 01.01. bis heute		
			Vorjahr	Abweich.	Aktuell	Vorjahr	Abweich.
123	Pils 0,5	5416,1	5458,6	-42,5	123568,2	125468,9	-1900,7
246	Hopfenhell	3877,3	3880,4	-3,1	65987,3	65988,0	-0,7
127	Pils 0,33	3001,3	3125,2	-123,9	52456,2	53069,9	-613,7
560	HW hell	2987,9	2651,0	336,9	51500,0	48799,2	2700,8
580	HW dunkel	2450,6	2231,7	218,9	47650,2	44365,9	3284,3
341	Dunkel 0,5	1750,6	1710,2	40,4	39845,2	39254,6	590,6
756	Bock hell	965,4	952,9	12,5	21003,6	20857,4	146,2
774	Bock dunkel	897,5	901,2	-3,7	17890,5	17796,3	94,2
995	Light 0,33	450,3	503,2	-52,9	10254,3	13564,8	-3310,5
Summe		21797,0	21414,4	382,6	430155,5	429165,0	990,5

Kumulierte Mengen



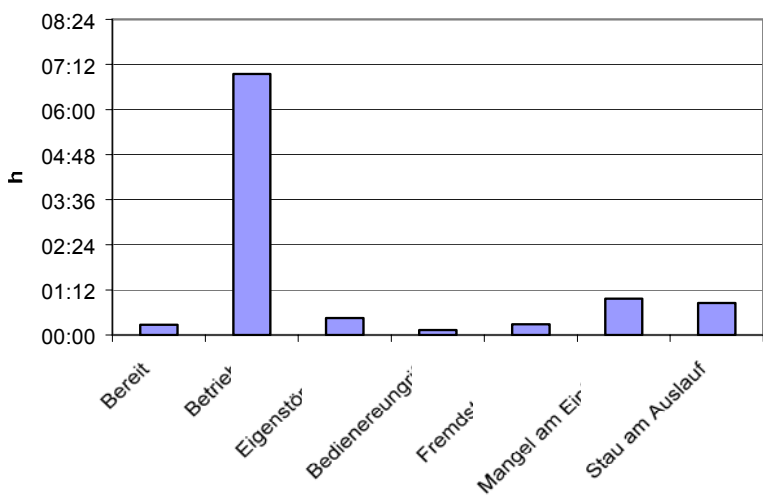
Maschinenbericht

09.10.1999 16:29

vom: 04.09.99 bis: 08.09.99

Aggregat Füllmaschine 2 ▼

Betriebszeiten



h	Dauer (/h)
08:24	
07:12	
06:00	
04:48	
03:36	
02:24	
01:12	
00:00	

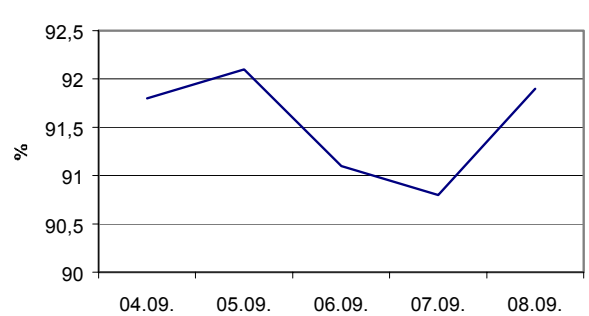
Bereit	00:16
Betrieb	06:57
Eigenstörung	00:27
Bedienereingriff	00:08
Fremdstörung	00:17
Mangel am Einlauf	00:58
Stau am Auslauf	00:51

Störungshitliste

sortiert nach Dauer (min)		sortiert nach Häufigkeit	
Flaschenbruch	36	Flaschenbruch	18
Druckluftmangel	8	Allgem. elektr. Störung	8
Ventildefekt	6	Allgem. mech. Störung	5
Allgem. elektr. Störung	5	Druckluftmangel	3
Allgem. mech. Störung	2	Produktmangel	3
Produktmangel	1	Ventildefekt	1
Summe Fremdstörungen (min):		9	
Summe Eigenstörungen (min):		49	

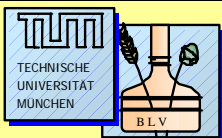
Kennzahlen

Wirkungsgrad Durchschnitt:	91,54%
Wirkungsgrad Vorgabe:	92,00%
Wirkungsgrad Abweichung:	-0,46%
Einstellausbringung 0,5 NRW	55000
Durchschnittsausbr. 0,5 NRW	37850
Einstellausbringung 0,33 Vichy	60000
Durchschnittsausbr. 0,33 Vichy	41558



Wartungsdaten

Betriebszeit im Zeitraum	06:57	Letzte Inspektion	05.07.1999
Gesamt seit letzter Inspektion	187:32	Letzte Abschmierung	25.08.1999
Gesamt seit letzter Abschmierung	52:28		
	Inspektion fällig am	05.11.1999	
	Abschmierung fällig am	11.10.1999	



Störungshitliste

09.10.99

16:29

Störbericht

vom: 04.09.99

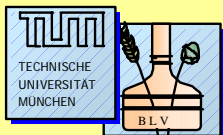
bis: 04.09.99

Abfüllanl. 2
Uhrzeit 10:45

Sortiert nach Dauer

Störungen

Ort	Ursache	Dauer (min)
Entpalettiermaschine	Defekte Palette	15
drucklose Zusammenführung 3	Lichtschanke belegt	11
Füllmaschine	Defektes Ventil	10
Auspackmaschine	Elektr. Störung	8
Ausstattungsmaschine	Etikettenmangel	7
Reinigungsmaschine	Überlastkupplung	5
Füllmaschine	Produktmangel	5
Inspektionsmaschine	Dauerausscheidung	3
Verschleißer	Druckluftmangel	2
Einpackmaschine	Greiferkopf aufgesetzt	1



Störungsrückverfolgung

09.10.99

16:29

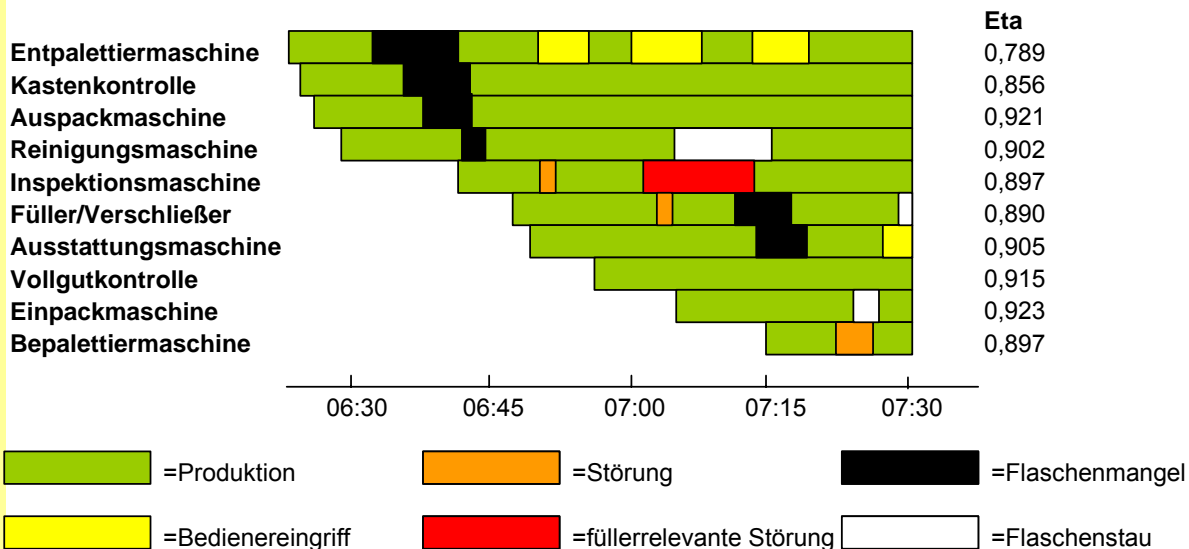
Störbericht

vom: 04.09.99

bis: 04.09.99

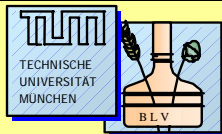
Abfüllanl. 2
Uhrzeit 07:30

Rückverfolgung



füllerrelevante Störungen

Maschine	Anteil	Dauer (min)
Entpalettiermaschine	0,00%	0,0
Kastentkontrolle	0,00%	0,0
Auspackmaschine	0,00%	0,0
Reinigungsmaschine	0,00%	0,0
Inspektionsmaschine	68,50%	7,5
Füller/Verschließer	15,40%	1,7
Ausstattungsmaschine	16,10%	1,8
Vollgutkontrolle	0,00%	0,0
Einpackmaschine	0,00%	0,0
Bepalettiermaschine	0,00%	0,0



Inspektor-Testflaschenbericht

09.10.99

16:29

QM-Bericht


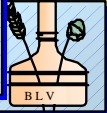
vom: 04.09.99

bis: 04.09.99

Details siehe Ausdruck an der Inspektionsmaschine

Inspektionsmaschine

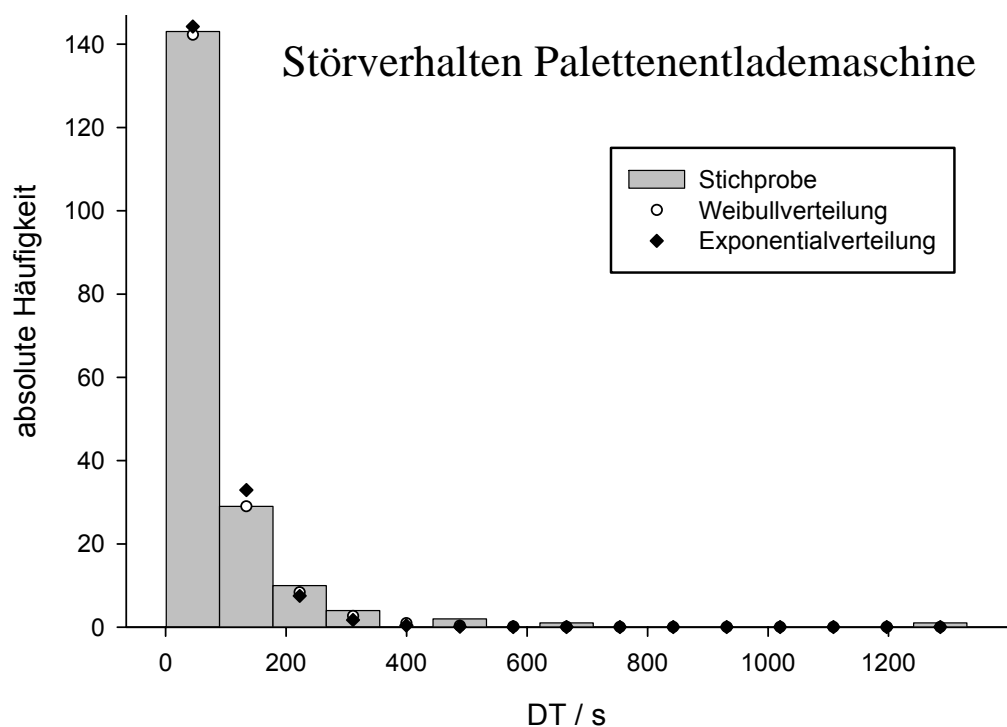
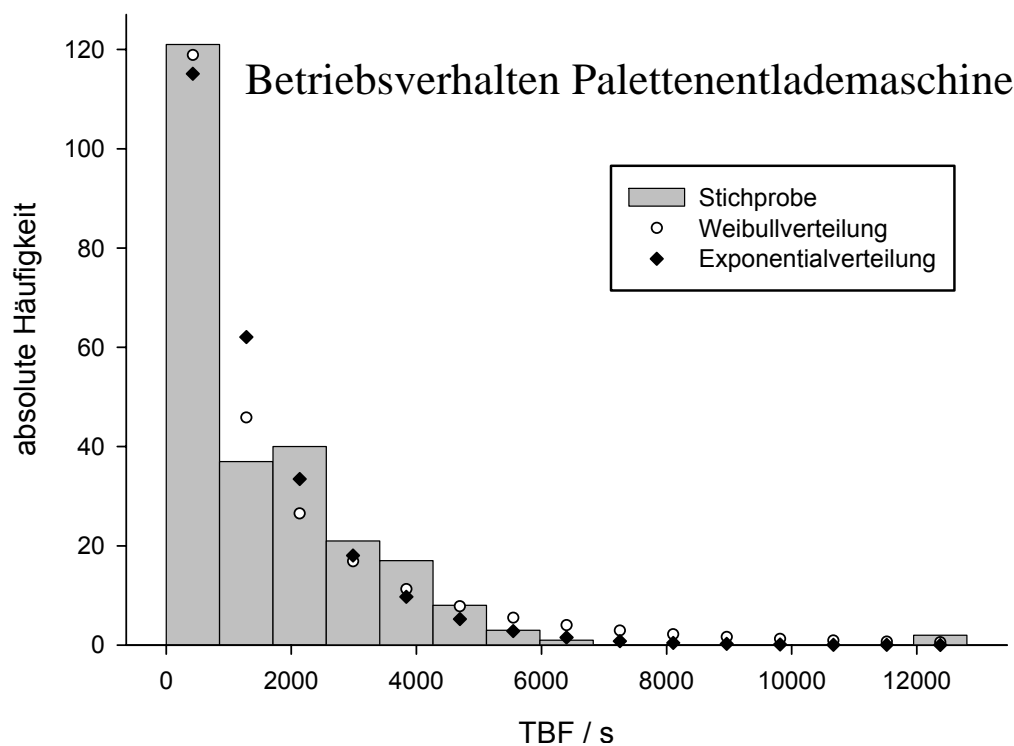
Testläufe	Testflaschen	Erkannt	Störungsursache
04.09.99 06:28	10	10	
04.09.99 07:10	10	10	
04.09.99 07:55	10	10	
04.09.99 08:38	10	9	elektr. Störung Mündungskamera
04.09.99 08:43	10	10	
04.09.99 09:15	10	10	
04.09.99 10:45	10	10	
04.09.99 11:37	10	10	
04.09.99 12:08	10	10	
04.09.99 13:10	10	10	
04.09.99 13:55	10	10	

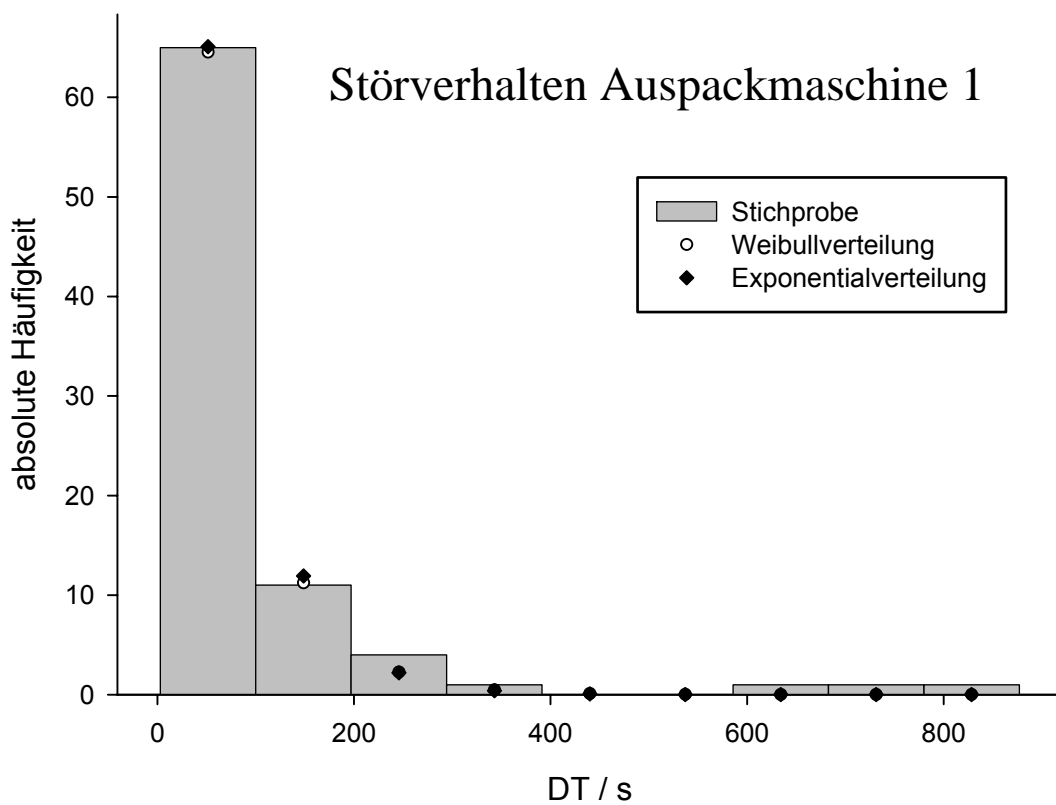
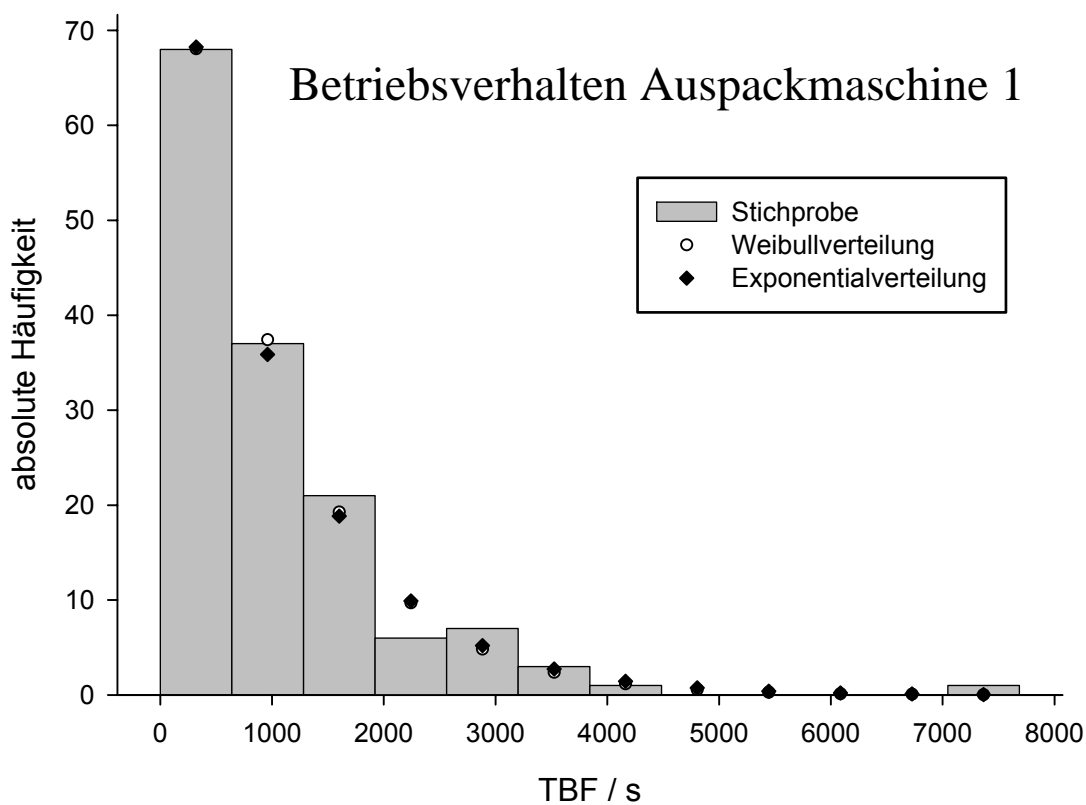
 		CIP-Bericht		09.10.99	16:29	
		QM-Bericht				
		vom: 04.09.99	bis: 08.09.99			
Bereich	Flaschenkeller			Detail	Füllmaschine	
Vorgang	Reinigung und Desinfektion				Puffertank	
					KZE	
					Produktleitungen	
CIP-Protokolle						
		04.09.99	05.09.99	06.09.99	07.09.99	08.09.99
		15:00	14:45	00:02	14:25	10:30
Lauge Leitwert (mS)		95	95	90	94	93
Lauge Zeit (min)		32	30	31	30	31
Spülen Leitwert (mS)		0,2	0,2	0,2	0,3	0,2
Säure Leitwert (mS)		53	55	55	53	54
Säure Zeit (min)		29	31	30	28	30
Spülen Leitwert (mS)		0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
Steri. Temperatur °C		92	90	91	90	90
Steri. Zeit (min)		25	30	28	28	30
Lauge Leitwert (mS)						
Lauge Zeit (min)						
Spülen Leitwert (mS)						
Säure Leitwert (mS)						
Säure Zeit (min)						
Spülen Leitwert (mS)						
Steri. Temperatur °C						
Steri. Zeit (min)						

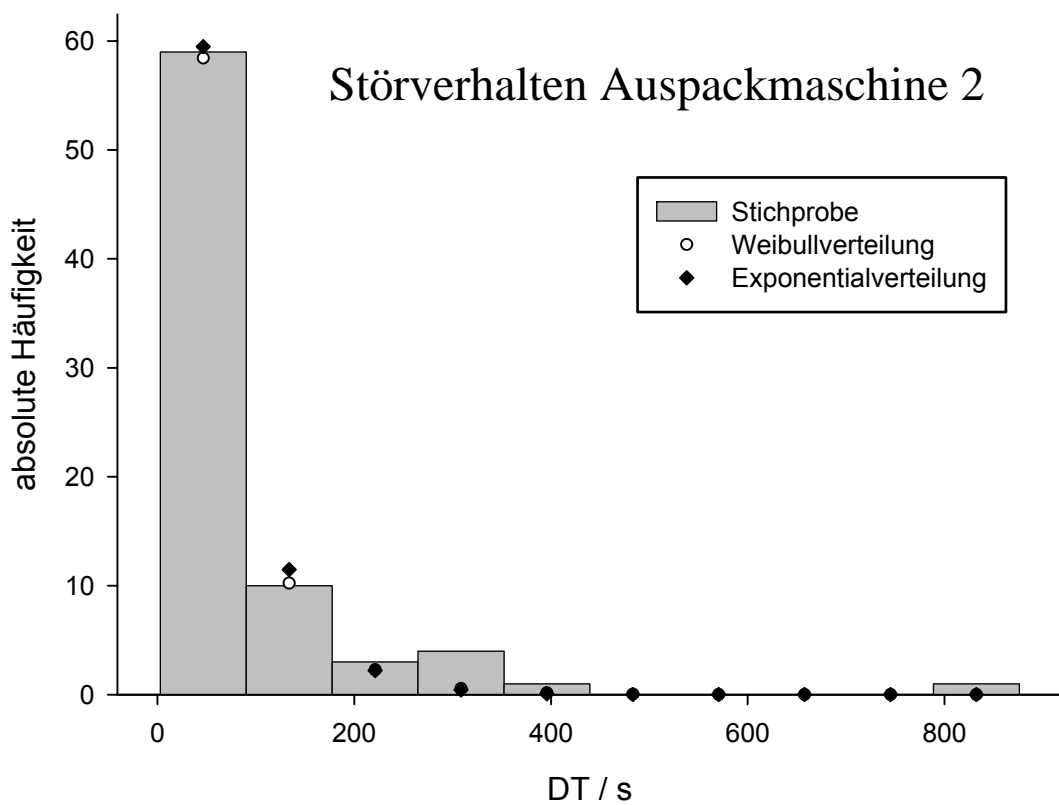
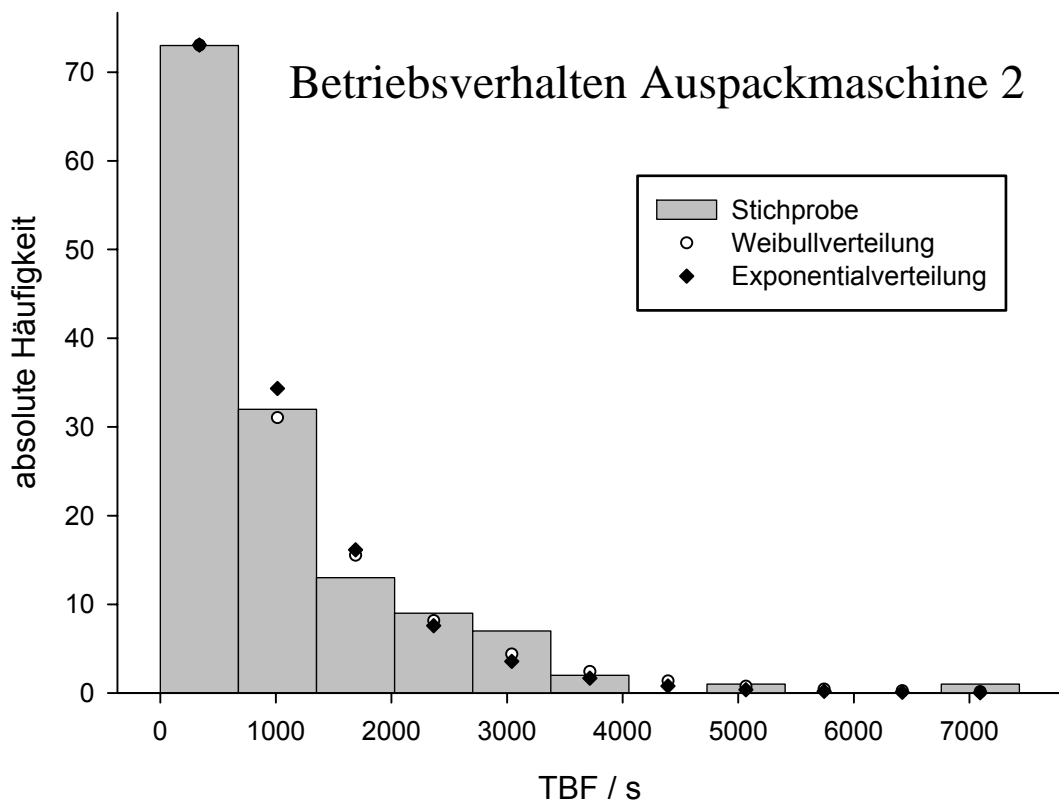
Anhang E. Auswertung der Betriebs- und Stördaten der Mehrweglinie für Bügelverschlussflaschen (Anlage F)

