

**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

Torsten Niekisch

**Störungssystematikbestimmte
Instandhaltung
in einem Wafertransportsystem**



Institut für Produktionstechnik
Professur Fertigungsmeßtechnik
und Qualitätssicherung
Prof. Dr.- Ing. habil. H. Weise

Störungssystematikbestimmte Instandhaltung in einem Wafertransportsystem

Von der Fakultät Maschinenwesen
der
Technischen Universität Dresden
zur
Erlangung des akademischen Grades
Doktor- Ingenieur (Dr.- Ing.)
angenommene Dissertation

Dipl.- Ing. Torsten Niekisch
geb. am 26.09.1969 in Chemnitz

Tag der Einreichung: 02.04.2001

Tag der Verteidigung: 16.11.2001

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. H. Weise
Prof. Dr.- Ing. habil. Sauer
Prof. Dr.rer.nat.habil. K.-H. Modler
Prof. Dr.-Ing. A. Deutschländer

Prof. Dr.-Ing.habil. Marquardt
Vorsitzender der Promotionskommission

Vorwort des Verfassers

An dieser Stelle möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr.- Ing. habil. H. Weise für das große Engagement, mit dem er meine wissenschaftliche Arbeit begleitet und gefördert hat, bedanken.

Prof. Dr.- Ing. Deutschländer, Prof. Dr. rer. nat. habil. Modler und Prof. Dr.- Ing. habil. Sauer bin ich für die Bereitschaft zur Begutachtung der Arbeit dankbar.

Mein Dank gilt ferner meinem Arbeitgeber, der Firma Infineon Dresden, für das entgegengebrachte Vertrauen und die Unterstützung bei der Realisierung dieses Vorhabens. Besonders herzlich möchte ich allen Kollegen der Abteilung SU3 danken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Nicht zuletzt war die Anpassung der SPS- Steuerungssoftware eine entscheidende Hilfe. Allen Beteiligten, insbesondere auch den Mitarbeitern von Siemens A&D, gilt hierfür mein Dank.

Herrn Prof. Dr.- Ing. habil. Meltzer bin ich dankbar für zahlreiche Anregungen während der Bearbeitung des Themas.

Torsten Niekisch

Dresden, im Januar 2001

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis und Begriffserklärungen	4
Definition von Instandhaltungsbegriffen	7
Liste der verwendeten Kurzzeichen	10
Indizes.....	11
1 Einleitung	12
1.1 Einführung in das Wafertransportsystem von Infineon Dresden	13
1.1.1 Layout.....	14
1.1.2 Floor to Floor Elevator	14
1.1.3 Anlagen – Lifte	15
1.1.4 Stocker.....	15
1.1.5 Steuerung	15
2 Erläuterung der Problemstellung	16
3 Theoretische Grundlagen	20
3.1 Lösungsansatz.....	21
3.2 Temporary Repair	22
3.3 Theorie der Störungssystematikbestimmten Instandhaltung.....	23
3.4 Traktionsprobleme.....	24
3.5 Maßabweichungen und Verteilungsfunktionen	26
3.6 Vorhersage der Störungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Störgrenze	30
3.7 Selektion der Elemente mit den stärksten Abweichungen	35
3.8 Weitere Verteilungsfunktionen.....	38
3.9 Begrenzung der Verteilungsdichtefunktionen	39
3.10 Allgemeine Vorgehensweise bei der praktischen Anwendung.....	40
3.11 Einsatzgebiete und Grenzen der SSBH.....	41
3.12 Kennzahl für die Störungssystematik ($S_{50\%}$)	42
3.13 Voraussetzungen an die Systemumgebung	42
4 Anwendung im Transportsystem	44
4.1 Technische Voraussetzungen im Transportsystem	44
4.2 Störungsmeldungen für Traktionsprobleme.....	44
4.3 Bewertungskriterien für die Störungsvorhersage	45
4.3.1 Ersatzschaltbild für die Generierung des Bewertungskriteriums	46
4.3.2 Mathematischer Algorithmus zur Berechnung des Bewertungsvektors.....	47
4.4 Datenerfassung.....	51
4.5 Kenngrößen für die Störungshäufigkeit	52

4.6	Umfang der Datenmenge	52
4.7	Zeitpunkt von Maßnahmen	53
4.8	Planung störungssystematikbestimmter Instandsetzungen	53
4.9	Ersatz für Inspektionen.....	54
4.10	Instandhaltungsaktivitäten bis zum Beginn dieses Projektes	55
4.11	Neu hinzugekommene Maßnahmen.....	55
4.12	Entwicklung der Traktionsprobleme.....	56
4.12.1	Störungssystematik.....	59
4.12.2	Optimale Abarbeitungsreihenfolge.....	61
4.12.3	Funktionen der Software	63
4.13	Carrierbezogene Maßnahmen.....	65
4.13.1	Das Conveyorsystem als Carrierprüfgerät	66
4.13.2	Funktionen der Software	67
4.13.3	Sperrung bzw. Aussortieren von Carriern	68
4.13.4	Datenbasis.....	69
4.13.5	Aufarbeitungserfolg	69
4.13.6	Beurteilung neuer Carrierlieferungen	69
4.14	Stockerstörungen	70
4.14.1	Filter gegen Mehrfachmeldungen	71
4.14.2	Funktionen der Software	71
4.15	Effektivitätssteigerung von vorausbestimmten Wartungen (PM).....	72
4.15.1	Lift PM	72
4.15.2	Stocker- PM	74
4.15.3	Probleme bei der bisherigen Vorgehensweise	74
4.16	Qualitätskontrolle von neu aufgebauten Bereichen	75
5	SSBIH und der Stand der Technik.....	76
5.1	Erneuerungsstrategien	76
5.2	Statistische Prozeßkontrolle (SPC)	76
5.3	Schwachstellenermittlungsmethoden	77
5.4	Abgrenzung zur Komplexionsanalyse	78
5.5	AFD, PAAG, HAZOP und FMEA.....	79
5.6	Störungssystematikbestimmte IH / Einordnung in die IH- Struktur.....	79
5.6.1	Instandhaltungsmethoden für Elemente.....	79
5.6.2	Instandhaltungsmethoden für Systeme	81
5.7	Normen der IH.....	82
5.8	Übliche IH- Analysen.....	83
5.9	Vorbehalte zur SSBIH	83
6	Weitere Einsatzmöglichkeiten SSBIH	84

6.1	Reduktion von Handlingfehlern	84
6.2	Automatische Anlagenbeladung in der 300 mm Produktion.....	84
6.3	Durchbrechen von Lichtvorhängen.....	85
6.4	Leseprobleme an „Tag- Readern“	85
7	Aufwand und Nutzen	86
7.1	Aufwand.....	86
7.2	Einsparung von Personal für die Systembetreuung.....	86
7.3	Einsparungen bei Inspektionsmaßnahmen.....	87
7.3.1	Prüfung bereits vorhandenen Carrier	87
7.3.2	Carrierwareneingangskontrolle	87
7.3.3	Prüfung neuer Carrierrevisionen	88
7.3.4	Stocker.....	88
7.3.5	Conveyorsystem.....	89
7.4	Steigerung der Effektivität planmäßiger Wartungen.....	89
7.5	Leistungssteigerung des Transportsystems / Einfluß auf die Produktion	90
7.5.1	Störungsverhalten von November 1999 bis September 2000	90
7.5.2	Steigerung der Transportkapazität.....	90
7.5.3	Carrierstrom	91
7.5.4	Verspätete Transporte	91
7.5.5	Steigerung der Verkehrsdichte – Kapazitätsgrenzen des Transportsystems.....	92
7.5.6	Erkenntnisse zur Stauauflösung	94
7.5.7	Anfahrverhalten.....	95
8	Zusammenfassung	96
8.1	Ergebnisse für das Transportsystem von Infineon Dresden.....	96
8.2	Allgemeine Ergebnisse.....	97
	Literaturverzeichnis.....	99
	Anhang	I
	Anhang 1 : Verteilung der IH- bezogenen Arbeitsaufwände	II
	Anhang 2 : Programm “Verteilungsfunktion.mdb”	III
	Anhang 3 : Verteilungsfunktion $\Phi(x)$ der standardisierten Normalverteilung... VII	VII
	Anhang 4 : Carrierbeteiligung an Traktionsstörungen (Auszug)..... VIII	VIII
	Anhang 5 : Mittlerer Carrierstrom pro Segment..... IX	IX
	Anhang 6 : Inhalt der beigefügten CD..... XIII	XIII

Abkürzungsverzeichnis und Begriffserklärungen

Anmerkung: Begriffe der Instandhaltung werden im Sinne der DIN 31051 verwendet. Die im Entwurf zur DIN EN 13306 gemachten Begriffsdefinitionen wurden bereits genutzt, sofern sie nicht im Widerspruch zur DIN 31051 stehen.

AFD	Anticipatory Failure Determination
Alignment	Justage
Antizipierende Fehlererkennung	Vorausschauende Fehlererkennung / auch AFD (Anticipatory Failure Determination)
B&B	Bedien- & Beobachtungssystem
Bay	Bereich des Transportsystems (übersetzt: Bucht)
BDE- System	Betriebsdatenerfassungssystem
BIN	Fach im Stocker zur Lagerung von Carriern
Bin shelf	Boden des BIN' s
BZ	Betrachtungszeitraum
Carrier bzw. (Wafer-)	Behältnis für den Wafertransport (Förderhilfsmittel)
Cassette	
Carrier- ID	Identifikationsnummer des Carriers
CMP	chemisch / mechanisches Polieren
Conveyor	Stetigförderer (übersetzt: Förderband)
Drivewheel	Antriebsrad
Drop	Beweglicher Schlitten des Elevators (übersetzt: senken)
Elevator	Lift / Aufzug (hier: Carrierelevator)
FMEA- (Methode)	Fehler- Möglichkeits- und Einfluß- Analyse
Frontend	Produktionsbereich der Halbleiterindustrie (beinhaltet alle Fertigungsschritte bis zum Zersägen der Wafer in einzelne Chips)
FOUP	Front Opening Unified Pod (Standardisierte Kassette mit Frontbeladung)
Gripper	Greifer am Roboterarm des Stockers

HAZOP- (Methode)	Hazard and Operability (übersetzt: Gefahren und Funktionsfähigkeit)
IH	Instandhaltung
Idlerwheel	nichtangetriebenes Laufrad
Interbay	Verbindung zwischen Prozeßfingern
Intrabay	Transportsystem innerhalb eines Prozeßfingers
IS	Instandsetzung
Lot- ID	Nummer zur Identifikation eines Loses von Wafern
Loadport	Be- bzw. Entladestelle einer Anlage
Manuell- I/O Port	Übergabestelle zwischen Stocker und Bedienpersonal
MCS	Material Controlling System
MTBF	Meantime Between Failures – Mittlerer Ausfallabstand
Operationen	einzelner Prozeßschritt
Operator	Anlagenbedienpersonal
Operator- I/O Port	Carrierübergabestelle zwischen Stocker und Operator
PAAG- (Methode)	Prognose von Störungen, Auffinden der Ursachen, Abschätzen der Auswirkungen, Gegenmaßnahmen Die PAAG- Methode ist auch bekannt unter dem Begriff HAZOP- Methode (Hazard and Operability).
Pallet clearance	Lichter Abstand (hier bezogen auf den Abstand der Idlerwheels zueinander / Beginn der Schräge)
Permanent repair	Instandsetzung mit Beseitigung der Störungsursache
PLC	Programmable Logical Controller (übersetzt: Speicherprogrammierbare Steuerung bzw. SPS)
PM	Predictive Maintenance (übersetzt: Vorausbestimmte Wartung)
QS	Quarter Section (drehbares Conveyorelement, wird genutzt zur Realisierung von Richtungsänderungen und Kreuzungen)
Runner	Kufe am Carrier
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition (übersetzt: Übergeordnetes Steuerungs- und Datenaufnahmesystem)
SEMI	Semiconductor Equipment and Materials International

SPF	Scheibenprüffeld
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
SSB	störungssystematikbestimmt (-e)
SSBIH	Störungssystematikbestimmte Instandhaltung
Stocker	Lagerschrank (hier: Carrierlagerschränke mit Roboterhandling)
Tag	Elektronisches Carrier Etikett
Tag- ID	siehe Carrier- ID
Tag- Reader	Lesestation für die auf dem Carrier Tag gespeicherten Informationen
Temporäre Instandsetzung	siehe: „Wiederherstellung für bestimmte Zeit“ in der Begriffserklärung entsprechend DIN EN 13306 hier: Synonym für Entstörungen
TR	Teilereinigung
Track- I/O Port	Carrierübergabestelle zwischen Stocker und Conveyor
Trackelemente	einzelne Conveyorelemente oder auch Gruppierungen von Conveyorelementen (übersetzt: Gleiselemente)
Traktionsproblem	Carrier fährt nicht weiter, obwohl die Motoren angesteuert sind
Transport- ID	Nummer zur Identifikation eines Transportauftrages
TS	(Wafer-) Transportsystem
Wafer	Siliziumscheiben

Definition von Instandhaltungsbegriffen

Begriffe entsprechend [DIN 31051]:

Ausfall	Im Sinne der Instandhaltung unbeabsichtigte Unterbrechung der Funktionsfähigkeit einer Betrachtungseinheit
Inspektion	Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Istzustandes von technischen Mitteln eines Systems
Instandhaltung	Maßnahmen zur Bewahrung und Wiederherstellung des Sollzustandes sowie zur Feststellung und Beurteilung des Istzustandes von technischen Mitteln eines Systems Die Maßnahmen beinhalten: Die Maßnahmen der <ul style="list-style-type: none">- Wartung,- Inspektion und- Instandsetzung.
Instandsetzung	Maßnahmen zur Wiederherstellung des Sollzustandes von technischen Mitteln eines Systems
Istzustandsabweichung	Im Sinne der Instandhaltung Nichtübereinstimmung von Istzuständen vorwiegend einer Betrachtungseinheit zu verschiedenen Zeitpunkten oder auch mehrerer Betrachtungseinheiten zu gleichen Zeitpunkten
Störung	Im Sinne der Instandhaltung unbeabsichtigte Unterbrechung (oder bereits auch schon Beeinträchtigung) der Funktionsfähigkeit einer Betrachtungseinheit
Sollzustand	Für den jeweiligen Fall festzulegende Gesamtheit aller Merkmalswerte
Sollzustandsabweichung	Im Sinne der Instandhaltung Nichtübereinstimmung zwischen dem Istzustand und dem Sollzustand einer Betrachtungseinheit bei einem gegebenen Zeitpunkt
Wartung	Maßnahmen zur Bewahrung des Sollzustandes von technischen Mitteln eines Systems

Begriffe entsprechend [DIN EN 13306]:

Ausfall	<p>Beendigung der Fähigkeit einer Einheit, eine geforderte Funktion zu erfüllen</p> <p>Anmerkung 1: Nach einem Ausfall befindet sich die Einheit in einem Fehlzustand.</p> <p>Anmerkung 2: Der Ausfall ist ein Ereignis, im Unterschied zum Fehler, der ein Zustand ist.</p>
Ausfallursache	<p>Umstände während der Entwurfs-, Fertigungs-, Inbetriebsetzungs- oder Nutzungsphase, die zu einem Ausfall geführt haben</p>
Ausfallrate	<p>Anzahl der Ausfälle einer Einheit während eines gegebenen Zeitbereiches, dividiert durch diesen Zeitbereich</p> <p>Anmerkung 1: Dieser Wert ist eine Annäherung.</p> <p>Anmerkung 2: In einigen Fällen kann die Zeiteinheit durch Benutzungseinheiten ersetzt werden.</p>
Fehlzustand, Fehler	<p>Zustand einer Einheit, in dem sie unfähig ist, eine geforderte Funktion zu erfüllen, ausgenommen die Unfähigkeit während der Wartung oder anderer geplanter Maßnahmen oder infolge des Fehlens äußerer Mittel</p> <p>Anmerkung: Ein Fehlzustand ist oft das Ergebnis eines Ausfalls der Einheit selbst, er kann aber auch ohne vorherigen Ausfall vorhanden sein.</p>
latenter Fehlzustand	<p>Fehlzustand, der noch nicht entdeckt worden ist</p> <p>Anmerkung: Der Fehler wurde nicht entdeckt, weil die gegenwärtig geforderte Funktion den fehlerhaften Teil nicht benutzt.</p>
Sicher bei Ausfall	<p>Konstruktionseigenschaft einer Einheit, die verhindert, daß deren Ausfälle zu kritischen Fehlzuständen führen.</p>
Störung/ gestörter Zustand	<p>Zustand einer Einheit, gekennzeichnet durch seine Unfähigkeit, aus beliebigem Grund eine geforderte Funktion zu erfüllen</p>
Teilweiser Fehlzustand	<p>Fehlzustand, der dadurch gekennzeichnet ist, daß eine</p>

temporary repair	Einheit nur einige der geforderten Funktionen erfüllen oder sie nur mit begrenzter Erfüllung ausführen kann siehe: „Wiederherstellung für bestimmte Zeit“
vorausbestimmte Instandhaltung	Ausfallverhindernde Instandhaltung, durchgeführt ohne vorherige Zustandsermittlung in festgelegten Zeitabständen oder einer festgelegten Zahl von Nutzungseinheiten
Wiederherstellung	Jener Teil der korrektiven Instandhaltung, in dem physische Tätigkeiten ausgeführt werden, um die geforderte Funktion der Einheit wiederherzustellen
Wiederherstellung für bestimmte Zeit	Physische Maßnahmen an einer fehlerhaften Einheit, um der Einheit die Ausführung ihrer geforderten Funktion für eine begrenzte Zeitdauer zu ermöglichen, bis eine endgültige Maßnahme ausgeführt werden kann (engl. temporary repair)

Liste der verwendeten Kurzzeichen

b_n	Bewertungskriterium des Elements n
B	Bewertungsvektor (beinhaltet die Bewertungskriterien aller Elemente n)
C_n	Carrierabweichungen (Runnerabweichung in Z- Richtung)
$E(X)$	Erwartungswert einer statistisch verteilten Zufallsvariablen bzw. -größe
$f(x)$	Wahrscheinlichkeitsdichte der allgemeinen Zufallsvariablen x_i
$h(t)$	Impulsantwort eines Filters
s	Standardabweichung einer diskreten Verteilungsdichte ($n < \infty$)
P_s	Störungswahrscheinlichkeit
$S_{50\%}$	$\frac{\text{Anzahl der Elemente an denen 50\% der Störungen auftreten}}{\text{Anzahl aller Elemente der betreffenden Elementeklasse}} * 100\% ;$ <p>zur Ermittlung dieser Kennzahl werden die Elemente in der Reihenfolge ihrer Störungsanzahl betrachtet</p>
T_m	Trackelementeabweichungen (Z- Richtung)
Z_q	Quantile der Ordnung q
\bar{x}	Mittelwert einer diskreten Verteilungsdichte ($n < \infty$)
$\Phi(x)$	Standard- Normalverteilung
$\lambda(t)$	Ausfallrate
μ	Mittelwert einer Verteilungsfunktion ($n \rightarrow \infty$)
ρ	Korrelationskoeffizient
σ	Dispersion einer Verteilungsfunktion ($n \rightarrow \infty$)
τ	Zeitkonstante (hier Zeitkonstante der Funktion für die Impulsantwort eines RC- Filters erster Ordnung)

Indizes

i	Zeile einer Tafelmatrix oder einer Tabelle
ist	Istwert, tatsächlicher Wert
j	Spalte einer Tafelmatrix oder einer Tabelle
max	oberer Grenzwert
n	normierter Wert, bezogen auf „1“ als größter betrachteter Wert
min	unterer Grenzwert
norm	normierter Wert, bezogen auf „1“ als Summe aller betrachteten Werte
opt	optimaler Wert oder optimale Eigenschaft
resultierend	hier: Ergebnis der Faltung
soll	Sollwert oder Solleigenschaft

1 Einleitung

In der vorliegenden Arbeit soll eine Instandhaltungsmethode vorgestellt werden, mit welcher es im Wafertransportsystem von Infineon Dresden gelungen ist, die Störungswahrscheinlichkeit pro Transportauftrag innerhalb kurzer Zeit zu halbieren.

Zu Beginn des Projektes waren ca. 250 bis 300 sogenannte Transferstörungen pro 24 h zu verzeichnen gewesen. Diese Problematik hat ihre Ursache in den hohen Anforderungen, die der speziell für Reinräume der Klasse 1 entwickelte Rollreibungsantrieb des Transportsystems an die Qualität der beteiligten Komponenten stellt. Die Störungsanzahl wäre ohne den Einsatz wirksamer Gegenmaßnahmen aufgrund des ständig steigenden Transportaufkommens innerhalb eines Jahres auf über 400 pro 24 h angestiegen. Eine solche Entwicklung hätte gravierende Auswirkungen, sowohl auf den Instandhaltungsaufwand, als auch auf die Leistungsfähigkeit des Transportsystems gehabt.

Zum besseren Verständnis der Problemstellung und um den Leser mit den oftmals aus dem Englischen stammenden Fachbegriffen vertraut zu machen, wird zu Beginn der Arbeit zunächst das Transportsystem in groben Zügen vorgestellt. Außerdem sei auf die „Definitionen von IH- Begriffen“ verwiesen. Insbesondere der unterschiedliche Sprachgebrauch der DIN 31051, des Entwurfs zur DIN EN 13306 und von Infineon Dresden machte entsprechende Erläuterungen notwendig.

Die Erläuterung des Störungsverhaltens des Transportsystems bildet die Basis für eine allgemeine theoretische Beschreibung der entwickelten Instandhaltungsmethode. Insbesondere wird darauf eingegangen, warum die angewandte störungssystematikbestimmte Strategie nicht zum allgemeinen Stand der Technik gehört und unter welchen Umständen ihre Anwendung sinnvoll ist. In diesem Zusammenhang werden die besonderen Eigenschaften eines Wafertransportsystems erläutert.

Nicht zuletzt sei auf die ausführliche Beschreibung der praktischen Anwendung dieser Methode verwiesen. Die dabei erzielten äußerst erfreulichen Ergebnisse sollen den Leser ermutigen, Störungssystematikbestimmte Instandhaltung (SSBIH) einzusetzen, wo immer es sinnvoll erscheint.

Dabei sollte aber stets bedacht werden, daß nur durch die Kombination der verschiedenen Instandhaltungsstrategien eine umfassende, effektive und verantwor-

tungsvolle Instandhaltung möglich ist. Der Einsatz von SSBIH allein wird sicherlich nur selten genügen.

1.1 Einführung in das Wafertransportsystem von Infineon Dresden

¹Die Chipproduktion in einer Halbleiterfabrik ist durch eine große Anzahl an Fertigungsschritten charakterisiert. Ist ein Schritt beendet, müssen die Wafer zur nächsten Anlage transportiert werden. Zum heutigen Zeitpunkt bewältigt das Transportsystem über 25 000 Carrierbewegungen pro 24 h. Um diese Aufgabe zu lösen, wurde ein Conveyorsystem in einer Höhe von 2,70 m über dem Boden installiert. Von über 25 000 Elektromotoren angetrieben, bewegen sich Carrier auf sogenannten Idler- und Drivewheels über das Conveyorsystem. Dabei hat jeder Carrier ein Fassungsvermögen von 25 Wafern. Da offene Carrier zum Transport genutzt werden, müssen beim Transport Verwirbelungen aus Partikelgründen vermieden werden. Die Transportgeschwindigkeit beträgt daher nur 22,5 cm/s. Dieser Nachteil wurde in Kauf genommen, um ein aufwendiges Leerboxenhandling zu vermeiden.

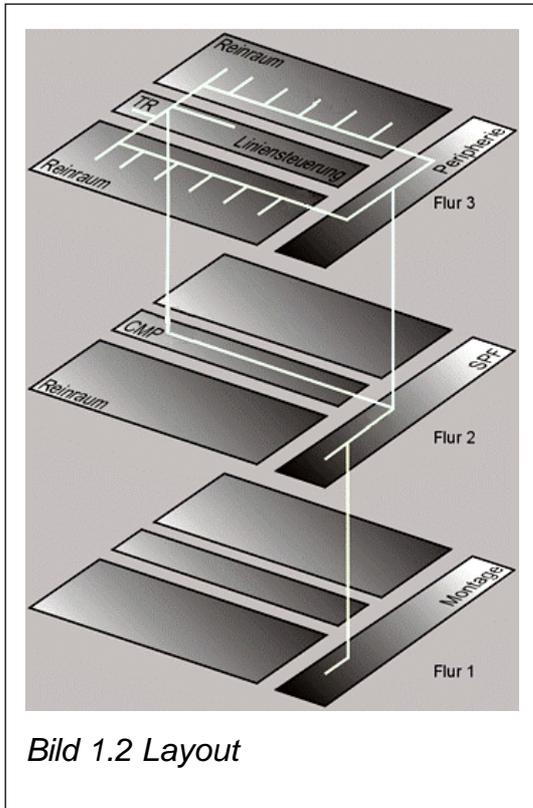


Bild 1.1 Conveyorsystem bei Infineon Dresden

¹ vgl. [Pyke / Heinrich, 1999: „The Impact of Conveyor Transports on Factory Performance at Infineon's 200- mm Fab“]

1.1.1 Layout

Zum jetzigen Zeitpunkt beträgt die komplette Länge des Conveyorsystems ca. 4 km.



Es verbindet vier Gebäude und erstreckt sich über 3 Etagen.

Dabei bilden Interbays die Verbindungsstrecken zwischen den verschiedenen Produktionsbereichen. Intrabays hingegen sind die Fahrtwege in den Prozeßfingern. Richtungsänderungen und Kreuzungen werden mit Drehtellern, den sogenannten Quarter Sections, auch QS genannt, realisiert.

Die Hauptkomponenten des Transportsystems bei Infineon Dresden sind neben Conveyor und Carriern:

- drei Etagen Lifte (Floor to Floor elevator),
- mehr als 150 Anlagen Lifte,
- 75 Stocker und
- das Steuerungssystem.

1.1.2 Floor to Floor Elevator

Elevatoren werden als Verbindung zwischen den verschiedenen Etagen genutzt. Sie sind über 5 Meter hoch und im wesentlichen aus Aluminium hergestellt. Dank eines 20 kg schweren Gegengewichtes ist ein relativ kleiner Elektromotor in der Lage, den Drop und die 3 kg eines beladenen Carriers zu bewegen.



1.1.3 Anlagen – Lifte

Anlagen– Lifte und Floor to Floor Elevatoren sind sehr ähnlich aufgebaut. Signifikant unterschiedlich ist lediglich ihre Höhe. Lifte haben die Aufgabe, Lose (Carrier mit Wafern) vom Conveyorsystem herunter zum Operator zu befördern, so daß dieser dann die entsprechende Anlage beladen kann.

1.1.4 Stocker



Bild 1.4 Stocker

Die Lagerung der Lose zwischen den einzelnen Prozeßschritten wird in sogenannten Stockern realisiert. Abhängig von der Höhe der verschiedenen Etagen beträgt die Lagerkapazität pro Stocker 73 oder 95 Carrier. Ein Roboter ermöglicht es, Carrier zwischen den einzelnen Fächern (BIN's) und den I/O Ports zu transportieren. Jeweils ein Operator- und ein Track- I/O Port sind pro Stocker vorhanden.

Jeder Stocker ist mit einem eigenen Belüftungssystem verbunden, welches aufgrund einer unterbrechungsfreien Stromversorgung auch bei Spannungsausfall funktioniert.

1.1.5 Steuerung

Das gesamte Conveyorsystem wird von über 25 Speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS'en bzw. engl. PLC's) kontrolliert. Mittels Profibusboards werden die Motoren angesteuert und Sensoren ausgewertet. Die PLC's selbst kommunizieren mit einer auf UNIX basierenden Software, dem MCS (Material Controlling System).

Das Bedien- und Beobachtungssystem (B&B) informiert das Instandhaltungspersonal über den aktuellen Systemstatus. Dabei stellt das "B&B" Informationen über Verkehr, Equipmentstatus und Störungen zur Verfügung.

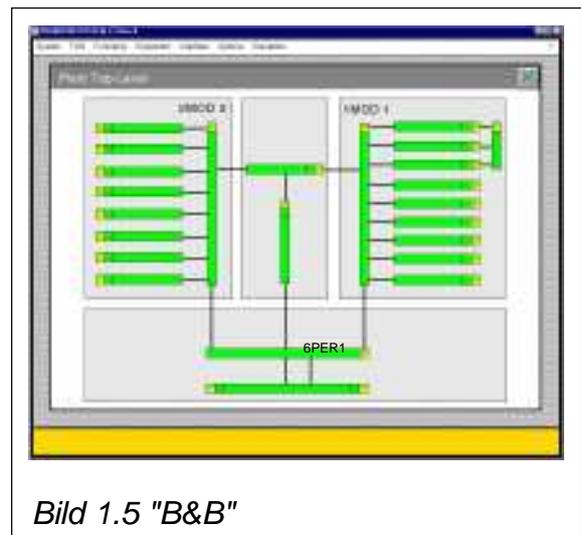


Bild 1.5 "B&B"

2 Erläuterung der Problemstellung

Ein großer Anteil an Instandhaltungsmaßnahmen im Transportsystem von Infineon Dresden entfällt auf die Kategorie temporäre Störungsbeseitigung. Neben Störungen an Stockern betrifft dies vor allem die sogenannten Traktionsprobleme der Carrier auf dem Conveyorsystem und an den Liften. Allein im November 1999 traten 8000 derartige Störungen auf. Bezogen auf 525 000 Transportaufträge, welche in diesem Zeitraum ausgeführt wurden, ergibt sich zwar eine mittlere Störungswahrscheinlichkeit von nur 1,5 % pro Transportauftrag. Trotzdem ist sicherlich leicht nachvollziehbar, daß sowohl ein beträchtlicher Arbeitszeitaufwand, als auch eine nicht zu vernachlässigende Begrenzung der Leistungsfähigkeit des Transportsystems von dieser Problematik ausgehen.