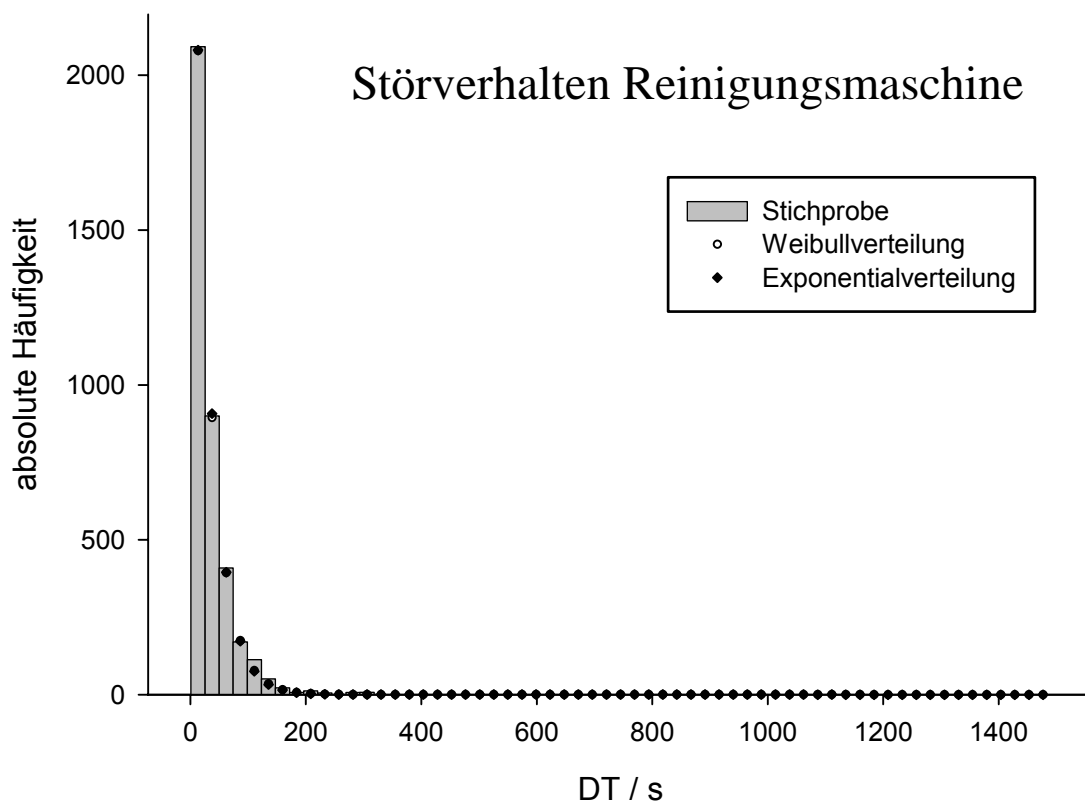
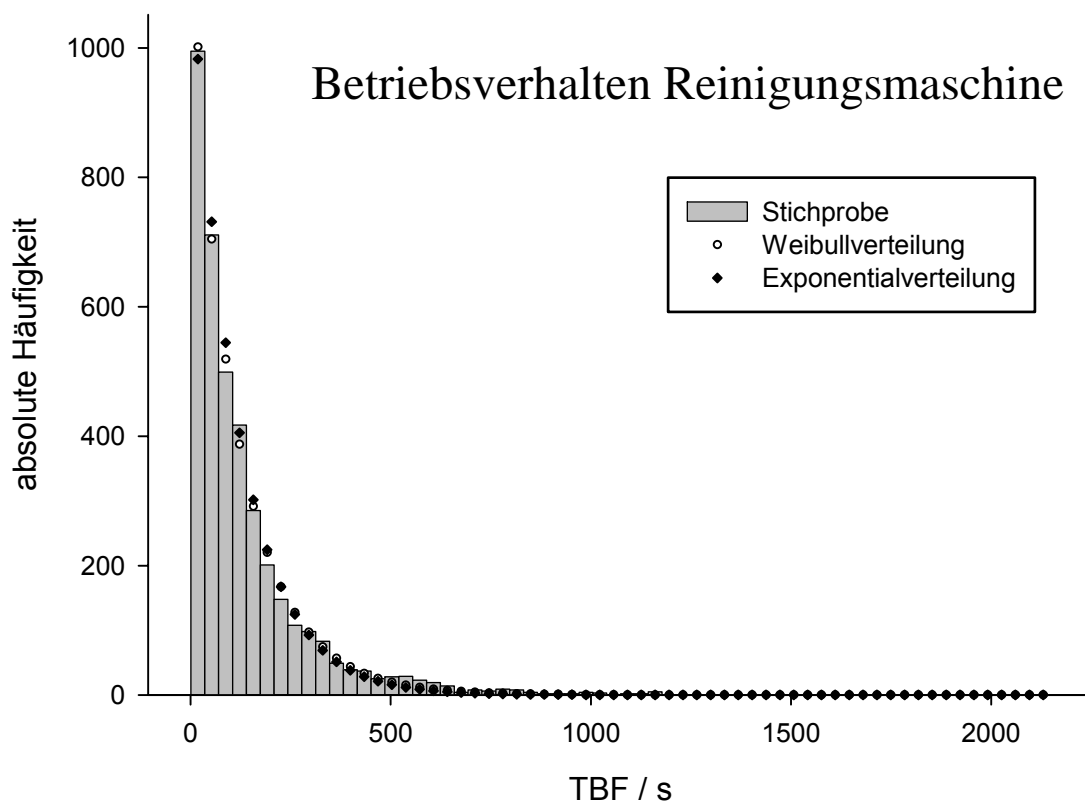
Empirische Verteilungen der Betriebs- und Stördauern aller Aggregate

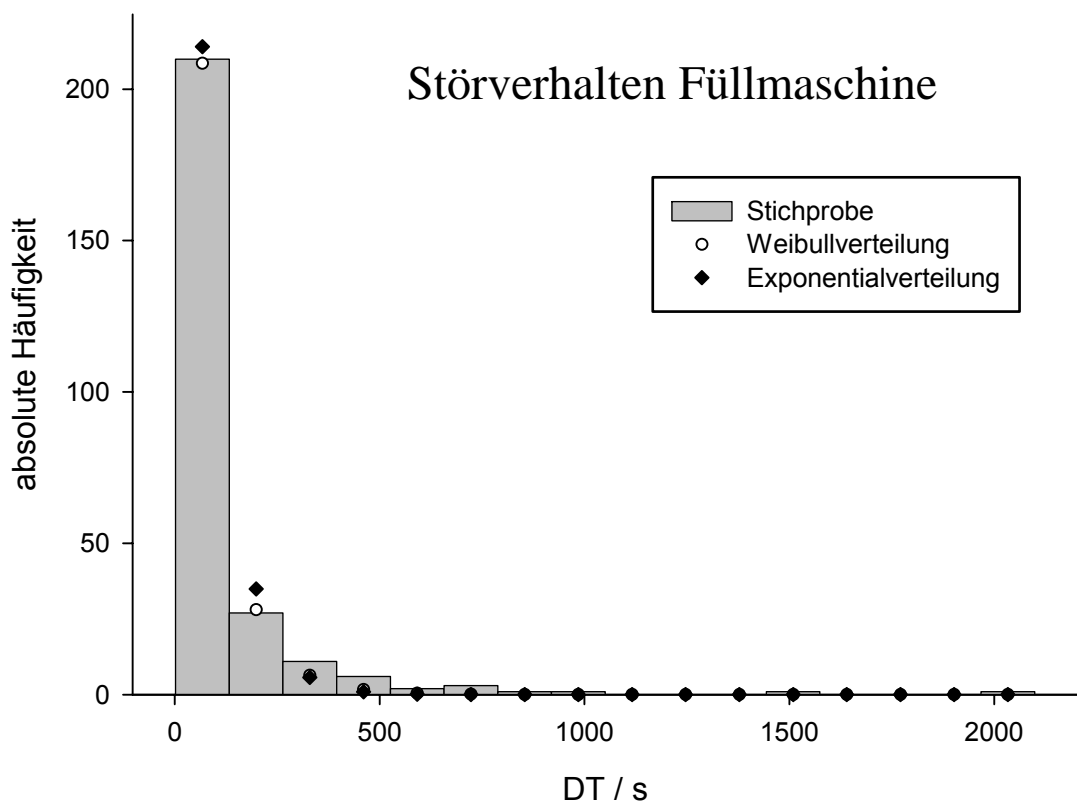
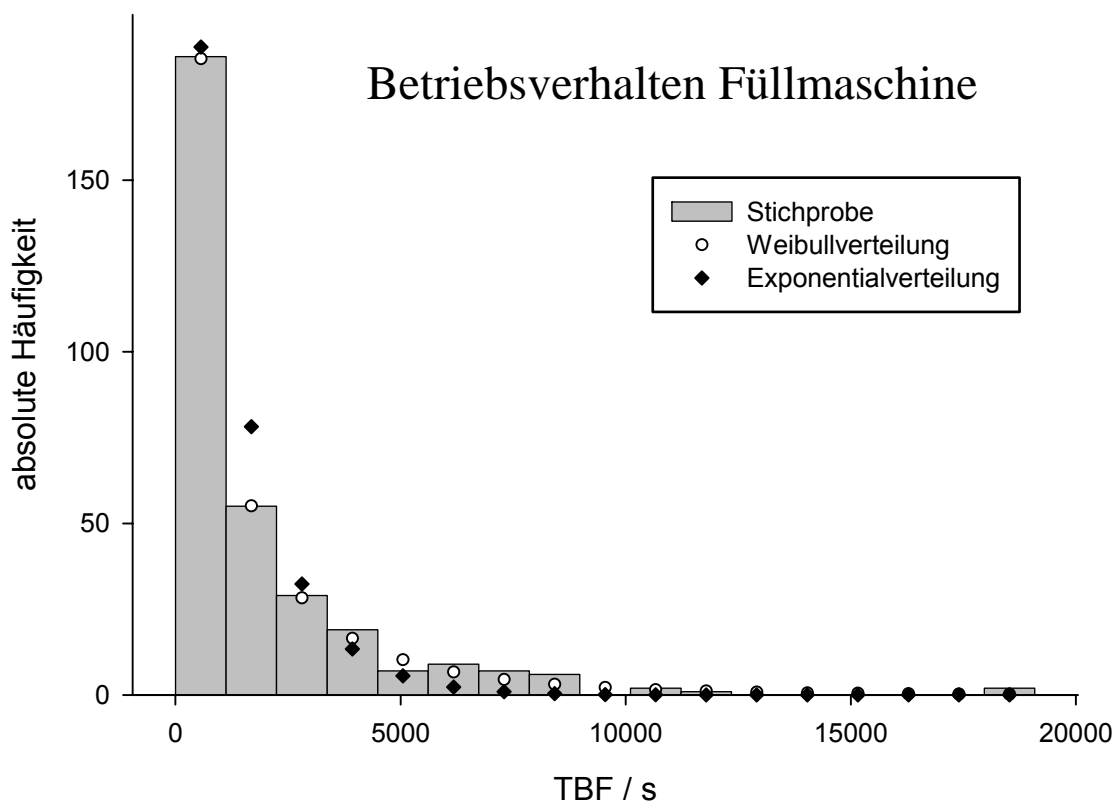
Die jeweilige Klasseneinteilung der Zeitachse zeigt Tabelle 4.3. In die Graphen wurden die nach den untersuchten stetigen Verteilungen erwarteten absolute Klassenhäufigkeiten eingetragen.

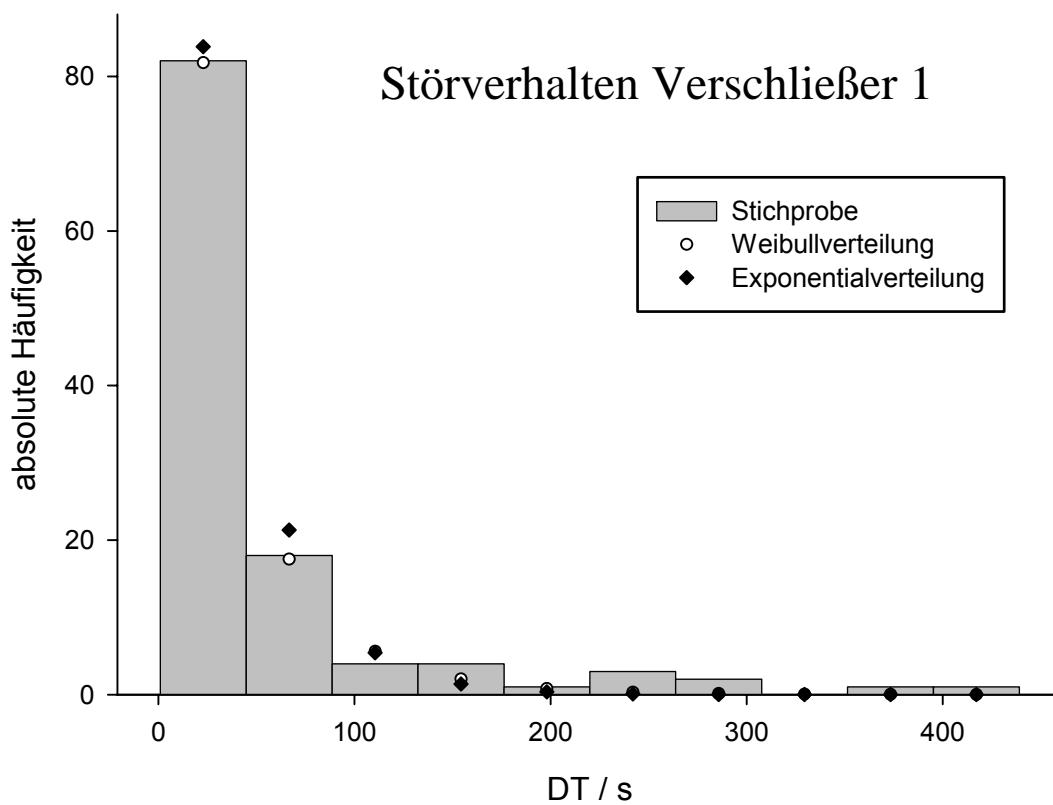
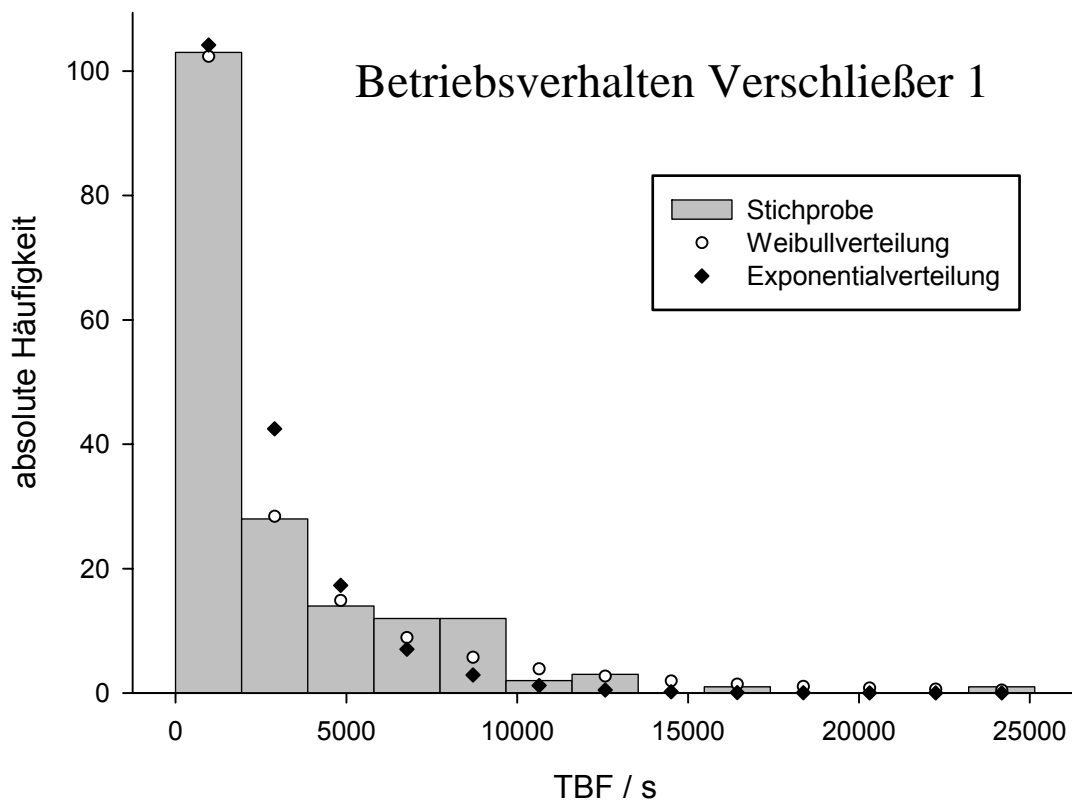


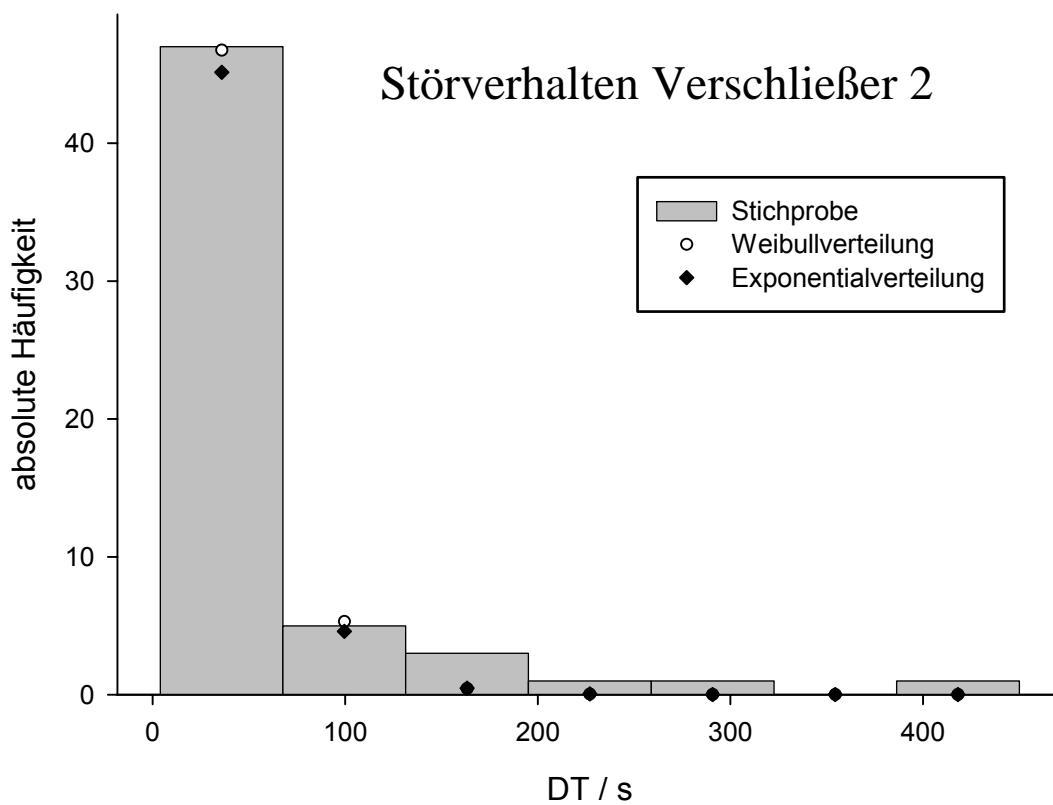
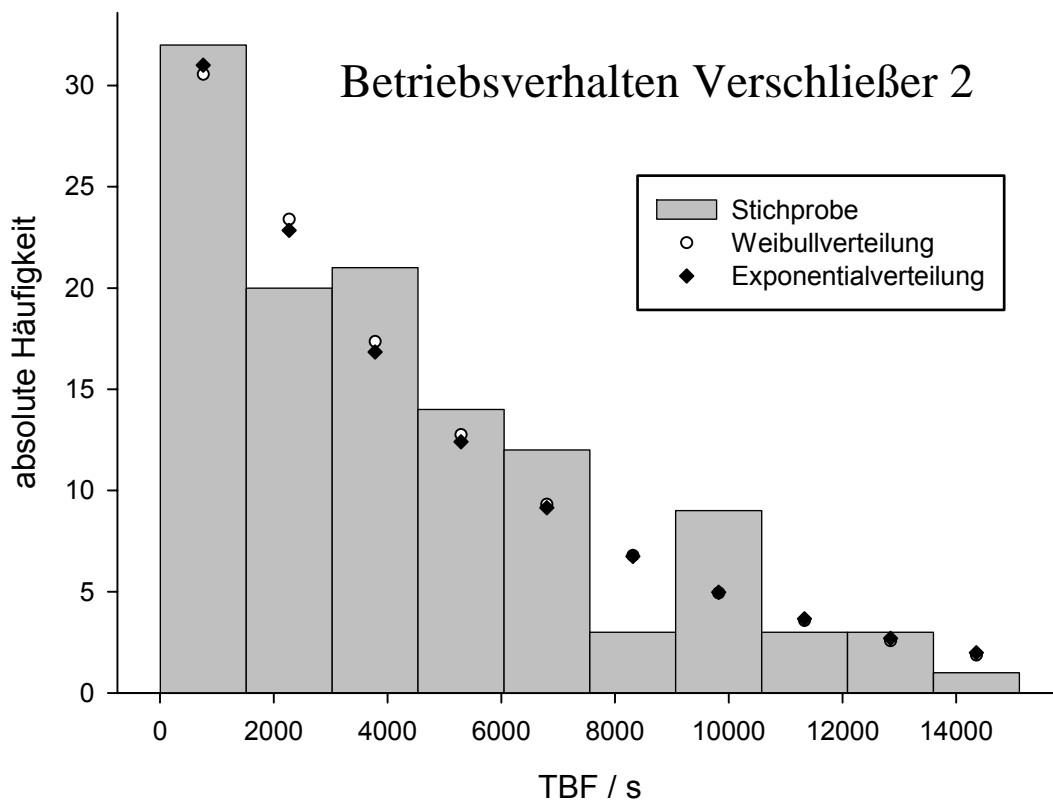