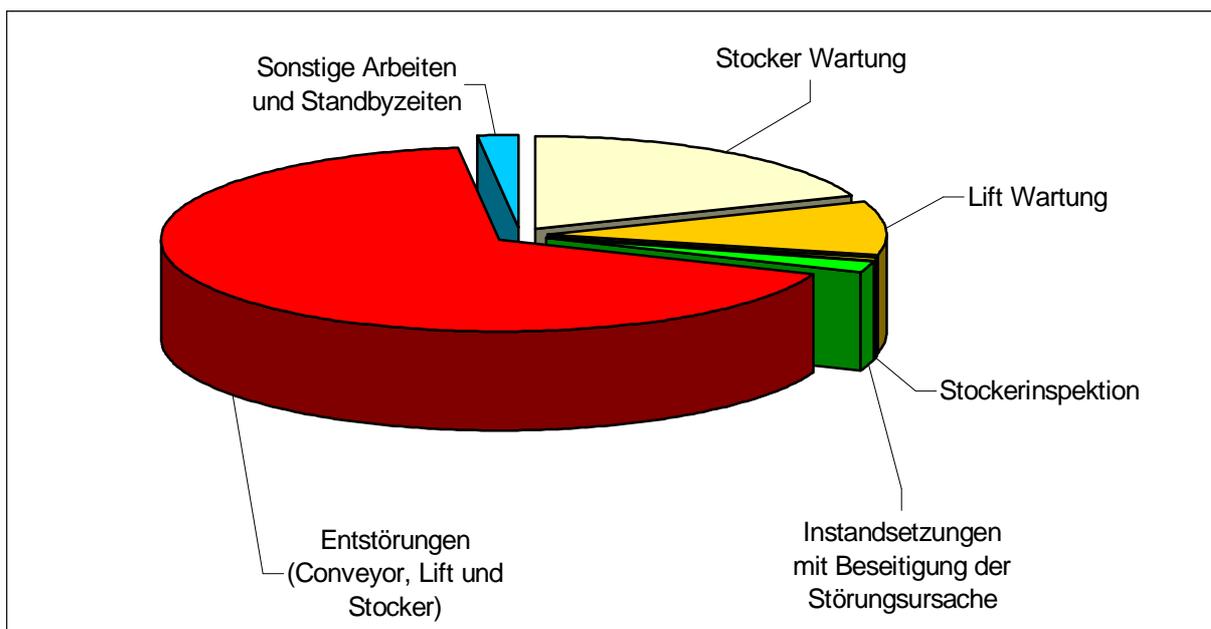


Bild 2.1 Verteilung des IH- bezogenen Arbeitsaufwandes (November 1999)²

Die vergangenen Jahre haben leider gezeigt, daß die allgemein bekannten klassischen Instandhaltungsstrategien und Schwachstellenermittlungsmethoden zur Reduktion der Störungshäufigkeit nur sehr begrenzt anwendbar waren.

² siehe Anhang 1: Verteilung der IH- bezogenen Arbeitsaufwände (Seite II)

Anhand des typischen Verlaufs der Ausfallrate technischer Systeme (bei zunehmendem Lebensalter), sollen die wesentlichen Ursachen hierfür erläutert werden.

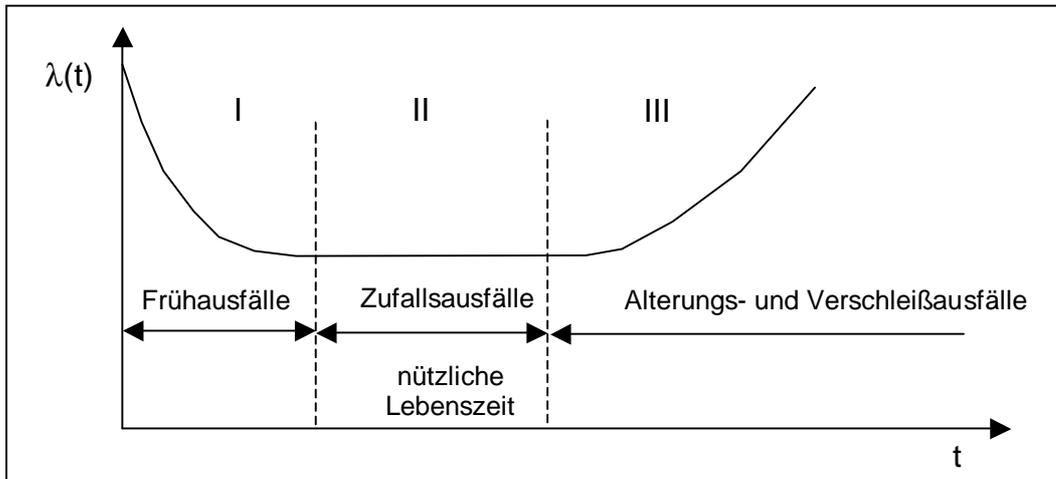


Bild 2.2 Typischer Verlauf der Ausfallrate bei zunehmendem Lebensalter (t)

In

Tabelle 2.1³ ist eine für den Maschinenbau übliche Bewertung der drei in Bild 2.2 eingezeichneten Etappen aufgeführt. Auch wenn diese drei Phasen in der Praxis mehr oder weniger gleichzeitig in einem System auftreten, kann das Störungsverhalten des Transportsystems eher den Phasen I und II zugeordnet werden.

Interessant ist, daß das Störungsverhalten hier nur im geringen Maße von Verschleißerscheinungen bestimmt wird. Ausschlaggebend sind die Elementeeigenschaften, die bereits seit der Installation mehr oder weniger unverändert vorhanden sind.

Somit ist zu erklären, weshalb Instandhaltungsstrategien, welche verschleißbezogene Kenngrößen (Nutzungsdauer, Beanspruchungszyklen, ...) zur Wartungsplanung nutzen, in diesem Falle nur sehr eingeschränkt funktionieren.

Betrachtet man nun die in

Tabelle 2.1 empfohlenen Maßnahmen gegen Früh- und Zufallsausfälle, ist eine zweite Besonderheit der zu lösenden Aufgabe augenscheinlich:

Im Unterschied zu üblichen Instandhaltungsaufgaben besteht die hier betrachtete Instandhaltungsproblematik in einem Störungs- und nicht in einen Schädigungs- bzw. Ausfallverhalten. Störungen, die nicht im Zusammenhang mit Ausfällen bzw. Materialschädigungen stehen, wird in der Instandhaltungsliteratur nur wenig

³ (Seite 18)

Aufmerksamkeit geschenkt. Beispielsweise schreibt Eichler: „Die Schädigung ist die Ursache der Instandhaltung.“⁴

*Tabelle 2.1 Deutung der verschiedenen Etappen von Ausfällen*⁵

Typ	Verhalten der Ausfallrate	Deutung
I	Ausfallrate fällt über der Zeit	<p>Im Verhalten des Elements bzw. der Anlage dominieren Frühfehler („Kinderkrankheiten“). Diese in der Regel durch Projektierungs-, Konstruktions-, Fertigungs-, Montage- oder Vorbereitungs-mängel (z.B. in der Qualifikation des Personals) veranlaßten Ausfälle treten nach Einleiten zweckmäßiger Gegenmaßnahmen nicht mehr auf, d.h. diese Ausfälle stehen nicht im Zusammenhang mit den Potenzen des Arbeitsmittels. Die dadurch gegebene Einlaufkurve mündet asymptotisch in das Normalverhalten ein.</p> <p>Gegenmaßnahmen sind verstärkte Fertigungskontrollen, Vormontageprüfungen und sorgfältige Kontrollen und Prüfungen während der Abnahme der Anlage, besonders Material- und Schweißnahtkontrollen, sowie hohe Qualifikation des Personals.</p> <p>Instandhaltungseingriffe in dieser Phase bestehen in der Instandsetzung nach Ausfällen und der Anwendung von Inspektionen zur Verringerung möglicher Folgeschäden. Ggf. sind Totalkontrollen wichtiger Anlagenkomplexe nach Ablauf der ersten Betriebsperiode anzuordnen.</p>
II	Ausfallrate ist über der Zeit konstant	<p>Im Ausfallverhalten dominieren Zufallsfehler, d.h. Mängel, die keine bestimmte Tendenz haben. Sie können beispielsweise durch Umgebungs- und Fremdkörpereinflüsse bedingt sein, wenn seltene Erscheinungen lokal zu Überbeanspruchungen führen. Auch Ausfälle durch Bedienungsfehler äußern sich in dieser Weise.</p> <p>Gegenmaßnahmen sind weitere Qualifizierung des Personals, die Einrichtung und Einhaltung eines exakten Betriebsregimes, die sorgfältige Überwachung von Parameterbegrenzungen und die Beseitigung von Mängeln in der Anlage, die das Auftreten von Folgeschäden begünstigen.</p> <p>Instandhaltungseingriffe in dieser Phase bestehen in der Instandsetzung nach dem Auftreten von Störungen sowie Inspektionen zur Ausschaltung möglicher Folgeschäden bei Zufallsfehlern.</p>
III	Ausfallrate ist über der Zeit ansteigend	<p>Im Verhalten des Elements bzw. der Anlage dominieren Ausfälle durch Abnutzung.</p> <p>Schädigungsprozesse wie Verschleiß, Korrosion, Ermüdung und Alterung führen zu einer laufenden Abminderung der Gebrauchseigenschaften der Elemente. In diesem Falle ist ein vorbeugendes Einwirken der Instandhaltung sinnvoll.</p>

⁴ [Eichler, 1978: „Instandhaltungstechnik“ Kap. 1.1 „Inhalt der Instandhaltung“]

⁵ übernommen aus: [Beckmann / Marx, 1994: „Instandhaltung von Anlagen“]

Das Transportsystem weist aber noch zwei weitere signifikante Eigenschaften auf:

1. Die Anzahl der zu betrachtenden Elemente ist so groß, daß Inspektionen an allen störungsrelevanten Elementen einen enormen Arbeitsaufwand bedeuten würden.
2. Störungen werden oftmals nur temporär (z.B. durch Anschieben von Carriern) beseitigt.

Hieraus leiten sich die konkreten Ziele dieses Projektes unmittelbar ab:

Entwicklung einer auf das Störungsverhalten des Transportsystems speziell zugeschnittenen, aber dennoch übertragbaren Instandhaltungsstrategie:

- ⇒ Senkung der Störungswahrscheinlichkeit des Systems
- ⇒ Reduktion des Instandhaltungsaufwands
- ⇒ Steigerung der Leistungsfähigkeit des Transportsystems

Hierzu ist es notwendig, effektivere Methoden zur Qualitätsprüfung und -überwachung von Systemkomponenten einzuführen und dabei innovative Wege auf dem Gebiet der technischen Diagnostik zu beschreiten.

3 Theoretische Grundlagen

Traktionsstörungen treten immer dann auf, wenn Carrier mit „schlechten“ Runnern über Conveyorelemente mit großen Abweichungen fahren. Setzt man für das Störungssystem das Model einer Toleranzkette mit starker Elementevariation an, muß also vermieden werden, daß die Summe der jeweiligen Elementeabweichungen die Störgrenze des Systems übersteigt. Im Umkehrschluß können Elemente mit ungenügenden Eigenschaften anhand ihrer Störungshäufigkeit selektiert werden.

Dieses Model hat seine Wurzeln im Austauschbau. Bereits seit Beginn des 20. Jahrhunderts wurden die wissenschaftlichen Grundlagen zur Auslegung von Toleranzsystemen entwickelt. 1924 gründete Professor Berndt beispielsweise das erste „Institut für Meßtechnik und Austauschbau“ an der damaligen Technischen Hochschule Dresden.⁶

Trotz der Tragweite dieser Problematik basiert allerdings keine der heute allgemein üblichen Instandhaltungsstrategien auf einem solchen Model bzw. auf der Auswertung von Störungsstatistiken.

Die Ursache dafür ist in der Tatsache zu suchen, daß im allgemeinen einmal montierte Elementepaarungen in der praktischen Anwendung nicht mehr stark variiert werden. Im Gegensatz dazu wird im Carrier- / Conveyor- Störungssystem nahezu jede mögliche Elementekombination immer und immer wieder getestet.

Das heißt, selbst wenn nur eine von 100 Kombinationsmöglichkeiten nicht funktioniert, ist die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten einer Störung in einem solchen System nicht 1%, sondern nahezu 100%.

$$\text{Störungsanzahl} \approx \frac{\text{Störungswahrscheinlichkeit}}{\text{Elementekombination}} * \text{Anzahl der Ereignisse}$$

(3.1)

Sind alle möglichen Elementekombinationen funktionsfähig, spricht man von absoluter oder vollständiger Austauschbarkeit. Ist die Funktionsfähigkeit eines Teils der möglichen Paarungen nicht gegeben, liegt lediglich eine bedingte Austauschbarkeit vor.

⁶ vgl. [Stockhausen, 2000: „Grundlagen des Austauschbaus“]

Die qualitative Einordnung von Systemen in diese Kategorien allein reicht aber nicht aus. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird gezeigt, daß die quantitative Abschätzung der resultierenden Störungshäufigkeiten bei der Auslegung von Toleranzsystemen nicht vernachlässigt werden darf.

3.1 Lösungsansatz

Den Anstoß zur Entwicklung der im folgenden beschriebenen Vorgehensweise gab eine vom Verfasser durchgeführte Untersuchung über die Systematik, mit welcher Traktionsprobleme an bestimmten Conveyorelementen auftreten. Dabei bestätigte sich die Vermutung, daß ein Großteil der Traktionsprobleme immer wieder an den gleichen Elementen zu beobachten war.

Bis dahin war eine gewisse Kapitulation vor der großen Anzahl der möglichen Störstellen zu verzeichnen gewesen. Beispielsweise reichten die personellen Ressourcen nicht annähernd aus, um alle der mehr als 4500 vorhandenen Trackelemente zu inspizieren. Da innerhalb eines Monats an ca. 1000 verschiedenen Trackelementen Störungen auftraten, erschien auch die Durchführung von Instandsetzungen mit Ursachenbeseitigung nach jeder Störung kaum realistisch.

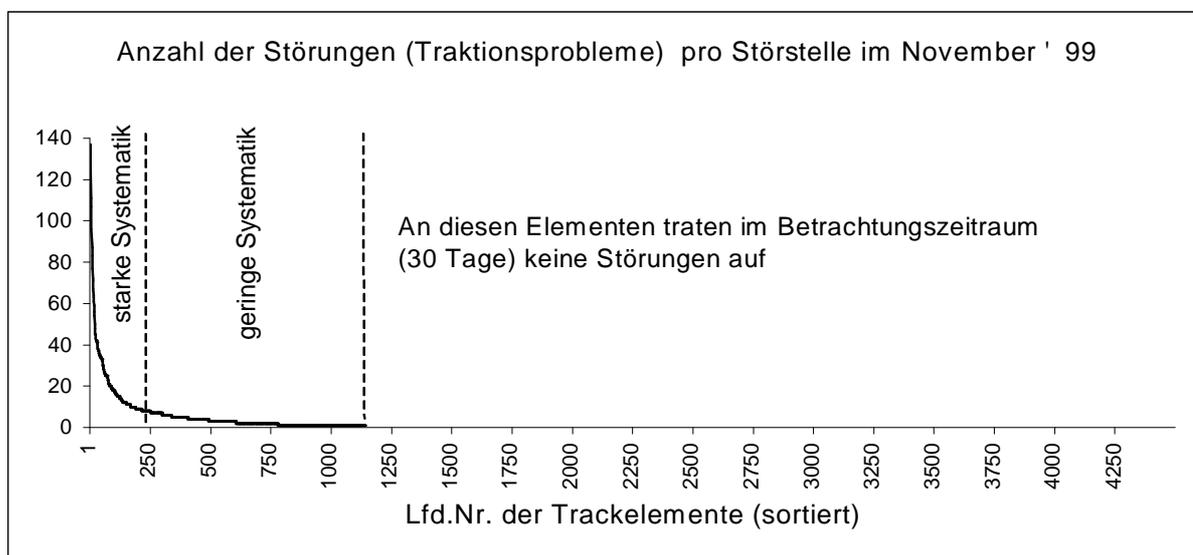


Bild 3.1 Verteilungsdichte der Störungen innerhalb eines Monats (x- Achse nach der Störungsanzahl geordnet)

Betrachtet man allerdings die Störungssystematik, so sind beispielsweise im November 1999 50 % der Störungen an nur 100 von 4500 Trackelementen aufgetreten (Bild 3.2).

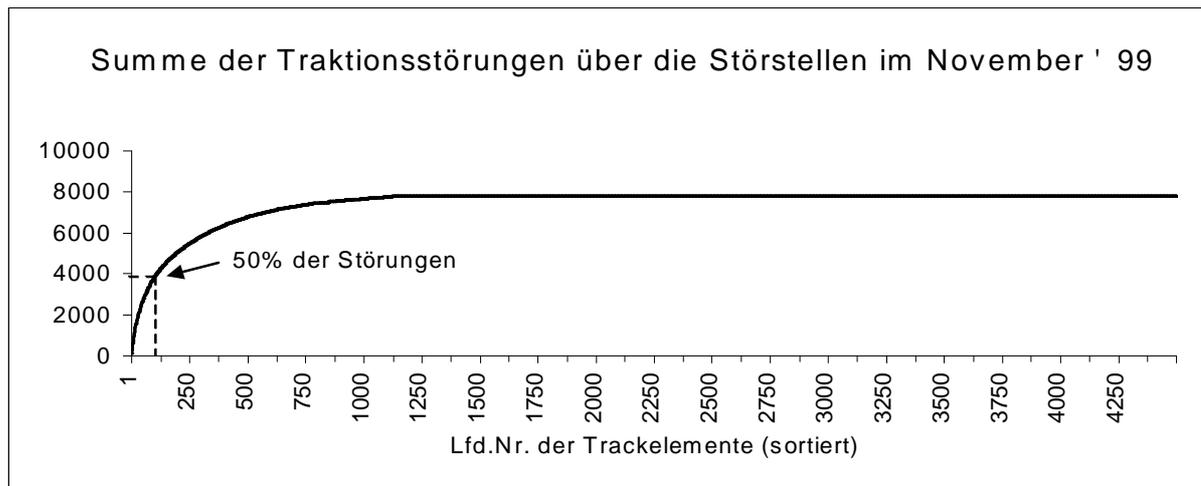


Bild 3.2 Störungen innerhalb eines Monats (Verteilungsfunktion)

Diese Aussage untermauert die Vermutung, daß ein Großteil der Störungen nur für eine begrenzte Zeit wieder in Gang gesetzt wurde. Folglich ist es wahrscheinlich, daß an den meisten der Trackelemente mit systematischem Störungsverhalten auch in der nachfolgenden Zeit wieder Störungen auftreten werden.

Konzentriert man sich nun auf die Beseitigung der Störungsursachen an diesen wenigen Stellen, so kann dies mit einem Bruchteil des ansonsten notwendigen Aufwandes realisiert werden.

3.2 Temporary Repair

Traktionsstörungen werden in der Regel einfach durch Anschieben der „hängengebliebenen“ Carrier temporär beseitigt. Nachfolgende Carrier mit besseren Eigenschaften überfahren danach das selbe Trackelement ohne Probleme.

In Systemen mit starker Elementvariation an kritischen Toleranzgrenzen sind temporäre Wiederherstellungen besonders charakteristisch, da auf Grund der Systemstruktur Störungen ohne Materialschädigungen häufiger anzutreffen sein werden.

In Systemen mit geringer Elementvariation hingegen, werden Toleranzprobleme entweder bereits bei der Montage auffallen, oder (ohne den Einsatz der technischen Diagnostik) erst durch Ausfälle mit Materialschädigung (Materialermüdung) entdeckt. Im Zuge einer Instandsetzung muß in solchen Fällen also zumindest das defekte Element ersetzt oder repariert werden.⁷

⁷ Anmerkung: Eine Reparatur ist nicht gleichbedeutend mit der Beseitigung der Ausfallursache. Unter Umständen wird nur die Wirkung, nicht aber die Ausfallursache beseitigt.

3.3 Theorie der Störungssystematikbestimmten Instandhaltung

1. Maßabweichungen mechanischer Elemente unterliegen Verteilungsfunktionen.
2. Soll die resultierende Verteilungsdichtefunktion für eindimensionale geometrische Toleranzketten ermittelt werden, so kann dies durch Faltung der Verteilungsdichtefunktionen der beteiligten Elementeklassen erfolgen.
3. Sind diese bekannt, läßt sich auf diesem Weg die resultierende Wahrscheinlichkeit für das Überschreiten einer vom System vorgegebenen Störgrenze ermitteln.⁸
4. Betrachtet man die Eigenschaften der an den Störungen beteiligten Elemente, ist zu erkennen, daß diejenigen Elemente mit den größten Abweichungen auch überproportional an Störungen beteiligt sind.
5. Ab einer gewissen Anzahl von Elementen (bzw. bei komplexeren mehrdimensionalen Toleranzsystemen) kann es sehr aufwendig sein, die Elemente mit Störungsverursachenden Eigenschaften durch konventionelle Meß- oder Prüfverfahren zu selektieren.
6. Im Umkehrschluß zu 3. können diese aber auch anhand der Systematik, mit welcher sie an Störungen beteiligt sind, ermittelt werden !
7. Durch Instandsetzung der betroffenen Elemente ist es möglich, die resultierende Verteilungsdichtefunktion zur Störgrenze hin zu begrenzen.
8. Auch wenn durch die selektierten Elemente lediglich die Stellen der Störungsauswirkung gefunden wurden, wird die Suche nach den Störungsursachen wesentlich vereinfacht. Der Arbeitsaufwand zur Durchführung von Instandsetzungen mit Beseitigung der Störungsursachen kann auf die wenigen selektierten Elemente reduziert werden.
9. Zur optimalen Selektion von systematischen „Störern“ kann die Verwendung spezieller Bewertungskriterien sinnvoll sein (Tiefpaßfilterung,...).

Diese Methode soll nun bezogen auf die Störungsproblematik des Transportsystems erläutert werden. Gleichzeitig werden (stark vereinfacht) die Hintergründe für Traktionsprobleme erläutert.⁹

⁸ vgl. [Trumbold/ Beck/ Richter, 1996: „Toleranzsysteme und Toleranzdesign“]

⁹ Da die Voraussetzung aus Punkt 3 nicht gilt, handelt es sich bei den Ausführungen zu Punkt 1 lediglich um mögliche Beispielverteilungen.

3.4 Traktionsprobleme

Man spricht von einem Traktionsproblem im weitesten Sinne immer dann, wenn sich ein Carrier trotz laufender Motoren nicht in Fahrtrichtung bewegt.

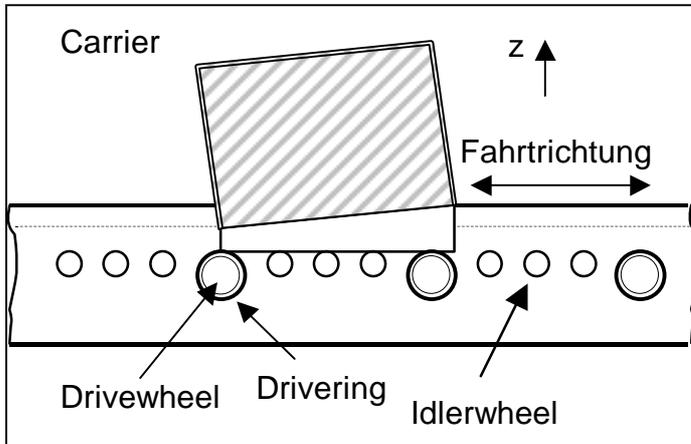


Bild 3.3 Carrier auf dem Conveyorsystem

Wie in Bild 3.3 zu sehen ist, rollen die Carrier über sogenannte Idlerwheels und werden durch Drivewheels angetrieben. Drivewheels, an denen Carrier gestoppt werden können, nennt man Softbuffert Wheels. Diese beinhalten im Unterschied zu Unbuffert Wheels eine Magnetkupplung zur Begrenzung des maximalen Drehmoments. Dadurch soll vermieden werden, daß zwischen Runner und Driveringen ein Schlupf mit Partikelerzeugung entsteht. Driveringe bestehen aus einem elastischen Material und ragen im unbelasteten Zustand 0,38 mm in Z- Richtung über die Idlerwheels heraus.

Ungeachtet der verschiedenen Möglichkeiten der Position des Carriers zwischen den Drive- und Idlerwheels ergibt sich für das Toleranzsystem Carrier / Conveyor folgende Abschätzung:

- | | |
|---|----------|
| - verfügbarer Höhenunterschied | 0,38 mm |
| - zur Erzeugung der Reibung minimal notwendiges
Zusammendrücken des Driverings | -0,05 mm |

Für Carrier und Conveyorabweichungen bleiben also noch 0,33 mm¹⁰ übrig.

- | | |
|--|---------|
| - Am Conveyorsystem sind Absätze mit erlaubt. | 0,12 mm |
| - Die max. Runnerflatness und Parallelitätsabweichungen am Carrier waren ursprünglich mit 0,12 mm angegeben. Fertigungsprobleme dieses Plastspritzgußteils führten aber zu einer akzeptierten Grenze von | 0,2 mm. |

Die Summe der max. erlaubten Abweichungen von Carrier und Conveyor, liegt also im Bereich der Störgrenze.¹¹

Wie viele störungsverursachende Carrier- / Conveyor- Paarungen existieren, hängt deshalb stark von der statistischen Verteilung der Conveyor- bzw. Runnerabweichungen ab.

¹⁰ Dieser Wert sollte bei der Auslegung des Systems minimal angestrebt werden. Die zu erwartende Störgrenze erstreckt sich aber bis 0,38 mm (keine Kompression des Driverings).

¹¹ An dieser Stelle muß angemerkt werden, daß diese Erläuterung die Problematik nur stark vereinfacht wiedergibt. Folgende Aspekte sind zu bedenken:

Durch die Wirkung der Hebelgesetze stellt der beschriebene Fall nur den Grenzwert für die ungünstigste Position dar.

- Ein fahrender Carrier ist durch seine Trägheit durchaus in der Lage, auch über ein fehlendes Drivewheel hinweg zu fahren, ohne stehenzubleiben,
- Neben den geometrischen Eigenschaften spielt z.B. auch die Oberflächenbeschaffenheit des Runners (Reibungskoeffizient) eine wichtige Rolle,
- Auch Absätze und Knicke in X- Richtung, sowie zu schmale Conveyor können Störungen hervorrufen.

Es ist sicherlich sinnvoll, den Einsatz von Driveringen mit größerem Außendurchmesser zu untersuchen. Es besteht allerdings die Gefahr, daß durch den geringen Kufenradius der Runner, Carrier bei einer stärkeren Überhöhung der Drivewheels dann entweder nicht auf diese „hochfahren“ können oder an Idlerwheels „einhaken“.

3.5 Maßabweichungen und Verteilungsfunktionen

Der Abschnitt 3.5 dient der Erläuterung des der Störungssystematikbestimmten Instandhaltung zu Grunde liegenden Modells.

Dazu wurde das nachfolgende Beispiel in der Annahme normalverteilter¹² Abweichungen auf Grund des im November '99 erfaßten Systemverhaltens konstruiert:

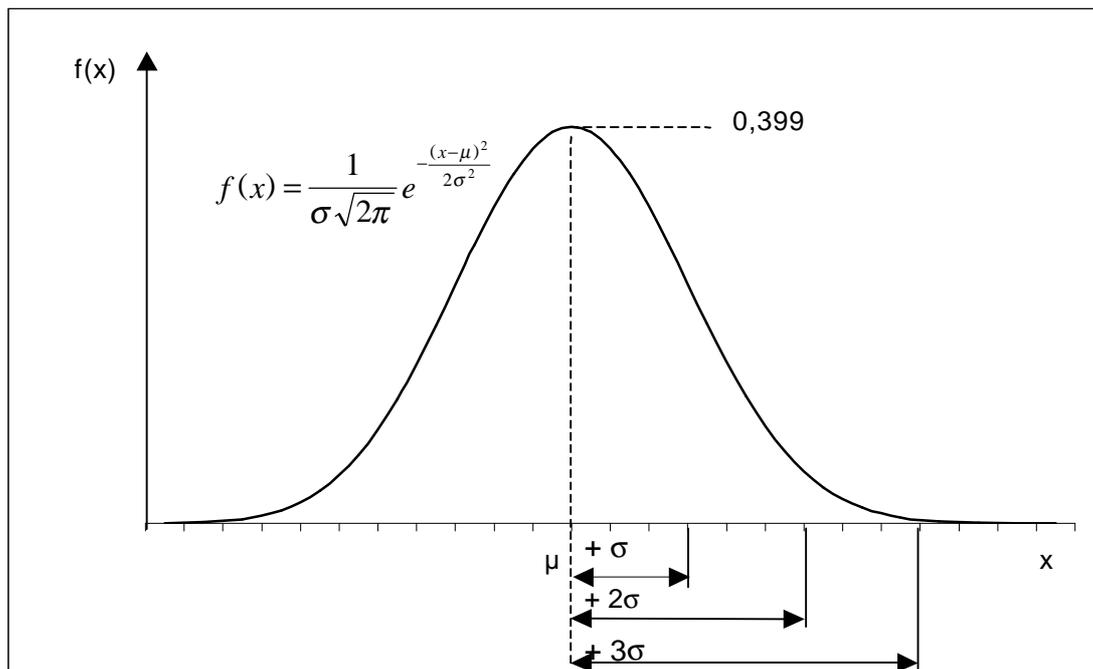


Bild 3.4 Dichte der standardisierten Normalverteilung

¹² Die Annahme einer Normalverteilung erfolgte nahezu willkürlich. Die tatsächliche Verteilung der Toleranzen der Elemente des Transportsystems kann durchaus einem anderen Verteilungstyp unterliegen. Dieses Beispiel dient lediglich der Verdeutlichung prinzipieller Zusammenhänge.