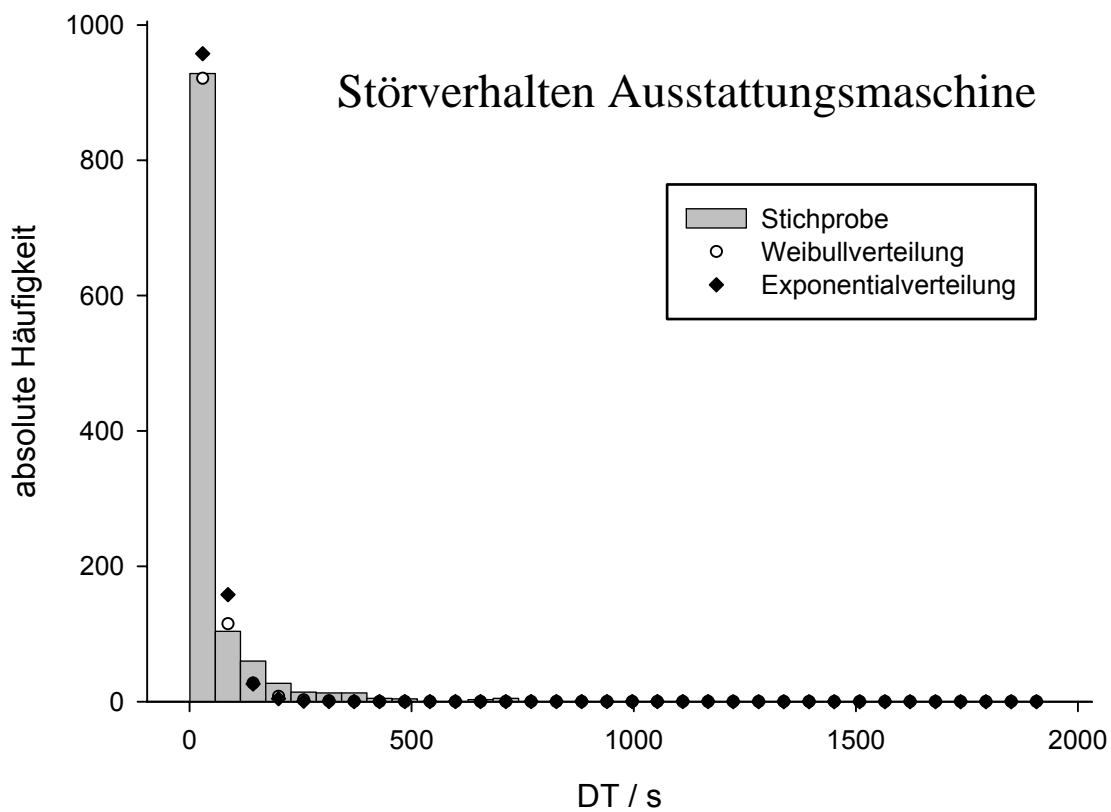
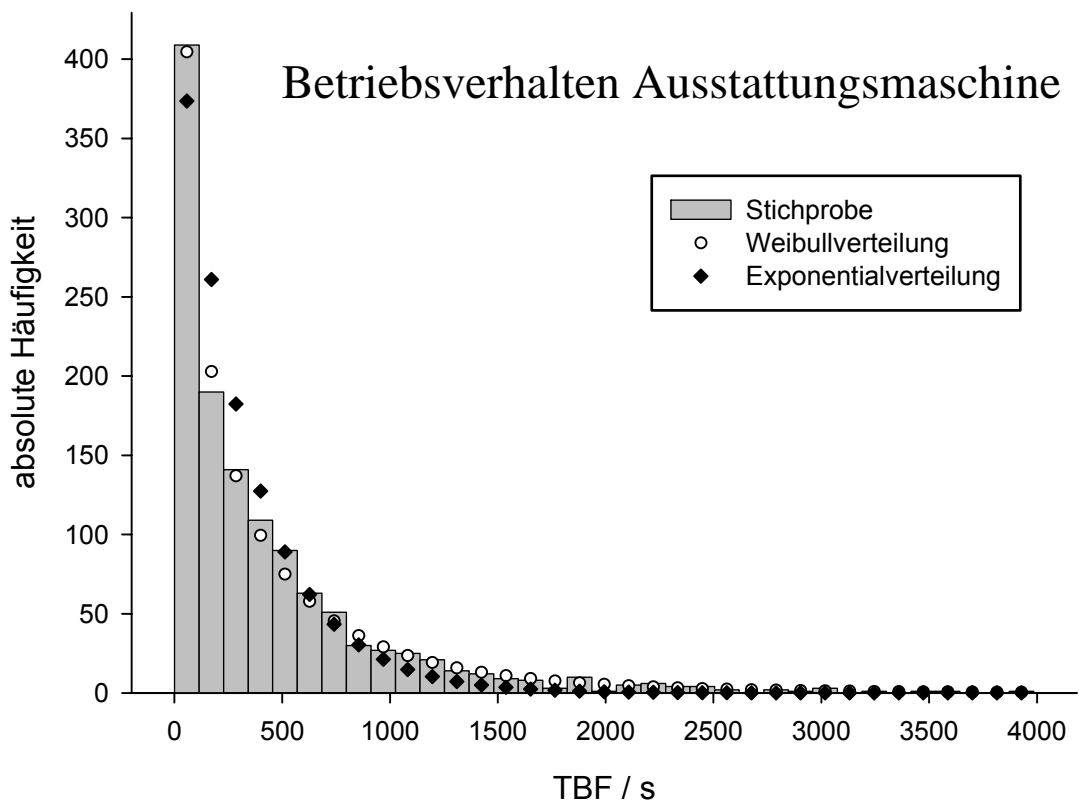


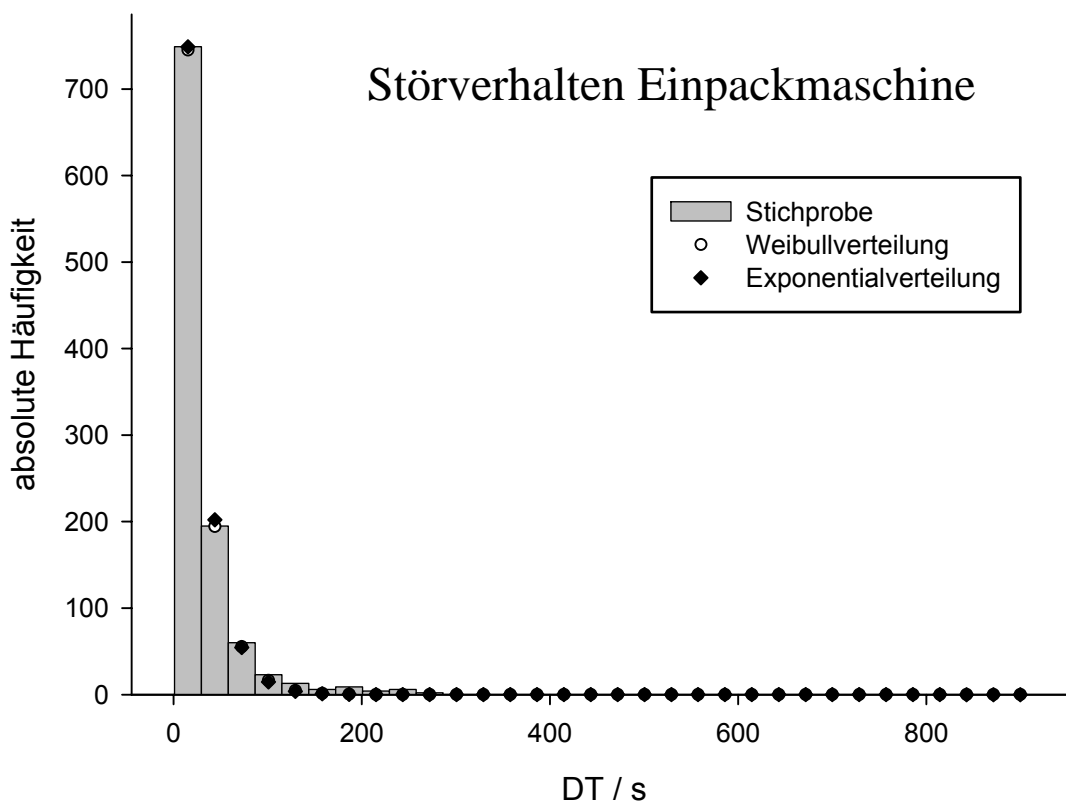
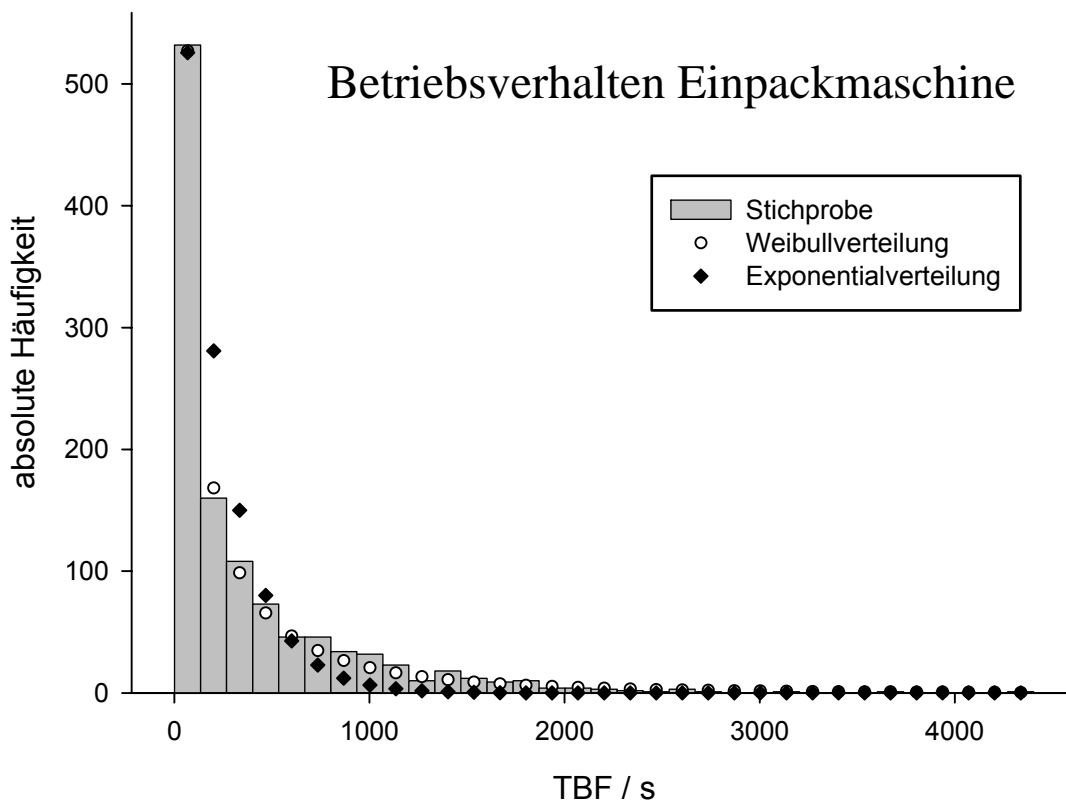


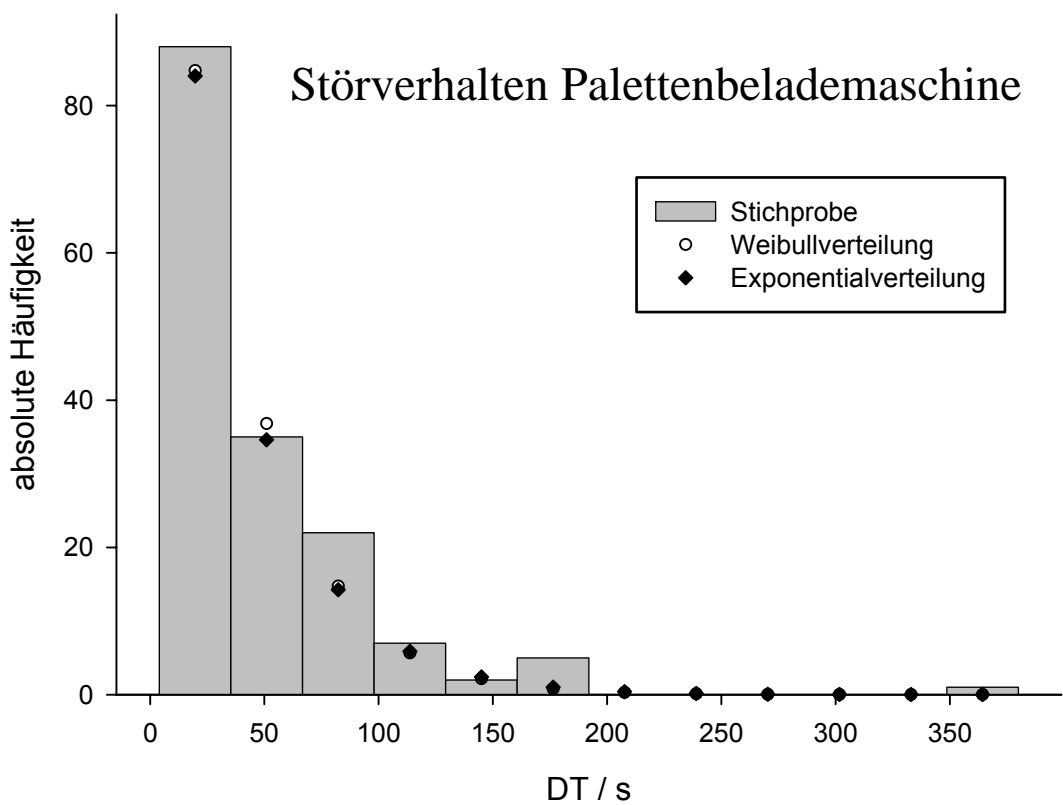
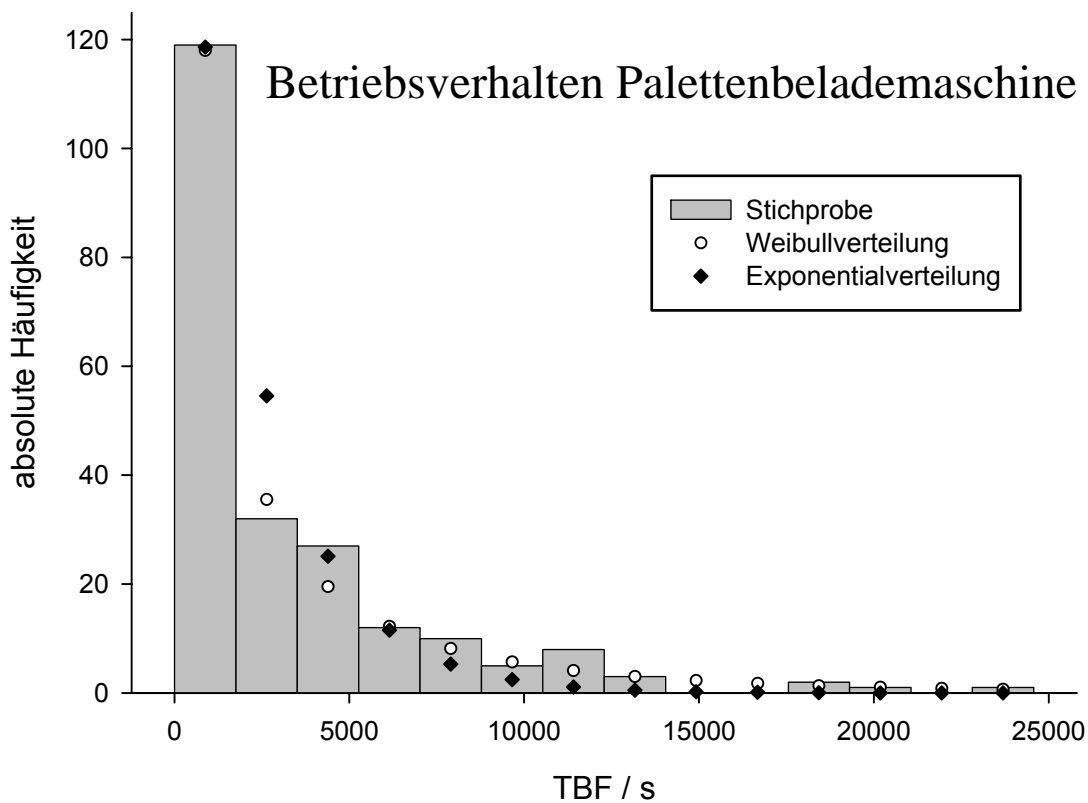












Allgemeine Gleichungen zu Verteilungsdichte und Summenverteilung der negativen Exponential- und Weibullverteilung (verallgemeinerte Exponentialverteilung) und deren Mittelwerte

Exponentialverteilung:

$$\text{Dichte: } f(x) = \frac{1}{\beta} \cdot \exp\left(-\frac{x}{\beta}\right)$$

$$\text{Summe: } F(x) = 1 - \exp\left(-\frac{x}{\beta}\right)$$

$$\text{Mittelwert: } \beta$$

Weibullverteilung:

$$\text{Dichte: } f(x) = \frac{\alpha}{\beta^\alpha} \cdot x^{\alpha-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right]$$

$$\text{Summe: } F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right]$$

$$\text{Mittelwert: } \frac{\beta}{\alpha} \cdot \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right)$$

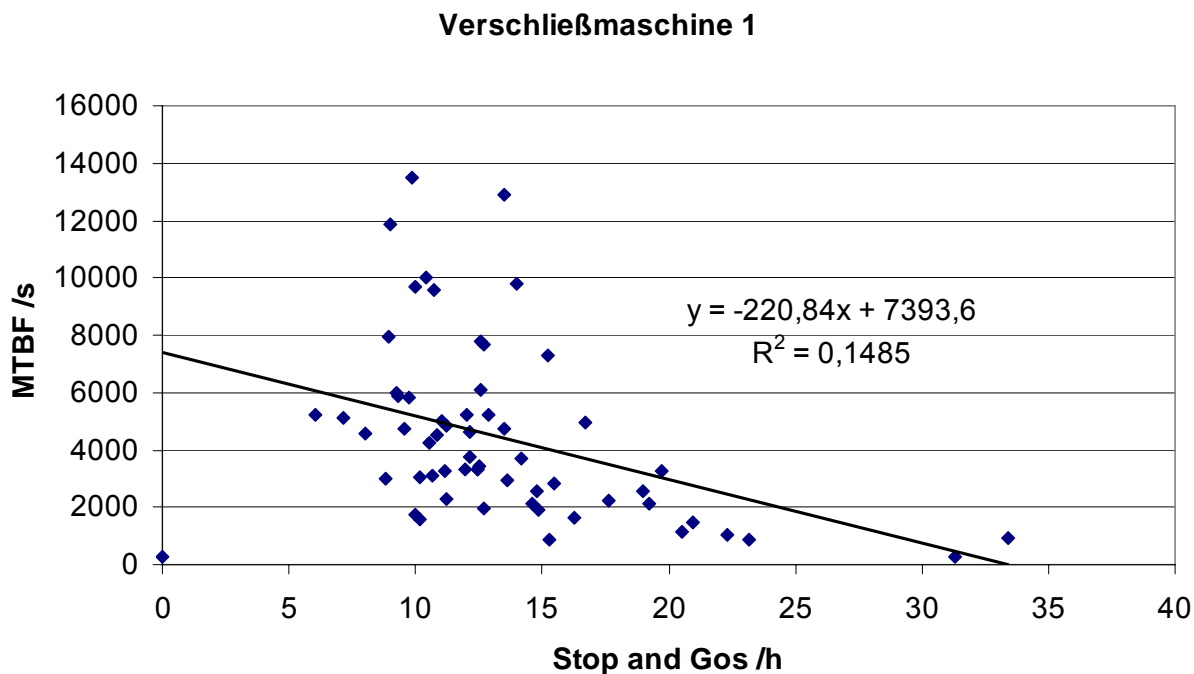
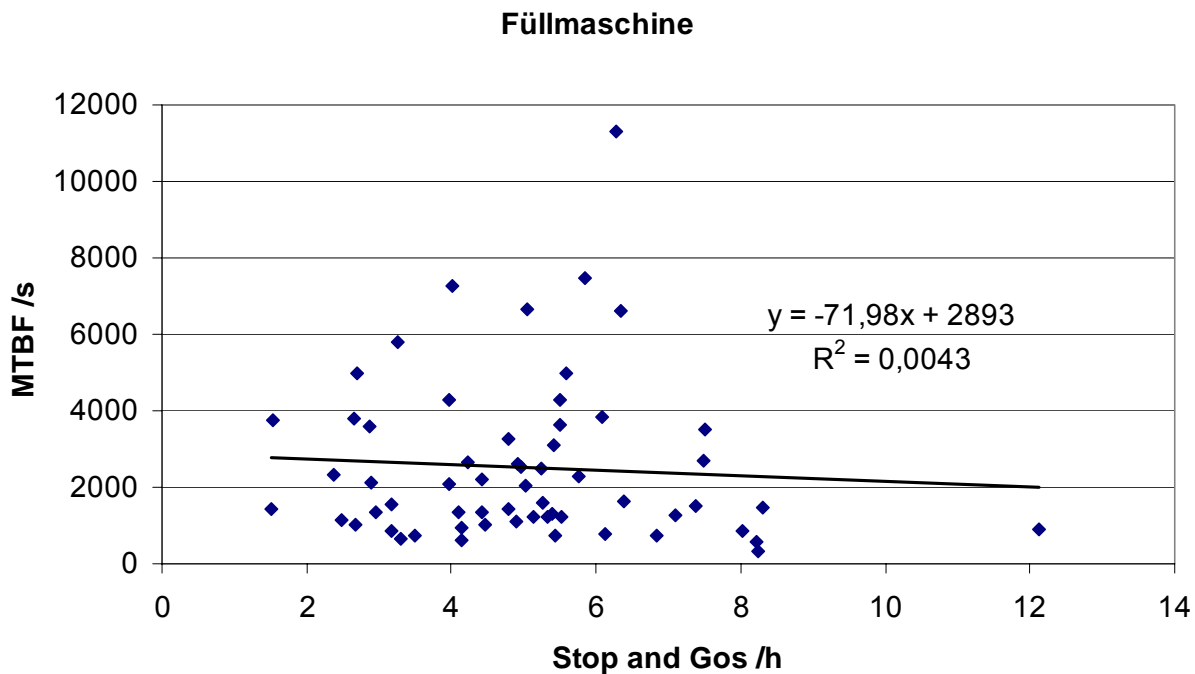
$$\text{Gammaverteilung (verallgemeinerte Fakultät): } \Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} \cdot \exp(-t) \cdot dt; \quad x \in \mathbb{R}^+$$

Rohdaten für die Ermittlung mittlerer MTBF und MDT-Werte von Maschinen in Abfüllanlagen:

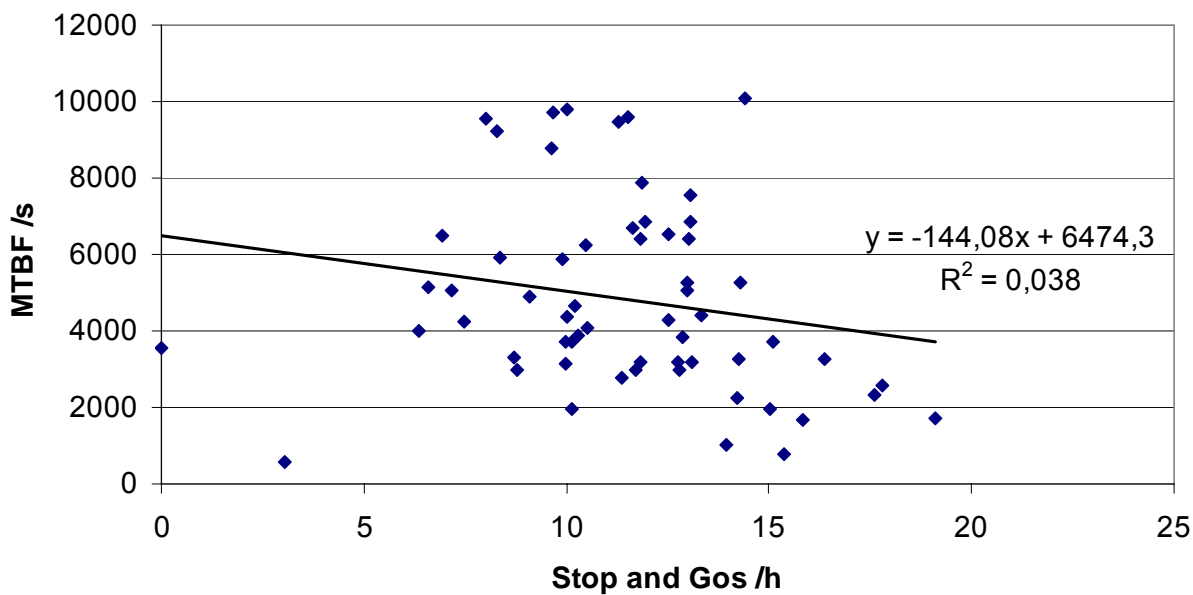
Art	Einweg-Glas-Anlage		Sortier-anlage		Mehrweg-Glas-Anlage		Mehrweg-Glas-Anlage		Mehrweg-Glas-Anlage		Mehrweg-Glas-Anlage							
	A	B	C	D	E	F	7 Monate	6 Monate	6 Monate	7 Monate	2 Monate	Stich-proben-anzahl	Mini-mum /s	Maxi-mum /s	Mittel-wert /s	η_E % (aus Mittel-werten berechnet)		
Bezeichnung	USA		Deutsch-land	Deutsch-land	Skandi-navien	Deutsch-land	Deutschland											
Standort	USA		Deutsch-land	Deutsch-land	Skandi-navien	Deutsch-land	Deutschland											
vorliegender Zeitraum auswertbarer Betriebsdatn	3 Monate		6 Monate		6 Monate		6 Monate		7 Monate		2 Monate		Stich-proben-anzahl	Mini-mum /s	Maxi-mum /s	Mittel-wert /s	η_E % (aus Mittel-werten berechnet)	
	Palettenlademaschine	666,11	1254,37	440,75	411,23	1469,57	4674,00	1499,00	4674,00	1499,00	7	411,23						4674,00
	93,63	63,14	59,04	62,95	135,15	76,00	79,00	76,00	79,00	7	59,04	135,15	81,27	7	86,73	98,40	91,82	
	87,68	95,21	88,19	86,73	91,58	98,40	94,99	98,40	94,99	7	86,73	98,40	91,82	7	936,00	2754,00	1862,14	
Auspackmaschine	3861,22		1002,11		1644,52	2754,00	936,00	1644,52	936,00	6	936,00	2754,00	1862,14	6	64,00	161,26	99,55	94,93
	158,99		65,07		161,26	64,00	77,00	161,26	77,00	6	64,00	161,26	99,55	6	91,07	97,73	94,06	
	96,05		93,90		91,07	97,73	92,68	91,07	92,68	6	91,07	97,73	94,06	6	617,00	3342,00	1552,38	
Reinigungsmaschine		617,00			688,15	3342,00		688,15	3342,00	3	617,00	3342,00	1552,38	3	38,54	82,72	60,75	96,23
		38,54			82,72	61,00		82,72	61,00	3	38,54	82,72	60,75	3	89,41	98,21	93,91	
		94,12			89,41	98,21		89,41	98,21	3	89,41	98,21	93,91	3	670,96	1000,92	840,70	
Inspektionsmaschine			670,96	1000,92	850,22			670,96	1000,92	3	670,96	1000,92	840,70	3	102,04	124,05	110,91	88,35
			102,04	124,05	106,62			102,04	124,05	3	102,04	124,05	110,91	3	86,80	88,97	88,21	
			86,80	88,97	88,86			86,80	88,97	3	86,80	88,97	88,21	3	678,97	3545,00	1706,49	
Füllmaschine (auch Blockaggregate mit ggf. Rinser, Verschleißmaschine, Ausstattungsmaschine)	678,97	813,00				3545,00	1789,00		3545,00	4	678,97	3545,00	1706,49	4	41,00	106,00	65,88	96,28
	70,53	41,00				46,00	106,00		46,00	4	41,00	106,00	65,88	4	383,96	5502,00	1689,74	
	90,59	95,20				98,72	94,41		98,72	4	90,59	98,72	94,73	4	57,00	133,07	93,58	94,75
Ausstattungsmaschine	383,96	449,99				5502,00	423,00		5502,00	4	383,96	5502,00	1689,74	4	77,18	98,58	85,59	
	105,24	133,07				79,00	57,00		79,00	4	57,00	133,07	93,58	4	362,00	2495,00	844,07	
	78,49	77,18				98,58	88,13		98,58	4	77,18	98,58	85,59	4	33,00	90,10	73,43	92,00
Einpackmaschine	382,03	431,41	1152,47	509,21	576,41	2495,00	362,00		2495,00	7	362,00	2495,00	844,07	7	76,30	97,84	88,31	
	118,67	90,10	57,39	71,23	88,64	55,00	33,00		55,00	7	33,00	90,10	73,43	7	745,90	4154,00	2153,15	
	76,30	82,72	95,26	87,73	86,67	97,84	91,65		97,84	7	76,30	97,84	88,31	7	46,00	138,86	107,44	95,25
Palettenbelademaschine	2042,78		745,90	944,05	1966,14	4154,00	3066,00		4154,00	6	745,90	4154,00	2153,15	6	84,88	98,25	98,52	
	127,76		132,87	125,13	138,86	74,00	46,00		74,00	6	46,00	138,86	107,44	6	84,88	98,25	98,52	
	94,11		84,88	88,30	93,40	98,25	98,52		98,25	6	84,88	98,25	98,52	6	84,88	98,52	92,91	

Anhang F. Datenauswertung zum Stop and Go Effekt

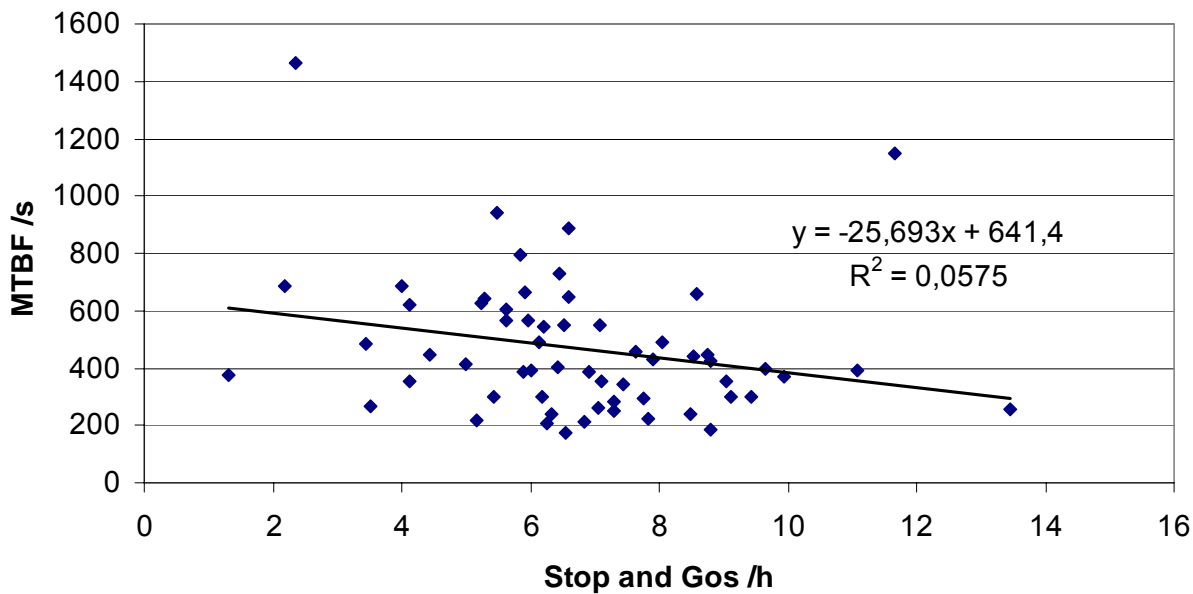
Ergebnisdiagramme der Zeitfensteranalyse für kontinuierlich arbeitende Maschinen aus Anlage F



Verschleißmaschine 2

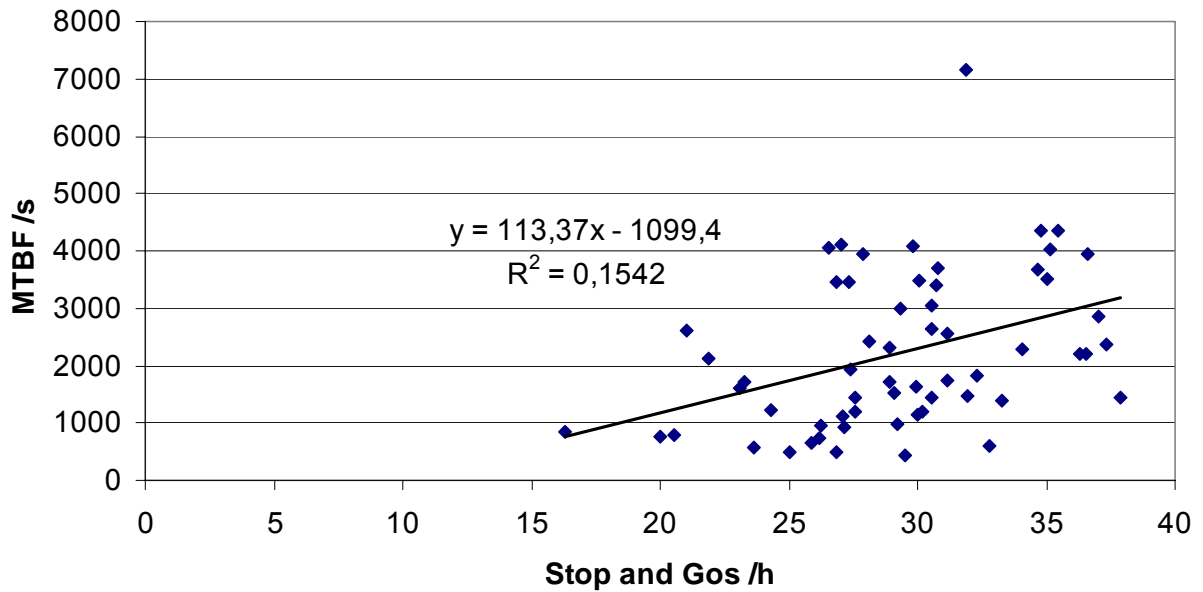


Ausstattungsmaschine

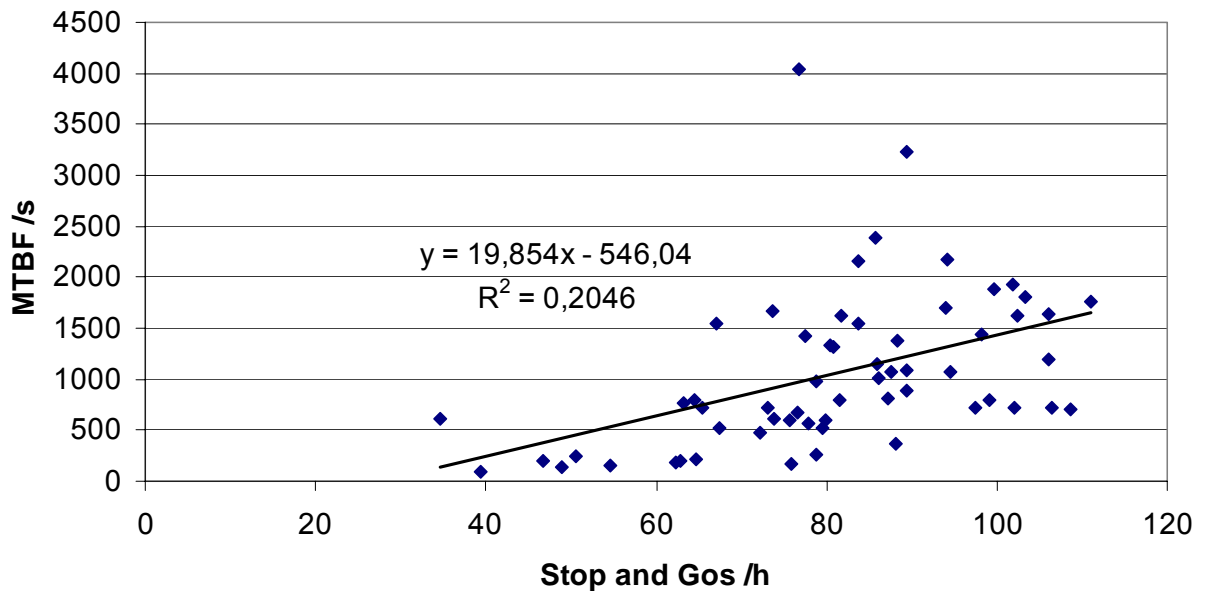


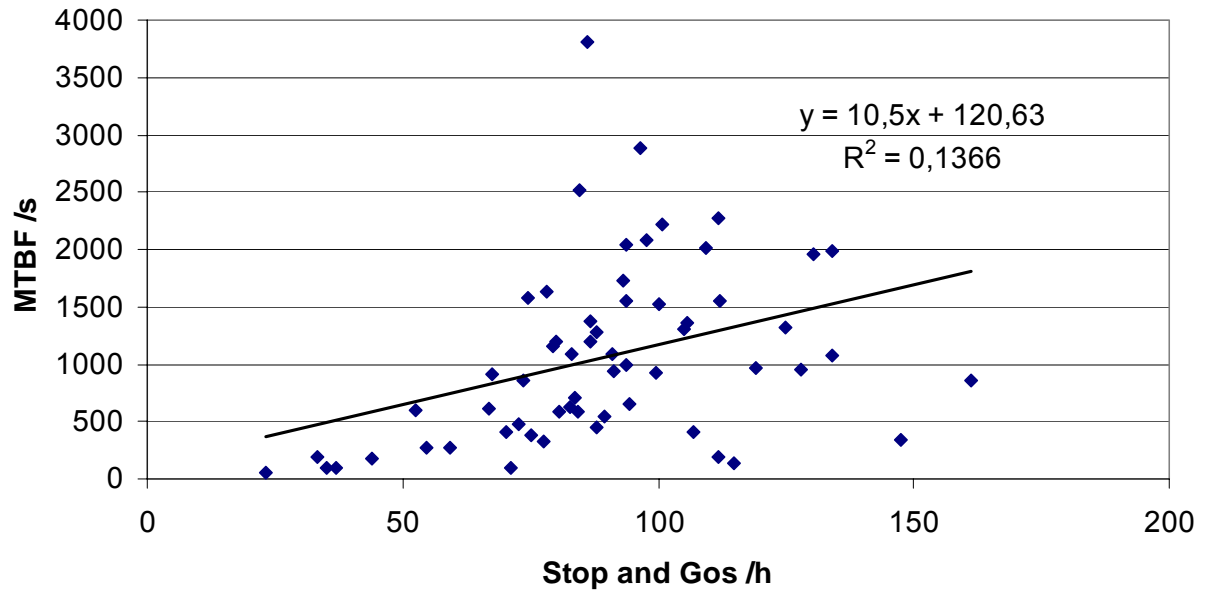
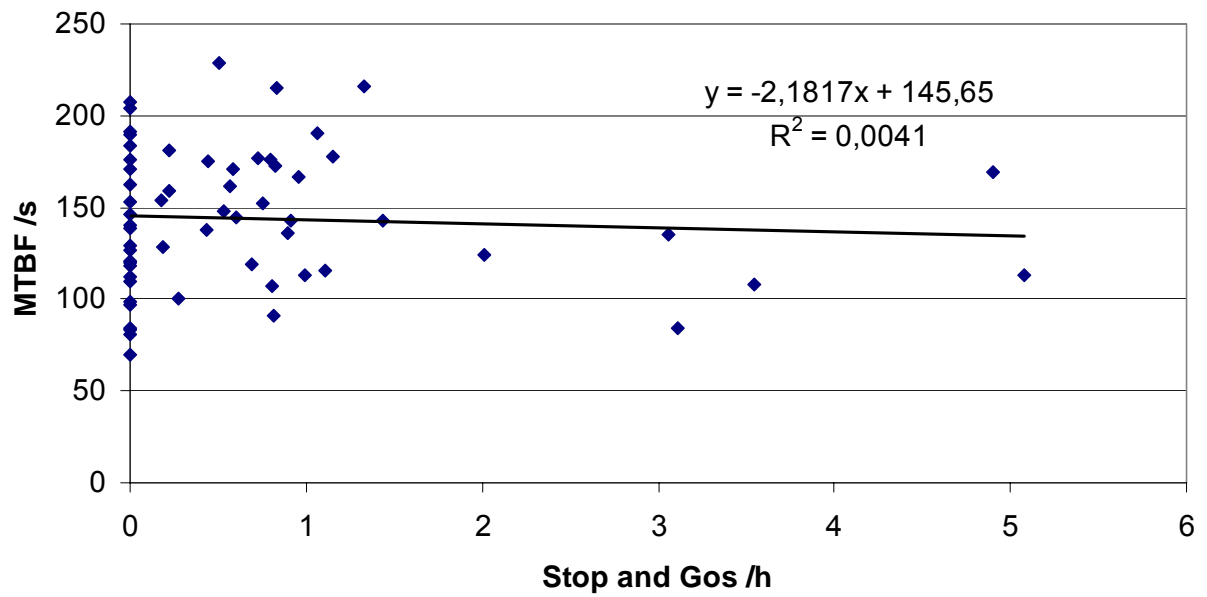
Ergebnisdiagramme der Zeitfensteranalyse für diskontinuierlich arbeitende Maschinen aus Anlage F

Palettenentlademaschine

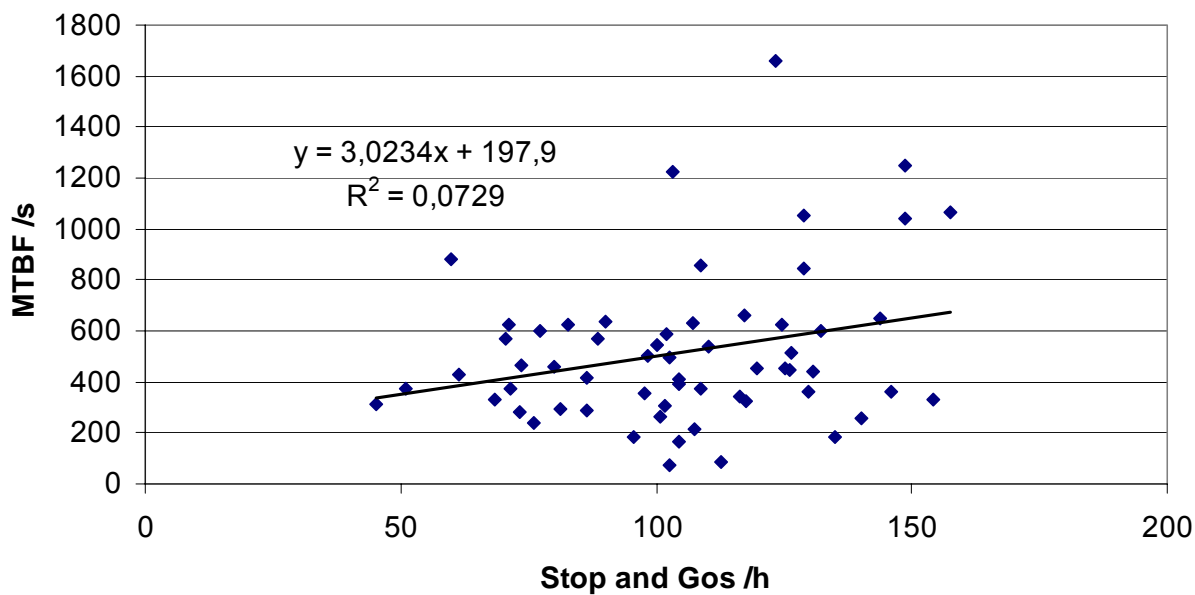


Auspackmaschine 1

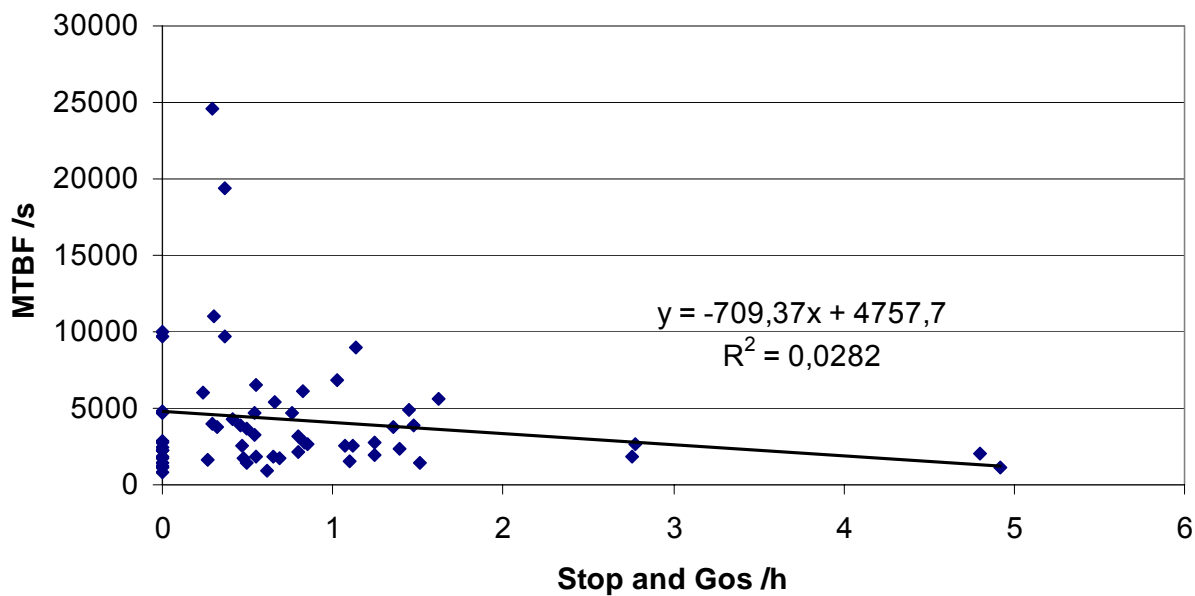


Auspackmaschine 2**Reinigungsmaschine**

Einpackmaschine



Palettenbelademaschine



Ergebnisse der Zeitfensteranalyse für das Blockaggrat aus Füll-, Verschleiß- und Ausstattungsmaschine (aus Anlage G)

Parameter der linearen Regressionsrechnung bei unterschiedlichen Zeitfenstergrößen ZFG und Schrittweiten SW (Beispieldiagramm siehe Bild 4.21)