Systemumgebung Ende 1999:

- ca. 18 000 Transportaufträge / 24 h
 - im Mittel 30 Trackelemente / Transportauftrag
 - ca. 260 Transferstörungen / 24 h
- ⇒ Störungswahrscheinlichkeit bezogen auf die Anzahl von sich ereignenden Carrier / Conveyor Kombinationen

$$P_s = \frac{260 \frac{\text{Störungen}}{24 \text{ h}}}{18000 \frac{\text{Transportaufträge}}{24 \text{ h}} * 30 \frac{\text{Trackelemente}}{\text{Transportauftrag}}}$$

$$P_s = 0,00048$$

$$P_s = 0,048 \% \text{ (der sich ereignenden Carrier / Conveyor Kombinationen)}$$

(3.2)

Beispielverteilungen

Carrier:

$$\mu_{\text{Carrier}} = \bar{X}_{\text{Carrier}} = 0,12 \text{ mm (Flatness- + Parallelitätsabweichungen)}$$

$$\sigma_{\text{Carrier}} = S_{\text{Carrier}} = 0,03 \text{ mm}$$

Conveyor:

$$\mu_{\text{Conveyor}} = \bar{X}_{\text{Conveyor}} = 0,09 \text{ mm (Absätze in Y- Richtung)}$$

$$\sigma_{\text{Conveyor}} = S_{\text{Conveyor}} = 0,03 \text{ mm}$$

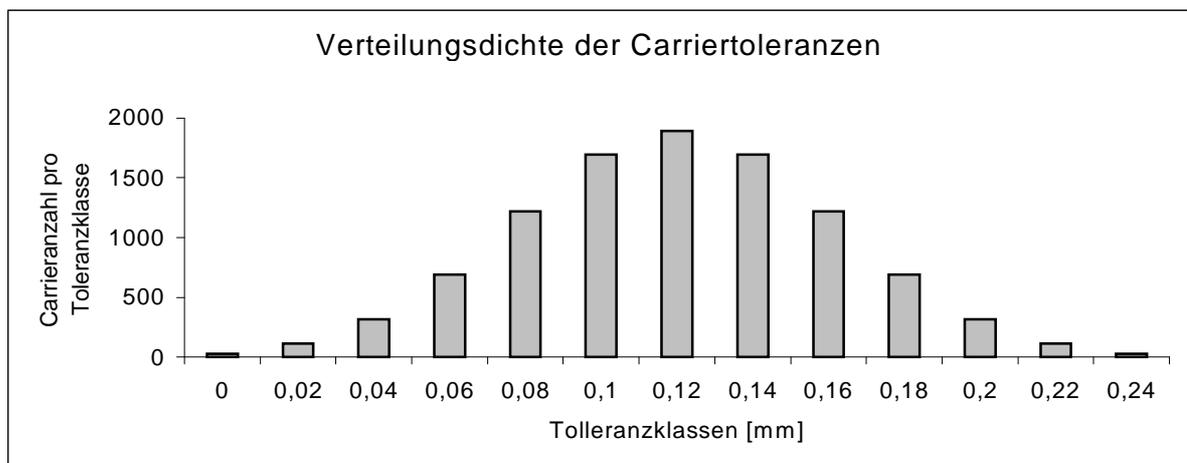


Bild 3.5 Dichte der Verteilung der Carrierabweichungen (10 000 Carrier)

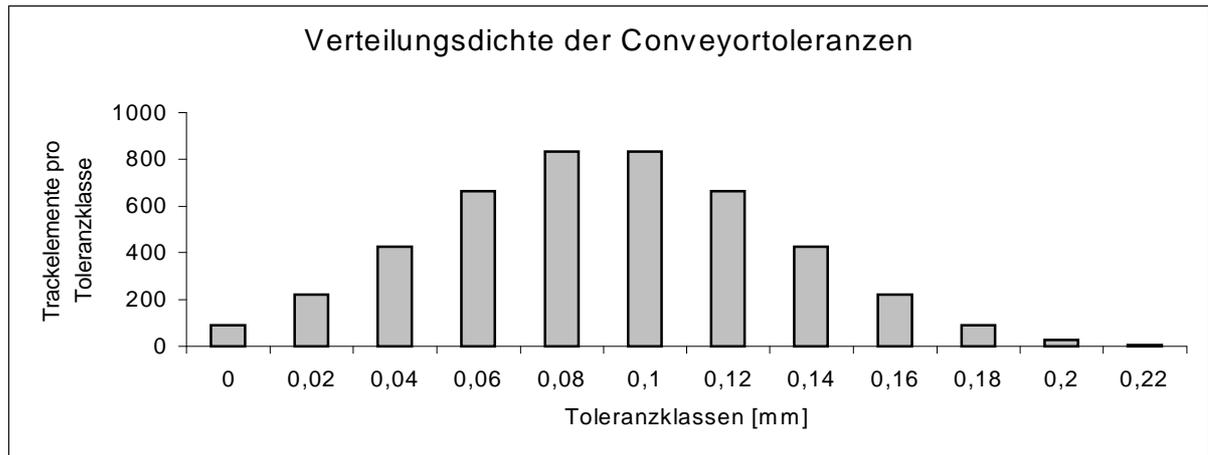


Bild 3.6 Dichte der Verteilung der Conveyorabweichungen (4500 Conveyorelemente)

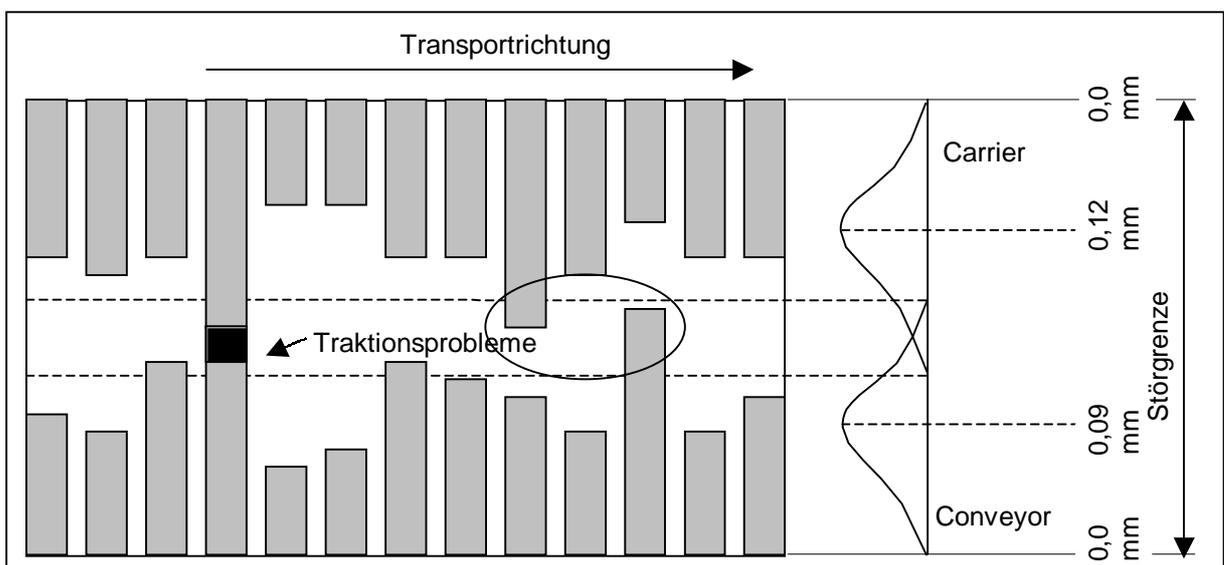


Bild 3.7 Vereinfachtes Schema zur Entstehung von Traktionsproblemen durch Maßabweichungen

Es ist also zu vermuten, daß bei denjenigen Elementepaarungen Störungen auftreten, deren Abweichungssummen größer sind als die Störgrenze des Systems.¹³

¹³ Die Störgrenze kann in der Praxis auch ein Grenzbereich sein (siehe Abschnitt 4.4 „Traktionsprobleme“).

Um die resultierende Verteilungsdichte der Abweichungen des 2–Komponentensystems zu ermitteln, werden die Verteilungsdichten der Abweichungen der Einzelkomponenten miteinander gefaltet:

Das heißt, für jede mögliche Carrier- / Conveyor- Kombination wird eine Abweichungssumme berechnet. Die erhaltenen Daten werden dann wieder in Form einer Verteilungsdichte zusammengefaßt.¹⁴

Die Anzahl der dabei auszuführenden Additionen beträgt in unserem Beispiel:

$$\begin{aligned} \text{Carrieranzahl} * \text{Trackelementanzahl} &= 10\,000 * 4\,500 \\ &= \underline{\underline{45\,000\,000 \text{ Kombinationsmöglichkeiten}}} \end{aligned}$$

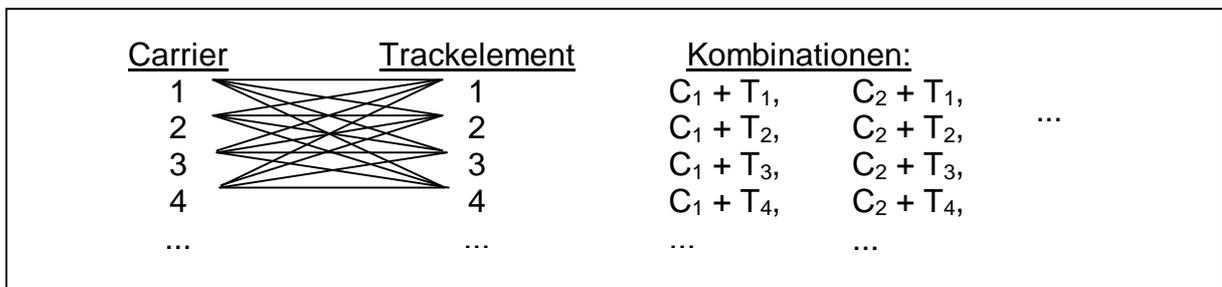


Bild 3.8 Mögliche Kombinationen von Maßabweichungen zwischen Carriern und Conveyorelementen

¹⁴ Durch den Transportsystemcharakter kommt diese Betrachtungsweise der Realität schon sehr nahe. Allerdings wird bei den weiteren Überlegungen zu diesem Beispiel vernachlässigt, daß der Nutzungsgrad der einzelnen Trackelemente bzw. der einzelnen Carrier unterschiedlich hoch ist.

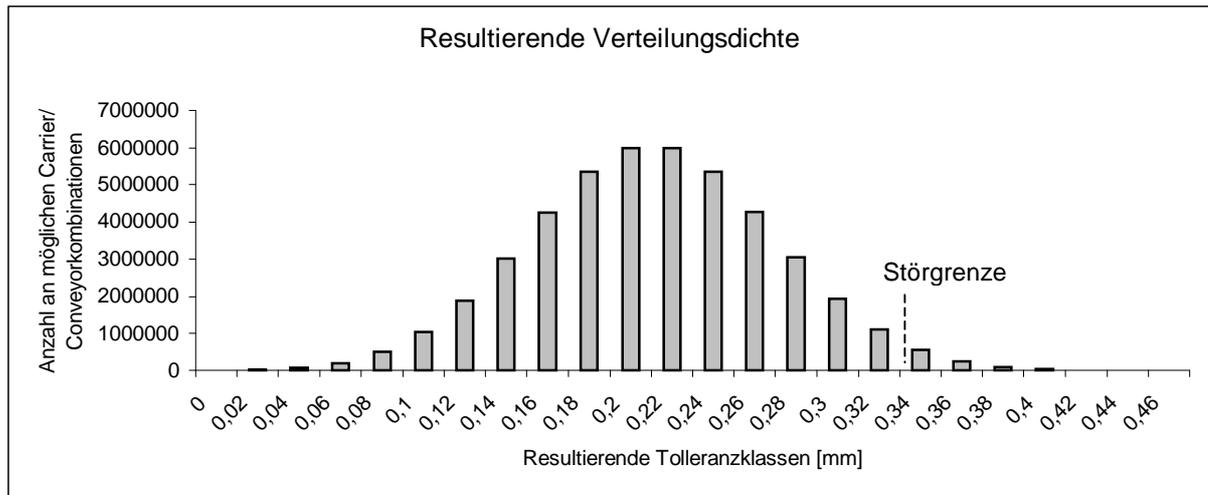


Bild 3.9 Ergebnis der Faltung von Carrier- mit Conveyorabweichungsverteilungsdichte

Die mittlere Störungswahrscheinlichkeit berechnet sich aus dem Verhältnis der Elementekombinationen in den Abweichungsklassen oberhalb der Störgrenze, bezogen auf alle möglichen Elementepaarungen.

$$P_S = \frac{\int_{x=\text{Störgrenze}}^{\infty} f(x)dx}{\int_{x=0}^{\infty} f(x)dx} \quad (3.3)$$

3.6 Vorhersage der Störungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Störgrenze

In der Verteilungsdichtefunktion der resultierenden Abweichungen (Bild 3.10) wird deutlich, wie klein der Anteil der störungsverursachenden Paarungen ist.

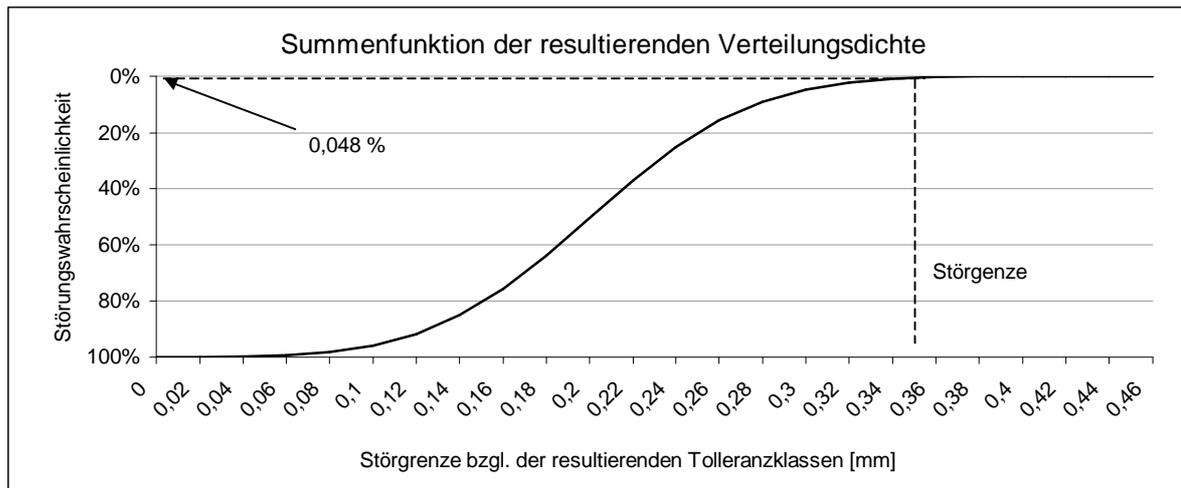


Bild 3.10 Störungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Störgrenze des Systems

Betrachtet man aber die enorme Anzahl der sich im Transportsystem pro 24 h ereignenden Carrier- / Conveyorelemente- Kombinationen (3.5), ist es genau dieser Anteil, der in unserem Beispiel immerhin 260 Störungen pro 24h verursacht.

$$18000 \frac{\text{Transporte}}{24\text{h}} * 30 \frac{\text{Trackelemente}}{\text{Transportauftrag}} = 540000 \frac{\text{Carrier - / Conveyor - Kombinationen}}{24\text{h}} \quad (3.4)$$

$$540000 \frac{\text{Carrier - / Conveyor - Kombinationen}}{24\text{h}} * 0,00048 \frac{\text{Störungen}}{\text{C. - / C. - Kombinationen}} \approx 260 \frac{\text{Störungen}}{24\text{h}} \quad (3.5)$$

Resultierende Verteilungsdichtefunktion:

Das Ergebnis der Faltung zweier Normalverteilungsdichtefunktionen ist wiederum eine Normalverteilungsdichtefunktion:

$$f_{\text{resultierend}}(x) = \frac{1}{\sigma_{\text{resultierend}} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x - \mu_{\text{resultierend}})^2}{2\sigma_{\text{resultierend}}^2}}$$

mit den Parametern

$\mu_{\text{resultierend}} = \mu_1 + \mu_2$ und

$$\sigma_{\text{resultierend}}^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + 2\sigma_1\sigma_2\rho_{1,2} \quad (3.6)$$

Sind beide Funktionen voneinander statistisch unabhängig, gilt $\rho_{1,2} = 0$ und somit

$$\sigma_{\text{resultierend}} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \quad (3.7)$$

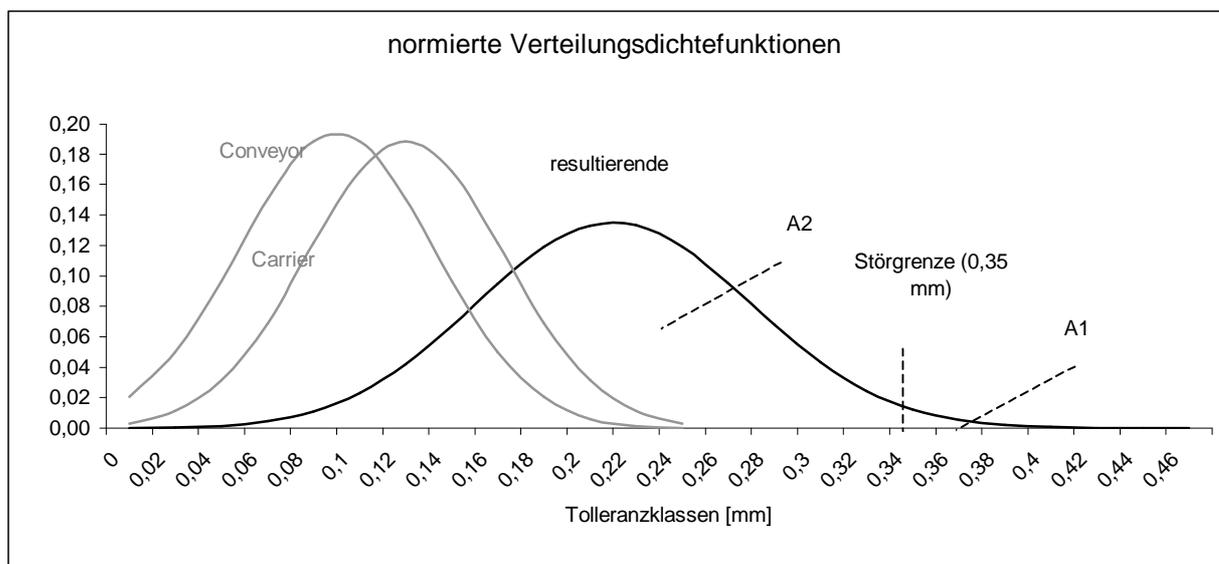


Bild 3.11 Erläuterung der Störungswahrscheinlichkeit $PS = A1/(A1+A2)$

Das gewählte Beispiel wurde für eine mittlere Störgrenze von 0,35 mm konstruiert. Eine Störungswahrscheinlichkeit von 0,048 %¹⁵ erhält man bei $\Phi(3,3\sigma_{\text{resultierend}})$. Das heißt, die beiden Verteilungsdichtefunktionen schneiden sich bei

$$\sqrt{\frac{(3,3\sigma_{\text{resultierend}})^2}{2}} = 2,33\sigma_{\text{Carrier}} = 2,33\sigma_{\text{Conveyor}} \cdot^{16}$$

¹⁵ siehe (3.2) auf Seite 27; Anmerkung: Die Störungswahrscheinlichkeit bezieht sich hier auf jede Carrier- / Conveyor- Kombination. Die auf einen Transportauftrag bezogene Störungswahrscheinlichkeit ist ca. 30 mal größer. (Ein Transportauftrag entspricht im Mittel ca.30 Conveyorüberfahrten.)

¹⁶ vgl. Bild 3.7 (Seite 28)

Probe:

$$\begin{aligned}
 1 - 0,00048 &= 0,99952 \\
 &= \Phi(3,3\sigma)
 \end{aligned}
 \tag{3.8}^{17}$$

$$\begin{aligned}
 \mu_{\text{resultierend}} &= \mu_1 + \mu_2 \\
 &= 0,09 \text{ mm} + 0,12 \text{ mm} \\
 &= 0,21 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\text{resultierend}} &= \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \\
 &= \sqrt{0,03 \text{ mm}^2 + 0,03 \text{ mm}^2} \\
 &= 0,042 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Störgrenze} &= \mu_{\text{resultierend}} + 3,3 \sigma_{\text{resultierend}} \\
 &= 0,21 \text{ mm} + 0,042 \text{ mm} \\
 &\approx \underline{0,35 \text{ mm}}
 \end{aligned}
 \tag{3.9}$$

Umgekehrt lässt sich natürlich auch die Störungswahrscheinlichkeit bei verschiedenen Störgrenzen berechnen:

Tabelle 3.1 Störungswahrscheinlichkeit und Störungsanzahl in Abhängigkeit von der Störgrenze

Störgrenze	bezogen auf normierte Normalverteilung	Störungswahrscheinlichkeit	Theoretische Anzahl der Störungen pro 24h (18 000 Transporte; 30 Elemente pro Transport)
0,31	$\Phi(2,38\sigma)$	0,008656	4674
0,33	$\Phi(2,86\sigma)$	0,002118	1143
0,35	$\Phi(3,3\sigma)$	0,000483	260
0,37	$\Phi(3,8\sigma)$	0,000072	38
0,45	$\Phi(5,7\sigma)$	0,000000006	0,003
0,50	$\Phi(6,9\sigma)$	0,0000000000026	0,000001

¹⁷ siehe Anhang 3: Verteilungsfunktion $\Phi(x)$ der standardisierten Normalverteilung (Seite VII)

Das heißt, zur Reduktion von Störungen bestehen zunächst folgende Möglichkeiten:

1. Verschieben der Störgrenze (z.B. durch eine stärkere Drivewheelüberhöhung) oder
2. Begrenzen der Verteilungsdichten der Elementeabweichungen.

zu 1. Steht aus Materialverschleiß- und Partikelgründen ohnehin ein schrittweiser Wechsel der Driveringe an, so kann bereits durch eine geringfügige Vergrößerung der Drivewheelüberhöhung eine beträchtliche Reduktion der Störungswahrscheinlichkeit für diesen Mechanismus erreicht werden (siehe Tabelle 3.1). Da gleichzeitig allerdings auch die Gefahr des Verkanntens steigt (Carrier bleibt in Z- Richtung am Idlerwheel hängen), werden Tests mit einer Drivewheelüberhöhung von 0,45 bis maximal 0,5 mm empfohlen.

Wird ein Austausch der mehr als 50 000 im System vorhandenen Driveringe lediglich zur Reduktion der Störungswahrscheinlichkeit erwogen, ist der zu erwartende Effekt mit dem nicht unbedeutenden Arbeits- und Materialaufwand abzuwägen. Außerdem ist eine solche Maßnahme mit einer nicht zu vernachlässigenden Beeinträchtigung der Produktion verbunden.

zu 2. Dies kann bei vorhandenem System durch

- bisher übliche (allerdings sehr aufwendige) inspektionsbasierte Selektion und Instandsetzung,
- Störungsursachenbeseitigung für jede Störung oder aber auch durch
- Störungssystematikbestimmte Maßnahmen erfolgen.

Des weiteren ist die Verbesserung der Qualität der Neu- bzw. Ersatzteile anzustreben.

3.7 Selektion der Elemente mit den stärksten Abweichungen

Um zu veranschaulichen, ob und in welchem Maße tatsächlich die Elemente mit den stärksten Abweichungen auch die meisten Störungen verursachen, kann folgender numerischer Weg gegangen werden:

- Die bei der numerischen Faltung der Verteilungsdichten erhaltenen Carrier- / Conveyor- Kombinationen (Abschnitt 4.6) werden inklusive der Eigenschaften der jeweiligen Elemente in einer Datenbank abgelegt.¹⁸

Tabelle 3.2 Numerische Faltung / Auszug aus der Berechnungstabelle des Access-Tools „Verteilung.mdb“

Carrier ID	Carrier-abweichung	Conveyor ID	Conveyor-abweichung	Abweichungs-summe	Störung
479	0,14	697	0,22	0,36	1
484	0,14	697	0,22	0,36	1
481	0,14	697	0,22	0,36	1
476	0,14	697	0,22	0,36	1
482	0,14	697	0,22	0,36	1
478	0,14	697	0,22	0,36	1
440	0,14	693	0,2	0,34	0
446	0,14	694	0,2	0,34	0
446	0,14	696	0,2	0,34	0
442	0,14	694	0,2	0,34	0
442	0,14	695	0,2	0,34	0
442	0,14	696	0,2	0,34	0
438	0,14	694	0,2	0,34	0

- Ist die Summe der Abweichungen einer Paarung größer als die Störgrenze (in diesem Beispiel also $>0,35$ mm), wird diese Paarung als störungsverursachend definiert.
- Im nächsten Schritt erfolgt eine Abfrage, in der bezüglich jedes vorhandenen Elements einer Komponentenklasse (Carrier oder Conveyor) die Anzahl der Störungsverursachenden Kombinationen ermittelt wird.

¹⁸ Diese Rechnung kann mit dem Access Tool „Verteilung.mdb“ nachvollzogen werden.

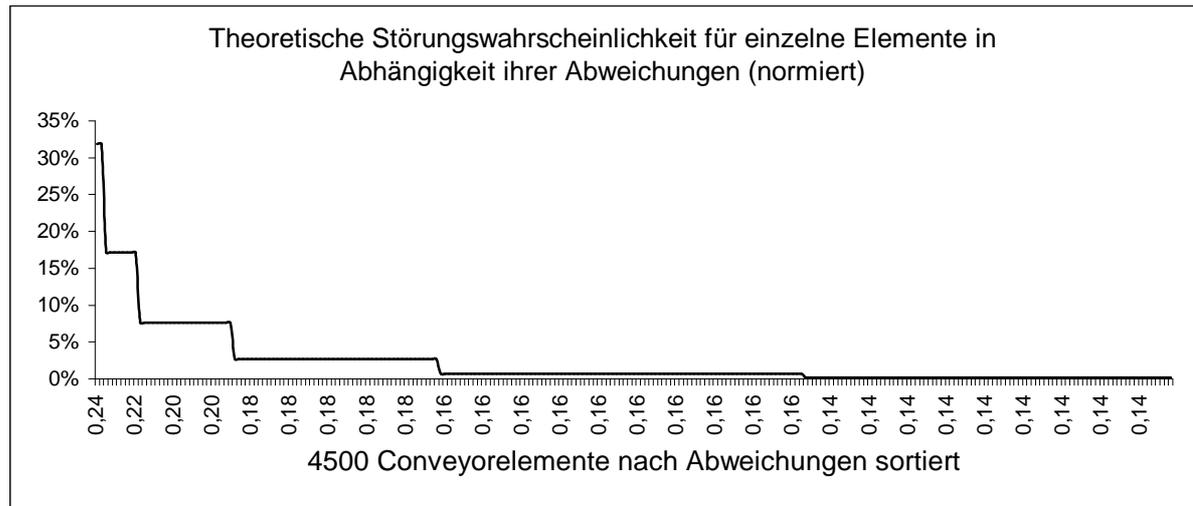


Bild 3.12 Verteilung der theoretischen Störungswahrscheinlichkeit von 4500 Trackelementen

Die auf theoretischem Weg ermittelte Kurve (Bild 3.12) bestätigt die folgenden Aussagen:

- 1. Von einer Vielzahl an Elementen sind nur wenige signifikant an Störungen beteiligt.**
- 2. Die Elemente mit den größten Abweichungen sind auch am häufigsten an Störungen beteiligt.**
- 3. Die theoretisch errechnete Kurvenform entspricht den im Transportsystem mittels Störungsstatistiken ermittelten Kurven. Diese Tatsache bestätigt das angesetzte Modell.**¹⁹

¹⁹ siehe auch Bild 3.1: „Verteilungsdichte der Störungen innerhalb eines Monats“ auf Seite 21

Die Aussage 1 gilt desto so besser, je weiter die Störgrenze am Rande der resultierenden Verteilungsdichtefunktion liegt. Auch die Art der Verteilungsfunktion der Elementabweichungen kann diesbezüglich einen großen Einfluß haben.²⁰

Ob und in welchem Maße eine Selektion von systematischen Störungsursachen anhand von Störungsstatistiken möglich ist, kann bei bekannten Verteilungsdichten mit dieser Methode abgeschätzt werden.

In Analogie zu diesem Beispiel ist es möglich, die Störungswahrscheinlichkeiten²¹ auch für andere Verteilungstypen und für verschiedene Störgrenzen zu ermitteln.

Üblicherweise versteht man unter Faltung eine additive Verknüpfung der einzelnen Elementeeigenschaften. Die Aussage 2 gilt allerdings auch für viele kompliziertere Störungsmechanismen. Dies ist ein entscheidender Vorteil der SSBIH, da sich dadurch störungsverursachende Elemente selektieren lassen, ohne den Störungsmechanismus exakt zu kennen.

²⁰ An dieser Stelle sei noch einmal darauf hingewiesen, daß das in den letzten Kapiteln genutzte Beispiel vor allem der Erläuterung grundlegender Zusammenhänge von Traktionsstörungen diene. Weder die Annahme von Normalverteilungen für die Elementetoleranzen, noch deren Parameter wurden durch repräsentative Meßreihen ermittelt. Insbesondere ist nicht sicher, ob Wahrscheinlichkeiten im Bereich $\sigma > 3$ in der angegebenen Genauigkeit realistisch sind. Für die Anwendung SSBIH zur Reduktion der Störungshäufigkeit werden diese Informationen aber auch nicht in hoher Genauigkeit benötigt.

²¹ Der Begriff Störungswahrscheinlichkeit bezieht sich in diesem Zusammenhang auf 100% der möglichen Kombinationen der Elemente der Toleranzkette.

3.8 Weitere Verteilungsfunktionen

Stellvertretend sei das Verhalten einer Kombination zweier gleich verteilter Verteilungsdichtefunktionen mit Begrenzungen bei 0 mm und 0,32 mm im Bild 3.13 dargestellt.²²

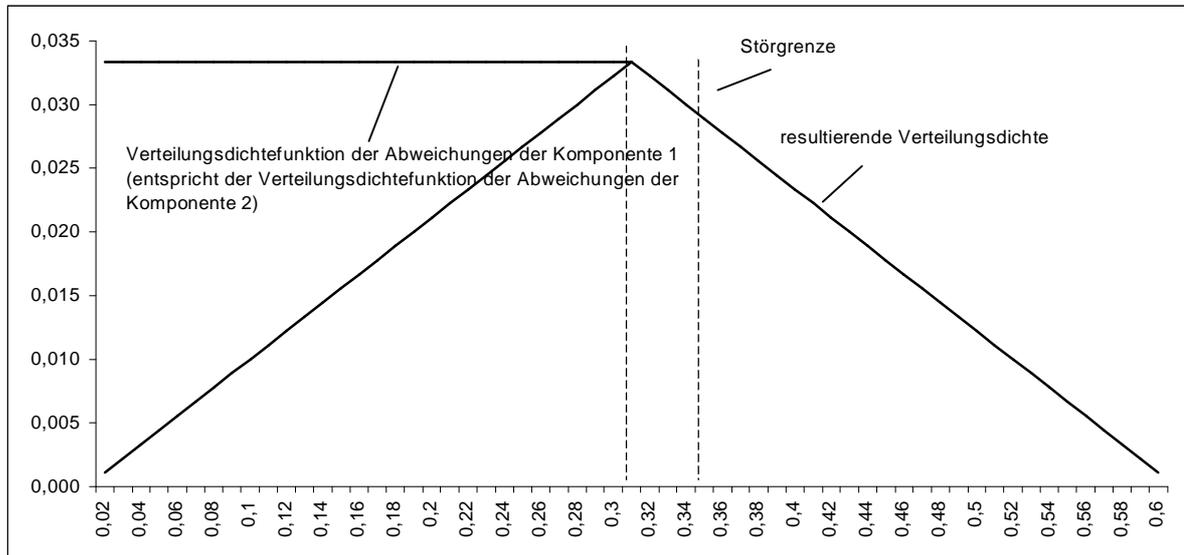


Bild 3.13 Resultierende Verteilungsdichtefunktion bei Gleichverteilung der Elementabweichungen (normierte Darstellung)

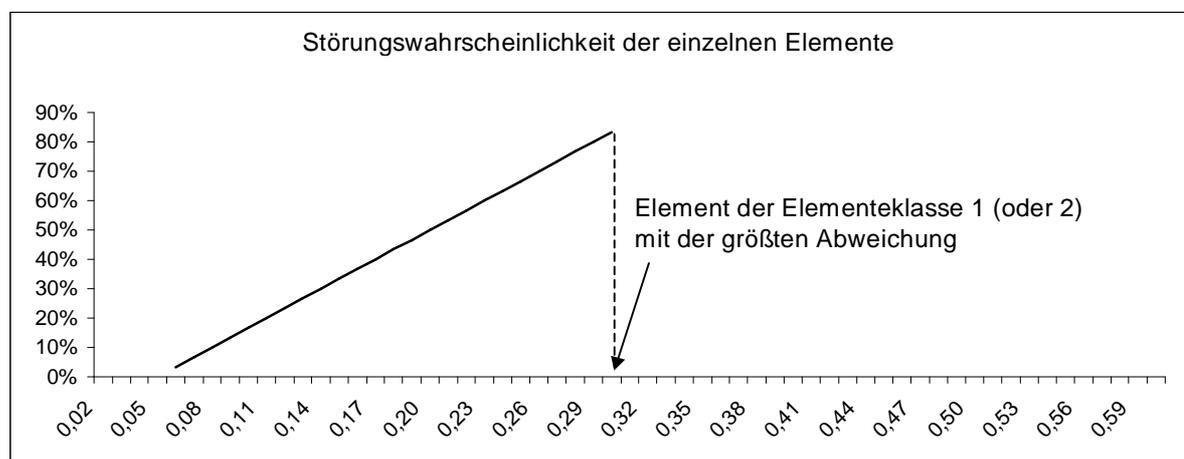


Bild 3.14 Störungswahrscheinlichkeit der einzelnen Elemente in Abhängigkeit ihrer Abweichungen bei 0,35 mm Störgrenze

²² weiterführend sei auf [Trumbold / Beck / Richter, 1996 „Toleranzsysteme und Toleranzdesign“] verwiesen

3.9 Begrenzung der Verteilungsdichtefunktionen

Mit der Möglichkeit, diejenigen Elemente mit den stärksten Abweichungen mit Hilfe von störungsstatistischen Auswertungen zu selektieren, ist die Grundlage für die Begrenzung der Verteilungsdichtefunktionen gegeben.

Von einer großen Anzahl an zu betrachtenden Elementen bleiben nur noch wenige, näher zu untersuchende systematische Störstellen übrig. Nach deren Instandsetzung, erhält man eine resultierende Verteilungsdichtefunktion, die sogar noch vor der Störgrenze begrenzt sein kann.

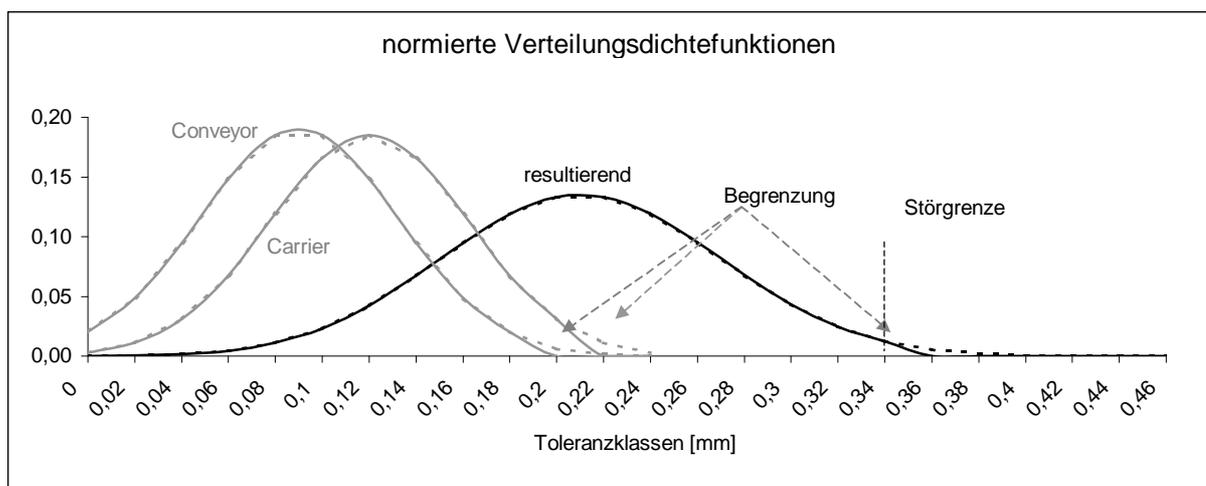


Bild 3.15 Begrenzung der resultierenden Verteilungsdichtefunktion

Möchte man sich einen Sicherheitsbereich schaffen, ist es möglich, anhand von in der Vergangenheit aufgenommenen Störungsdaten weiter an Elementen nach Störungsursachen zu suchen, an denen zum aktuellen Zeitpunkt bereits keine Probleme mehr auftreten.

Den gleichen Effekt erzielt man allerdings auch durch bewußtes Einschleusen von Elementen mit größeren Abweichungen. Diese erfüllen gewissermaßen die Funktion eines „Kontrastmittels“ und können nach einer gewissen Zeit wieder aus dem System entfernt werden.²³

Ein solcher Sicherheitsbereich kann laut DIN 31051, bezogen auf Verschleißsysteme, auch als Abnutzungsvorrat bezeichnet werden. Da der Verschleiß beim Carrier- / Conveyorsystem nur eine untergeordnete Rolle spielt, wird dieser Begriff hier aber nicht genutzt.

²³ Dabei ist allerdings große Vorsicht geboten, da durch derartige Maßnahmen die Störungshäufigkeit des Systems stark ansteigt.

3.10 Allgemeine Vorgehensweise bei der praktischen Anwendung

Im Unterschied zur Herangehensweise der klassischen Schwachstellenanalyse, sucht die hier beschriebene SSBH zunächst nach einer Systematik der Störstellen anhand von Störungsmeldungen und beschäftigt sich erst im zweiten Schritt mit der Ermittlung und Beseitigung der Störungsursache.

- Dazu werden die an den Störungen beteiligten Elemente in miteinander in Beziehung stehende Komponentenklassen eingeteilt.
- Innerhalb derer werden diejenigen Elemente gesucht, die gehäuft an Störungen beteiligt waren.
- An dieser kleinen Anzahl von Elementen kann nun nach der Störungsursache „gefahndet“ werden.
- Teilweise wird es sich um Standardfehler handeln, für deren Beseitigung Handlungsanweisungen erstellt werden können. In anderen Fällen ist die Beseitigung der Störungsursache nur durch gezielte Fehlersuche möglich.

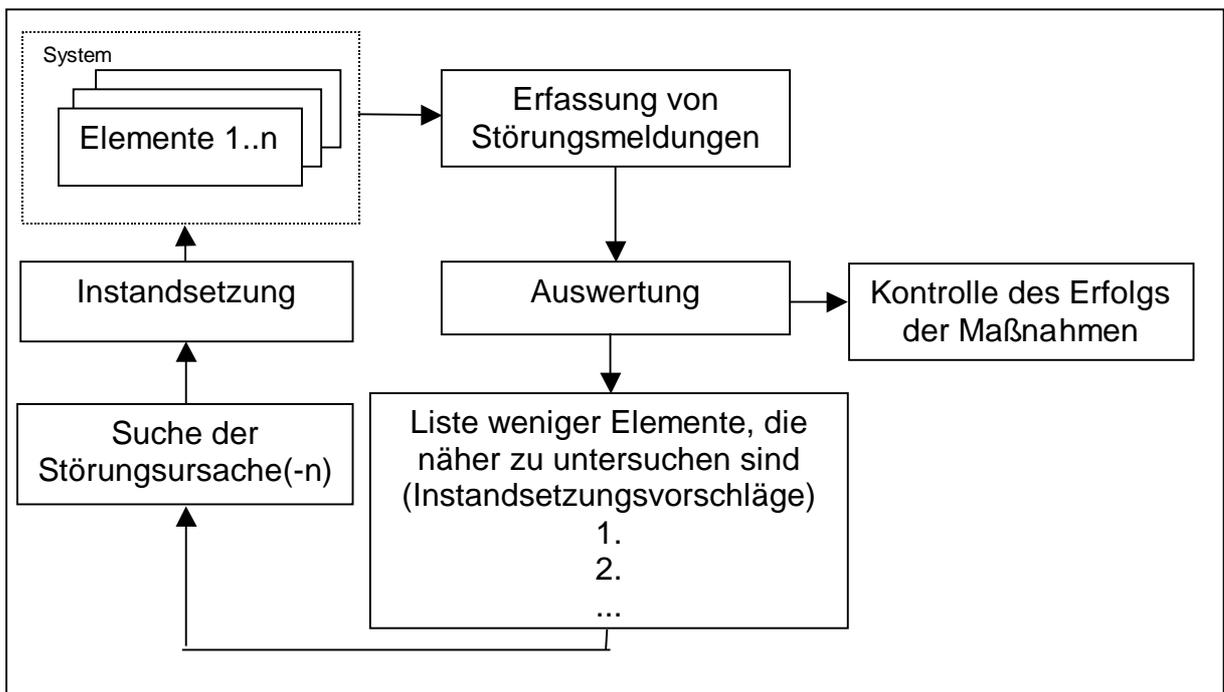


Bild 3.16 Übersicht Störungssystematikbestimmte Instandhaltung

3.11 Einsatzgebiete und Grenzen der SSBIH

SSBIH kann zur Reduktion der Anzahl von Störungen vorrangig immer dann angewandt werden, wenn

- bei den Störungen mehrere Komponentenklassen beteiligt sind,
- durch die Kombination einzelner Elementeabweichungen die Störgrenze überschritten wird,
- die Elementepaarungen stark variieren,
- nur ein geringer Anteil der Elemente an einem Großteil der Störungen beteiligt ist,
- die Anzahl der sich ereignenden Elementepaarungen so groß ist, daß dies in Abhängigkeit der Störungswahrscheinlichkeit des Systems zu einer problematischen Störungsrate führt,
- Störungsmeldungen nach Möglichkeit automatisch mittels EDV erfaßt werden können und
- ein großer Anteil an temporären Instandsetzungen vorhanden ist.

Die Methode kann zur

- Beseitigung von Fertigungs- und Installationsmängeln oder auch zur
 - frühzeitigen Erkennung von Verschleißerscheinungen
- genutzt werden.

Sie hat ein besonders großes Potential zur Reduktion von Störungen, die keine gravierenden Schädigungen nach sich ziehen. Je nach Systemcharakter ist aber auch eine Unterstützung bei der Früherkennung kritischer Zustände²⁴ oder die Reduktion von Schadenshäufigkeiten²⁵ möglich.

²⁴ z.B. Encoderdrift an Robotern

²⁵ z.B. Waferbruch durch Toleranzprobleme beim automatischen Waferhandling

3.12 Kennzahl für die Störungssystematik ($S_{50\%}$)

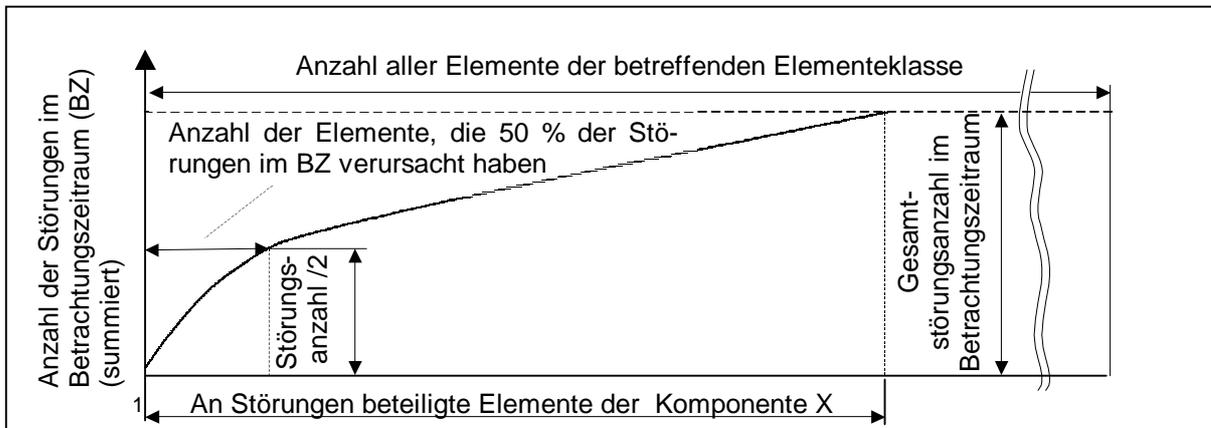


Bild 3.17 Die Kenngröße $S_{50\%}$

Um einen Eindruck über das Potential der SSBIIH bezüglich des jeweiligen Störungssystems zu erhalten, wird eine Kenngröße für die Systematik des Störungssystems mit:

$$S_{50\%} = \frac{\text{Anzahl der Elemente an denen 50\% der Störungen auftreten}}{\text{Anzahl aller Elemente der betreffenden Elementeklasse}} * 100\%$$

(3.10)

definiert.

3.13 Voraussetzungen an die Systemumgebung

Da die manuelle Erfassung von Störungen sehr zeitaufwendig und oftmals recht subjektiv ist, wird die Nutzung automatisch generierter Störungsmeldungen dringend empfohlen.

Diese sollten neben der Information, daß eine Störung aufgetreten ist auch

- die Art der Störung,
- den genauen Ort,
- den Zeitpunkt,
- die Dauer,
- eine eindeutige Störungs- ID²⁶ und
- eine ID der Elemente der beteiligten Komponenten (z.B. Carrier- ID) beinhalten.

²⁶ sinnvoll für die Programmierung von Datenbankabfragen

Oftmals sind in modernen Anlagen Störungsvisualisierungssysteme vorhanden. Diese Systeme sind meist mit dem SCADA- System²⁷ der Anlage verbunden und liefern bereits derartige Informationen.

Diese müssen nun nur noch (möglichst platzsparend) in Logfiles oder besser in Datenbanken verfügbar gemacht werden. Aufgrund der großen Datenmenge, die mit zunehmender Zeitdauer entsteht, empfiehlt sich z.B. die Speicherung von Störungs-ID's anstelle von Meldungstexten. Für den Anwender können diese ID's durch Verknüpfung mit entsprechenden Tabellen in Datenbankprogrammen wieder in „Klartext“ umgewandelt werden. Außerdem sollten im Vorfeld Abschätzungen über die zu speichernde Datenmenge durchgeführt werden. Gegebenenfalls sind folgende Punkte in Betracht zu ziehen:

- Ist die Leistungsfähigkeit der eingesetzten Datenbankensoftware ausreichend ?
- Können historische Daten automatisch gelöscht bzw. archiviert werden ?

²⁷ SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition

4 Anwendung im Transportsystem

Das Wafertransportsystem erfüllt alle im Abschnitt 3.13 aufgeführten Kriterien zur Anwendung einer Störungssystematikbestimmten Instandhaltung. Es unterscheidet sich von vielen anderen instandzuhaltenden Systemen insbesondere durch eine Vielzahl sich ereignender Elementepaarungen und durch deren starke Variation. Die praktische Umsetzung der in den letzten Kapiteln erläuterten Methode soll im folgenden beschrieben werden.

4.1 Technische Voraussetzungen im Transportsystem

Bei der Implementierung der notwendigen Software konnte auf ein bereits existierendes SCADA- System aufgebaut werden, welches zentral Störungsmeldungen für jedes Transportsystemequipment zur Verfügung stellte. Diese Meldungen beinhalteten nicht nur Störungsort und –zeit, sondern auch die genaue Art der Störung. Lediglich die Information über die beteiligten Carrier war zu Beginn dieses Projektes noch nicht verfügbar.

4.2 Störungsmeldungen für Traktionsprobleme

Wie bereits im Abschnitt 2²⁸ erläutert wurde, soll vor allem die Häufigkeit von Traktionsstörungen im Transportsystem gesenkt werden. Von den 160 möglichen verschiedenen Systemmeldungen können die folgenden durch Traktionsprobleme verursacht werden:

Tabelle 4.1 Störungsmeldungen, die durch Traktionsprobleme verursacht werden können

Fehlertext	Störungs ID	Transferstörung	Lift	Stockerrail
TR Transfertimer abgelaufen	577	*		
QS Transfertimer abgelaufen	627	*		
SR Full Timer abgelaufen	676	*		*
SR Transfer Timer abgelaufen	677	*		*
EL Transfertimer abgelaufen	1290	*		
EL End of Rail-Sensor nicht registriert	1300	*	*	
BD Transfertimer abgelaufen	1404	*	*	
BD Kassette hat End of Rail Sensor nicht erreicht	1408	*	*	
LI Transfertimer abgelaufen	1454	*	*	
LI Kassette hat End of Rail Sensor nicht erreicht	1458	*	*	
FI Kassette hat End of Rail Sensor nicht erreicht	1505	*		
FI Transfertimer abgelaufen	1507	*		

²⁸Abschnitt 2: „Erläuterung der Problemstellung“ (Seite 16)

4.3 Bewertungskriterien für die Störungsvorhersage

Um Prioritäten für die Abarbeitungsreihenfolge der einzelnen Störstellen festlegen zu können, benötigt man einen Parameter, der möglichst gut mit der künftigen Störungswahrscheinlichkeit der einzelnen Elemente (bzw. Stellen) korreliert. Ein solcher Parameter wird in dieser Arbeit als das Bewertungskriterium b_n der Störstelle n bezeichnet. Die Bewertungskriterien der einzelnen Elemente werden in einem Bewertungsvektor B zusammengefaßt.

Im einfachsten Fall könnte ein solcher Vektor aus den Summen der Störungen der zurückliegenden Tage gebildet werden:

$$B = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum \text{der Störungen des Elements 1} \\ \sum \text{der Störungen des Elements 2} \\ \sum \text{der Störungen des Elements 3} \\ \sum \text{der Störungen des Elements n} \end{pmatrix} \quad (4.1)$$

Die folgenden Gründe machten aber die Berechnung eines aufwendigeren Bewertungsvektors notwendig:

1. Mehrfachmeldungen:

Einige Störungen werden nicht gleich im ersten Anlauf wieder in Gang gesetzt. In solchen Fällen werden nach einem „Reset-“ oder „Retry-“ Befehl erneut Störungsmeldung erzeugt. Diese würden zu einer Überbewertung der Störstelle führen.

2. Falschmeldungen durch Sensorprobleme:

Defekte Leuchtstofflampen können optische Sensoren beeinflussen. Im Resultat kann fälschlicherweise eine große Anzahl von Störungsmeldungen kreiert werden.

3. Vermeidung doppelter Arbeiten:

Wurden bereits erfolgreiche Instandsetzungen durchgeführt, sollte dies im Bewertungskriterium zum Ausdruck kommen. Die alleinige Einbeziehung der erstellten Instandsetzungsaufträge genügt leider nicht, da:

- Instandsetzungen und Entstörungen oftmals nicht differenziert erfaßt werden und
- mitunter mehrere Anläufe notwendig sind, bis die Elementeeigenschaften so weit verbessert wurden, daß an den instandgesetzten Elementen tatsächlich über einen großen Zeitraum keine Störungen mehr auftreten.

4.3.1 Ersatzschaltbild für die Generierung des Bewertungskriteriums

Auf elektronischem Weg könnten die Bewertungskriterien der einzelnen Elemente n mit der in Bild 4.1 gezeigten Schaltung aus den Störungsmeldungen der vergangenen Tage ermittelt werden.

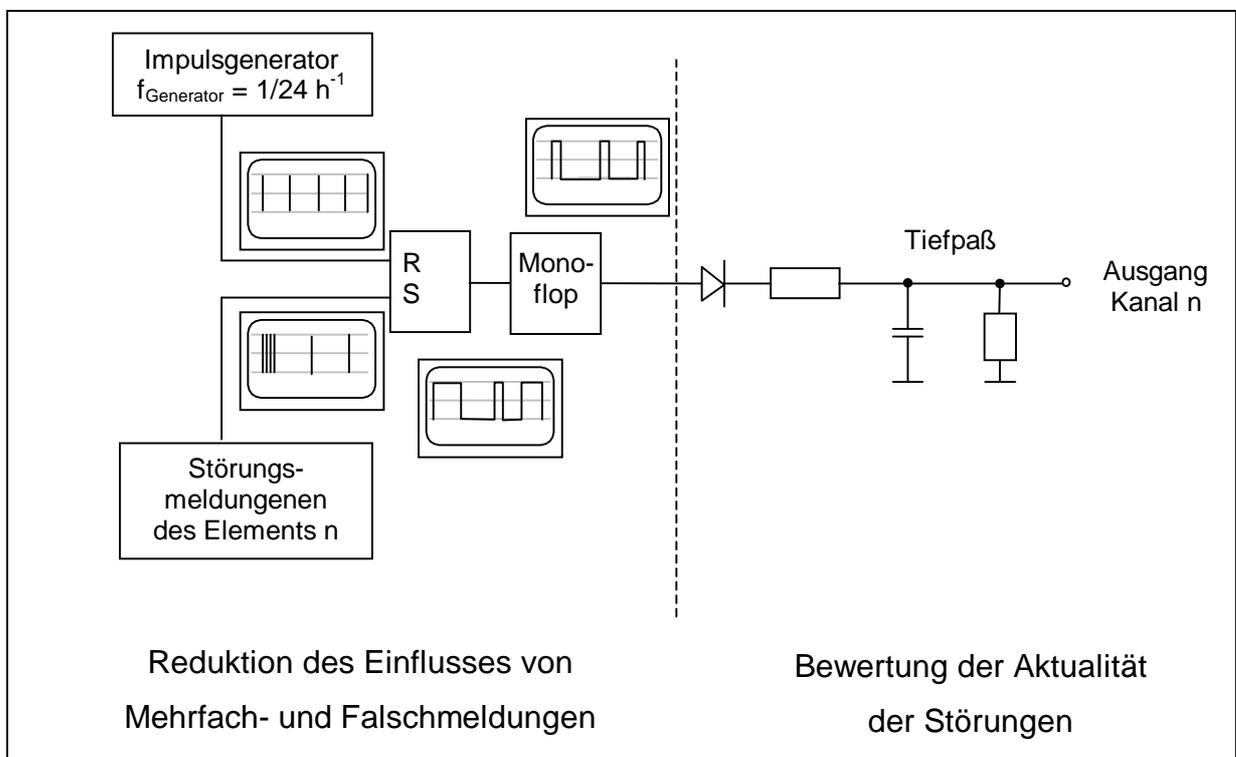


Bild 4.1 Ersatzschaltbild für die Ermittlung des Bewertungskriteriums $b(n)$

Die Schaltung basiert auf der Annahme, daß die zukünftige Störungswahrscheinlichkeit eines Elementes, welches

- kontinuierlich an 10 Tagen hintereinander je 2 Störungen aufweist, in naher Zukunft höher sein wird, als die eines Elements mit
- 20 Störungen an nur einem der 10 Tage.

Reduktion des Einflusses von Mehrfach- und Falschmeldungen:

Um Fehlbewertungen durch Mehrfach- bzw. Falschmeldungen zu vermeiden, wird nicht die Anzahl der Störungen pro Tag betrachtet, sondern nur der Fakt, ob überhaupt Störungen an den einzelnen Tagen (an dem jeweiligen Element) aufgetreten sind.

Sollten derartige Probleme keine Rolle spielen, kann auf den linken Teil der Schaltung in Bild 4.1 verzichtet werden.

Bewertung der Aktualität der Störungen:

Durch eine Tiefpaßfilterung bewertet man die Störungen der jüngsten Vergangenheit stärker als diejenigen, die bereits etwas länger zurückliegen. Dadurch werden bereits erfolgreich instandgesetzte und somit in der letzten Zeit störungsfreie Elemente geringer bewertet, als solche, die aktuell (und somit wahrscheinlich auch zukünftig) noch Störungen aufweisen. Die Wahrscheinlichkeit, daß Elemente unnötigerweise mehrfach instandgesetzt werden, sinkt dadurch stark.

4.3.2 Mathematischer Algorithmus zur Berechnung des Bewertungsvektors

Reduktion des Einflusses von Mehrfach- und Falschmeldungen:

In Access[®] können die Störungsmeldungen der einzelnen Tage gruppiert werden und mittels einer Abfrage der Form:

Wenn([Störungsanzahl]=0;0;1)

in den Typ „Boolean“ überführt werden.

- Eine logische „1“ steht für: „Es sind Störungen am Element n aufgetreten.“
- Eine logische „0“ heißt: „Es sind keine Störungen am Element n aufgetreten.“

Tabelle 4.2 Störungsmatrix der Elemente mit Störungen von 4 verschiedenen Tagen

	Datum -3	Datum -2	Datum -1	Datum 0
Element 1	15	0	0	0
Element 2	3	4	3	0
Element 3	0	3	0	6
Element 4	0	2	2	4
...
Element n

Tabelle 4.3 Störungsmatrix der Elemente mit Störungen von 4 verschiedenen Tagen mit logischen Koeffizienten

	Datum -3	Datum -2	Datum -1	Datum 0
Element 1	1	0	0	0
Element 2	1	1	1	0
Element 3	0	1	0	1
Element 4	0	1	1	1
...
Element n

Bewertung der Aktualität der Störungen:

Die digitale Filterung der Störungsmeldungen der einzelnen Elemente (siehe Bild 4.1 rechts) wird durch einen FIR- (finite impulse response) Tiefpaßfilter realisiert.²⁹ Im Vergleich zu einem rekursiven IIR- (infinite impulse response) Filter, benötigt sein relativ einfacher Algorithmus weniger Rechenzeit als die ansonsten notwendige z-Transformation.

Zur Ermittlung des Bewertungskriteriums eines Elementes n faltet man die diskrete Störungsfunktion $x(t)$ dieses Elements mit einem Filteroperator $h(t)$.

²⁹ die hier verwendeten Filterfunktionen stammen aus [Schönwolf / Müller; 1998]

Das Bewertungskriterium b der Elemente n zum Zeitpunkt der Auswertung berechnet sich aus:

$$b(n) = \sum_{n=0}^{-\text{Anzahl der betrachteten Tage}+1} x(n,t) * h(t) \quad (4.2)$$

Da der komplette zeitliche Verlauf der Funktion am Ausgang des Filters nicht benötigt wird, kann die Filterberechnung an dieser Stelle vereinfacht werden. Eine zeitliche Verschiebung des Filteroperators $h(t)$ über die Eingangsfunktion $x(n,t)$ zur Berechnung der kompletten Ausgangsfunktion ist somit nicht notwendig.

Filteroperator:

Die Eigenschaften dieses Operators entsprechen denen der Impulsantwort des gewünschten Filters. Für einen RC-Filter erster Ordnung (wie im Bild 4.2 eingezeichnet) lautet die Funktion der Impulsantwort:

$$h(t) = \frac{1}{\tau} * e^{-\frac{t}{\tau}} \text{ mit der Zeitkonstanten } \tau = R * C = \frac{1}{2 * \pi * f_G} \quad (4.3)$$

In der Annahme, daß durchschnittlich 4 – 7 Tage zur Auswertung herangezogen werden, wird ein τ von 3 Tagen gewählt. Das heißt, der zweite Tag der Vergangenheit würde zu ca. 50% (im Vergleich zum aktuellen Tag) in das Bewertungskriterium eingehen.

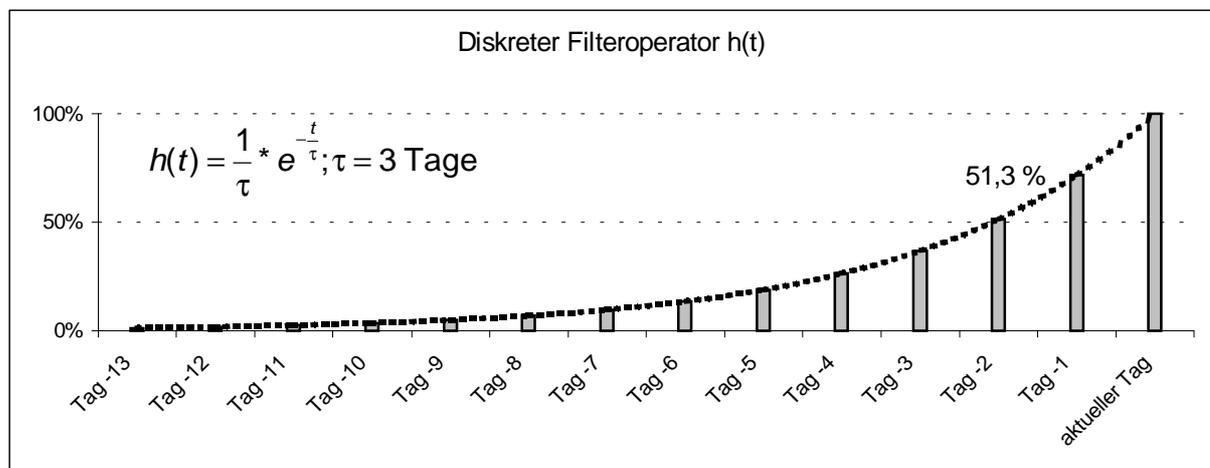


Bild 4.2 Diskreter Filteroperator (Impulsantwort eines RC- Filters erster Ordnung mit $\tau = 3$ Tage)

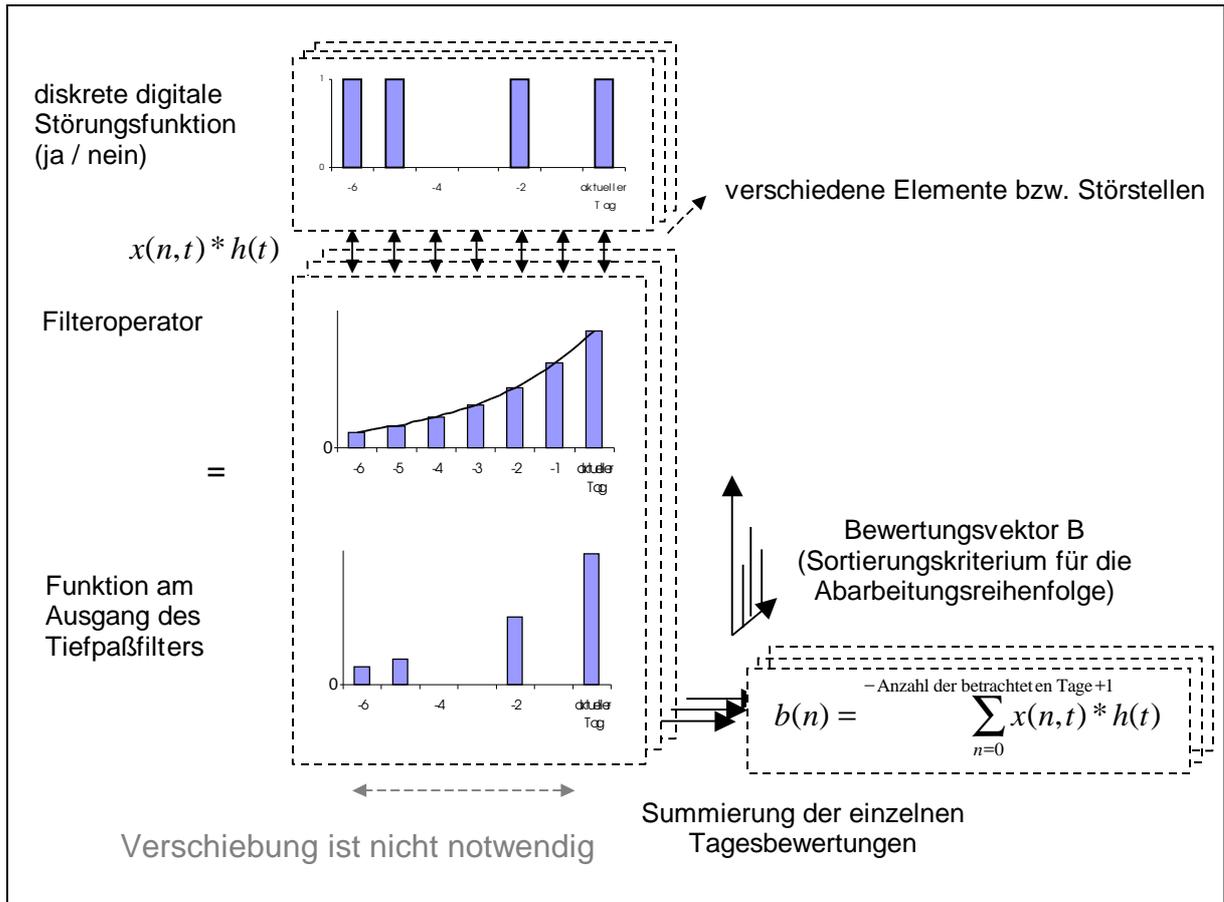


Bild 4.3 Bildung des Bewertungsvektors durch digitale Tiefpaßfilterung

Von der Auswertungssoftware wird dem Instandhalter eine Tabelle entsprechend Tabelle 4.4 zur Verfügung gestellt.