Schrittweite /s	1800			2400		
Zeitfenstergröße /s	γ / s/ Stop and Go/h	MTBFmax /s	Bestimmtheitsmaß R^2	γ / s/ Stop and Go/h	MTBFmax /s	Bestimmtheitsmaß R^2
10800	-17,10	1591,4	0,0467	-21,58	1561,1	0,0846
12600	-43,48	1827,2	0,1317	-44,87	1857,8	0,1345
14400	-32,07	1588,7	0,3241	-33,83	1647	0,2060
16200	-29,66	1621,6	0,1243	-22,46	1553,7	0,1187
18000	-28,32	1629,2	0,0477	-17,65	1528,5	0,0500
19800	-31,12	1678,8	0,1111	-37,03	1709,4	0,1341
21600	-8,43	1426,7	0,0134	-15,21	1487,8	0,0440
23400	-29,44	1597,3	0,1688	-35,06	1649,1	0,2322
25200	-39,68	1654,7	0,1102	-34,03	1621,7	0,0793
27000	-24,07	1552,5	0,1117	-23,59	1561,8	0,0883
28800	-32,38	1634,1	0,1328	-27,31	1586,8	0,0947
30600	-22,96	1545,8	0,0754	-25,67	1576,9	0,0718
32400	-42,02	1690,4	0,1313	-37,52	1636,7	0,1019
34200	-47,89	1739,8	0,1769	-51,88	1791,4	0,2153
36000	-52,45	1752,4	0,1937	-40,39	1642,9	0,1993
Schrittweite /s	3000			3600		
Zeitfenstergröße /s	γ / s/ Stop and Go/h	MTBFmax /s	Bestimmtheitsmaß R^2	γ / s/ Stop and Go/h	MTBFmax /s	Bestimmtheitsmaß R^2
10800	-89,60	2409,2	0,0663	-14,30	1546,6	0,0231
12600	-43,57	1834,7	0,1305	-40,65	1843,5	0,0896
14400	-34,60	1674	0,1907	-31,01	1606,1	0,2336
16200	-24,48	1557,5	0,1037	-42,47	1749,3	0,0790
18000	-22,37	1565,8	0,0669	-32,72	1644,5	0,0510
19800	-22,31	1595	0,0481	-23,47	1620,7	0,0433
21600	-5,02	1402,4	0,0042	-8,70	1422,1	0,0101
23400	-48,39	1780,1	0,1945	-36,02	1670,6	0,1849
25200	-36,42	1634,6	0,0822	-49,36	1758,4	0,1013
27000	-28,05	1589,9	0,1212	-31,93	1603,3	0,1183
28800	-47,13	1761,9	0,1291	-35,01	1648,8	0,1399
30600	-39,78	1721,2	0,0765	-20,56	1544	0,0639
32400	-41,58	1686	0,1241	-47,47	1731,3	0,1434
34200	-36,98	1658,4	0,1270	-38,02	1693	0,1448
36000	-49,74	1739,4	0,1606	-57,40	1775,2	0,2207

Schrittweite /s	4200			4800		
Zeitfenstergröße /s	γ / s/ Stop and Go/h	MTBFmax /s	Bestimmtheitsmaß R^2	γ / s/ Stop and Go/h	MTBFmax /s	Bestimmtheitsmaß R^2
10800	-92,28	2367,5	0,0667	-17,71	1497,3	0,0388
12600	-20,13	1580,3	0,0584	-49,50	1988,2	0,0503
14400	-41,42	1721,1	0,1835	-34,09	1657,2	0,1703
16200	-31,46	1650,5	0,1086	-36,29	1649,8	0,1608
18000	-4,13	1430,4	0,0030	-27,80	1625,4	0,0371
19800	-20,86	1550,9	0,0472	-33,85	1647,8	0,0903
21600	-8,23	1390,3	0,0092	-11,15	1419,7	0,0174
23400	-64,40	1923,2	0,1173	-34,33	1626,3	0,1516
25200	-35,93	1634,2	0,0709	-33,74	1633,7	0,0731
27000	-32,07	1617,8	0,1347	-26,41	1572	0,0937
28800	-41,74	1707	0,0995	-27,27	1585,8	0,0765
30600	-37,85	1665,3	0,0650	-30,80	1621,2	0,0852
32400	-28,84	1616,3	0,0696	-36,58	1638,3	0,0758
34200	-39,15	1688,2	0,1603	-58,54	1848,2	0,2078
36000	-58,03	1806,7	0,2087	-37,78	1613,7	0,1216
Schrittweite /s	5400			6000		
Zeitfenstergröße /s	γ / s/ Stop and Go/h	MTBFmax /s	Bestimmtheitsmaß R^2	γ / s/ Stop and Go/h	MTBFmax /s	Bestimmtheitsmaß R^2
37800	-4,09	1515,9	0,0019	-22,77	1650	0,0468
39600	-20,52	1607,1	0,0565	-51,19	1959,6	0,0767
41400	-24,08	1519,7	0,0916	-9,81	1508,9	0,0080
43200	-39,79	1722,2	0,0554	-23,54	1537,3	0,0741
45000	-21,62	1496,4	0,0729	-38,09	1707,7	0,0659
46800	-10,64	1465,8	0,0128	-11,99	1514	0,0089
48600	-9,04	1474,9	0,0102	-16,83	1467,6	0,0467
50400	-22,35	1539,5	0,0643	-42,50	1678,1	0,2720
52200	-5,54	1370	0,0056	-39,71	1651,5	0,0671
54000	-19,37	1527,3	0,0615	-23,00	1536,1	0,0688
55800	-30,81	1594,1	0,1071	-25,20	1551,4	0,0813
57600	-11,14	1451,6	0,0130	-13,78	1512,6	0,0175
59400	-24,28	1558	0,0518	-38,36	1662,4	0,0774
61200	-34,62	1597,9	0,1131	-29,93	1552,4	0,1071
63000	-37,35	1665,7	0,0878	-38,00	1674	0,1286

Schrittweite /s	6600			7200		
	γ / s/ Stop and Go/h	MTBFmax /s	Bestimm- heitsmaß R^2	γ / s/ Stop and Go/h	MTBFmax /s	Bestimm- heitsmaß R^2
64800	-41,88	1954,7	0,0429	-8,27	1437,9	0,0074
66600	-8,62	1547,8	0,0092	-58,76	2044,9	0,0839
68400	-30,01	1679,8	0,0810	-38,00	1689,6	0,1414
70200	-30,66	1641,7	0,1150	-23,76	1604,8	0,0631
72000	9,96	1319,8	0,0091	-37,20	1671,7	0,0613
73800	-14,73	1531,5	0,0154	-27,18	1616,1	0,0474
75600	-1,63	1371	0,0003	-11,84	1439,4	0,0154
77400	-48,44	1794,6	0,1813	-40,94	1738,3	0,1875
79200	-41,70	1680,2	0,0814	-52,02	1775,1	0,0881
81000	-25,24	1572,7	0,0634	-30,48	1566,9	0,1086
82800	-35,62	1656,6	0,0589	-18,15	1517,1	0,0338
84600	-44,65	1756,7	0,0854	-22,44	1542,7	0,0577
86400	-31,83	1578	0,0885	-47,04	1728	0,1084
88200	-48,49	1749	0,1003	-34,22	1665,1	0,1011
90000	-63,23	1836,5	0,1699	-31,29	1598,7	0,1219

Mittelwerte			
Zeitfenster- größe /s	γ / s/ Stop and Go/h	MTBFmax /s	Bestimm- heitsmaß R^2
23400	-30,34	1628,343333	0,0429

Anhang G. Dokumentation des Fuzzy-Controllers zur Regelung von Maschinenausbringungen

Abkürzungen

Berechne MBF	Berechne Membership Function (Fuzzifizierungsmethode)
CoM	Center of Maximum (Defuzzifizierungsmethode)
BSUM	Bounded Sum - Operator zur Berechnung der Ergebnisaggregation
MIN	Minimum-Operator (UND-Aggregation)
MAX	Maximum-Operator (ODER-Aggregation)
GAMMA	Kompensatorischer Operator für die Aggregation
PROD	Fuzzy Operator für die Komposition
LV	Linguistische Variable
MBF	Zugehörigkeitsfunktion (Membership Function)
RB	Regelblock

Eckdaten des Fuzzy-Controllers

Statistik des Fuzzy-Systems

Linguistische Eingangsvariablen	11
Linguistische Ausgangsvariablen	5
Linguistische Zwischenvariablen	0
Regelblöcke	5
Regeln	64
Zugehörigkeitsfunktionen	50

Definition der linguistischen Variablen

Dieses Kapitel enthält alle Definitionen der Linguistischen Variablen und Zugehörigkeitsfunktionen des Fuzzy Systems.

Die folgende Tabelle listet alle Linguistischen Variablen zusammen mit den Termnamen auf.

Linguistische Variablen

Variablenname	Terminen
dFuellungP1	negativ, null, positiv
dFuellungP2	negativ, null, positiv
dFuellungP3	negativ, null, positiv
dFuellungP4	negativ, null, positiv
FuellungP1	leer, normal, voll
FuellungP2	leer, normal, voll
FuellungP3	leer, normal, voll
FuellungP4	leer, normal, voll
QistEtikett	steht, niedrig, normal, hoch
QistInFuell	steht, niedrig, normal
QistReima	steht, niedrig, normal, hoch
QsollAuspacker	niedrig, normal, hoch
QsollEinpacker	niedrig, normal, hoch
QsollEtikett	niedrig, normal, hoch
QsollInFuell	sehr_niedrig, niedrig, normal
QsollReima	niedrig, normal, hoch

Die Eigenschaften der Basisvariablen sind in der folgenden Tabelle aufgelistet.

Basisvariablen

Variablenname	Min	Max	Default	Einheit
dFuellungP1	-100	100	0	Units
dFuellungP2	-100	100	0	Units
dFuellungP3	-100	100	0	Units
dFuellungP4	-100	100	0	Units
FuellungP1	0	100	0	Units
FuellungP2	0	100	0	Units
FuellungP3	0	100	0	Units
FuellungP4	0	100	0	Units
QistEtikett	0	130	100	Units
QistInFuell	0	100	100	Units
QistReima	0	130	100	Units
QsollAuspacker	20	120	100	Units
QsollEinpacker	20	120	100	Units
QsollEtikett	20	110	100	Units
QsollInFuell	20	100	100	Units
QsollReima	20	110	100	Units

Der Defaultwert wird von der Ausgangsvariablen angenommen, wenn für diese Variable keine Regel feuert. Für die Defuzzifizierung können unterschiedliche Methoden eingesetzt werden, die entweder das 'plausibelste Resultat' oder den 'besten' Kompromiss liefern.

Zu den kompromissbildenden Verfahren gehören:

CoM (Center of Maximum)

CoA (Center of Area)

CoA BSUM, eine Variante für effiziente VLSI-Implementierungen

Das 'plausibelste Resultat' liefern:

MoM (Mean of Maximum)

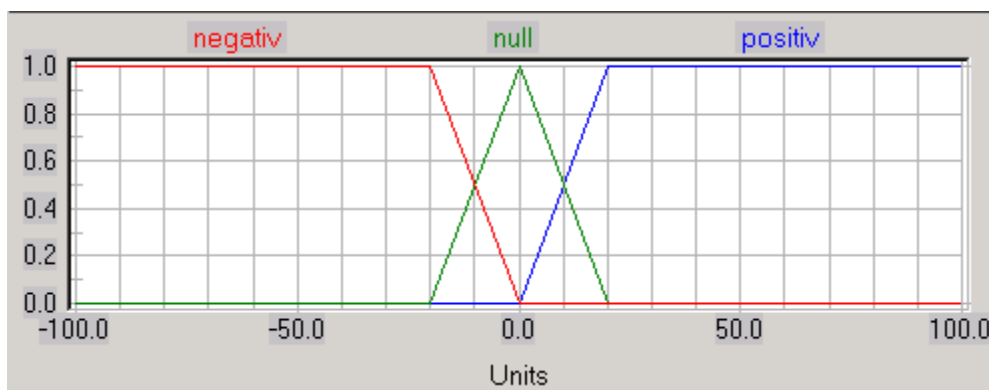
MoM BSUM, eine Variante für effiziente VLSI-Implementierungen

Die folgende Tabelle listet alle mit einem Interface verknüpften Variablen, sowie die entsprechende Fuzzifizierungs- bzw. Defuzzifizierungsmethode auf.

Ein- und Ausgänge

Variablenname	Typ	Fuzzifizierung/Defuzzifizierung
dFuellungP1	Eingang	Berechne MBF
dFuellungP2	Eingang	Berechne MBF
dFuellungP3	Eingang	Berechne MBF
dFuellungP4	Eingang	Berechne MBF
FuellungP1	Eingang	Berechne MBF
FuellungP2	Eingang	Berechne MBF
FuellungP3	Eingang	Berechne MBF
FuellungP4	Eingang	Berechne MBF
QistEtikett	Eingang	Berechne MBF
QistInFuell	Eingang	Berechne MBF
QistReima	Eingang	Berechne MBF
QsollAuspacker	Ausgang	CoM
QsollEinpacker	Ausgang	CoM
QsollEtikett	Ausgang	CoM
QsollInFuell	Ausgang	CoM
QsollReima	Ausgang	CoM

Eingangsvariable "dFuellungP1"

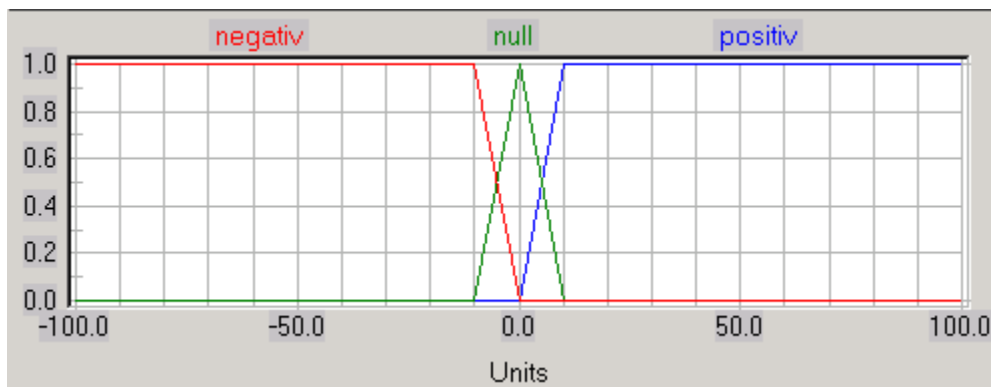


Zugehörigkeitsfunktion der Variable "dFuellungP1"

Definitionspunkte der Zugehörigkeitsfunktion "dFuellungP1"

Termname	Form/Par.	Definitionspunkte (x, y)
Negativ	L-Form	(-100, 1) (-20, 1) (0, 0)
Null	L-Form	(-100, 0) (-20, 0) (0, 1) (20, 0) (100, 0)
Positiv	L-Form	(-100, 0) (0, 0) (20, 1) (100, 1)

Eingangsvariable "dFuellungP2"

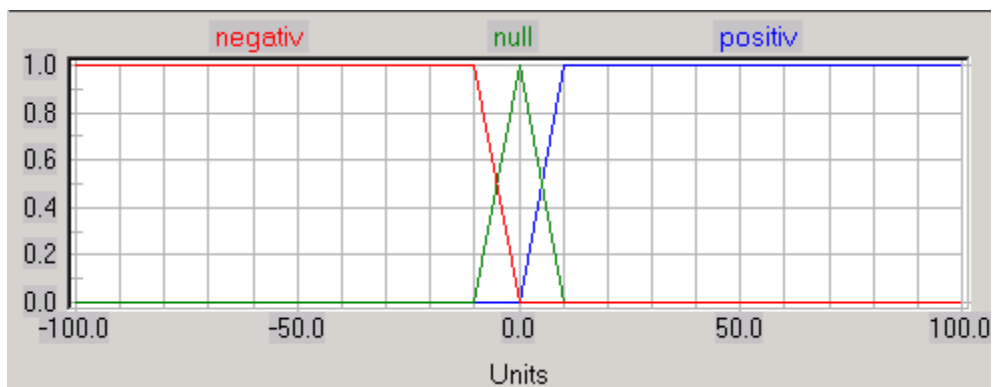


Zugehörigkeitsfunktion der Variable "dFuellungP2"

Definitionspunkte der Zugehörigkeitsfunktion "dFuellungP2"

Termname	Form/Par.	Definitionspunkte (x, y)
Negativ	L-Form	(-100, 1) (-10, 1) (0, 0) (100, 0)
Null	L-Form	(-100, 0) (-10, 0) (0, 1) (10, 0) (100, 0)
Positiv	L-Form	(-100, 0) (0, 0) (10, 1) (100, 1)

Eingangsvariable "dFuellungP3"

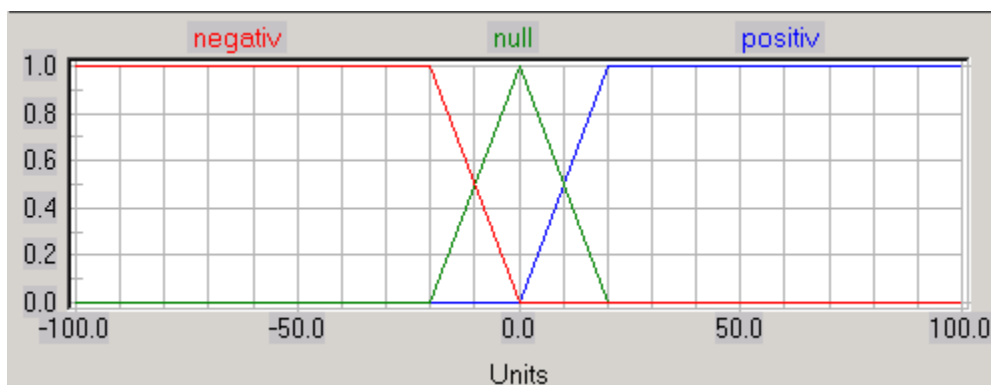


Zugehörigkeitsfunktion der Variable "dFuellungP3"

Definitionspunkte der Zugehörigkeitsfunktion "dFuellungP3"

Termname	Form/Par.	Definitionspunkte (x, y)
negativ	L-Form	(-100, 1) (-10, 1) (0, 0) (100, 0)
null	L-Form	(-100, 0) (-10, 0) (0, 1) (10, 0) (100, 0)
positiv	L-Form	(-100, 0) (0, 0) (10, 1) (100, 1)

Eingangsvariable "dFuellungP4"

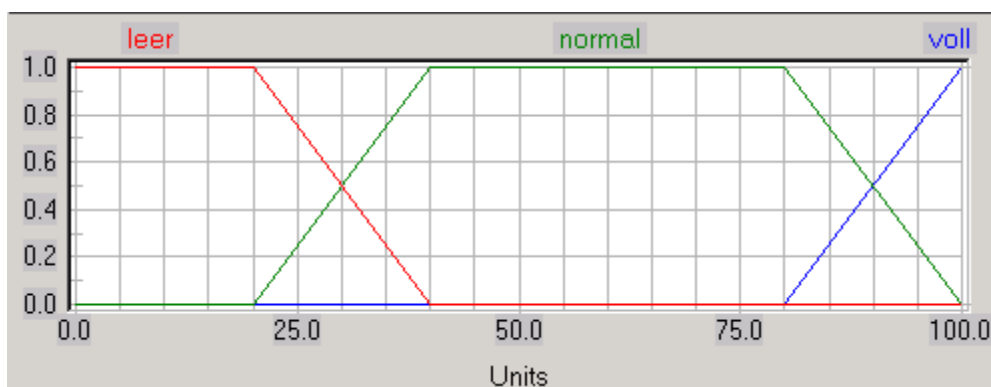


Zugehörigkeitsfunktion der Variable "dFuellungP4"

Definitionspunkte der Zugehörigkeitsfunktion "dFuellungP4"

Termname	Form/Par.	Definitionspunkte (x, y)
negativ	L-Form	(-100, 1) (-20, 1) (0, 0) (100, 0)
null	L-Form	(-100, 0) (-20, 0) (0, 1) (20, 0) (100, 0)
positiv	L-Form	(-100, 0) (0, 0) (20, 1) (100, 1)

Eingangsvariable "FuellungP1"



Zugehörigkeitsfunktion der Variable "FuellungP1"

Definitionspunkte der Zugehörigkeitsfunktion "FuellungP1"

Termname	Form/Par.	Definitionspunkte (x, y)
leer	L-Form	(0, 1) (20, 1) (40, 0) (50, 0) (100, 0)
normal	L-Form	(0, 0) (20, 0) (40, 1) (80, 1) (100, 0)
voll	L-Form	(0, 0) (80, 0) (100, 1)

Eingangsvariable "FuellungP2"

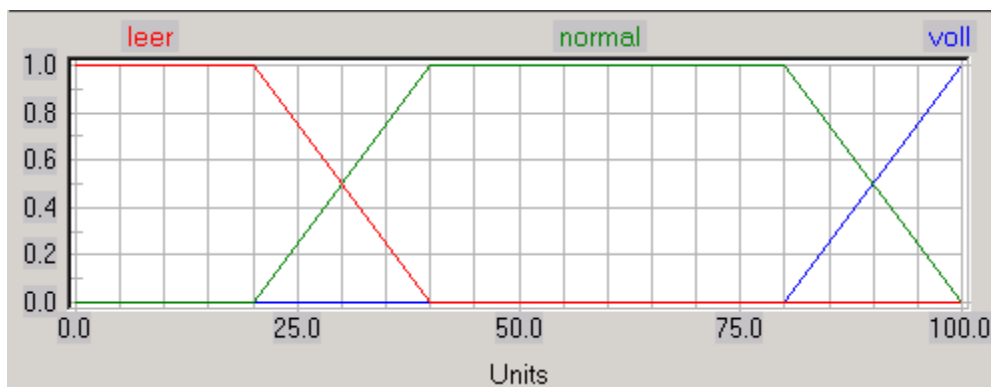


Zugehörigkeitsfunktion der Variable "FuellungP2"

Definitionspunkte der Zugehörigkeitsfunktion "FuellungP2"

Termname	Form/Par.	Definitionspunkte (x, y)
leer	L-Form	(0, 1) (20, 1) (40, 0) (50, 0) (100, 0)
normal	L-Form	(0, 0) (20, 0) (40, 1) (80, 1) (100, 0)
voll	L-Form	(0, 0) (80, 0) (100, 1)

Eingangsvariable "FuellungP3"

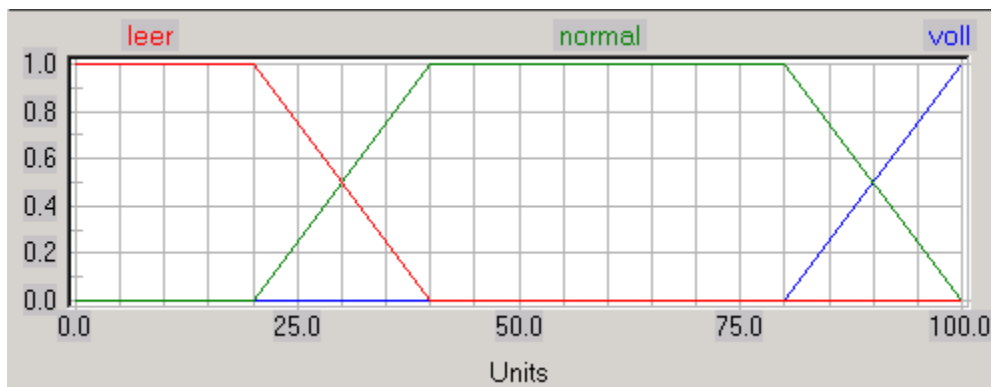


Zugehörigkeitsfunktion der Variable "FuellungP3"

Definitionspunkte der Zugehörigkeitsfunktion "FuellungP3"

Termname	Form/Par.	Definitionspunkte (x, y)
leer	L-Form	(0, 1) (20, 1) (40, 0) (50, 0) (100, 0)
normal	L-Form	(0, 0) (20, 0) (40, 1) (80, 1) (100, 0)
Voll	L-Form	(0, 0) (80, 0) (100, 1)

Eingangsvariable "FuellungP4"