Tabelle 4.4 Beispiel für die Sortierung der Störstellen entsprechend des Bewertungskriteriums

Adresse	Störungssumme	Equipment	Bewertung	Störungsanzahl			
				25.09.	26.09.	27.09.	28.09.
107/4120	8	1NAS1L02	0,5325	0	2	2	4
108/9120	9	1OFE2L05	0,4099	0	0	3	6
100/10212	10		0,3815	3	4	3	0
205/3520	15	2ETC4L01	0,0878	15	0	0	0
Filteroperator:				0,0878	0,1226	0,1711	0,2388

Die Sortierung der Störstellen anhand des Bewertungskriteriums liefert nun in diesem Beispiel eine völlig andere Reihenfolge als eine Sortierung in Abhängigkeit der Störungssummen.

Das ist aber durchaus sinnvoll:

- An der Adresse 205/3520 sind zwar die meisten Störungen aufgetreten, aber wahrscheinlich wurde bereits am 25.09. eine erfolgreiche Instandsetzung durchgeführt.
- Ob gleiches auch für das Trackelement 100/10212 am 27.09. gilt, kann nicht mit Sicherheit gesagt werden.
- Allerdings ist die Wahrscheinlichkeit für weitere Störungen am Lift 1NAS1L02 recht groß. Deshalb sollte an diesem Equipment mit der Abarbeitung der Störstellen begonnen werden.

4.4 Datenerfassung

In der Vergangenheit war die wichtigste Informationsquelle zur Bewertung des Systemverhaltens die manuelle Dokumentation der durchgeführten Instandsetzungsmaßnahmen.

Zur Bestimmung der in nächster Zeit instandzusetzenden Elemente sind diese Daten allerdings nicht geeignet. Denn wenn man von einer guten Erfolgsquote der dokumentierten Instandsetzungen ausgeht, sollte der diesbezügliche Informationsgehalt sehr gering sein.

Außerdem werden nur größere Instandsetzungen dokumentiert. Entstörungen wurden nur sporadisch im Schichtbuch vermerkt. Durchschnittlich standen im November

1999 zwei bis 5 Einträge, $260 \frac{\text{Störungen}}{24 \text{ h}}$ gegenüber.

Deshalb verwendet die SSBIH primär automatisch erfaßte Störungsmeldungen. Deren Analyse und Bewertung erfolgt für Conveyor-, Lift- und Stocker- Störungen nach dem in Kapitel 4.3³⁰ beschriebenen Algorithmus.

Zur Selektion von qualitativ minderwertigen Carriern wird einfach die Störungsanzahl innerhalb eines großen Zeitraumes genutzt.

Die Erfassung und Auswertung von Störmeldungen ersetzt aber nicht die Dokumentation der Instandhaltungsmaßnahmen. Lediglich auf die manuelle Erfassung von Entstörungen kann dadurch verzichtet werden. Die Dokumentation der Maßnahmen mit (versuchter) Störungsursachenbeseitigung werden weiterhin zur Störungsursachenanalyse im Sinne einer allgemeinen Schwachstellenanalyse genutzt. Außerdem

³⁰ Kapitel 4.3: „Bewertungskriterien für die Störungsvorhersage“ (Seite 45)

ist es bei der Fehlersuche hilfreich zu wissen, welche Reparaturversuche an den entsprechenden Stellen bereits durchgeführt wurden.

4.5 Kenngrößen für die Störungshäufigkeit

Im Rahmen dieses Projektes wurden erstmals im Transportsystem Kenngrößen für die Störungshäufigkeit eingeführt.

Neben der Darstellung der Summe aller Transferstörungen wird nach Problemen an Lift, Conveyor und Stockerrail differenziert.

Tabelle 4.5 Auszug aus der Erfassung der Anzahl der Traktionsprobleme pro Tag

Datum	Wochentag	Transfertimer Summe	Lifttransfertimer	Stockerrail Fulltimer	Transfertimer Conveyor
02.11.99	Di	243	88	23	132
03.11.99	Mi	226	97	12	117
04.11.99	Do	285	103	29	153
05.11.99	Fr	238	95	22	121
06.11.99	Sa	384	98	33	253
07.11.99	So	331	116	59	156
08.11.99	Mo	269	108	14	147
09.11.99	Di	308	115	26	167
10.11.99	Mi	283	122	20	141
11.11.99	Do	243	102	12	129
12.11.99	Fr	231	78	22	131

Diese Werte (bezogen auf 24 h) dienen als Kenngrößen zur Beurteilung des aktuellen Störungsverhaltens.

4.6 Umfang der Datenmenge

Zwar ist die Qualität der Störungsvorhersage abhängig vom Betrachtungszeitraum, es sei aber darauf hingewiesen, daß die Dimension der Datenmenge gar nicht so immens ist, wie aufgrund des im Kapitel 3.5³¹ beschriebenen Beispiels vielleicht zu vermuten wäre.

Zur Erinnerung: Wenn jeder der 10 000 Carrier jeweils genau eine Paarung mit jedem der 4500 Trackelemente eingeht, erhalten wir 45 000 000 verschiedene mögli-

³¹ Kapitel 3.5: „Maßabweichungen und Verteilungsfunktionen“ (Seite 26)

che Ereignisse. Davon führen aber in diesem Beispiel nur 0,048 % zu einer Störung. Das bedeutet, nur ca. 22 000 Störungen stehen den 45 000 000 möglichen Ereignissen gegenüber. Außerdem ist es nicht notwendig, jede der Kombinationsmöglichkeiten abzuwarten.

Um eine repräsentative Aussage zu erhalten, genügt bezüglich der Conveyorsystematik bereits ein Betrachtungszeitraum von 5 Tagen mit je 150 bis 250 Störungen. Dies entspricht dem Äquivalent von ca. 5 % der Störungen bezüglich aller möglichen Kombinationen.

Bei der Bewertung der Carrierqualität hat sich ein Bewertungszeitraum von mehreren Monaten als sinnvoll erwiesen. Dabei werden pro Monat ca. 2300 verwertbare Störungsmeldungen abgespeichert. Aber auch hier konnten erste verwertbare Aussagen bereits bei 5 % der Anzahl der möglichen Kombinationen (also nach ca. 14 Tagen) getroffen werden.

4.7 Zeitpunkt von Maßnahmen

Die Definition für „vorausbestimmte Instandhaltung“ im Entwurf zur DIN EN 13306 lautet:

„...ausfallverhindernde Instandhaltung, durchgeführt ohne vorherige Zustandsermittlung in festgelegten Zeitabständen oder einer festgelegten Zahl von Nutzungseinheiten.“

Durch Störungsstatistiken wird aber nun eine indirekte „Zustandsermittlung“ durchgeführt. Die abgeleiteten Maßnahmen können zwar im voraus geplant werden (z.B. 50 zustandsbestimmte Stockerinstandsetzungen pro Jahr), die Information über die aktuelle Störungssystematik der Elemente steht aber nur relativ kurzfristig zur Verfügung.

4.8 Planung störungssystematikbestimmter Instandsetzungen

Das bei Infineon Dresden zur Verfügung stehende SAP- Instandhaltungsmodul bietet in Anlehnung an die Definition für vorausbestimmte Instandhaltung die Möglichkeit, derartige Maßnahmen zu planen. Dabei ist es aber notwendig, die genaue Equipmentbezeichnung bereits bei der Planung der Maßnahme anzugeben. Außerdem muß ein einmal angelegter Auftrag auch (manuell) technisch abgeschlossen werden.

Im Abschnitt 4.3 („Bewertungskriterien für die Störungsvorhersage“) wurde bereits erläutert, weshalb eine solche Form der Auftragsabwicklung in Bezug auf Traktionsprobleme zu unflexibel ist.

Daher wird vorgeschlagen, Arbeitszeit für SSB Maßnahmen im voraus zu planen und deren Durchführung ggf. auch innerhalb eines gewissen Zeithorizontes bestätigen zu lassen. Die Auswahl des Equipments sollte aber erst unmittelbar vor der Durchführung der Maßnahme erfolgen.

Ein solches Vorgehen ist in der momentan von Infineon Dresden genutzten Version des SAP- Instandhaltungsmoduls nur schwer realisierbar.

Sinnvoll wäre eine Planungsmöglichkeit für Equipmentklassen ohne vorherige Festlegung der spezifischen Anlage.

- Die Aufträge könnten z.B. für ein Equipment namens „Any Stocker“ („Irgendein Stocker“) geplant werden. Bei der Durchführung müsste der Eintrag für die Equipmentbezeichnung dann korrigiert werden.
- Günstiger wäre die Generierung eines separaten Datenbankfeldes „Equipmentklasse“ mit entsprechenden Funktionalitäten.

Die Kopplung des Planungstools an die Software zur Ermittlung des Bewertungskriteriums ist sicherlich möglich. Allerdings müssten dann auch geplante, aber nicht mehr aktuelle Aufträge automatisch abgeschlossen werden.

4.9 Ersatz für Inspektionen

Vor- Ort- Inspektionen haben oftmals das Ziel, Störungs- bzw. Ausfallursachen vorbeugend zu finden. Dies ist aber nur bedingt möglich. Beispielsweise Kabelbrüche, oder defekte Encoder verursachen nur sporadisch Störungen und sind sowohl optisch, als auch meßtechnisch schwer zu erkennen. Der Informationsgehalt einer einwöchigen Störungsstatistik kann dagegen wesentlich größer sein.

Da an den Stockern ohnehin eine halbjährliche Wartung stattfindet, konnte auf Stocker- vor- Ort- Inspektionen zu Gunsten von SSB Maßnahmen verzichtet werden.

In jedem Fall wird die Einbeziehung von Störungsstatistiken in Inspektionen, wo immer dies möglich ist, empfohlen.

4.10 Instandhaltungsaktivitäten bis zum Beginn dieses Projektes

Die Instandhaltungsaktivitäten im Transportsystem von Infineon Dresden können im Wesentlichen in folgende Kategorien eingeteilt werden:³²

- Inspektionen:
 - Stocker 2 mal jährlich³³
- Vorausbestimmte Wartungen (PM):
 - Stocker 2 mal jährlich
 - Lifte 1 mal jährlich
- Ausfallbestimmte Instandsetzungen mit Beseitigung der Störungsursache:
 - Ausfälle von elektrischen und elektronischen Komponenten
 - Wechsel von QS- Kupplungen
 - ...
- Ausfallbestimmte temporäre Instandsetzungen (Entstörungen):
 - Traktionsprobleme
 - Durchbrochene Lichtvorhänge
 - Stockerhandlingfehler
 - ...

4.11 Neu hinzugekommene Maßnahmen

Im Rahmen dieses Projektes sind folgende Aktivitäten hinzugekommen:

- Zielgerichtete Abarbeitung von Störstellen am Conveyorsystem,
- Aussortieren von Carriern entsprechend der Häufigkeit ihrer Beteiligung an Traktionsproblemen,
- Erstellung und Einbeziehung einer Fehlerhistorie zu Unterstützung vorausbestimmter Wartungen an Liften und Stockern,
- Auswertung von Störungen bei neu aufgebauten Bereichen,
- Ersatz der zeitgesteuerten Stockerinspektionen durch ca. 25 störungssystematikbestimmte Stockerinstandsetzungen pro Jahr.

³² Die Auflistung der Beispiele erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

³³ sind ab September 2000 zu Gunsten störungssystematikbestimmter Maßnahmen entfallen

4.12 Entwicklung der Traktionsprobleme

Die Brisanz des Störungsverhaltens Ende 1999 lässt sich im Bild 4.6 erkennen. Wäre es nicht gelungen, die Störungswahrscheinlichkeit zu reduzieren, hätte sich durch die Steigerung des Transportaufkommens (Bild 4.4) die Situation bis zum September 2000 auf über 365 Störungen / 24 h verschärft.

$$24\ 000 \frac{\text{Transporte}}{24\ \text{h}} * 1,53\ \% \frac{\text{Störungswahrscheinlichkeit}}{\text{Transportauftrag}} = 367\ \text{Störungen} / 24\ \text{h}$$

(4.4)

Mittleres Transportaufkommen:

November 1999 17 500 Transporte / 24 h

September 2000 24 000 Transporte / 24 h

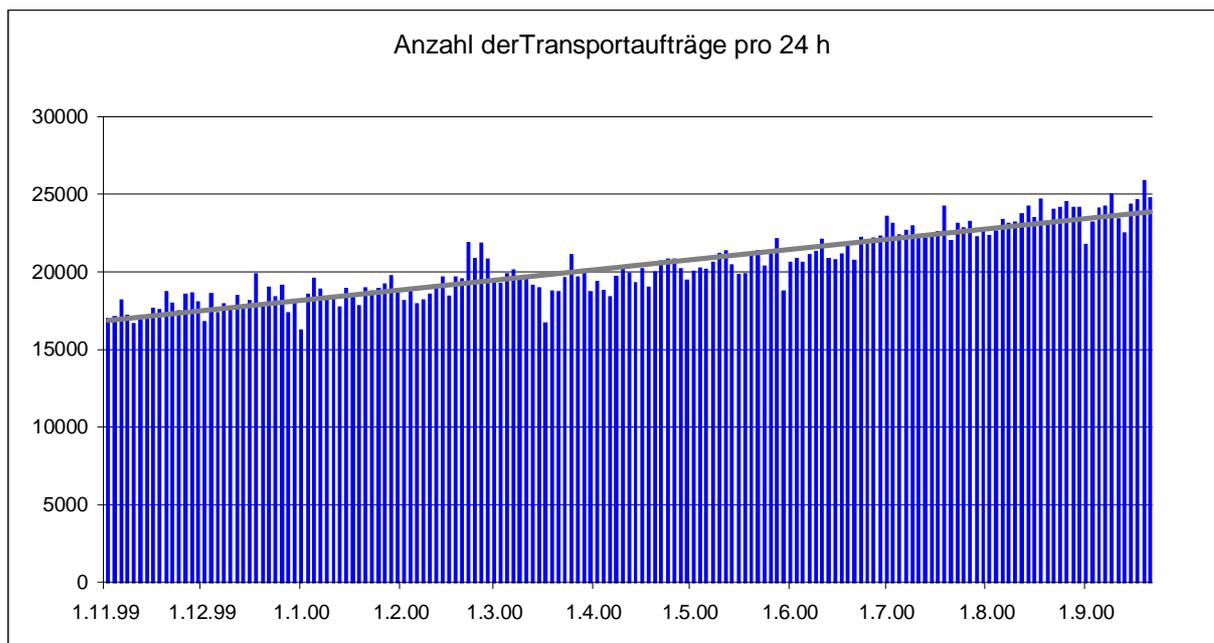


Bild 4.4 Entwicklung des Transportaufkommens von November 1999 bis September 2000

Tatsächlich sind Ende September 2000 im Mittel aber nicht 365, sondern lediglich 170 Störungen pro 24 h zu verzeichnen gewesen. Die Störungswahrscheinlichkeit konnte also mit Hilfe der SSBiH bis auf 0,7 % / Transportauftrag gesenkt werden.

170 Störungen / 24 000 Transporte = 0,007 Störungen / Transportauftrag

(4.5)

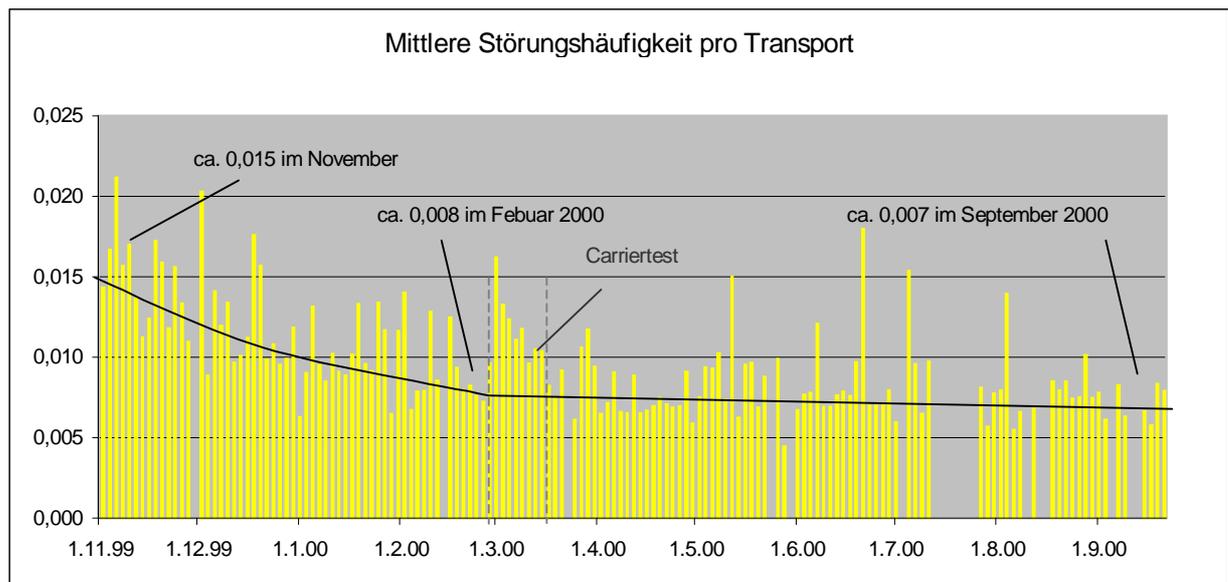


Bild 4.5 Entwicklung der mittleren Anzahl an Transferstörungen pro Transport³⁴

Zu den eingezeichneten Trendlinien in Bild 4.5 ist anzumerken:

- Von November 1999 bis Ende Februar 2000 wurden intensiv störungssystematikbestimmte Instandsetzungen durchgeführt.
- Im März 2000 fand ein Carriertest statt, welcher die tatsächliche Störungswahrscheinlichkeit des Systems in diesem Zeitraum verfälscht.
- Ab April 2000 wurden SSB Maßnahmen nur noch im reduzierten Maße durchgeführt. Der flachere Verlauf der Kurve ist also nicht allein damit zu erklären, daß die wenigen Elemente mit sehr schlechter Qualität bereits instandgesetzt sind und nun der Großteil der verbliebenen Störungen von relativ vielen Elementen mit mittlerer Qualität verursacht wird.

³⁴ Hinweis: Lücken in den Datenreihen bedeuten nicht, daß an diesen Tagen keine Störungen aufgetreten sind. Für die betreffenden Zeiträume wurden lediglich keine Auswertungen durchgeführt.

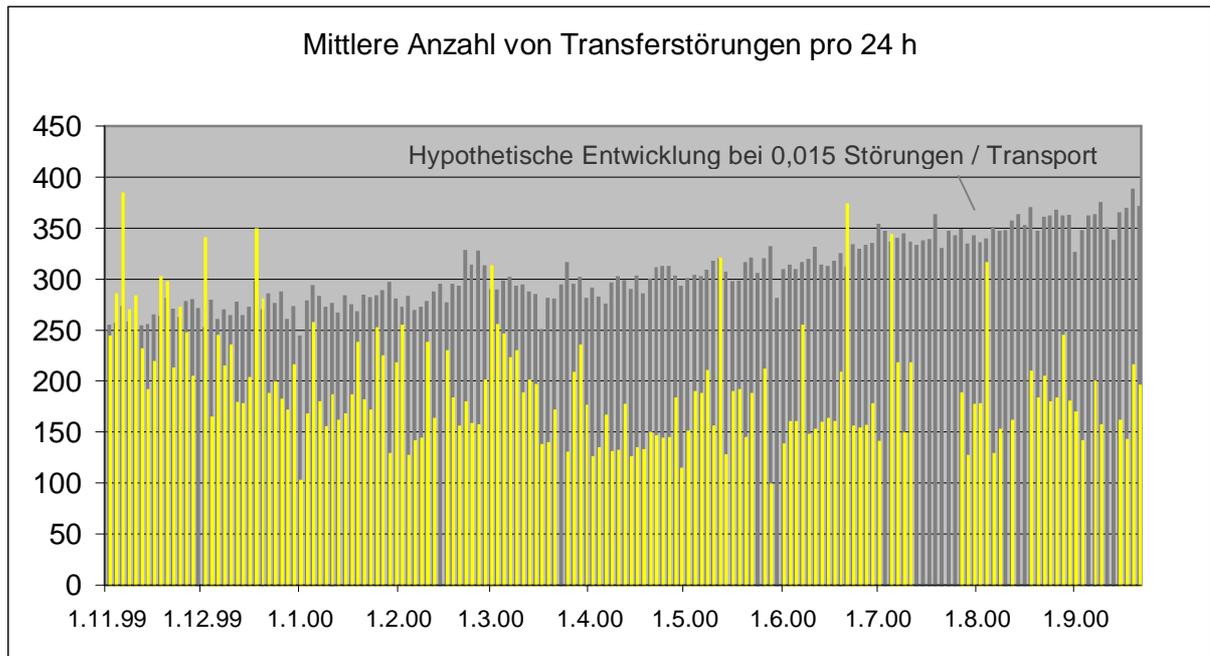


Bild 4.6 Tatsächliche und hypothetische Entwicklung der mittleren Anzahl von Transferstörungen pro 24 h

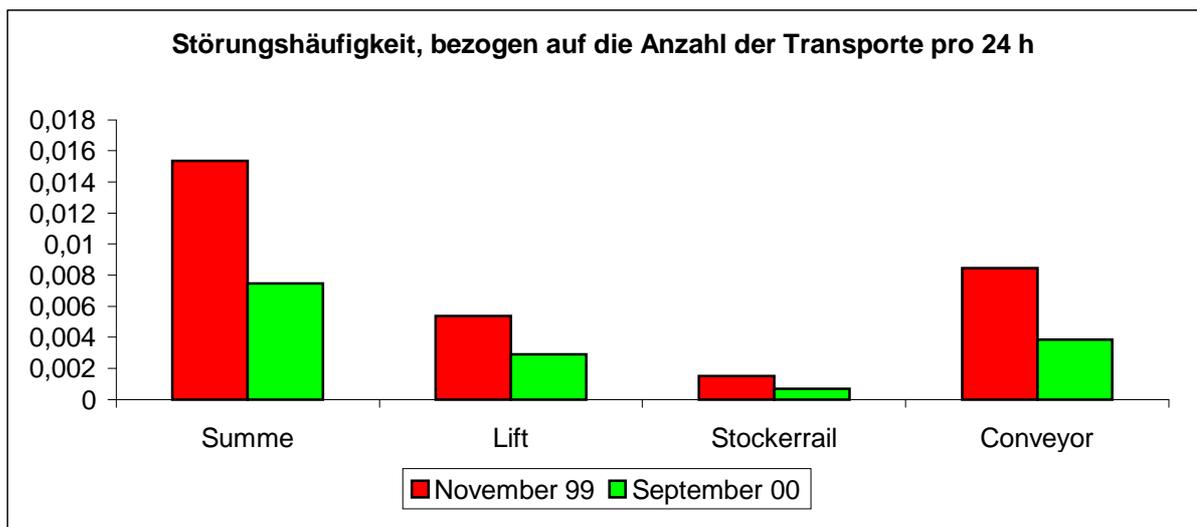


Bild 4.7 Störungshäufigkeit, bezogen auf die Anzahl der Transporte pro 24 h

4.12.1 Störungssystematik

Im Bild 4.8 ist die Summenfunktion der Transferstörungen für die Monate November 1999, Januar 2000 und April 2000 dargestellt. In den einzelnen Zeiträumen wurden im wesentlichen folgende Arbeiten durchgeführt:

November : noch keine SSB Maßnahmen

Dezember bis Januar : störungssystematikbestimmte Justagearbeiten an Conveyorelementen und Liften

ab April : störungssystematikbestimmtes Aussortieren von Carriern

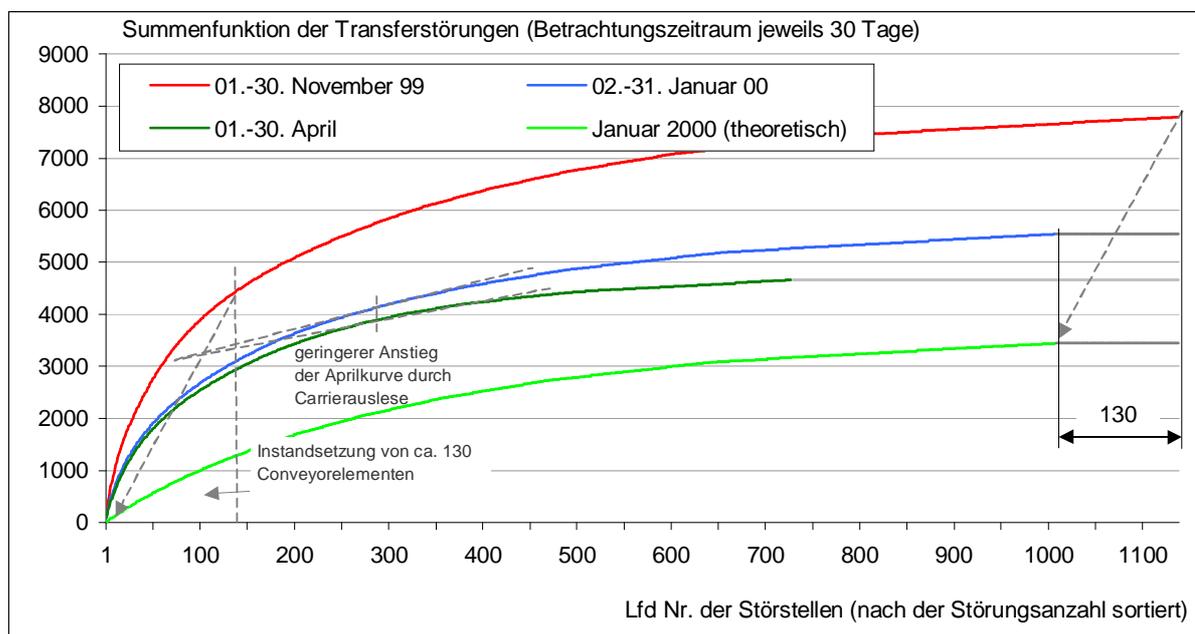


Bild 4.8 Conveyor- und Lift- Störungssystematiken verschiedener Monate³⁵

Januarkurve:

Setzt man voraus, daß im Dezember und Januar tatsächlich genau diejenigen Elemente mit den stärksten Abweichungen instandgesetzt wurden, müßte die Januarkurve durch Verschiebung der Novemberkurve nach links unten vorhersagbar sein. Die Novemberkurve würde gewissermaßen um die instandgesetzten Elemente von der linken Seite her abgeschnitten (siehe Bild 4.8).

Betrachten wir die reale Kurve für Januar 2000, so waren in diesem Zeitraum ca. 130 Elemente weniger an Störungen beteiligt, als im Monat November. Diese Zahl deckt sich sogar in etwa mit der Menge der durchgeführten Instandsetzungen.

³⁵ Der Anstieg der grau gezeichneten Bereiche der Summenkurven ist Null.

Da aber

- das Störungsverhalten teilweise auch verschleißverursacht ist,
- Instandsetzungen unter Umständen nur eine Verbesserung, aber noch keine völlige Beseitigung der Störungen bewirken,
- ein weiterer Störungsanteil keiner Systematik unterliegt (z.B. Bedienfehler) und bereits erste Carrier aussortiert wurden,

waren im Januar noch 5500 und nicht nur 3500 Störungen zu verzeichnen. Auch wenn diese Effekte das Ergebnis auf ca. 50 % der theoretischen Vorhersage begrenzen, ist doch eine sehr eindrucksvolle Verbesserung der Störungswahrscheinlichkeit zu verzeichnen.

Aprilkurve:

In Tabelle 4.6 ist dargestellt, welche Elementepaarungen zu Störungen führen. Eliminiert man nun die schlechtesten Carrier, führt dies zu einer Verschiebung der Störungskurve nach unten³⁶ (siehe Bild 4.9). Die Aprilkurve in Bild 4.8 (Summenfunktion) unterscheidet sich also von der Novemberkurve durch einen entsprechend geringeren Anstieg an jedem ihrer Punkte.

Tabelle 4.6 Störungsbeteiligung der Conveyorelemente und Carrier in Abhängigkeit ihrer Abweichungen (Störgrenze 0,35 mm)

		Carrierabweichungen											
		0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,12	0,14	0,16	0,18	0,2	0,22	0,24
Conveyorabweichungen	0,02												
	0,04												
	0,06												
	0,08												
	0,1												
	0,12												*
	0,14											*	*
	0,16										*	*	*
	0,18									*	*	*	*
	0,2								*	*	*	*	*
	0,22							*	*	*	*	*	*

³⁶ Ergeben sich durch die Verschiebung negative Werte, ist die Störungsanzahl (und somit auch der Anstieg der Summenkurve) gleich Null.

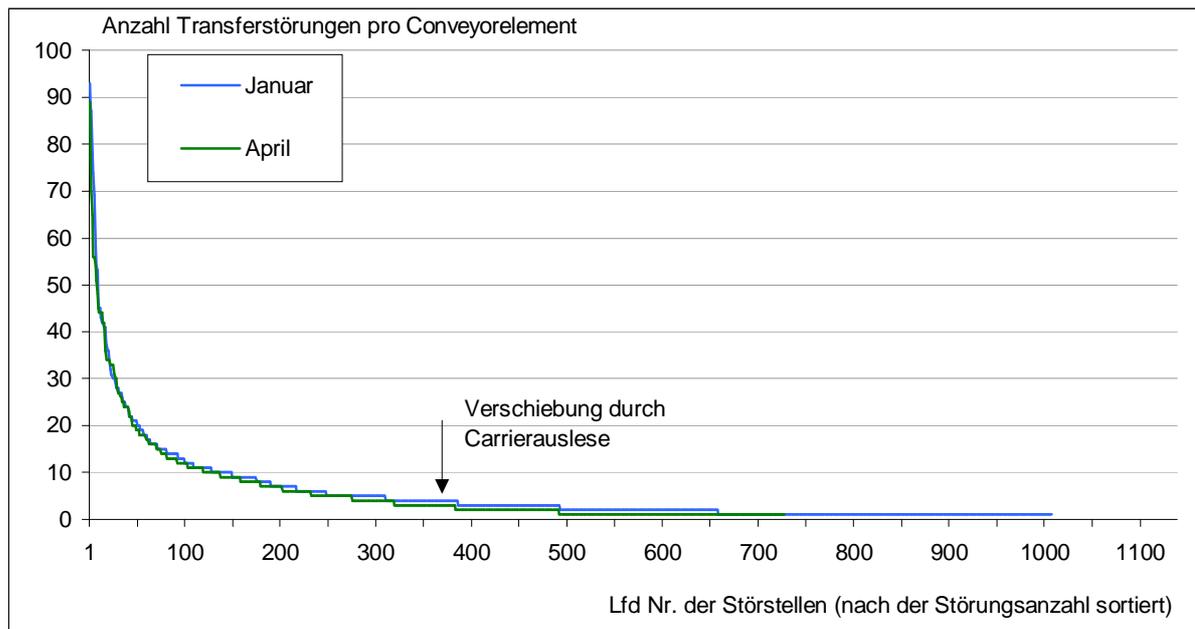


Bild 4.9 Verschiebung der Störungsfunktion durch Ausortieren schlechter Carrier

Die in Kapitel 3.12³⁷ eingeführte Kenngröße $S_{50\%}$ verdeutlicht die starke Systematik der Traktionsstörungen. Immerhin traten 50% der Störungen an nur ca. 2 % aller 4500 im Transportsystem vorhandenen Trackelemente auf.

Tabelle 4.7 Welcher Anteil an Störstellen verursacht 50 % aller Störungen ?

Monat	Störungsanzahl	Störungsanzahl / 2	Störstellen	mögliche Störstellen (Anzahl der Trackelemente im Transportsystem)	Anzahl der Elemente, an denen 50% der Störungen auftraten	$S_{50\%}$
Nov 99	7792	3896	1139	4500	101	2,2%
Jan 00	5544	2772	1008	4500	108	2,4%
Apr 00	4659	2329,5	728	4500	84	1,9%

4.12.2 Optimale Abarbeitungsreihenfolge

Der Effektivitätsgewinn durch eine Optimierung der Abarbeitungsreihenfolge ist zwar nicht so groß wie jener, zwischen inspektionsbestimmten und störungssystematikbestimmten Maßnahmen, aber deutet dennoch auf ein nicht zu vernachlässigendes Optimierungspotential hin. Die optimale Abarbeitungsreihenfolge hängt von

- der Verteilung der störungsverursachenden Eigenschaften,

³⁷ Kapitel 3.12: "Kennzahl für die Störungssystematik ($S_{50\%}$)" (Seite 42)

- vom zahlenmäßigen Verhältnis der Elemente jeder Komponente des Störungssystems³⁸ und
- vom Aufwand für die einzelnen Instandsetzungsmaßnahmen ab.

Besteht die Möglichkeit, durch Stichproben die Verteilungsdichtefunktionen mit geringem Aufwand zu ermitteln, sollte diese Information in die Maßnahmenplanung einbezogen werden.

Oftmals beschreiben Normalverteilungen die Problematik recht gut. In diesen Fällen ist es günstig, gleichzeitig bzw. abwechselnd an allen störungsverursachenden Elementeklassen zu arbeiten. Versucht man, das Störungsverhalten mit Maßnahmen an nur einer Elementeklasse zu verbessern, so ist dies auf Grund der Eigenschaften von Normalverteilungen wesentlich aufwendiger.

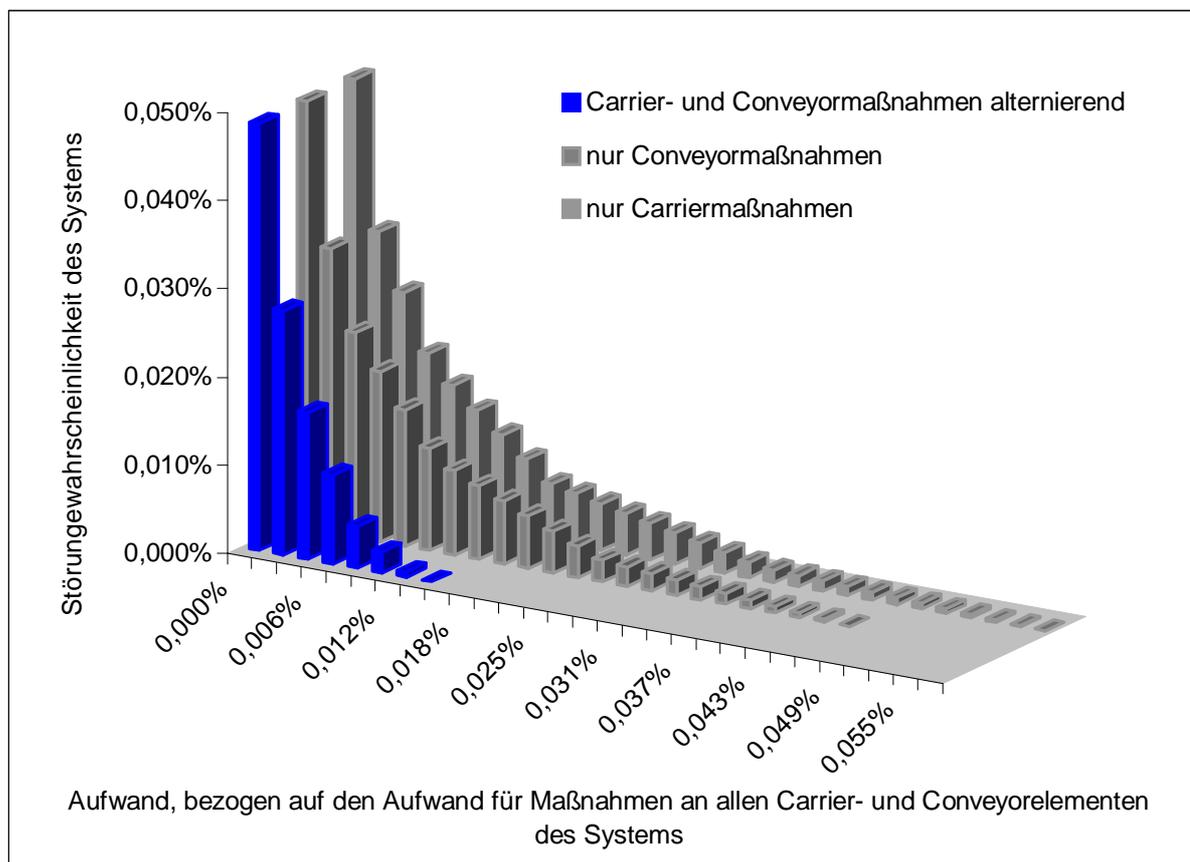


Bild 4.10 Theoretische Entwicklung der Störungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Abarbeitungsreihenfolge störungssystematikbestimmter Maßnahmen³⁹

³⁸ In diesem Fall die Carrier- und Conveyoranzahl

³⁹ Die Kurven in Bild 4.10 gelten nur unter der Annahme, daß das gesamte Störungsverhalten auf systematischen Störungen basiert und Verschleiß keine Rolle spielt.

Die Kurven in Bild 4.10 entstanden in Anlehnung an das Beispiel aus Kapitel 3.6.⁴⁰ Sie wurden ohne zusätzliche Gewichtung aus den normierten Verteilungen bei einer Störgrenze von 0,35 mm⁴¹ numerisch⁴² ermittelt. Dies erscheint durchaus gerechtfertigt, da der Aufwand für die Justage bzw. den Austausch eines Conveyorelements im Mittel ca. doppelt so groß wie jener für das Aussortieren eines Carriers ist, im Gegenzug aber auch ca. zweimal so viele Carrier wie Conveyorelemente zu betrachten sind.

4.12.3 Funktionen der Software



Bild 4.11 Startmenü der Analysesoftware für Conveyor- und Liftstörungen⁴³

⁴⁰ Kapitel 3.6: „Vorhersage der Störungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Störgrenze“ (Seite 30)
⁴¹ siehe Bild 3.15 „Begrenzung der resultierenden Verteilungsdichtefunktion“ (Seite 39)

⁴² unter Zuhilfenahme des Programmes „Verteilungsfunktion.mdb“

⁴³ Im Rahmen dieser Arbeit wurden vom Verfasser die Access- Programme: "Carriertraktionsprobleme.mdb", "Conveyorstörungen.mdb" und "Stockerstörungen.mdb" erstellt. Diese stellen Weiterentwicklungen der ursprünglichen Tools „Task_Abort_Comm_Lost.mdb“ und „PLCERR_NEW1.mdb“ dar. Mit diesen war es bereits möglich, Daten aus Logfiles in Access Tabellen zu importieren und Abfragen darauf aufzubauen.

Die wichtigsten Funktionen der Software sind:

- (1) Erstellung und Import von Logfiles
- (2) Ermittlung von systematischen Störstellen
 - auf der Basis des in Kapitel 4.3⁴⁴ beschriebenen Bewertungskriteriums
 - selektiv für Transferstörungen⁴⁵
- (3) Verknüpfung der selektierten Störstellen mit den Instandsetzungsdokumentationen des Schichtbuches und den Details zur Störstelle (Bild 4.12)
- (4) Generierung der Kennzahlen für die „Störungshäufigkeit pro 24 h“
- (5) Darstellen der Informationen für vorausbestimmte Liftwartungen (Lift PM)
- (6) Informationen zur Kontrolle von Um- und Aufbauten
- (7) Auflistung aller Störungstypen (gruppiert pro Störstelle)
- (8) Verknüpfung zu weiteren Programmen zur Auswertung von Carrier- und Stockerstörungen und zur Datei „Störungsentwicklung.xls“⁴⁶

Anzahl	Bewertung	Adresse	Ziel_Adresse	Equipment	Meldetat	Summe Fehler	
15	10955	109/9120	Schichtbuch	9080	TDFE3.05	Schichtbuch	EL Transfermotor abgelaufen
13	10955	107/4120	Schichtbuch	4080	1N4S1L00	Schichtbuch	EL Transfermotor abgelaufen
1	10955	107/4120	Schichtbuch		1N4S1L00	Schichtbuch	EL End of Prial-Sensor nicht geschwieft
2	9255	205/9520	Schichtbuch		2ETC4L01	Schichtbuch	EL End of Prial-Sensor nicht geschwieft
6	9255	205/9520	Schichtbuch	3380	2ETC4L01	Schichtbuch	EL Transfermotor abgelaufen
14	9255	100/70212	Schichtbuch			Schichtbuch	TR Transfermotor abgelaufen
4	9174	107/2120	Schichtbuch		1N4S1L00	Schichtbuch	EL End of Prial-Sensor nicht geschwieft
2	9174	107/2120	Schichtbuch	2160	1N4S1L00	Schichtbuch	EL Transfermotor abgelaufen
13	9091	109/7040	Schichtbuch		TDFE1L12	Schichtbuch	LI Kabelle hat End of Prial-Sensor nicht in
14	8919	702/6221	Schichtbuch			Schichtbuch	TR Transfermotor abgelaufen
6	8830	207/8580	Schichtbuch	8540		Schichtbuch	EL Transfermotor abgelaufen
5	8830	207/8580	Schichtbuch	8500		Schichtbuch	EL Transfermotor abgelaufen
1	8830	207/8580	Schichtbuch			Schichtbuch	EL End of Prial-Sensor nicht geschwieft
11	8830	109/20840	Schichtbuch			Schichtbuch	TR Transfermotor abgelaufen
10	8830	210/2580	Schichtbuch	2520	2DFE3L01	Schichtbuch	EL Transfermotor abgelaufen
4	8830	207/8580	Schichtbuch	8620		Schichtbuch	EL Transfermotor abgelaufen
6	7574	101/5841	Schichtbuch			Schichtbuch	QS Transfermotor abgelaufen
6	7574	200/6263	Schichtbuch		2SPU2502	Schichtbuch	SR Full-Timer abgelaufen

Bild 4.12 Verknüpfung der selektierten Störstellen mit den Instandsetzungsdokumentationen des Schichtbuches und den „Details zur Störstelle“

⁴⁴ Kapitel 4.3: „Bewertungskriterien für die Störungsvorhersage“ (Seite 45)

⁴⁵ Tabelle 4.1: „Störungsmeldungen, die durch Traktionsprobleme verursacht werden können“ (Seite 44)

⁴⁶ Die Datei „Störungsentwicklung.xls“ befindet sich auf der beiliegenden CD

4.13 Carrierbezogene Maßnahmen

Bis zum Beginn dieses Projektes wurden folgende Maßnahmen zur Selektion von problematischen Carriern durchgeführt:

1. stichprobenweise Wareneingangskontrolle,
2. Sperrung von Carriern, unmittelbar nach einer Traktionsstörung und
3. statistische Auswertung von manuellen Fehlereinträgen des Schichtbuches.

Die folgenden Probleme begrenzten allerdings die Effektivität dieser Maßnahmen:

zu 1.

- Ein Carrier ist, meßtechnisch gesehen, ein recht kompliziertes Teil. Es ist notwendig eine große Anzahl an Maß-, Form- und Lageabweichungen der Funktionsflächen zu prüfen. Störungsrelevant sind beispielsweise:
 - Runnerflatness,
 - Parallelität der Runner in horizontaler Richtung,
 - Abstand und Verlauf der Runner in vertikaler Richtung,
 - Form und Breite der Runnerauflagefläche,
 - Radien, sowohl an den Runnerenden als auch an den Runnerseiten,
 - Runnerwinkel in Bezug zu „Carrierfüßen“,
 - Maßhaltigkeit der Gripperaufnahme und nicht zuletzt
 - die Rauigkeit der Runneroberfläche.

Momentan befinden sich über 10 000 Carrier im Einsatz. Pro Neueinschleusung kommen ca. 500 bis 2000 Carrier hinzu und sind in kürzester Zeit zu prüfen. Bei diesen Dimensionen wird klar, daß eine vollständige Einzelprüfung mit immensem Aufwand verbunden wäre.

- Außerdem ist es die Kombination der genannten Parameter, die das Störungsverhalten der Carrier bestimmt.
- Fazit: Neben dem enormen Zeitaufwand für eine 100% ige Inspektion ist es wegen der Komplexität der Meßaufgabe sehr schwierig, eine allgemeingültige und allumfassende Meß- bzw. Prüfprozedur zu schaffen. Die Herstellung eines automatischen Runnerprüfgerätes war bisher nicht möglich.

zu 2.

In der Vergangenheit wurden bei der Beseitigung von Traktionsproblemen sporadisch die Runner der beteiligten Carrier von dem jeweiligen Instandhalter begutachtet und ggf. aussortiert. Die Aussonderungskriterien bei dieser Methode waren jedoch sehr subjektiv, so daß bezüglich der Carrierqualität nur sehr unsystematisch aussortiert wurde.

zu 3.

Ein Vorläufer der automatischen störungssystematikbestimmten Carrierqualitätskontrolle war die Auswertung von manuellen Schichtbucheinträgen. Allerdings war der notwendige Arbeitsaufwand recht hoch:

Überschlagsrechnung:

gegeben:	Erfassungsaufwand pro Störung	= ca. 5 min
	zu erfassende Störungsanzahl	= ca. 250 Störungen / 24 h
gesucht:	- Erfassungsaufwand pro Tag	
	- Arbeitsaufwand pro Jahr	
Lösung:	250 Störungen / 24 h * 5 min	= ca. <u>20,8 Stunden / 24 h</u>
		= ca. <u>7 600 Stunden / Jahr</u>

Da man mit den obigen Maßnahmen nur bedingt und mit sehr großem Aufwand in der Lage war, einwandfreie von inakzeptablen Carriern zu unterscheiden, wurde vom Verfasser die Nutzung des gesamten Conveyorsystem als Carrierprüfgerät vorgeschlagen.

4.13.1 Das Conveyorsystem als Carrierprüfgerät

Durch das Conveyorsystem werden genau diejenigen Carriereigenschaften geprüft, die auch das Störungsverhalten bestimmen.⁴⁷ Die Entwicklung eines separaten Carrierprüfgerätes mit vergleichbaren Eigenschaften wurde aus Kostengründen in der Vergangenheit verworfen. Da aber das vorhandene Conveyorsystem lediglich geringfügig angepaßt werden mußte, war hierfür nur ein kleiner finanzieller Aufwand notwendig.

⁴⁷ An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß es sich bei der Prüfung von Carriern im Conveyorsystem nur um eine Feinauslese handeln kann. Wie aus den Erläuterungen in Abschnitt 3 hervorgeht, reagiert die Störungsrate sehr empfindlich auf eine Verschlechterung der Carrierqualität. Dieser Umstand kann sehr schnell zum Kollabieren des Transportsystems führen.

4.13.2 Funktionen der Software

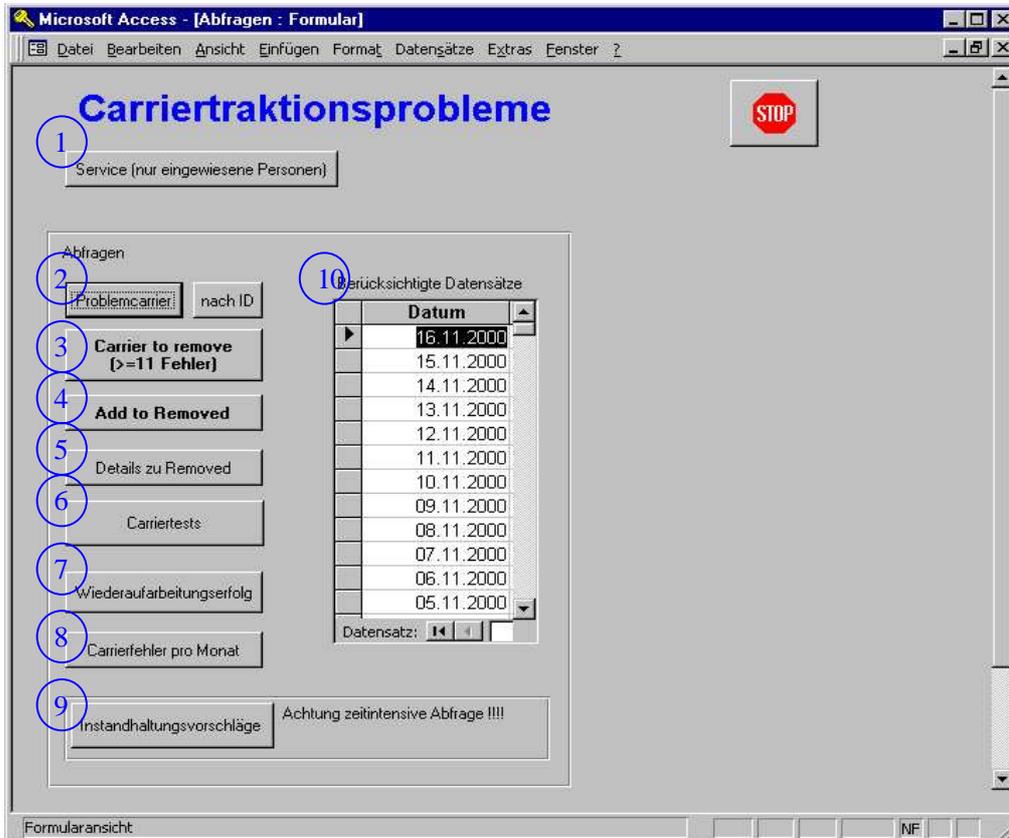


Bild 4.13 Startmenü des Access- Programmes „Carriertraktionsprobleme“

Bild 4.13 zeigt das Startmenü des Programmes „Carriertraktionsprobleme“. Die Funktionen der Software sind im folgenden aufgelistet:

- 1) Aufbereitung und Speicherung der Störungsmeldungen
- 2) Auflistung aller an Störungen beteiligten Carrier, sortiert nach der Störungsanzahl
- 3) Berechnung der noch auszusortierenden Carrier
- 4) Eintragung von aussortierten Carriern
- 5) Störungen der aussortierten Carrier
- 6) Auswertung von Carriertests
- 7) Berechnung des Wiederaufarbeitungserfolgs
- 8) Monatsweise Störungsdarstellung
- 9) Störungshistorie über mehrere Monate
- 10) Datum der gespeicherten Datensätze

4.13.3 Sperrung bzw. Aussortieren von Carriern

Fehlerhafte Carrier können entweder nachgearbeitet oder durch Neukauf ersetzt werden. Da bei neuen Lieferungen mit einer gewissen Anzahl mangelhafter Carrier gerechnet werden muß und auch der Wiederaufarbeitungserfolg begrenzt ist, kann die Verbesserung der Carrierqualität als Kreislaufprozeß betrachtet werden.

Für das Instandhaltungspersonal besteht die Aufgabe darin, die durch die Software als „to remove“ deklarierten Carrier herauszusuchen und mit einem entsprechendem Aufkleber („Carrier bitte umhorden und zur Teilereinigung schicken“) zu versehen.

Unter dem Menüpunkt „Carrier to remove“ (siehe Tabelle 4.8) werden all diejenigen Carrier aufgeführt, die eine gewisse Störungsanzahl überschritten haben und innerhalb der letzten 3 Monate an Störungen beteiligt waren. Kassetten, die bereits aussortiert wurden, sind nur dann aufgeführt, wenn sie nach einer Karenzzeit von 5 Tagen wieder an Störungen beteiligt waren.

Tabelle 4.8 Auszusortierende Carrier

Störungen	Carrier_ID	zuletzt re- moved	Letzte Stö- rung	Letzte Lot_ID	zuletzt be- wegt
36	0000000001002001		14.07.00	TEST5	20.07.00
32	0000000000AD6DD6		08.07.00	ZA038572	27.07.00
29	0000000000C0E13B		07.07.00	EM1L011629817935	07.07.00
28	0000000000AD8551	31.07.00	03.08.00	TWSPF40300	03.08.00
16	0000000000AD8BDE		01.09.00	ZA041624	01.09.00
16	0000000000C0E21F		13.07.00	ZA036240	16.07.00
14	0000000000A9D3A7		11.09.00	TWETC40917	26.09.00
14	0000000000ADA945	25.06.00	20.07.00	ZA036253	26.07.00
14	0000000000ADA95B	07.09.00	26.09.00	ZA046511	27.09.00
13	0000000000595C6C	31.07.00	22.09.00	ZA045682	24.09.00
13	0000000000AD7DE5		05.07.00	ZA040718	06.07.00
13	0000000000AD97FE	10.05.00	11.09.00	ZA041931	23.09.00
12	0000000000A9D0C3	24.08.00	18.09.00	ZA048241	26.09.00
12	0000000000AD85D7	08.05.00	10.09.00	ZA036601.20	25.09.00
12	0000000000C07035	24.06.00	25.09.00	ZA048974	26.09.00

4.13.4 Datenbasis

Aufgrund der Struktur des Steuerungssystems ist es momentan noch notwendig, die carrierspezifischen Störungsdaten für jeden Tag separat zu generieren. Ist das geschehen, werden diese in einer Datenbank abgelegt. Folgende Daten werden erfaßt:

- Carrier ID
- Lot ID
- Störungstyp
- Ort der Störung

4.13.5 Aufarbeitungserfolg

Im Zeitraum von März bis September 2000 wurden 343 verschiedene Carrier aussortiert. 102 der aussortierten Carrier wurden aufgearbeitet und wieder eingeschleust. Allerdings mußten in 68 Fällen wiederholt Carrier aussortiert werden. Der Wiederaufarbeitungserfolg lag demzufolge im Mittel nur bei ca. 30 %.

4.13.6 Beurteilung neuer Carrierlieferungen

Zur Beurteilung einer neu gelieferten Carriercharge wurden folgende Berechnungen angestellt:

Betrachtungszeitraum: 29.06.2000 – 10.07.2000 = 12 Tage

Summe aller Carrier:

ca. 10 000 Stück im System

993 Störungen in diesem Zeitraum

Störungswahrscheinlichkeit: $\frac{993 \text{ Störungen}}{12 \text{ Tage} * 10\,000 \text{ Carrier}} = 0,0083 \frac{\text{Störungen}}{\text{Tag / Carrier}}$

Carrier „Typ P“ :

ca. 300 Stück im System

48 Störungen in diesem Zeitraum

$$\text{Störungswahrscheinlichkeit: } \frac{48 \text{ Störungen}}{12 \text{ Tage} * 300 \text{ Carrier}} = 0,013 \frac{\text{Störungen}}{\text{Tag / Carrier}}$$

Randbedingungen:

Aktueller Nutzungsgrad der Carrier, aktuelle Qualität des Systems

Carrier „Typ P“ aussortiert:

Ca. 9 Carrier von 300 zeigen eine starke Störungssystematik.

Diese 3 % der Carrier verursachten im Betrachtungszeitraum 22 Störungen.

Würden diese aussortiert, ergibt sich eine

$$\text{Störungswahrscheinlichkeit: } \frac{(48 - 22) \text{ Störungen}}{12 \text{ Tage} * 300 \text{ Carrier}} = 0,007 \frac{\text{Störungen}}{\text{Tag / Carrier}}$$

Fazit: Um die gleiche Störungswahrscheinlichkeit zu erreichen, wie in dem momentan im System vorhandenem „Carrier Mix“, müssten bei der getesteten Lieferung ca. 3 % der Carrier aussortiert werden.

4.14 Stockerstörungen

Die Systematiken von Stockerstörungen werden nach dem gleichen Schema ermittelt wie jene an Conveyor und Liften. Im Unterschied zum Conveyorsystem werden an Stockern halbjährliche Wartungen durchgeführt, durch welche die Zuverlässigkeit bereits enorm gesteigert werden konnte.

4.14.1 Filter gegen Mehrfachmeldungen

Ein Problem bei der Beurteilung der Stockerstörungen besteht in sogenannten Mehrfachmeldungen. Das Bedienpersonal hat an den Stockern die Möglichkeit, die Ursachen unkritischer Störungen selbst zu beseitigen und danach einen sogenannten „Retry“ auszuführen. Dadurch werden allerdings für ein Ereignis mehrere Meldungen abgesetzt. Um eine Fehlinterpretation durch diesen Effekt zu vermeiden, hat sich die Programmierung einer Sperrzeit von 10 Minuten für jede weitere Störungsmeldung als sinnvoll erwiesen.

Bezüglich der Ermittlung des auf jeweils 24 h bezogenen Bewertungskriteriums spielt der beschriebene Filter allerdings keine Rolle. Im Bewertungskriterium wird lediglich die Tatsache, ob Störungen innerhalb von 24 h auftraten betrachtet, nicht aber die Störungsanzahl.⁴⁸

4.14.2 Funktionen der Software



Bild 4.14 Startmenü des Access- Programmes „Stockerstörungen“

⁴⁸ siehe auch Kapitel 4.3: „Bewertungskriterien für die Störungsvorhersage“ (Seite 45)

Die wichtigsten Funktionen der Software sind:

- (1) Erstellung und Import von Logfiles
- (2) Ermitteln der systematischen Störstellen⁴⁹
- (3) Verknüpfung der selektierten Störstellen mit den Instandsetzungsdokumentationen des Schichtbuches und den Details zur Störstelle
- (4) Generierung der Kennzahlen zur Störungshäufigkeit pro 24 h
- (5) Darstellen der Informationen für vorausbestimmte Stockerwartungen (Stocker PM)
- (6) Ermittlung der Störungssystematik von Carrier- Tag- Lesegeräten (Tag- Reader)

4.15 Effektivitätssteigerung von vorausbestimmten Wartungen (PM)

Bisher wurden Wartungsarbeiten vor allem mit dem Ziel durchgeführt, durch Maßnahmen wie Schmierung und Kontrolle von Riemenläufen den Verschleiß zu minimieren und offensichtliche Mängel instandzusetzen. Durch die Einbeziehung von Störungshistorien kann nun zielgerichtet auch nach verdeckten Fehlern gesucht werden.

Die Einbindung derartiger Maßnahmen in vorausbestimmte Wartungen ist durchaus hilfreich, da zur Beseitigung einiger Störungsursachen die teilweise Demontage des jeweiligen Equipments notwendig ist.

4.15.1 Lift PM

Um einen Lift oder einen „Floor to Floor Elevator“ teilweise zu demontieren, muß oftmals erst Montagefreiheit geschaffen werden. Unter Umständen müssen sogar Anlagen während der Arbeiten außer Betrieb genommen werden, was in Abhängigkeit ihrer Auslastung nicht immer möglich ist. Die reinen Vor- und Nachbereitungszeiten für eine Instandsetzungsmaßnahme bewegen sich im Bereich von wenigen Minuten bis zu 3 Stunden.

Am Beispiel der Störungshistorie eines Liftes mit der Bezeichnung „1MET1L03“ soll die Analyse der Störungsdaten für den Zeitraum vom 23. bis 28.09.2000 erläutert werden.

⁴⁹ auf der Basis des in Kapitel 4.3: „Bewertungskriterien für die Störungsvorhersage“ (Seite 45) beschriebenen Verfahrens

Tabelle 4.9 Störungshistorie für den Lift „1MET1L03“ / Zeitraum 23.-28.09.2000

Meldetext	Trackadresse	Equipment	23	27	28
BD Kasette hat End of Rail Sensor nicht erreicht	7440	1MET1L03	4		
BD Locktimer abgelaufen	7440	1MET1L03	2		
BD Unbekannte Kasette	7440	1MET1L03	1		
EL FIFO Versatz aufgetreten	7400	1MET1L03			20
EL FIFO Versatzpartner nicht gefunden	7400	1MET1L03			2
EL Locktimer abgelaufen	7400	1MET1L03	2	2	
EL vertikaler Positionssensor nicht gefunden	7400	1MET1L03	1		
EL Transfertimer abgelaufen	7400	1MET1L03	2		2

Interpretation Lift PM Störungsstatistik: aus Tabelle 4.9

- Im Zeitraum vom 24.09. bis 26.09.2000 trat keine Störungen auf.
- Wurde ein „End of Rail Sensor“ nicht erreicht, bedeutet dies, daß die Kasette auf einem Conveyorelement „hängengeblieben“ ist. Mögliche Ursachen hierfür können sein:
 - inkorrekt montierte Drive- oder Idlerwheels,
 - zu geringe Kupplungskräfte von Antriebsrädern,
 - verschlissene Driveringe oder
 - inkorrekte Conveyorbreite („Pallet clearance“)
- Locktimer laufen ab, wenn angeforderte Carrier nicht rechtzeitig vom „Drop“ genommen werden und somit der Weg für das nächste ankommende Los nicht frei ist.
- FIFO Versätze treten auf, wenn Sensoren nicht korrekt von der PLC „gesehen“ werden. Mögliche Ursachen:
 - Defekte Sensoren oder Elektronikboards,
 - Bedienfehler beim Versenden oder Entnehmen der Carrier.
- Der vertikale Positionssensor ist ein zusätzlicher Schutz um sicherzustellen, daß die durch den Encoder ermittelte Position des Drops tatsächlich in Höhe der Buffer liegt. Diese Meldung tritt bei inkorrekt Justage oder in Folge eines Lichtvorhangdurchbruchs auf.

- Abgelaufene Transfertimer sind sicherlich, der am häufigsten von den Instandhaltern des Transportsystems zu beseitigende Störungstyp und deuten auf Versätze oder Knicke zwischen den Elementen hin.

Für jede dieser Störungsmeldungen existiert eine Erläuterung mit der Angabe von möglichen Störungsursachen. Die Erfahrung, der Wissensstand und die Diagnosefähigkeiten des Instandhaltungspersonals sind an dieser Stelle ein wichtiges Instrument zur Beseitigung der Störungsursachen.

4.15.2 Stocker- PM

Analog zur Vorgehensweise bei der Lift- PM können auch für Stockerwartungen Störungshistorien erstellt werden. Tabelle 4.10 zeigt eine entsprechende Auswertung.