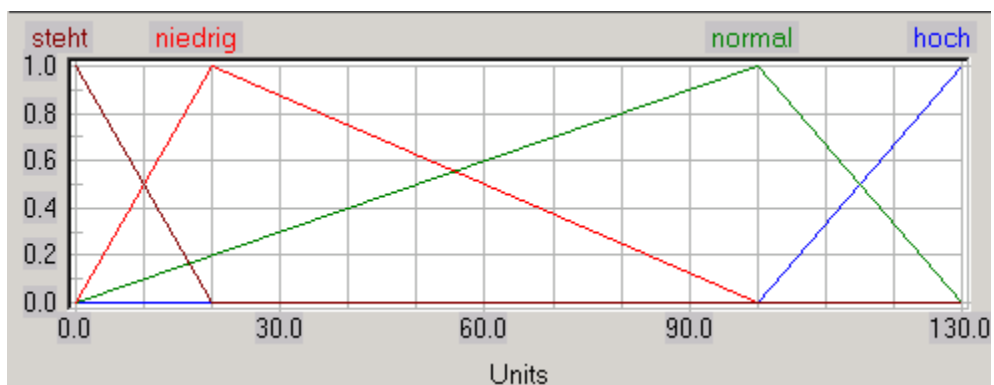


Zugehörigkeitsfunktion der Variable "FuellungP4"

Definitionspunkte der Zugehörigkeitsfunktion "FuellungP4"

Termname	Form/Par.	Definitionspunkte (x, y)
leer	L-Form	(0, 1) (20, 1) (40, 0) (50, 0) (100, 0)
normal	L-Form	(0, 0) (20, 0) (40, 1) (80, 1) (100, 0)
voll	L-Form	(0, 0) (80, 0) (100, 1)

Eingangsvariable "QistEtikett"

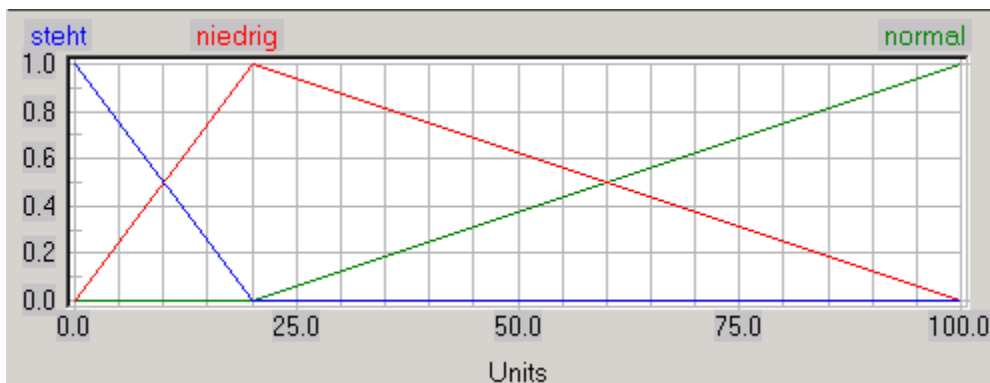


Zugehörigkeitsfunktion der Variable " QistEtikett "

Definitionspunkte der Zugehörigkeitsfunktion " QistEtikett "

Termname	Form/Par.	Definitionspunkte (x, y)
steht	L-Form	(0, 1) (20, 0) (130, 0)
niedrig	L-Form	(0, 0) (20, 0.99874) (100, 0) (130, 0)
normal	L-Form	(0, 0) (100, 1) (130, 0)
hoch	L-Form	(0, 0) (100, 0) (130, 1)

Eingangsvariable "QistInFuell"



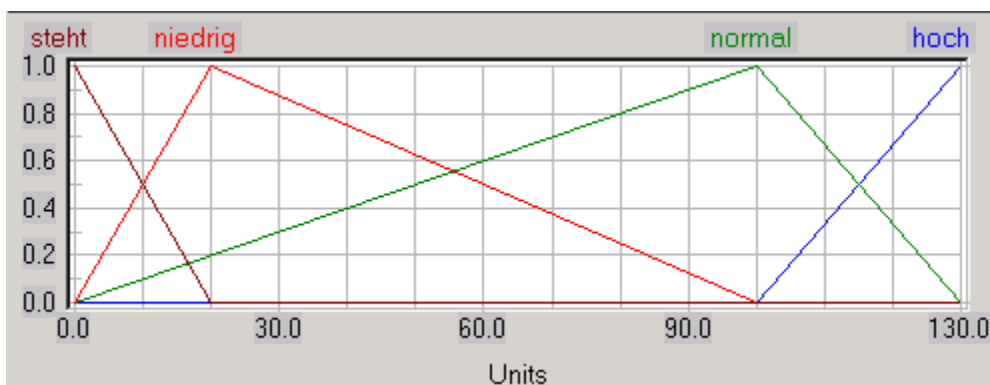
Zugehörigkeitsfunktion der Variable " QistInFuell "

Definitionspunkte der Zugehörigkeitsfunktion " QistInFuell "

Termname	Form/Par.	Definitionspunkte (x, y)
steht	L-Form	(0, 1) (20, 0) (100, 0)
niedrig	L-Form	(0, 0) (20, 1) (100, 0)
normal	L-Form	(0, 0) (20, 0) (100, 1)

Tabelle 1: Definitionspunkte der Zugehörigkeitsfunktion "QistInFuell"

Eingangsvariable "QistReima"

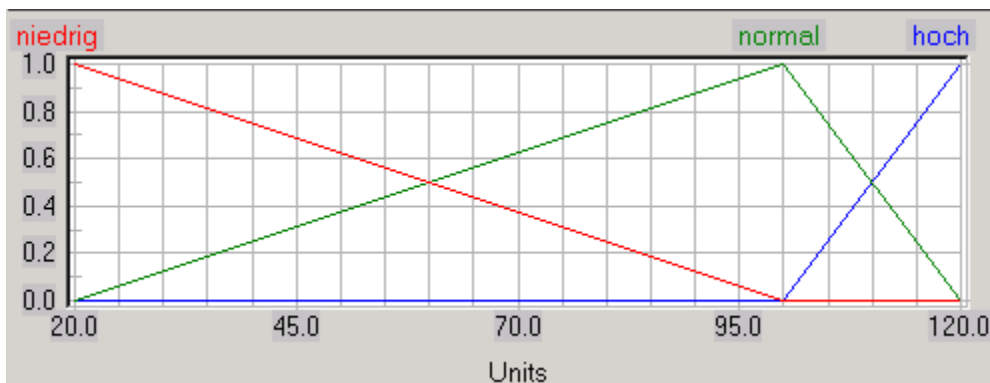


Zugehörigkeitsfunktion der Variable " QistReima "

Definitionspunkte der Zugehörigkeitsfunktion " QistReima "

Termname	Form/Par.	Definitionspunkte (x, y)
steht	L-Form	(0, 1) (20, 0) (130, 0)
niedrig	L-Form	(0, 0) (20, 0.99874) (100, 0)
normal	L-Form	(0, 0) (100, 1) (130, 0)
hoch	L-Form	(0, 0) (100, 0) (130, 1)

AusgangsvARIABLE "QsollAuspacker"

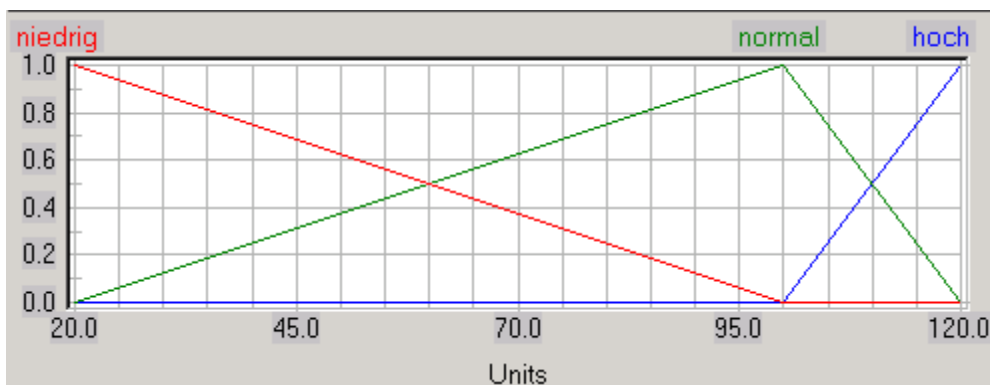


Zugehörigkeitsfunktion der Variable " QsollAuspacker "

Definitionspunkte der Zugehörigkeitsfunktion " QsollAuspacker "

Termname	Form/Par.	Definitionspunkte (x, y)
niedrig	L-Form	(20, 1) (100, 0) (120, 0)
normal	L-Form	(20, 0) (100, 1) (120, 0)
hoch	L-Form	(20, 0) (100, 0) (120, 1)

AusgangsvARIABLE "QsollEinpacker"

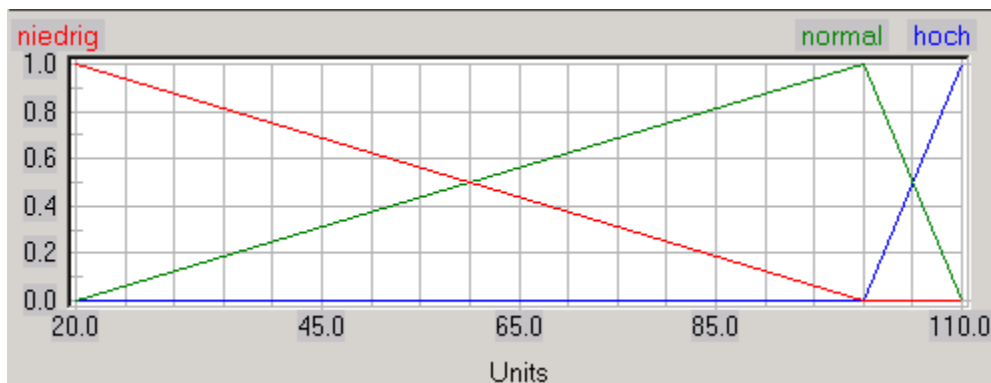


Zugehörigkeitsfunktion der Variable " QsollEinpacker "

Definitionspunkte der Zugehörigkeitsfunktion " QsollEinpacker "

Termname	Form/Par.	Definitionspunkte (x, y)
niedrig	L-Form	(20, 1) (100, 0) (120, 0)
normal	L-Form	(20, 0) (100, 1) (120, 0)
hoch	L-Form	(20, 0) (100, 0) (120, 1)

Ausgangsvariable "QsollEtikett"

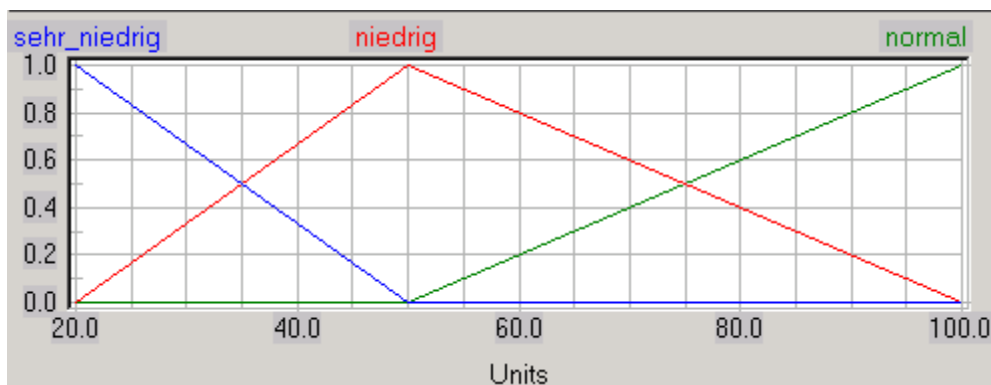


Zugehörigkeitsfunktion der Variable " QsollEtikett "

Definitionspunkte der Zugehörigkeitsfunktion " QsollEtikett "

Termname	Form/Par.	Definitionspunkte (x, y)
niedrig	L-Form	(20, 1) (100, 0) (110, 0)
normal	L-Form	(20, 0) (100, 1) (110, 0)
hoch	L-Form	(20, 0) (100, 0) (110, 1)

Ausgangsvariable "QsollInFuell"

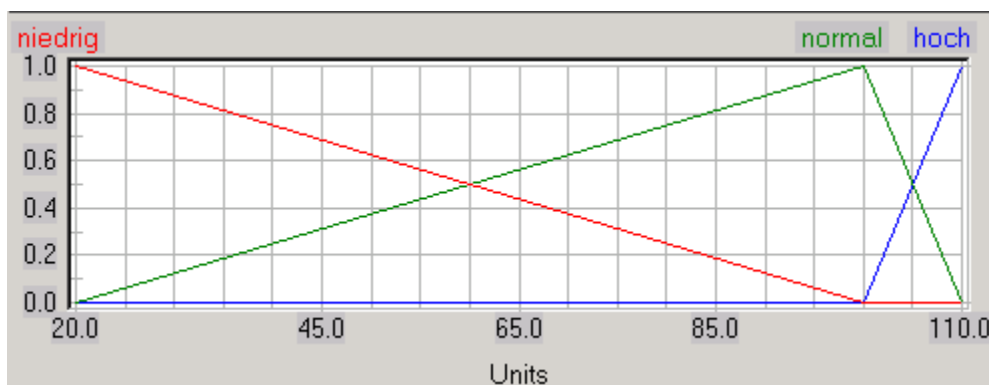


Zugehörigkeitsfunktion der Variable " QsollInFuell "

Definitionspunkte der Zugehörigkeitsfunktion " QsollInFuell "

Termname	Form/Par.	Definitionspunkte (x, y)
sehr_niedrig	L-Form	(20, 1) (50, 0) (100, 0)
niedrig	L-Form	(20, 0) (50, 1) (100, 0)
normal	L-Form	(20, 0) (50, 0) (100, 1)

AusgangsvARIABLE "QsollReima"



Zugehörigkeitsfunktion der Variable " QsollReima "

Definitionspunkte der Zugehörigkeitsfunktion " QsollReima "

Termname	Form/Par.	Definitionspunkte (x, y)
niedrig	L-Form	(20, 1) (100, 0) (110, 0)
normal	L-Form	(20, 0) (100, 1) (110, 0)
hoch	L-Form	(20, 0) (100, 0) (110, 1)

Regelblöcke

Das Verhalten des Reglers in den verschiedenen Prozesssituationen wird durch die Regelblöcke festgelegt. Jeder einzelne Regelblock enthält Regeln für einen festen Satz von Eingangs- und Ausgangsvariablen.

Der "Wenn"-Teil der Regeln beschreibt dabei die Situation, in der die Regel gelten soll, der "Dann"-Teil die Reaktion hierauf. Durch den "Degree of Support" (DoS) kann hierbei den einzelnen Regeln ein unterschiedliches Gewicht gegeben werden.

Zur Auswertung der Regeln wird zuerst der "Wenn"-Teil berechnet. Hierbei können verschiedene Verfahren eingesetzt werden, die durch den Operortyp des Regelblocks festgelegt sind. Der Operator kann vom Typ MIN-MAX, MIN-AVG oder GAMMA sein. Das Verhalten des Operators wird zusätzlich durch eine Parametrierung beeinflusst.

Beispielsweise:

MIN-MAX, mit dem Parameterwert 0 = Minimum-Operator (MIN).

MIN-MAX, mit dem Parameterwert 1 = Maximum-Operator (MAX).

GAMMA, mit dem Parameterwert 0 = Produkt-Operator (PROD).

Der Minimum-Operator ist die Verallgemeinerung des booleschen 'und' und der Maximum-Operator ist die Verallgemeinerung des booleschen 'oder'.

Die Ergebnisse der einzelnen Regeln werden anschließend zu Gesamtschlussfolgerungen zusammengefasst. Die BSUM-Methode betrachtet hierbei alle für einen Zustand feuern den Regeln, während die MAX-Methode nur dominante Regeln berücksichtigt.

Regelblock "RegelungAusp"**Parameter**

Operator:	MINMAX
Parameter:	0.00
Ergebnisoperator:	MAX
Anzahl der Eingänge:	4
Anzahl der Ausgänge:	1
Anzahl der Regeln:	16

Regeln des Regelblocks "RegelungAusp"

WENN				DANN	
dFuellungP1	FuellungP1	QistInFuell	QistReima	DoS	QsollAuspacker
negativ			steht	1.00	normal
null			steht	1.00	niedrig
positiv			steht	1.00	niedrig
negativ			niedrig	1.00	normal
null			niedrig	1.00	niedrig
positiv			niedrig	1.00	niedrig
negativ			normal	1.00	hoch
null			normal	1.00	normal
positiv			normal	1.00	niedrig
negativ			hoch	1.00	hoch
null			hoch	1.00	hoch
positiv			hoch	1.00	normal
null		steht		1.00	niedrig
positiv		steht		1.00	niedrig
	leer			1.00	hoch
	voll			1.00	niedrig

Regelblock "RegelungReima"**Parameter**

Operator:	MINMAX
Parameter:	0.00
Ergebnisoperator:	MAX
Anzahl der Eingänge:	4
Anzahl der Ausgänge:	1
Anzahl der Regeln:	11

Regeln des Regelblocks "RegelungReima"

WENN				DANN	
dFuellungP2	FuellungP1	FuellungP2	QistInFuell	DoS	QsollReima
null			steht	1.00	niedrig
positiv			steht	1.00	niedrig
negativ			niedrig	1.00	normal
null			niedrig	1.00	normal
positiv			niedrig	1.00	niedrig
negativ			normal	1.00	hoch
null			normal	1.00	normal
positiv			normal	1.00	niedrig
	leer			1.00	niedrig
		voll		1.00	niedrig
		leer		1.00	hoch

Regelblock "RegelungEtikett"

Parameter

Operator: MINMAX
 Parameter: 0.00
 Ergebnisoperator: MAX
 Anzahl der Eingänge: 4
 Anzahl der Ausgänge: 1
 Anzahl der Regeln: 12

Regeln des Regelblocks "RegelungEtikett"

WENN				DANN	
dFuellungP3	FuellungP3	FuellungP4	QistInFuell	DoS	QsollEtikett
negativ			steht	1.00	niedrig
null			steht	1.00	niedrig
positiv			steht	1.00	normal
negativ			niedrig	1.00	niedrig
null			niedrig	1.00	normal
positiv			niedrig	1.00	normal
negativ			normal	1.00	niedrig
null			normal	1.00	normal
positiv			normal	1.00	hoch
	leer			1.00	niedrig
		voll		1.00	niedrig
	voll	leer		1.00	hoch

Regelblock "RegelungEinpack"

Parameter

Operator: MINMAX
 Parameter: 0.00
 Ergebnisoperator: MAX
 Anzahl der Eingänge: 4

Anzahl der Ausgänge: 1
 Anzahl der Regeln: 16

Regeln des Regelblocks "RegelungEinpack"

WENN				DANN	
dFuellungP4	FuellungP4	QistEtikett	QistInFuell	DoS	QsollEinpacker
negativ		steht		1.00	niedrig
null		steht		1.00	niedrig
positiv		steht		1.00	normal
negativ		niedrig		1.00	niedrig
null		niedrig		1.00	niedrig
positiv		niedrig		1.00	normal
negativ		normal		1.00	niedrig
null		normal		1.00	normal
positiv		normal		1.00	hoch
negativ		hoch		1.00	normal
null		hoch		1.00	hoch
positiv		hoch		1.00	hoch
negativ			steht	1.00	niedrig
null			steht	1.00	niedrig
	leer			1.00	niedrig
	voll			1.00	hoch

Regelblock "RegelungInFuell"

Parameter

Operator: MINMAX
 Parameter: 0.00
 Ergebnisoperator: BSUM
 Anzahl der Eingänge: 2
 Anzahl der Ausgänge: 1
 Anzahl der Regeln: 9

Regeln des Regelblocks "RegelungInFuell"

WENN		DANN	
FuellungP2	FuellungP3	DoS	QsollInFuell
leer	leer	1.00	niedrig
leer	normal	1.00	niedrig
leer	voll	1.00	sehr_niedrig
normal	leer	1.00	normal
normal	normal	1.00	normal
normal	voll	1.00	niedrig
voll	leer	1.00	normal
voll	normal	1.00	normal
voll	voll	1.00	niedrig