Tabelle 4.10 Störungshistorie des Stockers 6SPF1S02 im Zeitraum vom 23. bis 28.09.00

Störungsmeldung	Summe	23	26	27	28
I/O port turntable at wrong position	5			2	3
Main servo power off	2	1			1
T (Rotational) servo failure	5		1	3	1

4.15.3 Probleme bei der bisherigen Vorgehensweise

Folgende Probleme waren bei vorausbestimmten Maßnahmen, ohne Einbeziehung von Störungsstatistiken zu verzeichnen:

- Die Zeiträume zwischen Wartungen sind relativ lang. Lifte werden jährlich gewartet, Stocker aller 6 Monate. In der Zwischenzeit auftretende Störungen wurden meist nur temporär instandgesetzt.
- Bei verdeckten Fehlern sind oftmals mehrere Versuche nötig, bis diese tatsächlich beseitigt sind.
- Da bei Wartungen das betroffene Equipment oftmals erheblich demontiert werden muß, besteht die Wahrscheinlichkeit, daß durch diese Maßnahmen neue Fehler hinzukommen.

Deshalb werden wie bereits beschrieben, an Stockern vorerst zusätzlich 25 störungssystematikbestimmte Maßnahmen pro Jahr durchgeführt.⁵⁰

⁵⁰ Kapitel 4.7: „Zeitpunkt von Maßnahmen“ (Seite 53)

4.16 Qualitätskontrolle von neu aufgebauten Bereichen

- Die Kontrolle von neu aufgebauten Bereichen erfolgte bisher in Form von Abnahmen. Dabei wurde der aufgebaute Bereich bestmöglich von einer Kontrollperson nach Fehlern untersucht. Außerdem wurden aufwendige Testtransporte durchgeführt, um verdeckte Fehler erkennen zu können. Sobald der Bereich einmal abgenommen war, bestand der Montagefirma gegenüber kein Gewährleistungsanspruch mehr.
- Durch die Analyse von Störungsdaten konnte der für Abnahmen notwendige Zeitaufwand drastisch gesenkt werden. Mit der Montagefirma wurde eine 14-tägige Frist (ab dem Zeitpunkt der Inbetriebnahme) zur Identifikation von Justagefehlern vereinbart. Da das Verkehrsaufkommen innerhalb dieser 2-Wochen wesentlich größer ist, als dies bei Testtransporten realisiert werden kann, liegt die Fehlererkennungsrates dementsprechend wesentlich höher. Die Störungsrate des betreffenden Bereichs kann mit der mittleren Störungsrate des Gesamtsystems verglichen werden.

Tabelle 4.11 Die systematischsten Störstellen eines Steuerungsbereiches (Auszug von 174 Zeilen mit 660 Meldungen / Zeitraum 23.09.00 - 28.09.00)

Ort	Trackadresse	Meldetext	23	24	25	26	27	28
ETC4P205	4280	EL Keine Zielvorgabe von MCS	5	2	1	2	6	3
ETC4P205	3520	EL Lichtvorhang durchbrochen	4	3	4	12	2	2
ETC4P205	4280	EL Kassettenaufgabe abgebrochen	5	2	2	2	3	2
ETC4P205	6280	EL Kassettenaufgabe abgebrochen	1	3	1	1	2	1
ETC4P205	5280	EL Kassettenaufgabe abgebrochen	5	4	3	1	2	1
ETC4P205	5280	EL Keine Zielvorgabe von MCS	6	3	3	3	2	1
ETC4P205	6280	EL vertikaler Positionsensor nicht gefunden		1		3	1	1
ETC4P205	6280	EL Keine Zielvorgabe von MCS		3	1	2	1	1
ETC4P205	3520	EL Kassettenaufgabe abgebrochen	4	9	2	8	4	
ETC4P205	3360	BD Locktimer abgelaufen	2		1	1	1	
ETC4P205	4280	EL Lichtvorhang durchbrochen	1	5	4		2	

5 SSBIH und der Stand der Technik

Nur in wenigen instandzuhaltenden Systemen ist ein stark ausgeprägtes Störungsverhalten ohne Ausfall bzw. Schädigung von Elementen zu verzeichnen. Die Gründe dafür wurden bereits in Kapitel 2 erläutert.⁵¹ Dieser Umstand erklärt die Tatsache, daß Störungssystematikbestimmte IH nicht zu den heute allgemein üblichen Instandhaltungsstrategien gehört.

Im folgenden sind Methoden aufgeführt, die zum derzeitigen Stand der Technik gehören und eine Verwandtschaft zur Störungssystematikbestimmten Instandhaltung aufweisen. Neben einer kurzen Beschreibung der jeweiligen Methode werden vor allem die Unterschiede zur SSBIH beleuchtet.⁵²

5.1 Erneuerungsstrategien

Viele Instandhaltungsaufgaben basieren auf Verschleißmechanismen. Die hierfür anzuwendenden Instandhaltungsmethoden können unter dem Begriff Erneuerungsstrategien zusammengefaßt werden. Diese nutzen demzufolge auch verschleißbezogene Kenngrößen zur Maßnahmenplanung. Im Gegensatz dazu wird das Störungsverhalten des Transportsystems zu einem großen Teil durch die Eigenschaften einer stark variablen Toleranzkette mit konstanten Elementeeigenschaften geprägt. Verschleißbezogene Kenngrößen sind daher zur Steuerung dieser Instandhaltungsmaßnahmen nicht geeignet.

5.2 Statistische Prozeßkontrolle (SPC)

Bei der statistischen Prozeßkontrolle wird mittels Stichproben auf Verteilungsfunktionen von Elementeeigenschaften geschlossen. Nach Abschätzung des Verteilungstyps, wird aus relativ wenigen Messungen auf die Verteilung der Eigenschaften aller Elemente geschlossen (z.B. $\mu = \bar{X}$ und $\sigma = s$). Auf der Grundlage dieser Daten ist es möglich, den Anteil nichtfunktionierender Elementepaarungen abzuschätzen⁵³ und ggf. eine Verbesserung der Produktqualität zu fordern (Verschiebung von μ). Eine

⁵¹ Kapitel 2: „Erläuterung der Problemstellung“ (Seite 16)

⁵² Die Aufzählung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Weiterführend wird auf die einschlägige Instandhaltungsliteratur verwiesen. Beispielsweise: [Warnecke, 1992: „Handbuch Instandhaltung“] und [Eichler, 1990: „Instandhaltungstechnik“]

⁵³ siehe Kapitel 3.6: „Vorhersage der Störungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Störgrenze“

Identifikation der wenigen Elemente mit starken Abweichungen und somit eine Begrenzung der Parameterverteilung ist mittels statistischer Prozeßkontrolle nicht möglich. Hierzu müßte an Stelle von Stichproben eine 100 %- Prüfung durchgeführt werden.

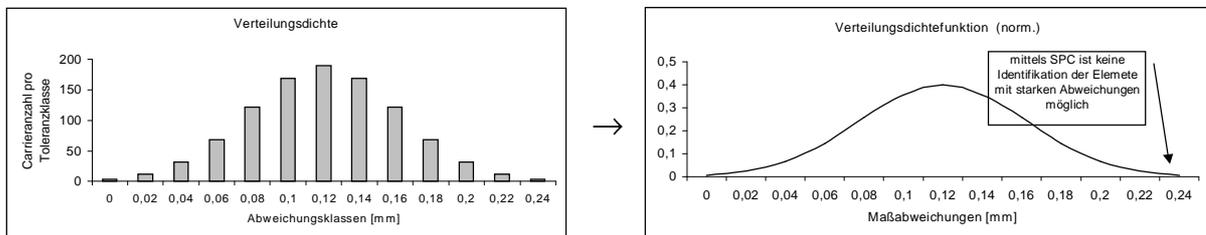


Bild 5.1 Statistische Prozeßkontrolle

5.3 Schwachstellenermittlungsmethoden

Bei der SSBIIH werden Schwachstellen kenngrößenbasiert ermittelt. Folgende Kenngrößengruppen werden üblicherweise zur Ermittlung von Schwachstellen genutzt:⁵⁴

- Kosten
- Standzeit, Gebrauchszeit
- Ausfallhäufigkeit (bzw. Störungshäufigkeit)
- Stillstandszeit, Störungsdauer, Ausfallzeit
- Ausfallteil
- Kombination von Kenngrößen
- Schadenstatistiken

In den aufgeführten Möglichkeiten ist die Störungshäufigkeit zwar erwähnt, allerdings kommt Mexis zu der Erkenntnis:

„In der betrieblichen Datenerfassung ist die Erfassung von Störungsursachen mit heutigen Systemen oder EDV- Programmen (Störmeldungen) anzutreffen. Meistens ist feststellbar, daß solche Datenerfassungssysteme nur den Ort der Schwachstellenauswirkung erfassen, nicht aber die Schwachstellenursache selbst. Dies gilt im Regelfall auch für EDV- Systeme. Zudem sind nur vereinzelt Maschinen oder Linien mit solchen Datenerfassungssystemen ausgerüstet, so

⁵⁴ vgl. [Mexis 1990, „Handbuch Schwachstellenanalyse“ Kapitel 6.2.1 „Kenngrößenbezogene Schwachstellenermittlung“]

das eine praktikable Methode nicht auf der Verwendung solcher Systeme aufbauen darf.“⁵⁵

Diese Schlußfolgerung wird verständlich, wenn man das Aufgabengebiet der Schwachstellenanalyse genau betrachtet. Sie beschäftigt sich vorrangig mit Ursachen für Schädigungen (und nicht mit solchen für Störungen). In der VDI Norm 2895 ist die Schwachstellenanalyse wie folgt definiert:

„Aufgabe der Schwachstellenanalyse ist es, aufgetretene Schäden analysieren, deren Ursachen ermitteln und somit die Schwachstellen zu ermitteln. Dabei werden die Ergebnisse von Abweichungs- und Schadensursachenanalysen herangezogen und Häufungen aufgezeigt. Das ist der Ausgangspunkt für eine gezielte Schwachstellenbekämpfung. Sie findet insbesondere im Rahmen der Strategieplanung und der Beratung anderer Bereiche statt.“⁵⁶

5.4 Abgrenzung zur Komplexionsanalyse

Die Komplexionsanalyse untersucht komplexe Zusammenhänge im Sinne einer Ursachenanalyse und nutzt dazu komplexes (vielseitiges) Wissen. Sie ist untergliedert in Funktionsanalyse, Ausfalleffektanalyse und vergleichende Schwachstellenanalyse.⁵⁷ Sie betrachtet aufgetretene Störfälle oder Schäden. Das Verständnis der Funktionsweise des zu betrachtenden Systems ist Voraussetzung für das weitere Vorgehen.

Die Komplexionsanalyse stellt einen Weg zur allgemeinen Herangehensweise dar, wogegen die SSBIH eine mögliche Lösung für einen bestimmten Systemtyp sein kann.

Die Erfassung einer großen Anzahl von Störungen wird von der Komplexionsanalyse laut Mexis allerdings ausdrücklich negiert:

„... Es ist nicht notwendig, zeitlich aufwendige Störungen und Schäden aufzunehmen und zu analysieren. Dies wird deswegen erreicht, weil die Methode als Untersuchungsobjekt die Maschine oder die Konstruktionspläne verwendet.“⁵⁸

Die Komplexionsanalyse ist ihrem Wesen nach eine Schwachstellenanalyse. Durch sie wird ein Schema zur systematischen Schwachstellensuche vorgegeben. Stö-

⁵⁵ [Mexis 1990, „Handbuch Schwachstellenanalyse“ Kapitel 6.3.1.1.3 „Verzicht auf Verwendung besonderer Systeme“]

⁵⁶ [VDI 2895 „Organisation der IH“]

⁵⁷ vgl. [Mexis, 1990; Kap. 6.3.1 „Die Komplexionsanalyse“]

rungssystematikbestimmte Instandhaltung ist eine Instandhaltungsmethode und beschäftigt sich in erster Linie mit der Selektion systematischer Störstellen und nutzt dazu eine möglichst große Anzahl an Störungsmeldungen.

5.5 AFD, PAAG, HAZOP und FMEA

Die AFD⁵⁹-, FMEA⁶⁰-, HAZOP⁶¹- und PAAG⁶²- Methoden stellen Werkzeuge dar um möglichst bereits in der Konstruktionsphase Probleme vorherzusehen und entsprechende Gegenmaßnahmen zu ergreifen. Die SSBIH kann in diesem Zusammenhang für spezielle Systeme als mögliche Lösung für die prognostizierten Probleme genutzt werden.

5.6 Störungssystematikbestimmte IH / Einordnung in die IH- Struktur

Instandhaltungsstrategien lassen sich in Methoden für einzelne Elemente und für komplexe Systeme untergliedern:

5.6.1 Instandhaltungsmethoden für Elemente

„Für Elemente werden drei klassische Instandhaltungsmethoden unterschieden:

- Instandhaltung nach Ausfall
- periodische Instandhaltung (Instandhaltung nach starrem Zyklus) und
- zustandsabhängige Instandhaltung (Instandhaltung nach Überprüfung).“⁶³

Ähnlich untergliedert die VDI Norm 2895⁶⁴ Instandhaltungsstrategien in ausfallbedingte, vorbeugende und zustandsabhängige Instandhaltung.

⁵⁸ [Mexis, 1990; Kap. 6.3.1.1.2 „Ermittlung von Schwachstellen in kurzer Zeit“]

⁵⁹ AFD: Anticipatory Failure Determination (Vorausschauende Fehlererkennung)

⁶⁰ FMEA: Fehler-, Möglichkeits- und Einflußanalyse

⁶¹ HAZOP: Hazard and Operability (übersetzt: Gefahren und Funktionsfähigkeit)

⁶² PAAG: Prognose von Störungen, Auffinden der Ursachen, Abschätzen der Auswirkungen, Gegenmaßnahmen

⁶³ [Eichler, 1990 „Instandhaltungstechnik“ Kap. 9 „Instandhaltungsmethoden“]

⁶⁴ [VDI 2895, 12/96 „Organisation in der Instandhaltung“]

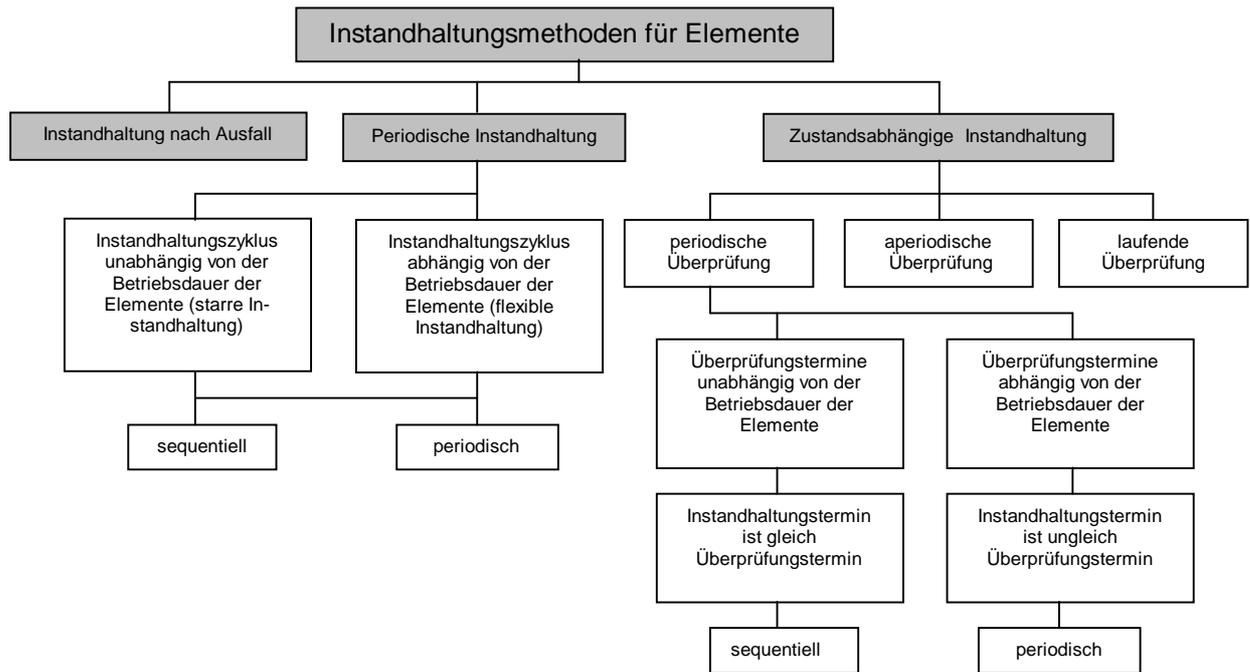


Bild 5.2 Gliederung der Instandhaltung nach [Eichler (1990)]

Die Störungssystematikbestimmte IH läßt sich dabei der Gruppe der zustandsabhängigen IH- Strategien zuordnen. Der Zeitpunkt der Überprüfungen und Instandsetzungen läßt sich allerdings keinem der Beispiele im Bild 5.2 zuordnen. Der Überprüfungstermin kann sowohl periodisch als auch aperiodisch sein. Alle Elemente einer Elementeklasse werden auf der Basis von kontinuierlich aufgenommenen Störungsdaten auf einmal überprüft. Dies geschieht unabhängig von ihrer Betriebsdauer. Das instanzzusetzende Element wird erst aufgrund der Überprüfung ausgewählt.

5.6.2 Instandhaltungsmethoden für Systeme

Instandhaltungsmethoden für Systeme können laut Eichler von denen der Elemente abgeleitet werden und treten in folgenden Grundvarianten auf:

- individuelle Instandhaltungsmethode
- komplexe Instandhaltungsmethode

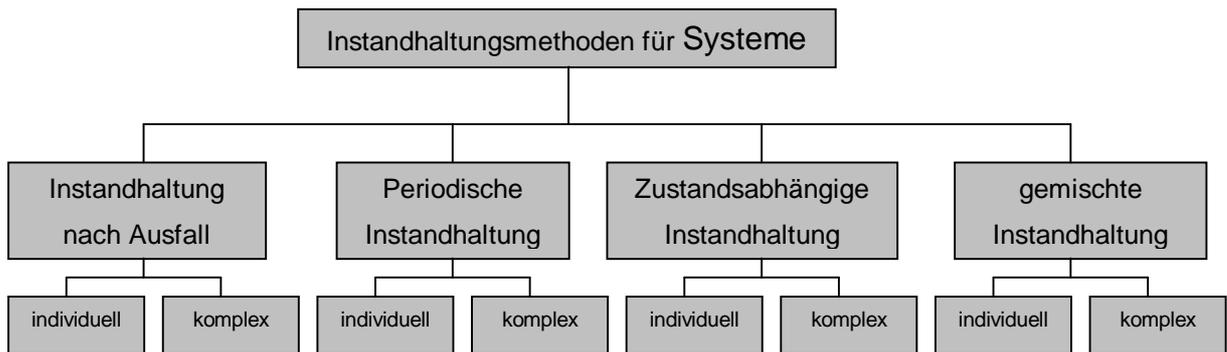


Bild 5.3 Instandhaltungsmethoden für Systeme⁶⁵

Durch Störungssystematikbestimmte Instandhaltung werden zwar individuelle Elemente instandgesetzt, die Diagnose erfolgt aber komplex für das gesamte System. Und dies in zweierlei Hinsicht: Zum einen werden alle Elemente gleichzeitig inspiziert und zum anderen wird das komplexe Systemverhalten zur Diagnose genutzt.

⁶⁵ übernommen aus [Eichler, 1990: „Instandhaltungstechnik“]; (Beispiele wurden nicht mit abgedruckt)

5.7 Normen der IH

Innerhalb dieses Kapitels soll auf einige interessante Aspekte und Neuerungen in der Europäischen Normenlandschaft eingegangen werden, die im unmittelbaren Zusammenhang mit der Methode der Störungssystematikbestimmten IH stehen. Im Vergleich zur DIN 31051 sind im Entwurf zur DIN EN 13306 einige grundlegende Änderungen zu verzeichnen:⁶⁶

In der DIN 31051 sind Instandhaltungsaktivitäten in

- Inspektion,
- Wartung und
- Instandsetzung

gegliedert. Instandhaltungsaktivitäten basieren vorrangig auf dem Konzept des Abnutzungsvorrates. Sowohl diese Gliederung als auch das Konzept des Abnutzungsvorrates kommen im Entwurf zur DIN EN 13306 ausdrücklich nicht mehr vor.

Dafür wurde eine Vielzahl von IH- Begriffsdefinitionen neu aufgenommen bzw. verändert. Darunter sind auch für diese Arbeit entscheidende Begriffe, wie

- Fehler,
- Störung,
- Ausfall und
- „temporary repair“.

Im Kapitel „Definition von Instandhaltungsbegriffen“ können diese nachgelesen werden.

⁶⁶ vgl. „Definition von Instandhaltungsbegriffen“ (Seite 7)

5.8 Übliche IH- Analysen

Laut [VDI 2895]⁶⁷ können in der Instandhaltung beispielsweise folgende Analysen durchgeführt werden:

- Soll- Ist- Vergleiche (Kosten und Zeitaufwand),
- Auftragsabweichungsanalyse,
- Schwachstellenanalyse,
- Schadensursachenanalyse und
- Ersatzteilverbrauchsanalyse.

Die Analyse der Störungssystematik wird in diesem Zusammenhang nicht aufgeführt.

5.9 Vorbehalte zur SSBIIH

Störungsmeldungen können erst dann erfaßt werden, wenn die zu betrachtende Einheit (Maschine, Anlage...) bereits gefertigt wurde und funktionsfähig ist. Eine Störungsanalyse steht nach Mexis⁶⁸ also im Kontrast zu einer, in der Konstruktionsphase durchzuführenden, vorbeugenden Ursachenanalyse. Insbesondere bedeutet dies, daß bis zur Durchführung entsprechender Maßnahmen bereits Störungen aufgetreten und Verluste entstanden sind.

Wo immer es möglich ist, wird man also versuchen, Schwachstellen bereits in den Konstruktions-, Fertigungs- und Installationsphasen zu verhindern.

Dieser Gedanke wird auch in der VDI- Richtlinie 2083⁶⁹ deutlich. In dieser wird für Anlagen der Reinraumtechnik vorausbestimmte Wartung empfohlen. Durch die hohen Kosten, die mit dem Ausfall von Anlagen der Halbleiterindustrie verbunden sind, werden analog auch für Halbleiterproduktionsanlagen vorbeugende Maßnahmen favorisiert.

Der Blick auf die Erfolge, die mit Störungssystematikbestimmten Maßnahmen erzielbar sind, birgt allerdings auch die Gefahr in sich, z.B. verschleiß- und schädigungsverhindernde Maßnahmen (Schmieren, Kontrolle von Übertragungsriemen, usw.) zu vernachlässigen.

⁶⁷ [VDI 2895, 12/96 „Organisation in der Instandhaltung“]

⁶⁸ [Mexis, 1990 „Handbuch Schwachstellenanalyse“ Kapitel VI „Arten und Methoden der Schwachstellenanalyse und der Schwachstellenbekämpfung“]

⁶⁹ [VDI 2083 Blatt 2, 02/1996 „Reinraumtechnik – Bau, Betrieb und Instandhaltung“]

6 Weitere Einsatzmöglichkeiten SSBIH

Bisher wurde festgestellt, daß die Störungsproblematik im Transportsystem einen Sonderfall darstellt. Dennoch existieren durchaus weitere Anwendungsgebiete für SSBIH. Besonders in der Halbleiterindustrie sind durch die Kombination von Massenproduktion und Losfertigung weitere Anwendungsmöglichkeiten vorhanden. Einige Beispiele sollen im folgenden erläutert werden.

6.1 Reduktion von Handlingfehlern

Handlingprobleme beim Aus- und Einsortieren von Wafern an Anlagen mit Einzelscheibenprozessierung können leicht zum Zerkratzen der Waferoberfläche und damit zum Verwurf führen. Häufige Ursachen derartiger Störungen sind:

- begrenzte Handlerwiederholgenauigkeit,
- Handler nicht optimal programmiert („geteacht“),
- Carrier nicht korrekt aufgesetzt und
- Carriermaßabweichungen.

Durch Auswertung von Störungsmeldungen mit entsprechenden Informationen könnten systematisch an Störungen beteiligte Carrier und Handler selektiert werden.

6.2 Automatische Anlagenbeladung in der 300 mm Produktion

Da im SEMI Standard die Abstände zwischen den Loadports der 300 mm Anlagen so klein definiert wurden, daß kein Platz für ein Roboterhandling der Foups vorhanden ist, wurden von den namhaften Herstellern für derartige Anlagen Lösungen entwickelt, bei denen die Foups an Stahlseilen oder Metallbändern heruntergelassen werden. Zusätzlich zu den Genauigkeitsanforderungen an Foup, Loadport und die Position des Transportwagens kommt noch eine Pendelproblematik hinzu.

Sollte sich dieser Vorgang als störungsintensiv herausstellen, ist dies ein typisches Anwendungsgebiet für SSBIH.

6.3 Durchbrechen von Lichtvorhängen

Zum Schutz des Bedienpersonals sind an allen Equipmentliften Lichtvorhänge installiert, die Verletzungen durch die UP/DOWN- Bewegung des Drop's vermeiden sollen. Kommt ein Operator in den Gefahrenbereich eines Liftes, wird eine eventuelle Drop-Bewegung sofort gestoppt. In diesem Fall wird die mechanische Bremse des Liftes aktiviert und der Motor abgeschaltet. Besteht keine Gefahrensituation mehr, kann die Störung vom Operator zurückgesetzt und der Lift ohne die Hilfe eines Instandhalters wieder genutzt werden. Wird dieser Zustand vom Bedienpersonal nicht bemerkt, muß die Bestätigung vor Ort durch einen Instandhalter erfolgen. Der Verbesserungsvorschlag eines Instandhalters des Transportsystems⁷⁰ empfiehlt, zusätzlich zur optischen auch eine akustische Signalisierung der Störung zu realisieren.

Dies wurde bisher an 1/3 der Lifte realisiert. Da die Auswahl der Lifte aber aufgrund ihrer Störungssystematik erfolgte, konnte damit das Problem bereits zum größten Teil behoben werden.

6.4 Leseprobleme an „Tag - Readern“

Die Übertragung der Carrier- Tag Informationen zu den Lesestationen („Tag-Reader“) erfolgt per Funk. Sind die Antennen nicht korrekt angepaßt oder beeinflussen sie sich gegenseitig, können Störungen beim Lese- bzw. Schreibvorgang auftreten. Die Anzahl an instandzuhaltenden Lesestationen ist sehr groß. Da auch die Eigenschaften der Carrier- Tags differieren, ist das Model einer „Toleranzkette mit starker Variation der beteiligten Elemente“ anwendbar. Vom verantwortlichen Mitarbeiter wird daher SSBIH für diese Problematik mit Erfolg angewandt.

⁷⁰ vgl. [VV, Jens Lachnitt 1999]

7 Aufwand und Nutzen

7.1 Aufwand

Der Aufwand zur Implementierung von Störungssystematikbestimmter Instandhaltung hängt stark von den Eigenschaften des vorhandenen SCADA⁷¹- Systems ab. Im Falle des Transportsystems war der Aufwand aufgrund der ausgezeichneten Voraussetzungen sehr gering. Die zusätzlich notwendige Software zur Störungsauswertung wurde zu einem großen Teil vom Autor selbst geschrieben. Würde eine derartige Software in Auftrag gegeben, wären aber sicherlich nur wenige „Mannwochen“ zu veranschlagen. Müssen allerdings die Anlagen erst befähigt werden, Störungsmeldungen automatisch zur Verfügung zu stellen, kann der Aufwand für die Entwicklung bzw. den Ausbau des Datenerfassungssystems den zu erwartenden Nutzen je nach Anwendungsfall auch übersteigen.

7.2 Einsparung von Personal für die Systembetreuung

Momentan werden zur Systembetreuung 2-3 Instandhalter pro Schicht eingesetzt. Ein Großteil ihrer Arbeitszeit wird für Entstörungsmaßnahmen benötigt. Mit Hilfe der SSBIH war es möglich, die Störungswahrscheinlichkeit innerhalb eines halben Jahres zu halbieren. Ohne diesen Erfolg wäre es auf Grund des drastisch steigenden Transportaufkommens notwendig gewesen, zwei weitere Mitarbeiter pro Schicht einzustellen.⁷² Bei fünf zu besetzenden Schichten, entspricht dies einer Einsparung von 10 Mann pro Jahr. Da sich das Transportaufkommen bisher jedes Jahr um ca. 50% erhöht hat und noch kein Ende dieser Entwicklung abzusehen ist, kann davon ausgegangen werden, daß die Einsparung langfristig gesehen noch wesentlich größer ist.

⁷¹ SCADA... Supervisory Control and Data Acquisition (übersetzt: Übergeordnetes Steuerungs- und Datenaufnahmesystem)

⁷² vgl. Kapitel 4.12: „Entwicklung der Traktionsprobleme“ (Seite 56)

7.3 Einsparungen bei Inspektionsmaßnahmen

7.3.1 Prüfung bereits vorhandenen Carrier

Die bereits im System befindlichen 10 000 Carrier müssen auf Grund der SSBIH nicht manuell inspiziert werden. Ein derartige 100%- Inspektion hätte einen Arbeitsaufwand von ca. 310 „Manntagen“ bedeutet.

$$\begin{aligned} 0,25 \text{ h / Carrier} * 10\,000 \text{ Carrier} &= 2500 \text{ h} \\ &= 312,5 \text{ Manntage (mit je 8 h Arbeitszeit)} \end{aligned}$$

Der Erfolg von Inspektionen ist zudem durch die Komplexität der Meßaufgabe nur sehr gering. Es kann abgeschätzt werden, daß er mit den momentan zur Verfügung stehenden Meß- und Prüfmitteln noch unter dem in Abschnitt 4.13.5⁷³ beschriebenen Carrieraufarbeitungserfolg von ca. 40 % liegen würde.

Demgegenüber stehen täglich lediglich 15 Minuten Aufwand zur Datengenerierung:

$$\begin{aligned} 0,25 \text{ h} * 365 \text{ Tage} &= 91,25 \text{ h / Jahr} \\ &= 11,4 \text{ Arbeitstage / Jahr} \end{aligned}$$

und ca. 30 Minuten um einen Carrier auszusortieren:

$$\begin{aligned} 411 \text{ aussortierte Carrier (bis September 2000)} * 0,5 \frac{\text{h}}{\text{Carrier}} &\approx 205 \text{ h Arbeitszeit} \\ &\approx 26 \text{ Tage Arbeitszeit} \end{aligned}$$

7.3.2 Carrierwareneingangskontrolle

Bei der Carrierwareneingangskontrolle kann durch die Anwendung von SSBIH im Normalfall mit einer 10%- Prüfung gearbeitet werden. Im Vergleich zu einer ansonsten notwendigen 100%- Kontrolle reduziert sich der Aufwand für beispielsweise 1000 einzuschleusende Carrier von 250 auf 25 Stunden:

$$\begin{aligned} 0,25 \text{ h / Carrier} * 1000 \text{ Carrier} &= 250 \text{ h} \\ 0,25 \text{ h / Carrier} * 100 \text{ Carrier} &= 25 \text{ h} \end{aligned}$$

⁷³ vgl. Kapitel 4.13.5: "Aufarbeitungserfolg" (Seite 69)

7.3.3 Prüfung neuer Carrierrevisionen

Um eine ausreichend gute Aussage über das Störungsverhalten neuer Carrierrevisionen zu erhalten, waren bisher ein bis zwei Monate Testbetrieb notwendig. Dieser Zeitrahmen konnte bei wesentlich besserer Objektivität des Testergebnisses auf ein bis zwei Wochen gesenkt werden.