Anhang H. Ergebnisse der vergleichenden Simulationsversuche

ungeregelter Betrieb (ug)																
Seedwerte 1																
Aggregat	MTBF /s	MDT /s	Wirkungsgrad	Stop and Go /h	Anlagenliefergrad	Versuchzeit /s	Bearbeitete Elemente	Arbeitszeit /%	Arbeiten	Arbeitszeit /s	Störungszeit /%	Störungen	Störungszeit /s	Pausenzeit /%	Pausen	Pausenzeit /s
Palettenentlademaschine	1925,9	101,6	0,950	44,2		882000,0	292741,0	67,8	293045	585481,5	3,6	303	30780,5	28,7	1766	247738,0
Auspackmaschine	1460,0	86,7	0,944	126,8		882000,0	1756399,0	72,0	1756825	622069,8	4,3	427	37015,6	23,4	5070	202113,0
Reinigungsmaschine	972,0	63,1	0,939	106,7		882000,0	1756376,0	76,5	1757054	660614,5	5,0	685	43209,7	17,8	4267	154023,0
Inspektionsmaschine + Füll- und Verschleißmaschine	1432,0	73,9	0,951	28,8	0,813	882000,0	1756432,0	82,3	1756929	711190,0	4,2	496	36633,7	13,4	1152	115663,0
Ausstattungsmaschine	577,9	95,1	0,859	107,5		882000,0	1756388,0	77,5	1757548	669293,6	12,8	1159	110272,9	9,7	4298	83343,0
Einpackmaschine	849,7	71,1	0,923	59,1		882000,0	292745,0	73,6	293492	635536,5	6,2	747	53137,9	20,3	2362	175278,0
Palettenbelademaschine	1885,8	118,1	0,941	23,9		882000,0	292758,0	70,9	293088	612657,9	4,7	344	40619,0	20,0	954	172782,0
Seedwerte 2																
Aggregat	MTBF /s	MDT /s	Wirkungsgrad	Stop and Go /h	Anlagenliefergrad	Versuchzeit /s	Bearbeitete Elemente	Arbeitszeit /%	Arbeiten	Arbeitszeit /s	Störungszeit /%	Störungen	Störungszeit /s	Pausenzeit /%	Pausen	Pausenzeit /s
Palettenentlademaschine	2058,5	104,4	0,952	45,9		882000,0	293330,0	67,9	293615	586659,2	3,4	284	29661,8	28,7	1835	247679,0
Auspackmaschine	1481,7	82,0	0,948	129,4		882000,0	1759897,0	72,2	1760314	623875,6	4,0	422	34611,4	23,5	5174	202616,0
Reinigungsmaschine	1065,3	58,1	0,948	112,2		882000,0	1760238,0	76,7	1760862	662671,2	4,2	627	36414,0	18,4	4486	158592,0
Inspektionsmaschine + Füll- und Verschleißmaschine	1321,5	63,7	0,954	29,6	0,815	882000,0	1760255,0	82,5	1760793	713062,7	4,0	539	34314,4	13,4	1184	116089,0
Ausstattungsmaschine	559,2	93,2	0,857	107,9		882000,0	1760332,0	77,7	1761531	671047,7	13,0	1201	111894,2	9,3	4315	79944,0
Einpackmaschine	827,5	77,1	0,915	59,2		882000,0	293341,0	73,7	294110	637141,0	6,9	769	59326,8	19,4	2366	167511,0
Palettenbelademaschine	1712,4	104,6	0,942	23,5		882000,0	293314,0	71,0	293671	613558,8	4,6	380	39741,4	19,9	938	171829,0
Seedwerte 3																
Aggregat	MTBF /s	MDT /s	Wirkungsgrad	Stop and Go /h	Anlagenliefergrad	Versuchzeit /s	Bearbeitete Elemente	Arbeitszeit /%	Arbeiten	Arbeitszeit /s	Störungszeit /%	Störungen	Störungszeit /s	Pausenzeit /%	Pausen	Pausenzeit /s
Palettenentlademaschine	2243,6	108,8	0,954	45,1		882000,0	296153,0	68,6	296417	592305,6	3,3	263	28621,4	28,1	1805	243073,0
Auspackmaschine	1489,8	76,5	0,951	131,7		882000,0	1776723,0	72,9	1777143	630127,9	3,8	424	32434,6	23,0	5268	198380,0
Reinigungsmaschine	963,9	60,5	0,941	108,9		882000,0	1776702,0	77,4	1777394	668409,6	4,9	699	42298,1	17,0	4356	146993,0
Inspektionsmaschine + Füll- und Verschleißmaschine	1376,6	61,4	0,957	28,4	0,823	882000,0	1777105,0	83,3	1777627	719474,8	3,7	522	32051,4	13,0	1134	111964,0
Ausstattungsmaschine	598,0	94,9	0,863	106,6		882000,0	1776998,0	78,3	1778128	676309,8	12,4	1132	107440,2	9,2	4262	79080,0
Einpackmaschine	834,2	72,9	0,920	57,3		882000,0	296141,0	74,2	296910	641452,9	6,5	768	56024,6	19,3	2291	166500,0
Palettenbelademaschine	1749,5	112,7	0,939	23,0		882000,0	296107,0	71,6	296453	618901,1	4,9	374	42157,0	19,2	920	165793,0
Mittelwerte																
Aggregat	MTBF /s	MDT /s	Wirkungsgrad	Stop and Go /h	Anlagenliefergrad	Versuchzeit /s	Bearbeitete Elemente	Arbeitszeit /%	Arbeiten	Arbeitszeit /s	Störungszeit /%	Störungen	Störungszeit /s	Pausenzeit /%	Pausen	Pausenzeit /s
Palettenentlademaschine	2076,0	105,0	0,952	45,1		882000,0	294074,7	68,1	294359	588148,7	3,4	283	29687,9	28,5	1802	246163,3
Auspackmaschine	1477,2	81,7	0,948	129,3		882000,0	1764339,7	72,4	1764761	625357,7	4,0	424	34687,2	23,3	5171	201036,3
Reinigungsmaschine	1000,4	60,6	0,943	109,2		882000,0	1764438,7	76,8	1765103	663898,4	4,7	670	40640,6	17,7	4370	153202,7
Inspektionsmaschine + Füll- und Verschleißmaschine	1376,7	66,3	0,954	28,9	0,817	882000,0	1764597,3	82,7	1765116	714575,9	4,0	519	34333,2	13,3	1157	114572,0
Ausstattungsmaschine	578,4	94,4	0,860	107,3		882000,0	1764572,7	77,8	1765736	672217,0	12,7	1164	109869,1	9,4	4292	80789,0
Einpackmaschine	837,1	73,7	0,919	58,5		882000,0	294075,7	73,8	294837	638043,5	6,5	761	56163,1	19,7	2340	169763,0
Palettenbelademaschine	1782,6	111,8	0,941	23,4		882000,0	294059,7	71,2	294404	615039,3	4,7	366	40839,1	19,7	937	170134,7
Standardabweichung																
Aggregat	MTBF /s	MDT /s	Wirkungsgrad	Stop and Go /h	Anlagenliefergrad	Versuchzeit /s	Bearbeitete Elemente	Arbeitszeit /%	Arbeiten	Arbeitszeit /s	Störungszeit /%	Störungen	Störungszeit /s	Pausenzeit /%	Pausen	Pausenzeit /s
Palettenentlademaschine	102,2	2,4	0,001	0,5		0,0	1463,1	0,3	1451	2926,3	0,1	12	608,3	0,3	18	2347,4
Auspackmaschine	6,4	3,1	0,002	1,4		0,0	8719,7	0,4	8721	3267,1	0,2	1	1279,3	0,2	55	2140,7
Reinigungsmaschine	51,4	1,4	0,004	1,8		0,0	8554,7	0,3	8586	3021,7	0,4	36	3034,1	0,7	71	5804,3
Inspektionsmaschine + Füll- und Verschleißmaschine	31,9	2,5	0,002	0,6	0,00405	0,0	8748,5	0,4	8743	3351,7	0,2	11	1312,0	0,2	25	2086,4
Ausstattungsmaschine	19,4	0,9	0,003	0,7		0,0	8661,5	0,3	8629	2763,1	0,3	35	2230,1	0,1	27	854,5
Einpackmaschine	4,9	2,2	0,003	1,0		0,0	1451,7	0,3	1453	2274,1	0,2	4	1867,8	0,2	38	1670,4
Palettenbelademaschine	35,1	4,5	0,001	0,3		0,0	1446,2	0,3	1442	2758,2	0,1	7	1209,5	0,4	10	3113,3
Konfidenzintervall (Normalverteilung)																
Aggregat	MTBF /s	MDT /s	Wirkungsgrad	Stop and Go /h	Anlagenliefergrad	Versuchzeit /s	Bearbeitete Elemente	Arbeitszeit /%	Arbeiten	Arbeitszeit /s	Störungszeit /%	Störungen	Störungszeit /s	Pausenzeit /%	Pausen	Pausenzeit /s
Palettenentlademaschine	115,6	2,7	0,001	0,5			1655,6	0,4	1642	3311,4	0,1	14	688,4	0,3	21	2656,3
Auspackmaschine	7,3	3,5	0,002	1,6			9867,1	0,4	9868	3697,0	0,2	1	1447,6	0,3	63	2422,4
Reinigungsmaschine	58,1	1,6	0,004	2,0			9680,4	0,4	9716	3419,3	0,4	41	3433,3	0,8	81	6568,1
Inspektionsmaschine + Füll- und Verschleißmaschine	36,1	2,8	0,002	0,7	0,00458		9899,7	0,4	9893	3792,7	0,2	12	1484,6	0,3	28	2360,9
Ausstattungsmaschine	21,9	1,0	0,003	0,8			9801,2	0,4	9764	3126,7	0,3	39	2523,5	0,1	30	967,0
Einpackmaschine	5,6	2,5	0,003	1,1			1642,8	0,3	1644	2573,4	0,2	5	2113,6	0,2	43	1890,2
Palettenbelademaschine	39,7	5,0	0,002	0,3			1636,5	0,4	1632	3121,1	0,2	8	1368,6	0,4	12	3522,9
Konfidenzintervall (Student t-Verteilung)																
Aggregat	MTBF /s	MDT /s	Wirkungsgrad	Stop and Go /h	Anlagenliefergrad	Versuchzeit /s	Bearbeitete Elemente	Arbeitszeit /%	Arbeiten	Arbeitszeit /s	Störungszeit /%	Störungen	Störungszeit /s	Pausenzeit /%	Pausen	Pausenzeit /s
Palettenentlademaschine	126,9	3,0	0,001	0,6		0,0	1816,1	0,4	1802	3632,4	0,1	15	755,1	0,3	23	2913,9
Auspackmaschine	8,0	3,9	0,003	1,7		0,0	10823,8	0,5	10825	4055,4	0,2	2	1587,9	0,3	69	2657,2
Reinigungsmaschine	63,8	1,8	0,005	2,2		0,0	10619,0	0,4	10658	3750,9	0,4	45	3766,2	0,8	89	7204,9
Inspektionsmaschine + Füll- und Verschleißmaschine	39,6	3,0	0,002	0,8	0,00503	0,0	10859,6	0,5	10852	4160,5	0,2	13	1628,6	0,3	31	2589,9
Ausstattungsmaschine	24,1	1,1	0,004	0,8		0,0	10751,5	0,4	10711	3429,8	0,3	43	2768,2	0,1	33	1060,7
Einpackmaschine	6,1	2,8	0,003	1,2		0,0	1802,1	0,3	1803	2822,9	0,3	5	2318,5	0,2	47	2073,4
Palettenbelademaschine	43,6	5,5	0,002	0,3		0,0	1795,1	0,4	1790	3423,7	0,2	9	1501,3	0,4	13	3864,5

ohne Transportregelung (ot)																
Seedwerte 1																
Aggregat	MTBF /s	MDT /s	Wirkungs-grad	Stop and Go /h	Anlagen-liefer-grad	Versuch-szeit /s	Bear-beitete Elemente	Arbeits-zeit /%	Arbeiten	Arbeits-zeit /s	Störungs-zeit /%	Stör-ungen	Störungs-zeit /s	Pausen-zeit /%	Pausen	Pausen-zeit /s
Palettenentlademaschine	1930,6	101,3	0,950	46,5		882000,0	294418,0	68,2	294723	588835,5	3,6	304	30798,5	28,3	1858	244366,0
Auspackmaschine	1458,3	85,7	0,945	7,5		882000,0	1766556,0	91,3	1767097	788958,7	5,4	540	46252,3	3,3	300	28789,0
Reinigungsmaschine	1440,9	64,5	0,957	20,7		882000,0	1766620,0	88,2	1767149	762404,3	4,0	531	34258,7	7,3	828	63169,0
Inspektionsmaschine + Füll- und Verschleißmaschine	1502,3	73,6	0,953	26,4	0,818	882000,0	1766613,0	84,7	1767099	731421,7	4,1	486	35777,3	11,2	1057	96601,0
Ausstattungsmaschine	730,6	94,7	0,885	96,7		882000,0	1766512,0	82,9	1767492	716021,4	10,8	981	92894,2	6,2	3869	53626,0
Einpackmaschine	843,3	71,5	0,922	33,0		882000,0	294397,0	89,1	295309	769923,3	7,6	912	65251,7	3,3	1320	28825,0
Palettenbelademaschine	1869,0	118,7	0,940	14,4		882000,0	294437,0	70,4	294756	608282,8	5,1	372	44164,9	14,2	577	122705,0
Seedwerte 2																
Aggregat	MTBF /s	MDT /s	Wirkungs-grad	Stop and Go /h	Anlagen-liefer-grad	Versuch-szeit /s	Bear-beitete Elemente	Arbeits-zeit /%	Arbeiten	Arbeits-zeit /s	Störungs-zeit /%	Stör-ungen	Störungs-zeit /s	Pausen-zeit /%	Pausen	Pausen-zeit /s
Palettenentlademaschine	2069,1	104,4	0,952	48,4		882000,0	294841,0	68,3	295126	589681,2	3,4	284	29661,8	28,3	1934	244657,0
Auspackmaschine	1479,3	82,8	0,947	7,2		882000,0	1769064,0	92,1	1769602	795840,1	5,2	537	44480,9	2,7	289	23679,0
Reinigungsmaschine	1472,3	57,5	0,962	20,7		882000,0	1769100,0	89,1	1769621	770196,5	3,5	525	30190,6	6,9	827	59402,0
Inspektionsmaschine + Füll- und Verschleißmaschine	1355,1	63,4	0,955	27,2	0,819	882000,0	1769149,0	84,7	1769688	731551,0	4,0	539	34159,2	11,4	1086	98064,0
Ausstattungsmaschine	700,4	94,2	0,881	95,1		882000,0	1769151,0	82,2	1770164	710251,2	11,1	1015	95580,0	6,6	3805	56764,0
Einpackmaschine	808,4	76,2	0,914	32,7		882000,0	294859,0	88,5	295805	764781,4	8,3	945	72042,6	3,2	1306	27176,0
Palettenbelademaschine	1737,8	104,0	0,944	15,2		882000,0	294837,0	70,6	295196	610060,8	4,8	399	41512,6	14,7	608	127373,0
Seedwerte 3																
Aggregat	MTBF /s	MDT /s	Wirkungs-grad	Stop and Go /h	Anlagen-liefer-grad	Versuch-szeit /s	Bear-beitete Elemente	Arbeits-zeit /%	Arbeiten	Arbeits-zeit /s	Störungs-zeit /%	Stör-ungen	Störungs-zeit /s	Pausen-zeit /%	Pausen	Pausen-zeit /s
Palettenentlademaschine	2248,7	108,7	0,954	47,3		882000,0	296832,0	68,7	297096	593663,4	3,3	263	28594,6	28,0	1890	241742,0
Auspackmaschine	1519,2	79,2	0,950	7,5		882000,0	1780866,0	92,1	1781390	796065,9	4,8	523	41403,1	3,1	300	26531,0
Reinigungsmaschine	1439,9	60,1	0,960	20,0		882000,0	1780877,0	89,2	1781410	770412,6	3,7	537	32295,6	6,6	799	57052,0
Inspektionsmaschine + Füll- und Verschleißmaschine	1331,5	60,8	0,956	26,0	0,824	882000,0	1780879,0	85,2	1781431	736124,5	3,9	552	33547,0	10,9	1040	94137,0
Ausstattungsmaschine	703,9	93,4	0,883	94,2		882000,0	1780970,0	82,8	1781984	715122,1	11,0	1017	94979,3	6,1	3769	52451,0
Einpackmaschine	848,9	73,7	0,920	33,6		882000,0	296828,0	89,0	297734	769111,9	7,7	905	66728,1	3,3	1342	28160,0
Palettenbelademaschine	1732,7	113,5	0,939	14,3		882000,0	296847,0	71,0	297204	613706,4	5,3	401	45494,1	14,1	573	121958,0
Mittelwerte																
Aggregat	MTBF /s	MDT /s	Wirkungs-grad	Stop and Go /h	Anlagen-liefer-grad	Versuch-szeit /s	Bear-beitete Elemente	Arbeits-zeit /%	Arbeiten	Arbeits-zeit /s	Störungs-zeit /%	Stör-ungen	Störungs-zeit /s	Pausen-zeit /%	Pausen	Pausen-zeit /s
Palettenentlademaschine	2082,8	104,8	0,952	47,4		882000,0	295363,7	68,4	295648	590726,7	3,4	284	29685,0	28,2	1894	243588,3
Auspackmaschine	1485,6	82,5	0,947	7,4		882000,0	1772162,0	91,9	1772696	793621,6	5,1	533	44045,4	3,0	296	26333,0
Reinigungsmaschine	1451,0	60,7	0,960	20,5		882000,0	1772199,0	88,9	1772727	767671,1	3,7	531	32248,3	6,9	818	59874,3
Inspektionsmaschine + Füll- und Verschleißmaschine	1396,3	65,9	0,955	26,5	0,820	882000,0	1772213,7	84,8	1772739	733032,4	4,0	526	34494,5	11,1	1061	96267,3
Ausstattungsmaschine	711,7	94,1	0,883	95,4		882000,0	1772211,0	82,6	1773213	713798,2	10,9	1004	94484,5	6,3	3814	54280,3
Einpackmaschine	833,5	73,8	0,919	33,1		882000,0	295361,3	88,9	296283	767938,9	7,9	921	68007,4	3,3	1323	28053,7
Palettenbelademaschine	1779,8	112,1	0,941	14,7		882000,0	295373,7	70,7	295719	610683,3	5,1	391	43723,9	14,4	586	124012,0
Standardabweichung																
Aggregat	MTBF /s	MDT /s	Wirkungs-grad	Stop and Go /h	Anlagen-liefer-grad	Versuch-szeit /s	Bear-beitete Elemente	Arbeits-zeit /%	Arbeiten	Arbeits-zeit /s	Störungs-zeit /%	Stör-ungen	Störungs-zeit /s	Pausen-zeit /%	Pausen	Pausen-zeit /s
Palettenentlademaschine	100,0	2,4	0,001	0,6		0,0	1032,3	0,2	1021	2064,6	0,1	12	623,0	0,2	24	1474,7
Auspackmaschine	21,5	2,0	0,002	0,1		0,0	6118,9	0,2	6112	1350,8	0,2	7	1665,5	0,2	6	1592,5
Reinigungsmaschine	16,5	1,7	0,001	0,4		0,0	6104,8	0,2	6110	1524,2	0,1	6	1201,9	0,2	14	1511,7
Inspektionsmaschine + Füll- und Verschleißmaschine	32,8	2,6	0,001	0,6	0,00282	0,0	6083,8	0,3	6093	2333,6	0,1	13	480,5	0,2	23	1965,9
Ausstattungsmaschine	5,7	0,4	0,001	0,6		0,0	6134,2	0,3	6136	2518,6	0,1	7	548,6	0,3	24	2164,8
Einpackmaschine	20,4	1,4	0,003	0,5		0,0	1023,1	0,3	1005	2239,7	0,3	20	2773,8	0,1	18	540,0
Palettenbelademaschine	25,9	5,1	0,002	0,4		0,0	1040,7	0,2	1042	1950,1	0,2	5	1994,8	0,3	18	2733,7
Konfidenzintervall (Normalverteilung)																
Aggregat	MTBF /s	MDT /s	Wirkungs-grad	Stop and Go /h	Anlagen-liefer-grad	Versuch-szeit /s	Bear-beitete Elemente	Arbeits-zeit /%	Arbeiten	Arbeits-zeit /s	Störungs-zeit /%	Stör-ungen	Störungs-zeit /s	Pausen-zeit /%	Pausen	Pausen-zeit /s
Palettenentlademaschine	113,2	2,7	0,001	0,7			1168,1	0,3	1155	2336,3	0,1	14	704,9	0,2	28	1668,7
Auspackmaschine	24,3	2,3	0,002	0,2			6924,0	0,2	6916	1528,5	0,2	8	1884,7	0,2	6	1802,1
Reinigungsmaschine	18,6	1,9	0,002	0,4			6908,1	0,2	6914	1724,8	0,2	7	1360,0	0,2	16	1710,6
Inspektionsmaschine + Füll- und Verschleißmaschine	37,1	2,9	0,001	0,7	0,00319		6884,3	0,3	6895	2640,6	0,1	15	543,7	0,3	26	2224,5
Ausstattungsmaschine	6,5	0,5	0,001	0,7			6941,4	0,3	6944	2850,0	0,1	8	620,8	0,3	27	2449,6
Einpackmaschine	23,1	1,6	0,004	0,5			1157,7	0,3	1137	2534,5	0,4	23	3138,8	0,1	20	611,1
Palettenbelademaschine	29,3	5,8	0,003	0,5			1177,7	0,3	1179	2206,7	0,3	6	2257,3	0,4	20	3093,4
Konfidenzintervall (Student t-Verteilung)																
Aggregat	MTBF /s	MDT /s	Wirkungs-grad	Stop and Go /h	Anlagen-liefer-grad	Versuch-szeit /s	Bear-beitete Elemente	Arbeits-zeit /%	Arbeiten	Arbeits-zeit /s	Störungs-zeit /%	Stör-ungen	Störungs-zeit /s	Pausen-zeit /%	Pausen	Pausen-zeit /s
Palettenentlademaschine	124,1	2,9	0,001	0,8		0,0	1281,3	0,3	1267	2562,8	0,1	15	773,3	0,2	30	1830,5
Auspackmaschine	26,7	2,5	0,002	0,2		0,0	7595,4	0,2	7586	1676,7	0,2	9	2067,4	0,2	7	1976,8
Reinigungsmaschine	20,4	2,1	0,002	0,4		0,0	7577,9	0,2	7585	1892,1	0,2	7	1491,9	0,2	18	1876,5
Inspektionsmaschine + Füll- und Verschleißmaschine	40,7	3,2	0,001	0,7	0,00350	0,0	7551,8	0,3	7563	2896,7	0,1	16	596,4	0,3	29	2440,2
Ausstattungsmaschine	7,1	0,5	0,001	0,7		0,0	7614,4	0,4	7617	3126,3	0,1	8	681,0	0,3	30	2687,1
Einpackmaschine	25,4	1,8	0,004	0,6		0,0	1270,0	0,3	1247	2780,2	0,4	25	3443,1	0,1	22	670,4
Palettenbelademaschine	32,1	6,3	0,003	0,5		0,0	1291,9	0,3	1293	2420,7	0,3	7	2476,2	0,4	22	3393,3

ohne Maschinenregelung (om)																
Seedwerte 1																
Aggregat	MTBF /s	MDT /s	Wirkungs-grad	Stop and Go /h	Anlagen-liefer-grad	Versuch-szeit /s	Bear-beitete Elemente	Arbeits-zeit /%	Arbeiten	Arbeits-zeit /s	Störungs-zeit /%	Stör-ungen	Störungs-zeit /s	Pausen-zeit /%	Pausen	Pausen-zeit /s
Palettenentlademaschine	1927,4	100,6	0,950	41,5		882000,0	309343,0	71,6	309664	618685,9	3,7	320	32194,1	24,7	1660	213120,0
Auspackmaschine	1466,9	85,8	0,945	187,5		882000,0	1856012,0	77,7	1856471	671643,4	4,6	459	39392,2	17,3	7498	149856,0
Reinigungsmaschine	938,2	63,3	0,937	109,8		882000,0	1855861,0	80,8	1856602	697692,7	5,5	751	47501,3	12,9	4391	110984,0
Inspektionsmaschine + Füll- und Verschleißmaschine	1580,4	74,5	0,955	19,8	0,859	882000,0	1855697,0	86,7	1856171	748900,3	4,1	473	35219,0	9,2	791	79659,0
Ausstattungsmaschine	711,8	94,7	0,883	93,4		882000,0	185579,0	81,2	1856564	701365,0	10,8	988	93595,7	7,7	3734	66400,0
Einpackmaschine	842,4	71,0	0,922	50,0		882000,0	309243,0	76,8	310032	663735,8	6,5	788	55953,0	16,6	2000	143363,0
Palettenbelademaschine	1893,7	118,9	0,941	20,4		882000,0	309229,0	74,4	309569	642678,0	4,9	356	42327,6	16,9	817	145624,0
Seedwerte 2																
Aggregat	MTBF /s	MDT /s	Wirkungs-grad	Stop and Go /h	Anlagen-liefer-grad	Versuch-szeit /s	Bear-beitete Elemente	Arbeits-zeit /%	Arbeiten	Arbeits-zeit /s	Störungs-zeit /%	Stör-ungen	Störungs-zeit /s	Pausen-zeit /%	Pausen	Pausen-zeit /s
Palettenentlademaschine	2053,2	104,3	0,952	41,9		882000,0	310027,0	71,8	310329	620054,5	3,6	301	31387,5	24,6	1676	212558,0
Auspackmaschine	1468,4	82,7	0,947	190,7		882000,0	1859794,0	78,0	1860254	673806,4	4,4	460	38041,5	17,3	7628	149028,0
Reinigungsmaschine	976,9	57,1	0,945	116,7		882000,0	1859778,0	81,0	1860487	700088,1	4,8	724	41352,1	13,2	4669	114431,0
Inspektionsmaschine + Füll- und Verschleißmaschine	1470,1	63,7	0,958	21,0	0,861	882000,0	1859760,0	86,9	1860271	750955,4	3,8	510	32502,3	9,3	838	80272,0
Ausstattungsmaschine	715,5	94,2	0,884	91,2		882000,0	1859468,0	81,3	1860451	702241,9	10,7	984	92677,5	7,7	3647	66580,0
Einpackmaschine	817,0	76,3	0,915	47,9		882000,0	309914,0	76,9	310725	664062,8	7,2	813	62001,1	15,9	1915	136966,0
Palettenbelademaschine	1737,0	106,1	0,942	20,8		882000,0	309955,0	74,7	310326	644989,5	4,8	388	41165,0	17,0	833	147131,0
Seedwerte 3																
Aggregat	MTBF /s	MDT /s	Wirkungs-grad	Stop and Go /h	Anlagen-liefer-grad	Versuch-szeit /s	Bear-beitete Elemente	Arbeits-zeit /%	Arbeiten	Arbeits-zeit /s	Störungs-zeit /%	Stör-ungen	Störungs-zeit /s	Pausen-zeit /%	Pausen	Pausen-zeit /s
Palettenentlademaschine	2268,9	109,0	0,954	42,8		882000,0	310836,0	72,0	311110	621672,1	3,4	273	29757,9	24,6	1710	212570,0
Auspackmaschine	1499,0	77,3	0,951	192,2		882000,0	1864945,0	78,2	1865395	675877,2	4,0	452	34941,6	17,4	7688	149999,0
Reinigungsmaschine	950,5	60,5	0,940	115,7		882000,0	1864903,0	81,2	1865647	701832,5	5,2	746	45146,6	12,6	4626	108851,0
Inspektionsmaschine + Füll- und Verschleißmaschine	1421,1	61,8	0,958	20,5	0,863	882000,0	1864765,0	87,2	1865295	752981,0	3,8	529	32666,2	9,0	821	78130,0
Ausstattungsmaschine	720,3	93,8	0,885	91,0		882000,0	1864736,0	81,5	1865708	704112,2	10,6	980	91909,7	7,6	3638	65448,0
Einpackmaschine	833,3	72,9	0,920	47,6		882000,0	310804,0	77,1	311601	665806,7	6,8	799	58278,3	16,1	1902	139069,0
Palettenbelademaschine	1751,1	115,2	0,938	20,0		882000,0	310798,0	74,8	311166	646228,6	5,2	387	44576,2	16,2	801	140013,0
Mittelwerte																
Aggregat	MTBF /s	MDT /s	Wirkungs-grad	Stop and Go /h	Anlagen-liefer-grad	Versuch-szeit /s	Bear-beitete Elemente	Arbeits-zeit /%	Arbeiten	Arbeits-zeit /s	Störungs-zeit /%	Stör-ungen	Störungs-zeit /s	Pausen-zeit /%	Pausen	Pausen-zeit /s
Palettenentlademaschine	2083,1	104,6	0,952	42,1		882000,0	310068,7	71,8	310368	620137,5	3,6	298	31113,1	24,6	1682	212749,3
Auspackmaschine	1478,1	81,9	0,947	190,1		882000,0	1860250,3	78,0	1860707	673775,7	4,3	457	37458,4	17,3	7605	149627,7
Reinigungsmaschine	955,2	60,3	0,941	114,1		882000,0	1860180,7	81,0	1860912	699871,1	5,2	740	44666,7	12,9	4562	111422,0
Inspektionsmaschine + Füll- und Verschleißmaschine	1490,6	66,6	0,957	20,4	0,861	882000,0	1860074,0	86,9	1860579	750945,6	3,9	504	33462,5	9,2	817	79353,7
Ausstattungsmaschine	715,9	94,2	0,884	91,8		882000,0	1859927,7	81,3	1860908	702573,0	10,7	984	92727,6	7,7	3673	66142,7
Einpackmaschine	830,9	73,4	0,919	48,5		882000,0	309987,0	76,9	310786	664535,1	6,8	800	58744,1	16,2	1939	139799,3
Palettenbelademaschine	1793,9	113,4	0,941	20,4		882000,0	309994,0	74,6	310354	644632,0	4,9	377	42689,6	16,7	817	144256,0
Standardabweichung																
Aggregat	MTBF /s	MDT /s	Wirkungs-grad	Stop and Go /h	Anlagen-liefer-grad	Versuch-szeit /s	Bear-beitete Elemente	Arbeits-zeit /%	Arbeiten	Arbeits-zeit /s	Störungs-zeit /%	Stör-ungen	Störungs-zeit /s	Pausen-zeit /%	Pausen	Pausen-zeit /s
Palettenentlademaschine	116,9	2,6	0,001	0,5		0,0	455,5	0,1	440	910,9	0,1	15	872,5	0,0	18	107,2
Auspackmaschine	15,7	2,9	0,002	1,1		0,0	2851,3	0,1	2846	1204,6	0,2	4	1647,4	0,1	43	490,0
Reinigungsmaschine	14,1	1,9	0,003	1,3		0,0	2849,8	0,1	2864	1075,3	0,2	11	2066,2	0,3	54	2792,9
Inspektionsmaschine + Füll- und Verschleißmaschine	35,7	2,5	0,001	0,3	0,00130	0,0	2803,4	0,1	2816	1172,3	0,1	13	513,6	0,1	11	1074,6
Ausstattungsmaschine	2,7	0,2	0,001	0,5		0,0	2917,9	0,1	2912	998,1	0,1	2	458,4	0,1	18	570,9
Einpackmaschine	8,8	1,8	0,003	0,5		0,0	494,1	0,1	489	902,0	0,2	8	2028,3	0,2	19	1471,0
Palettenbelademaschine	29,6	4,8	0,002	0,4		0,0	475,8	0,1	477	837,9	0,2	6	1708,8	0,4	16	3580,8
Konfidenzintervall (Normalverteilung)																
Aggregat	MTBF /s	MDT /s	Wirkungs-grad	Stop and Go /h	Anlagen-liefer-grad	Versuch-szeit /s	Bear-beitete Elemente	Arbeits-zeit /%	Arbeiten	Arbeits-zeit /s	Störungs-zeit /%	Stör-ungen	Störungs-zeit /s	Pausen-zeit /%	Pausen	Pausen-zeit /s
Palettenentlademaschine	132,2	3,0	0,002	0,5		0,0	515,5	0,1	498	1030,8	0,1	17	987,3	0,0	21	121,3
Auspackmaschine	17,7	3,3	0,003	1,2		0,0	3226,5	0,2	3221	1363,1	0,2	5	1864,2	0,1	49	554,4
Reinigungsmaschine	15,9	2,2	0,003	1,5		0,0	3224,8	0,1	3241	1216,8	0,3	13	2338,1	0,4	61	3160,4
Inspektionsmaschine + Füll- und Verschleißmaschine	40,4	2,8	0,001	0,3	0,00147	0,0	3172,3	0,2	3186	1326,6	0,1	15	581,2	0,1	13	1216,0
Ausstattungsmaschine	3,0	0,3	0,001	0,5		0,0	3301,8	0,1	3295	1129,4	0,1	3	518,8	0,1	21	646,0
Einpackmaschine	10,0	2,0	0,003	0,5		0,0	559,1	0,1	553	1020,7	0,3	9	2295,2	0,2	21	1664,6
Palettenbelademaschine	33,5	5,4	0,002	0,5		0,0	538,5	0,1	540	948,1	0,2	7	1933,6	0,5	18	4052,0
Konfidenzintervall (Student t-Verteilung)																
Aggregat	MTBF /s	MDT /s	Wirkungs-grad	Stop and Go /h	Anlagen-liefer-grad	Versuch-szeit /s	Bear-beitete Elemente	Arbeits-zeit /%	Arbeiten	Arbeits-zeit /s	Störungs-zeit /%	Stör-ungen	Störungs-zeit /s	Pausen-zeit /%	Pausen	Pausen-zeit /s
Palettenentlademaschine	145,1	3,3	0,002	0,6		0,0	565,4	0,1	546	1130,7	0,1	19	1083,0	0,0	23	133,0
Auspackmaschine	19,4	3,6	0,003	1,3		0,0	3539,4	0,2	3533	1495,2	0,2	5	2045,0	0,1	53	608,2
Reinigungsmaschine	17,5	2,4	0,003	1,7		0,0	3537,5	0,2	3556	1334,7	0,3	14	2564,7	0,4	67	3466,8
Inspektionsmaschine + Füll- und Verschleißmaschine	44,3	3,1	0,001	0,3	0,00161	0,0	3479,9	0,2	3495	1455,2	0,1	16	637,6	0,2	14	1333,9
Ausstattungsmaschine	3,3	0,3	0,001	0,6		0,0	3621,9	0,1	3615	1238,9	0,1	3	569,1	0,1	23	708,6
Einpackmaschine	10,9	2,2	0,003	0,6		0,0	613,4	0,1	607	1119,6	0,3	10	2517,7	0,2	23	1826,0
Palettenbelademaschine	36,8	6,0	0,003	0,5		0,0	590,7	0,1	592	1040,0	0,2	8	2121,1	0,5	20	4444,9

komplett geregelt (kg)																
Seedwerte 1																
Aggregat	MTBF /s	MDT/s	Wirkungs- grad	Stop and Go /h	Anlagen- liefer- grad	Versuch- szeit /s	Bear- beitete Elemente	Arbeits- zeit /%	Arbeiten	Arbeits- zeit /s	Störungs- zeit /%	Stör- ungen	Störungs- zeit /s	Pausen- zeit /%	Pausen	Pausen- zeit /s
Palettenentlademaschine	1916,3	99,9	0,950	42,3		882000,0	312354,0	72,3	312680	624706,9	3,8	325	32475,1	23,9	1691	206818,0
Auspackmaschine	1453,2	85,5	0,944	7,1		882000,0	1874146,0	91,0	1874685	785831,2	5,4	550	47044,5	1,9	283	16231,0
Reinigungsmaschine	1405,2	64,1	0,956	21,7		882000,0	1874129,0	90,5	1874685	781878,0	4,2	560	35912,4	4,6	867	39762,0
Inspektionsmaschine + Füll- und Verschleißmaschine	1616,8	73,8	0,956	18,6	0,868	882000,0	1874124,0	89,8	1874603	775582,7	4,1	479	35365,3	6,1	742	52555,0
Ausstattungsmaschine	1560,6	97,3	0,941	15,9		882000,0	1874232,0	89,7	1874728	774782,8	5,6	498	48447,1	4,3	637	36819,0
Einpackmaschine	842,7	72,2	0,921	2,9		882000,0	312373,0	91,7	313313	792179,7	7,9	939	67803,3	0,5	115	4017,0
Palettenbelademaschine	1863,1	118,6	0,940	13,2		882000,0	312466,0	74,5	312803	643612,7	5,3	386	45774,5	11,3	527	97214,0
Seedwerte 2																
Aggregat	MTBF /s	MDT/s	Wirkungs- grad	Stop and Go /h	Anlagen- liefer- grad	Versuch- szeit /s	Bear- beitete Elemente	Arbeits- zeit /%	Arbeiten	Arbeits- zeit /s	Störungs- zeit /%	Stör- ungen	Störungs- zeit /s	Pausen- zeit /%	Pausen	Pausen- zeit /s
Palettenentlademaschine	2038,0	105,7	0,951	43,4		882000,0	311809,0	72,2	312115	623617,5	3,7	305	32236,5	24,1	1735	208146,0
Auspackmaschine	1466,6	82,5	0,947	6,9		882000,0	1871010,0	91,2	1871550	788031,7	5,2	547	45117,0	1,8	274	15170,0
Reinigungsmaschine	1435,5	57,7	0,961	22,9		882000,0	1871114,0	91,0	1871660	785805,8	3,7	551	31777,3	4,6	914	39839,0
Inspektionsmaschine + Füll- und Verschleißmaschine	1433,0	63,9	0,957	19,5	0,866	882000,0	1871301,0	89,5	1871841	773278,8	4,0	539	34436,9	6,5	780	55726,0
Ausstattungsmaschine	1504,2	98,2	0,939	16,7		882000,0	1871496,0	88,9	1872004	767802,5	5,8	512	50264,7	4,9	669	42077,0
Einpackmaschine	821,1	76,3	0,915	3,0		882000,0	311876,0	91,1	312834	786635,5	8,5	957	73042,5	0,5	118	4322,0
Palettenbelademaschine	1723,0	106,2	0,942	12,7		882000,0	311821,0	74,3	312204	642247,4	5,2	419	44513,3	11,1	508	95829,0
Seedwerte 3																
Aggregat	MTBF /s	MDT/s	Wirkungs- grad	Stop and Go /h	Anlagen- liefer- grad	Versuch- szeit /s	Bear- beitete Elemente	Arbeits- zeit /%	Arbeiten	Arbeits- zeit /s	Störungs- zeit /%	Stör- ungen	Störungs- zeit /s	Pausen- zeit /%	Pausen	Pausen- zeit /s
Palettenentlademaschine	2281,9	109,3	0,954	43,4		882000,0	314896,0	72,9	315172	629792,5	3,5	275	30064,5	23,6	1735	204143,0
Auspackmaschine	1511,7	79,3	0,950	6,3		882000,0	1889261,0	91,8	1889786	793131,1	4,9	533	42251,5	1,7	250	14499,0
Reinigungsmaschine	1379,3	60,6	0,958	20,5		882000,0	1889158,0	91,2	1889728	788040,2	4,0	575	34837,0	4,0	821	34692,0
Inspektionsmaschine + Füll- und Verschleißmaschine	1510,9	61,5	0,961	19,0	0,875	882000,0	1889458,0	90,3	1889974	780576,8	3,7	516	31755,7	5,9	759	51091,0
Ausstattungsmaschine	1593,1	95,8	0,943	15,0		882000,0	1889368,0	89,9	1889857	776701,4	5,4	489	46857,7	4,2	598	36502,0
Einpackmaschine	847,9	73,4	0,920	2,4		882000,0	314919,0	91,7	315853	791964,9	7,9	933	68439,1	0,4	96	3596,0
Palettenbelademaschine	1754,5	113,0	0,939	12,4		882000,0	314975,0	75,1	315338	648483,3	5,4	413	46617,7	10,5	494	90960,0
Mittelwerte																
Aggregat	MTBF /s	MDT/s	Wirkungs- grad	Stop and Go /h	Anlagen- liefer- grad	Versuch- szeit /s	Bear- beitete Elemente	Arbeits- zeit /%	Arbeiten	Arbeits- zeit /s	Störungs- zeit /%	Stör- ungen	Störungs- zeit /s	Pausen- zeit /%	Pausen	Pausen- zeit /s
Palettenentlademaschine	2078,7	105,0	0,952	43,0		882000,0	313019,7	72,5	313322	626039,0	3,7	302	31592,0	23,9	1720	206369,0
Auspackmaschine	1477,2	82,4	0,947	6,7		882000,0	1878139,0	91,3	1878674	788998,0	5,2	543	44804,3	1,8	269	15300,0
Reinigungsmaschine	1406,7	60,8	0,959	21,7		882000,0	1878133,7	90,9	1878691	785241,4	4,0	562	34175,6	4,4	867	39097,7
Inspektionsmaschine + Füll- und Verschleißmaschine	1520,3	66,4	0,958	19,0	0,870	882000,0	1878294,3	89,9	1878806	776479,5	3,9	511	33852,7	6,1	760	53124,0
Ausstattungsmaschine	1552,6	97,1	0,941	15,9		882000,0	1878365,3	89,5	1878863	773095,5	5,6	500	48523,2	4,5	635	38466,0
Einpackmaschine	837,3	74,0	0,919	2,7		882000,0	313056,0	91,5	314000	790260,1	8,1	943	69761,6	0,5	110	3978,3
Palettenbelademaschine	1780,2	112,6	0,941	12,7		882000,0	313087,3	74,6	313448	644781,1	5,3	406	45653,1	11,0	510	94667,7
Standardabweichung																
Aggregat	MTBF /s	MDT/s	Wirkungs- grad	Stop and Go /h	Anlagen- liefer- grad	Versuch- szeit /s	Bear- beitete Elemente	Arbeits- zeit /%	Arbeiten	Arbeits- zeit /s	Störungs- zeit /%	Stör- ungen	Störungs- zeit /s	Pausen- zeit /%	Pausen	Pausen- zeit /s
Palettenentlademaschine	130,6	2,3	0,002	0,2		0,0	1555,4	0,4	1540	3111,4	0,1	16	1115,5	0,2	8	2005,7
Auspackmaschine	23,6	1,8	0,002	0,3		0,0	9198,0	0,3	9190	2708,6	0,2	7	1571,9	0,1	13	429,9
Reinigungsmaschine	28,1	1,7	0,002	1,2		0,0	9095,8	0,2	9108	1480,1	0,2	12	1609,9	0,3	47	2618,0
Inspektionsmaschine + Füll- und Verschleißmaschine	47,9	2,4	0,002	0,3	0,00424	0,0	9158,0	0,4	9147	3658,2	0,2	15	1409,9	0,3	12	2323,3
Ausstattungsmaschine	44,5	1,2	0,002	0,9		0,0	9015,3	0,5	9006	4476,0	0,2	12	1703,6	0,3	36	2827,8
Einpackmaschine	13,5	1,6	0,003	0,3		0,0	1534,2	0,3	1522	2721,7	0,3	12	2370,1	0,0	11	363,2
Palettenbelademaschine	28,6	3,8	0,001	0,2		0,0	1587,2	0,4	1578	3136,2	0,1	7	1079,8	0,3	9	2543,1
Konfidenzintervall (Normalverteilung)																
Aggregat	MTBF /s	MDT/s	Wirkungs- grad	Stop and Go /h	Anlagen- liefer- grad	Versuch- szeit /s	Bear- beitete Elemente	Arbeits- zeit /%	Arbeiten	Arbeits- zeit /s	Störungs- zeit /%	Stör- ungen	Störungs- zeit /s	Pausen- zeit /%	Pausen	Pausen- zeit /s
Palettenentlademaschine	147,8	2,6	0,002	0,2			1760,1	0,4	1742	3520,8	0,1	19	1262,3	0,3	10	2269,6
Auspackmaschine	26,7	2,1	0,002	0,4			10408,3	0,4	10400	3065,1	0,2	8	1778,8	0,1	14	486,4
Reinigungsmaschine	31,8	2,0	0,002	1,3			10292,6	0,2	10306	1674,9	0,2	14	1821,8	0,3	53	2962,4
Inspektionsmaschine + Füll- und Verschleißmaschine	54,2	2,8	0,002	0,3	0,00480		10363,0	0,5	10351	4139,6	0,2	17	1595,4	0,3	13	2629,0
Ausstattungsmaschine	50,4	1,3	0,003	1,0			10201,6	0,6	10191	5065,0	0,2	13	1927,8	0,4	40	3199,8
Einpackmaschine	15,3	1,8	0,003	0,3			1736,1	0,4	1723	3079,8	0,3	14	2682,0	0,0	13	411,0
Palettenbelademaschine	32,4	4,3	0,001	0,2			1796,0	0,4	1786	3548,8	0,1	7	1221,8	0,3	10	2877,7
Konfidenzintervall (Student t-Verteilung)																
Aggregat	MTBF /s	MDT/s	Wirkungs- grad	Stop and Go /h	Anlagen- liefer- grad	Versuch- szeit /s	Bear- beitete Elemente	Arbeits- zeit /%	Arbeiten	Arbeits- zeit /s	Störungs- zeit /%	Stör- ungen	Störungs- zeit /s	Pausen- zeit /%	Pausen	Pausen- zeit /s
Palettenentlademaschine	162,2	2,9	0,002	0,3		0,0	1930,7	0,4	1911	3862,1	0,2	20	1384,7	0,3	11	2489,7
Auspackmaschine	29,3	2,3	0,002	0,4		0,0	11417,5	0,4	11408	3362,2	0,2	9	1951,2	0,1	16	533,6
Reinigungsmaschine	34,9	2,2	0,002	1,4		0,0	11290,6	0,2	11305	1837,3	0,2	15	1998,4	0,4	58	3249,7
Inspektionsmaschine + Füll- und Verschleißmaschine	59,5	3,0	0,002	0,4	0,00526	0,0	11367,8	0,5	11355	4540,9	0,2	18	1750,1	0,3	15	2883,9
Ausstattungsmaschine	55,3	1,5	0,003	1,1		0,0	11190,7	0,6	11179	5556,1	0,2	14	2114,7	0,4	44	3510,1
Einpackmaschine	16,8	1,9	0,003	0,3		0,0	1904,4	0,4	1890	3378,5	0,3	15	2942,0	0,0	14	450,8
Palettenbelademaschine	35,6	4,7	0,002	0,3		0,0	1970,2	0,5	1959	3892,9	0,2	8	1340,3	0,4	11	3156,7

Anhang I. Firmenadressen

Lieferanten verwendeter Entwicklungssoftware

INFORM GmbH, Pascalstrasse 23, 52076 Aachen, www.fuzzytech.de

Tecnomatix GmbH, Martin-Behaim-Str. 4, 63263 Neu-Isenburg, www.emplant.de

Im Industrieanwenderkreis „Standards für die Datenerfassung bei Abfüllanlagen“ bzw. bei Pilotanwendungen beteiligte Unternehmen

Brauereien:

Bayerische Staatsbrauerei Weihenstephan, Alte Akademie 2, D-85311 Freising

Hasseröder Brauerei GmbH, Auerhahnring 1, 38855 Wernigerode

Krombacher Brauerei, Hagener Straße 261, 57223 Kreuztal

Kulmbacher Brauerei Aktien-Gesellschaft, Lichtenfelser Straße 9, 95326 Kulmbach

Spaten-Franziskaner-Bräu KgaA, Marsstraße 46+48, 80335 München

WARSTEINER Brauerei Haus Cramer KG, Domring 4-10, 59581 Warstein

Systemhäuser:

KHS Maschinen-und Anlagenbau Aktiengesellschaft, Juchostraße 20, 44143 Dortmund

ProLeiT AG, Einsteinstrasse 8, 91074 Herzogenaurach

Siemens AG, I&S ITPS2, Schuhstraße 60, 91052 Erlangen

SYSKRON GmbH, Böhmerwaldstraße 5, 93068 Neutraubling

Maschinenbauunternehmen:

CENTRO KONTROLLSYSTEME GmbH, Hagener Strasse 75, 57072 Siegen

Heuft Systemtechnik GmbH, Am Wind 1, 56659 Burgbrohl Weiler

KHS Maschinen-und Anlagenbau Aktiengesellschaft, Juchostraße 20, 44143 Dortmund

KRONES AG, Böhmerwaldstraße 5, 93068 Neutraubling

Metec Mess-,Kontroll-,Prüftechnik GmbH, Industriegebiet Scheid 16, 56651 Niederzissen

SIG Combibloc GmbH, Rurstr. 58, 52441 Linnich

STRATEC CONTROL- SYSTEMS GmbH, Ankerstrasse, 75203 Königsbach-Stein

Anhang J. Lebenslauf des Verfassers

Tobias Voigt, geb. 19.06.73 in Ansbach

Schullaufbahn

- 1979/80 - 1982/83 Grundschule, Weidenbach
1983/84 - 1991/92 Platen-Gymnasium (math.-naturwiss.), Ansbach, Abitur am 8. Juli 1992

Wehrdienst

- 1992 – 1993 Hahnenkammkaserne Heidenheim, Panzerfahrer und Richtschütze

Ausbildung

- 1993/94 - 1999 TUM Weihenstephan, Studiengang Brauwesen und Getränketechnologie
Studienarbeiten:
„Versuche zur Kalibrierung eines Dichtmessers nach dem Schwingerprinzip“,
„Verbesserung des Bierschaumes durch feinstvermahlene Malzmehlfractionen“
März 1999 Abschluss als Diplom-Ingenieur Univ. für Brauwesen und Getränketechnologie
April 1999 - Sept. 2003 Wissenschaftlicher Angestellter am Lehrstuhl für Brauereianlagen und Lebensmittel-
Verpackungstechnik der TU-München/Weihenstephan (Prof. Weisser)
seit Oktober 2003 Wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl für Lebensmittelverpackungstechnik
(Prof. Langowski)
Juli 2004 Promotion mit dem Thema „Neue Methoden für den Einsatz der Informations-
technologie bei Getränkeabfüllanlagen“ (summa cum laude)

Tätigkeiten neben dem Studium

- Hilfswissenschaftliche Tätigkeit am Lehrstuhl für Physik, u.a. als selbstständiger Kursleiter eines mathematischen Grundlagenkurses und als Praktikumsbetreuer
Hilfswissenschaftliche Tätigkeit am Lehrstuhl für Technologie der Brauerei 1: Erstellen eines neuen Labordatenbanksystems auf MS-Access Basis

Industrietätigkeit

- Sept./Okt. 1992 und März/April 1994 Brauerei Gentner, Wolframseschenbach/Mittelfr.
Tätigkeiten in allen Abteilungen
März/April 1995 SPATEN-Franziskaner Brauerei, München
Tätigkeiten in allen Abteilungen
März-Juni 1997 Gordon Biersch Brewing Company, San Jose (CA) USA
Eigenverantwortliche Brauertätigkeit in einer Gasthausbrauerei
Mitarbeit bei der Inbetriebnahme einer neuen Braustätte (ca. 200 000 hl/a)
Juni 1998-März 1999 Diplomarbeit bei der Firma Braucontrol/Attaching
„Inbetriebnahme eines fuzzy-geregelten Läutersystems im Praxismaßstab“