7.3.4 Stocker

150 Einzelinspektionen (à 30 min) wurden pro Jahr durch ca. 24 störungssystematikbestimmte Maßnahmen (à 30 min) ersetzt.

vorher: 150 Maßnahmen / Jahr * 0,5 h = 75 h / Jahr

jetzt: 24 Maßnahmen / Jahr * 0,5 h = 12 h / Jahr

Einsparung: 63 IH- Stunden / Jahr

Erläuterungen zur Effektivitätssteigerung:

- Im Mittel zeigen momentan 5 von 75 Stockern ein signifikantes Störverhalten.
- Das heißt, die Chance bei einer Inspektion einen störungsverursachenden Fehler zu entdecken, lag bei maximal:
 $5 / 75 * 100 \% = 7 \%$.
- Alle 6 Monate wurde jeder Stocker zusätzlich zur halbjährlichen Stockerwartung inspiziert. Diese 150 Maßnahmen wurden durch 24 globale SSB Inspektionen mit anschließender Instandsetzung ersetzt. Da somit jeder Stocker 24 und nicht nur 2 mal pro Jahr inspiziert wird, kann davon ausgegangen werden, daß die Effektivität dieser Maßnahmengruppe nun etwa 12 mal höher ist. Der notwendige Arbeitsaufwand konnte aber auf ca. 16% gesenkt werden.⁷⁴

⁷⁴ Sicherlich ist dieser Anwendungsfall nur selten übertragbar. Die Stockerinspektionen bestanden im Wesentlichen in der Kontrolle der Reproduzierbarkeit der Kalibrierung. Derartige Probleme äußern sich nahezu verzögerungsfrei in Handlingproblemen und sind somit 100%ig durch Störungsmeldungen zu detektieren.

7.3.5 Conveyorsystem

Zur Verbesserung der Justagequalität wurden in der Vergangenheit von den Mitarbeitern des Transportsystems Überlegungen angestellt, eine komplette Inspektion des Conveyorsystems durchzuführen. Aufgrund des enormen Aufwandes wurden derartige Maßnahmen bisher nicht durchgeführt. Mit der Einführung von SSBIH ist dies erfreulicherweise (zumindest justagebedingt) nicht mehr notwendig. Der zu veranschlagende Zeitaufwand läge ca. bei 15 – 30 Minuten pro Conveyorelement, also mindestens bei 140 Manntagen à 8 h.

$$4500 \text{ Elemente} * 0,25 \text{ h} = 1125 \text{ h} = 140 \text{ Manntage} \acute{a} 8 \text{ h}$$

(7.1)

Da nicht alle Toleranzüberschreitungen störungsverursachend sind, wäre die Anzahl der inspektionsbestimmt durchzuführenden Instandsetzungen mit Sicherheit wesentlich größer als die Anzahl störungssystematikbestimmter Instandsetzungen bei gleichem Resultat.

Viele dieser zusätzlichen Instandsetzungen würden die zeitweise Außerbetriebnahme des betroffenen Streckenabschnittes und einige auch den sehr kostenintensiven Austausch von Conveyorelementen erfordern.

7.4 **Steigerung der Effektivität planmäßiger Wartungen**

Im Einzelnen läßt sich die Effektivitätssteigerung von planmäßigen Wartungen sicherlich nur schwer messen. Insbesondere wird sich die Zeitdauer der einzelnen Wartungsmaßnahmen nicht verringern.

Werden SSB Maßnahmen im Rahmen einer planmäßigen Wartung durchgeführt, ist der zusätzlich notwendige Arbeitsaufwand andererseits vergleichsweise gering, da besonders unter Reinraumbedingungen der Klasse 1 durchgeführte Arbeiten einen großen Vor- und Nachbereitungsaufwand erfordern.

Bei mechanischen Arbeiten am Stocker müssen z.B. vorher alle Lose aus den BIN's entfernt werden. Dieses entspricht einem Zeitaufwand von ein bis zwei Stunden. Müssen die Abstellpunkte des Roboters nach einer Maßnahme neu definiert werden, sind zusätzlich 3 Stunden Arbeits- und Stockerstillstandszeit einzuplanen. Außerdem können Reparaturen (insbesondere an Liften) dazu führen, daß benachbarte Anla-

gen stillgelegt werden müssen. Dies sind alle Gründe dafür, so wenige Maßnahmen wie möglich durchzuführen.

Werden störungssystematikbestimmte Maßnahmen im Zuge von Wartungen mit erledigt, haben diese vorausbestimmten Instandhaltungsmaßnahmen nun also nicht mehr nur vorbeugenden Charakter (Schmieren, ...) und dienen der Instandsetzung offensichtlich verschlissener Teile, sondern bewirken nun auch die Beseitigung verdeckter Störungsursachen.

7.5 Leistungssteigerung des Transportsystems / Einfluß auf die Produktion

Welchen Einfluß haben Transferstörungen auf die Leistungsfähigkeit des Transportsystems ?

7.5.1 Störungsverhalten von November 1999 bis September 2000

Im Kapitel 4.12 wurde erläutert, daß durch SSBIH im September 2000 nicht 365 sondern lediglich 170 Transferstörungen / 24 h zu verzeichnen waren. Dies entspricht einer Verbesserung um 195 Störungen pro 24h, also ca. einer Halbierung der Störungsanzahl:

$$\frac{170 \frac{\text{Störungen}}{24h}}{365 \frac{\text{Störungen}}{24h}} * 100\% = 46,5\%$$

7.5.2 Steigerung der Transportkapazität

Transferstörungen wirken sich in zweierlei Hinsicht negativ auf die Leistungsfähigkeit des Transportsystems aus. Zum einen werden die Lose verspätet und somit auch zeitlich schwerer vorhersagbar zum Bestimmungsort transportiert. Zum anderen bewirken Transferstörungen eine Steigerung der Verkehrsdichte.

Ein Traktionsproblem behindert den betroffenen Carrier und alle folgenden Carrier für durchschnittlich 10 Minuten. Ein Segment beinhaltet eine gewisse Anzahl an Trackelementen. Bei Störung eines Trackelements, ist die Wahrscheinlichkeit recht hoch, daß auch über die anderen Elemente dieses Segments kein Transport mehr stattfinden kann.

Um zu ermitteln, wie viele Carrier durch eine Störung durchschnittlich behindert werden, soll im folgenden ein mittlerer Carrierstrom für ein durchschnittliches Segment berechnet werden.

7.5.3 Carrierstrom

Wie kann nun ein solcher Carrierstrom für einzelne Segmente bestimmt werden?

Für jeden Transportauftrag innerhalb eines Tages werden Quelle und Ziel protokolliert. Die für jede Quelle- / Ziel- Beziehung zu überquerenden Segmente sind in sogenannten Routen definiert.

Setzt man nun die betreffenden Routen für jede der ca. 23 000 Transporte / 24 h ein, kann der Carrierstrom für jedes Segment ermittelt werden.⁷⁵ Da die mittlere Entstörzeit ca. 10 Minuten beträgt, wurde der Carrierstrom auf diesen Zeitraum bezogen.

Laut Anhang 5 lag der Wert für den mittleren Carrierstrom im September 2000 bei ca. $7 \frac{\text{Carrier}}{10 \text{ min}}$. Das heißt eine Transferstörung verursacht im Mittel eine jeweils 10 minütige Verspätung von 7 Carriern.

7.5.4 Verspätete Transporte

Wäre es nicht gelungen, die Störungswahrscheinlichkeit von 1,5 auf 0,7 Störungen / Carriertransport zu senken, wären im September 2000 jeden Tag ca. 2500 Lose um 10 Minuten verspätet geliefert wurden. Der Wert liegt aber nun lediglich bei ca. 1200 Losen.

$$170 \frac{\text{Störungen}}{24 \text{ h}} * 7 \frac{\text{Carrier}}{10 \text{ min Störung}} = 1190 \text{ um 10 Minuten verspäte Carrier pro 24 h} \quad (7.2)$$

$$365 \frac{\text{Störungen}}{24 \text{ h}} * 7 \frac{\text{Carrier}}{10 \text{ min Störung}} = 2555 \text{ um 10 Minuten verspäte Carrier pro 24 h} \quad (7.3)$$

Wie ist dieser Wert nun aber zu interpretieren ?

⁷⁵ siehe Anhang 5: Mittlerer Carrierstrom pro Segment

Durch 10 minütige Verspätungen werden Anlagenleerlaufzeiten nur dann verursacht, wenn Lose nicht rechtzeitig angefordert wurden. Die normale Transportzeit beträgt 10 bis 20 Minuten. Um Anlagenleerlaufzeiten zu vermeiden, müssen eventuelle Verspätungen in der Größenordnung von 10 bis 15 Minuten beim Anfordern der Lose einkalkuliert werden. Die Möglichkeit, sich Lose auf Vorrat anzufordern, ist aber durch die Lagerkapazität vor Ort begrenzt. Da nunmehr nur noch halb so viele Transporte verspätet ankommen, sinkt dementsprechend auch die Wahrscheinlichkeit von Anlagenleerlaufzeiten bzw. der Bedarf an zusätzlichen Lagerkapazitäten in unmittelbarer Nähe der Anlagen.

Außerdem führten lange und stark schwankende Transportzeiten in der Vergangenheit dazu, daß je nach Operator für einige Anlagen so viele Lose im voraus angemeldet wurden, daß andere Anlagen, welche die gleiche Operation auch prozessieren konnten, aus Materialmangel leerliefen.

7.5.5 Steigerung der Verkehrsdichte – Kapazitätsgrenzen des Transportsystems

Noch kritischer ist allerdings das Erreichen der Kapazitätsgrenze des Transportsystems zu bewerten. Diese ist durch den maximal transportierbaren Carrierstrom der jeweiligen verschiedenen Trackelementetypen, Kreuzungen und Transportsystemequipments gegeben. Durch eine erhöhte Verkehrsdichte wird diese Kapazität aber zusätzlich begrenzt. Ähnlich der Situation im Verkehrsnetz einer Großstadt, führt eine Störung des Verkehrsflusses schnell zum Ansteigen der Verkehrsdichte in dem betroffenen Bereich. Es kommt zur gegenseitigen Behinderung der Verkehrsteilnehmer und mit zunehmender Zeitdauer zum Rückstau auf andere Bereiche. Eine solche Situation kann unter Umständen fast zum völligen Erliegen des Verkehrs führen. Je größer die Störungshäufigkeit ist, desto wahrscheinlicher sind auch derartige Szenarien.

Im Bild 7.1 ist eine auf Erfahrungswerten des Verfassers beruhende Abhängigkeit der Transportkapazität von der Verkehrsdichte dargestellt. Hierbei ist sicherlich interessant, daß das System bereits bei 20%iger Stauplatzausnutzung eines Steuerungsbereiches zu kollabieren beginnt.

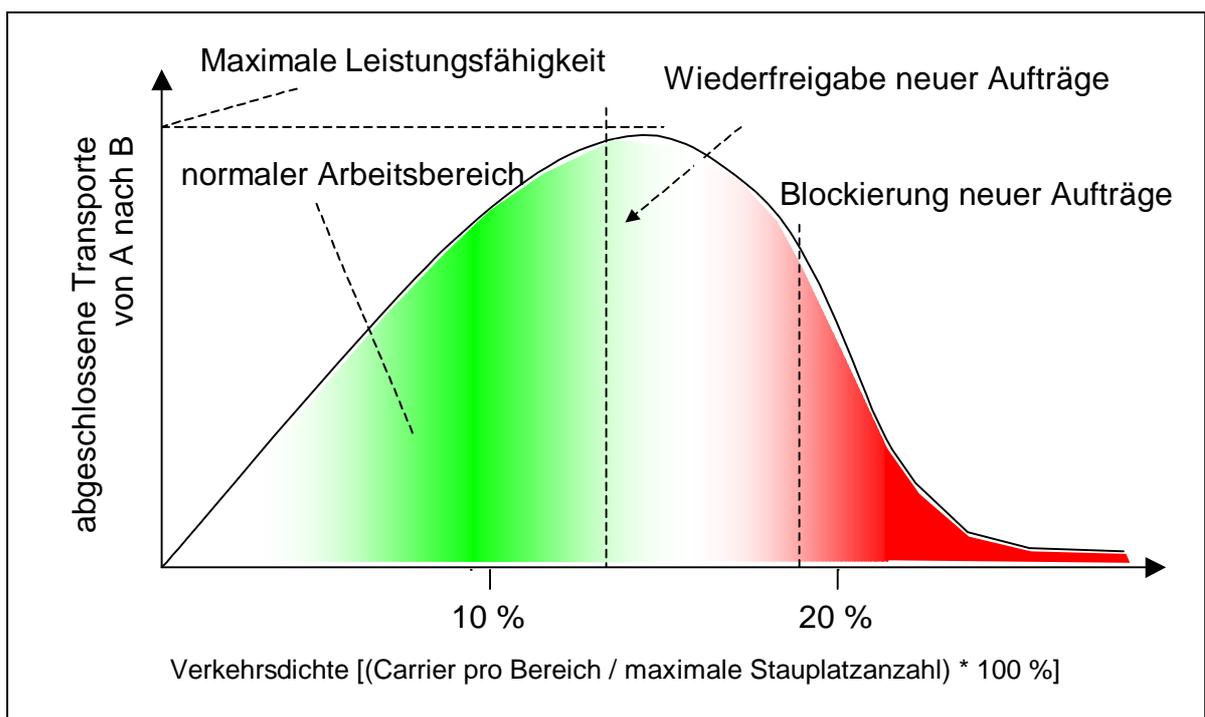


Bild 7.1 Optimaler Arbeitspunkt des Transportsystems

Erläuterungen zu Bild 7.1:

Anmerkung: Aufgrund der negativen Auswirkungen auf die Produktion, wurde bisher auf eine entsprechende Identifikation des laufenden Systems verzichtet. Die Zahlenwerte basieren auf (unfreiwillig) meist durch Störungen, Ausfälle oder Umbauten hervorgerufenen Überlastsituationen.

- Zunächst verläuft die Kurve linear bei steigender Verkehrsdichte. Das heißt im gleichen Maße, in dem mehr Transporte beauftragt werden, werden diese mit nahezu konstantem Zeitversatz auch ausgeliefert.
- Ist eine gewisse Verkehrsdichte erreicht, beginnen die Carrier sich gegenseitig zu behindern und die Transportzeiten verlängern sich.
- Steigt die Verkehrsdichte weiter an, sinkt der Wert des Abflußcarrierstroms unter den des Zuflußstroms. Dies führt zu einer Eskalation der Situation, da bei konstantem Zufluß die Verkehrsdichte noch weiter steigt und die Abflußkapazität somit noch weiter reduziert wird.

-
- Die sogenannte „Looping“ Funktionalität der Steuerungssoftware verhindert allerdings den völligen Stillstand des Systems. Sie bewirkt, daß Carrier deren Fahrtweg blockiert ist, nicht vor einer Kreuzung stehenbleiben, sondern in einer sogenannten „Loop“ kreiseln. Somit können andere Carrier gewissermaßen durch einen Rückstau hindurch, ihr Ziel erreichen.
 - In Überlastungssituationen wurden im Steuerungsbereich „PLC100“ mit 715 Stauplätzen in Abhängigkeit der Verkehrsdichte folgende Beobachtungen gemacht:
 - 70 bis 100 Carrier: Vereinzelt wurden „Fulltimer – Meldungen“ vor Kreuzungen ausgelöst. (Wartezeiten größer 3 Minuten)
 - 100 bis 190 Carrier: Zunehmend zähfließender Verkehr
Eine große Anzahl der Kassetten befanden sich im Status „looping“.
 - mehr als 190 Carrier: Der Verkehrsfluß kam nahezu zum Erliegen.
Das Maximalwertregister der Steuerung weist bisher einen Betrag von lediglich 327 Kassetten (also nur $\approx 45\%$ der maximal möglichen Anzahl) aus.

Die Betrachtungen zu diesem Kapitel führten (gewissermaßen als positiver Nebeneffekt) zu einer effektiveren Methode bei der Stauauflösung und einer Verbesserung der Anfahrprozedur des Systems.

7.5.6 Erkenntnisse zur Stauauflösung

Bisher wurden Stausituationen durch „Verkehrsregelungen“ und die Beseitigung von sogenannten Deadlocks⁷⁶ bekämpft. Bis sich das System wieder im Normalzustand befand, konnten durchaus mehrere Stunden vergehen.

Blockiert man aber die Generierung von neuen Transportaufträgen für die überlasteten Bereiche des Transportsystems für eine kurze Zeit (10 bis 20 Minuten), sinkt die Verkehrsdichte drastisch und die maximale Leistungsfähigkeit des Systems steht wieder zur Verfügung. Diese liegt nach Erfahrungswerten etwa bei 15%iger Nutzung der verfügbaren Stauplätze des jeweiligen Bereichs. Sollte die Verkehrsdichte erneut auf einen kritischen Wert ansteigen, wird der Zufluß kurzzeitig wieder gestoppt. Im

⁷⁶ Carrier behindern sich gegenseitig, so daß kein Carrier mehr fahren kann

Allgemeinen verhält sich das System somit bereits nach 10 bis 20 Minuten wieder stabil.

7.5.7 Anfahrverhalten

Ähnliches ist zum Anfahrverhalten zu sagen. Um die Überlastung des Systems zu vermeiden, wurde bisher das Kreieren von Transportaufträgen für die einzelnen Produktionsbereiche über einen Zeitraum von ca. zwei Stunden schrittweise freigegeben. Erst nach weiteren drei bis fünf Stunden war dann wieder der normale Betriebszustand hergestellt.

Erlaubt man aber den Transport sofort für alle Bereiche, und stoppt wenn nötig die Generierung von Neuaufträgen in Abhängigkeit der Verkehrsdichte und der Anzahl der kreierte Transportaufträge, befindet sich das System bereits nach ca. 30 – 60 Minuten im Normalzustand.

8 Zusammenfassung

8.1 Ergebnisse für das Transportsystem von Infineon Dresden

Aufbauend auf den Grundlagen zur Auslegung von Toleranzsystemen⁷⁷, wurde für das Transportsystem von Infineon Dresden eine störungssystematikbestimmte Instandhaltungsmethode entwickelt. Diese wurde ergänzend zu den allgemein üblichen Instandhaltungsstrategien zur Reduktion der Störungshäufigkeit angewandt.

Im Detail wurden mit den einzelnen Maßnahmen folgende Ergebnisse erzielt:

Einführung der SSBIH in das Transportsystem von Infineon Dresden

- Drastische Senkung der Störungswahrscheinlichkeit
- Steigerung der Leistungsfähigkeit des Transportsystems
- Reduktion des Instandhaltungsaufwandes

Nutzung des Conveyorsystems als Carrierprüfgerät

- Einfaches Selektieren von „Problemcarriern“
- Realisierung einer sehr schnellen und objektiven Bewertung neuer Carrierlieferungen und –revisionen

Weiterentwicklung der Auswertungsmöglichkeiten für Störungsmeldungen

- Reduktion des Dokumentationsaufwandes
- Schaffung einer objektiven Bewertungsmöglichkeit für das Störungsverhalten des Systems

Verbesserung der Möglichkeiten der Qualitätskontrolle von Auf- und Umbauten

- Steigerung der Qualität der Kontrolle
- Einsparung von Arbeitszeit

Einführung neuer Kenngrößen und Begriffe

- Anzahl der Störungen / 24 h
- $S_{50\%}$ als Maß für die Störungssystematik
- Unterscheidung zwischen Instandsetzungs- und Entstörungsmaßnahmen

Schaffung einer vereinfachten Modelstruktur zur Abschätzung der Störungsanzahl

- Unterstützung bei der Qualifizierung neuer Carrierlieferungen
- Vorschlag zur Einführung geringfügig dickerer Driveringe

⁷⁷ vgl. [Trumbold/Beck/Richter, 1997: "Toleranzsysteme und Toleranzdesign"]

8.2 Allgemeine Ergebnisse

Mit der SSBIH wurde eine Instandhaltungsmethode entwickelt, die auf Systeme anwendbar ist, deren Störungsverhalten mit dem Model einer „Toleranzkette mit starker Variation der beteiligten Elemente beschrieben werden kann.“

Bei der Auslegung von Toleranzsystemen ist es üblich, mittels Faltung den Anteil nichtfunktionierender Paarungen zu berechnen. Die SSBIH nutzt in Umkehrung dieser Vorgehensweise die Möglichkeit, durch Entfaltung des Störungsverhaltens, Elemente mit ungenügenden Eigenschaften zu selektieren.

Die SSBIH stellt ein Äquivalent zur 100%igen Prozeßkontrolle dar. Im Gegensatz zur statistischen Prozeßkontrolle wird jedes Element mit störungsverursachenden Eigenschaften geprüft.

Somit ist diese Methode nicht nur in der Lage, die Qualität zu prüfen, sondern kann auch aktiv qualitätsverbessernde Maßnahmen steuern.

Ist eine weitere Verschiebung bzw. Einengung der Toleranzfelder im Fertigungsprozeß nicht oder nur schwer möglich, ergeben sich nun neue Möglichkeiten zur nachträglichen Feinauslese und somit zur Begrenzung der Eigenschaftsverteilungen.

Sowohl auf dem Gebiet der Schwachstellenanalyse, als auch in der Instandhaltungsliteratur wird Störungen im Vergleich zu Schädigungen und Ausfällen nur wenig Beachtung geschenkt. Dies führt oftmals dazu, daß in der Praxis versucht wird, universelle Instandhaltungsstrategien zur Störungsbekämpfung anzuwenden. Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Methode kann als Strategie zur Bekämpfung von Störungen auf vergleichbare Systeme übertragen werden. Beispiele für weitere Anwendungsmöglichkeiten wurden in Kapitel 6⁷⁸ aufgeführt.

Stördatenerfassungssysteme werden in der industriellen Praxis häufig lediglich zur Visualisierung des aktuellen Systemzustandes genutzt. In dieser Arbeit wird ein Stö-

⁷⁸ Kapitel 6: „Weitere Einsatzmöglichkeiten SSBIH“ (Seite 84)

rungsmechanismus erläutert, welcher dazu führt, daß aus der Historie der Daten das zukünftige Störungsverhalten abgeschätzt werden kann.

Es wird somit ein Beitrag dazu geleistet, in Zukunft unter vorausbestimmten Instandhaltungsmaßnahmen nicht nur verschleißmindernde Wartungen und die Beseitigung offensichtlicher Fehler zu verstehen, sondern auch die Instandsetzung verdeckter Störungs- und Ausfallursachen.

Die Qualitätsanforderungen an Toleranzsysteme, bei denen vollständige Austauschbarkeit nicht nur gefordert, sondern auch massiv getestet wird, werden oftmals unterschätzt. So hätte beispielsweise eine Störungswahrscheinlichkeit von 0,05 % pro Carrier / Conveyorpaarung im September 2000 immerhin 360 Störungen pro 24 h bedeutet.

Literaturverzeichnis

- [Bamberg / Baur, 1998] *Bamberg, G. ; Baur, F. : Statistik, 10 Auflage; Oldenbourgs Lehr- und Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, 1998*
- [Beckmann / Marx, 1994] *Beckmann, G.; Marx, D.: Instandhaltung von Anlagen, Dt. Verl. für Grundstoffindustrie, 1994*
- [Beichelt, 1974] *Beichelt, F.: Optimale Instandhaltung, Verlag Technik Berlin, 1974*
- [Beichelt / Franken, 1983] *Beichelt, F.; Peter Franken, P.: Zuverlässigkeit und Instandhaltung, Verlag Technik, 1983*
- [Beyer / Hackel / Pieper / Tiedge, 1995] *Beyer, O.; Hackel, H.; Pieper, V.; Tiedge, J.: Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematische Statistik, Teubner, 1995*
- [Bertsche / Lechner, 1990] *Bertsche, B.: Lechner, G.: Zuverlässigkeit im Maschinenbau, Ermittlung von Bauteil und System- Zuverlässigkeiten, Springer, 1990*
- [Biebinger, 1991] *Biebinger, H.: Zustandsabhängige Instandhaltung von CNC-Maschinen durch Selbstdiagnose, FBK produktionstechnische Berichte / Fertigungstechnik u. Betriebsorganisation, Universität Kaiserslautern, 1991*
- [Biolini, 1991] *Biolini, A.: Qualität und Zuverlässigkeit technischer Systeme, Springer, 1991*
- [Blohm, 1995] *Blohm, H.: Schwachstellenanalyse im Investitionsbereich und Investitionsrechnung, Vahlens Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, 1995*
- [Bosch, 1991] *Bosch, K.: Mathematik- Taschenbuch, Oldenbourg, 1991*
- [Breiing / Knosala, 1997] *Breiing, A; Knosala, R.: Bewerten technischer Systeme, Theoretische und methodische Grundlagen bewertungstechnischer Entscheidungshilfen, Springer 1997*
- [v.Collani, E. 1984] *v. Collani, E: Optimale Wareneingangskontrolle; Teubner, 1984*
- [Eichler, 1990] *Eichler, C.: Instandhaltungstechnik, Verl. Technik, 1990*
- [Hackstein, 1990] *Hackstein, R.: Effizienzsteigerung in der Instandhaltung, Erfolg-*

-
- reiche Maßnahmen zur Kostensenkung, Köln 1990
- [Jäger, 1989] *Jäger, G.:* Automatische Fehlerdiagnose zur systemabhängigen Instandhaltung am Beispiel von Dampfturbosätzen, Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 1989
- [Kossler, 1997] *Kossler, A.:* Fertigungsmeßtechnik und Qualitätssicherung, 6. Studienbrief: Methoden und Werkzeuge zur Qualitätssicherung, TU-Dresden, 1997
- [Köchel, 1982] *Köchel, P.:* Zuverlässigkeit technischer Systeme, Mathematische Methoden für den Anwender, Leipzig : Fachbuchverlag, 1982
- [Lachnitt, J. 1999] Lachnitt, J.: Infineon interner Verbesserungsvorschlag zur Reduktion des Instandhaltungsaufwandes bei Durchbrüchen von Lichtvorhängen, Infineon (intern), 1999
- [Männel, 1990] *Männel, W.:* Moderne Softwarelösungen für die Instandhaltung; TÜV Rheinland, 1990
- [Mexis, 1990] *Mexis, N. :* Handbuch Schwachstellenanalyse, TÜV Rheinland, 1990
- [Meyna, 1994] *Meyna, A.:* Zuverlässigkeitsbewertung zukunftsorientierter Technologien, Vieweg, 1994
- [Mexis / Hennig 1994] Handbuch Schwachstellenanalyse und –beseitigung; Nikolaus Mexis, Joachim Hennig, TÜV Rheinland, 1994
- [Pyke / Heinrich, 1999] *Pyke, A.; Heinrich, H.:* The Impact of Conveyor Transports on Factory Performance at Infineon's 200- mm Fab, Fabtech Edition 10, 07/1999
- [Reichardt / Reichardt, 1991] *Reichardt, H.; Reichardt, A.:* Statistische Methodenlehre; Wiesbaden: Gabler, 1991
- [Rinne / Mittag, 1991] *Rinne, H.; Mittag, H.-J.:* Statistische Methoden der Qualitätssicherung, Hanser, 1991
- [Rosemann, 1981] *Rosemann, H.:* Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit technischer Anlagen und Geräte, Springer, 1981
- [Schönwolf / Müller; 1998] *Schönwolf, R., Müller, M.:* Aproximation periodischer Signale durch Fourier- Reihenentwicklung, Kap. 2.6 Entwurf digitaler Filter, 1998

-
- (veröffentlicht unter:
http://monet.fh-friedberg.de/fachbereiche/e2/telekom-labor/zinke/fourier/dipl_htm/dpl.htm, abgerufen am 03.12.00)
- [Sonntag / Bergmann, Sonntag, K.- H.; Bermann, B.: Störungsmanagement und Diagnosekompetenz, Hochschulverl. an der ETH Zürich, 1997]
- [Stockhausen, 2000] v. Stockhausen, D.: Fertigungsmeßtechnik und Qualitätssicherung, 1. Studienbrief: Grundlagen des Austauschbaus, TU-Dresden, 2000
- [Storm, R. 1995] Storm, R.: Wahrscheinlichkeitsrechnung, Mathematische Statistik, Statistische Qualitätskontrolle, Fachbuchverlag, 1995
- [Sturm/ Förster, 1990] Sturm, A.; Förster, R.: Maschinen und Anlagendiagnostik für die zustandsbezogene Instandhaltung, Teubner, 1990
- [Trumbold / Beck / Richter, 1997] Trumbold, H.; Beck, Ch.; Richter G.: Toleranzsysteme und Toleranzdesign, Qualität im Austauschbau; Hanser, 1997
- [TÜV Rheinland, 1987] Praxiskonzepte EDV- gestützter Instandhaltung; TÜV Rheinland, 1987
- [TÜV Rheinland, 1990] Effizienzsteigerung in der Instandhaltung: Erfolgreiche Maßnahmen zur Kostensenkung; TÜV Rheinland, 1990
- [Uhlmann, W. 1988] Uhlmann, W.: Statistische Qualitätskontrolle, Teubner, 1988
- [Vogt, H. 1988] Vogt, H.: Methoden der Statistischen Qualitätskontrolle, Teubner, 1988
- [VDI, 1989] Technik und Methodik der Schadensanalyse; VDI Verlag GmbH Düsseldorf, 1989
- [Warnecke, 1992] Warnecke, H.-J.: Handbuch Instandhaltung Band1, TÜV Rheinland, 1992
- [Weise / Schröter, 1999] Schröter, R.; Weise, H.: Fertigungsmeßtechnik und Qualitätssicherung, 3. Studienbrief – Teil 2: Spezielle Meßaufgaben: Form, Lage und Oberfläche, TU- Dresden, 1999
- [Williams / Davies / Drake, 08/1994] Williams, J.-H.; Davies, A.; Drake, P.R.: Condition – based Maintenance and Machine Diagnostics, 08/1994
- [Wunsch, 1979] Wunsch, G.: Systemanalyse Band 2: Statistische Systemanalyse, Berlin: Verl. Technik, 1979

Zitierte Richtlinien und Normen

- [VDI 2083, Blatt 2] VDI 2083, Blatt 2 „Reinraumtechnik – Bau, Betrieb und Instandhaltung“, 02/1996
- [VDI 2898] VDI 2898 „DV Einsatz in der IH“, 10/1996
- [VDI 2895] VDI 2895 „Organisation der IH“, 12/1996
- [DIN 31051] DIN 31051 „Instandhaltung Begriffe und Maßnahmen“, 01/1985
- [DIN EN 13306] DIN EN 13306 „Begriffe der Instandhaltung“, 09/1998

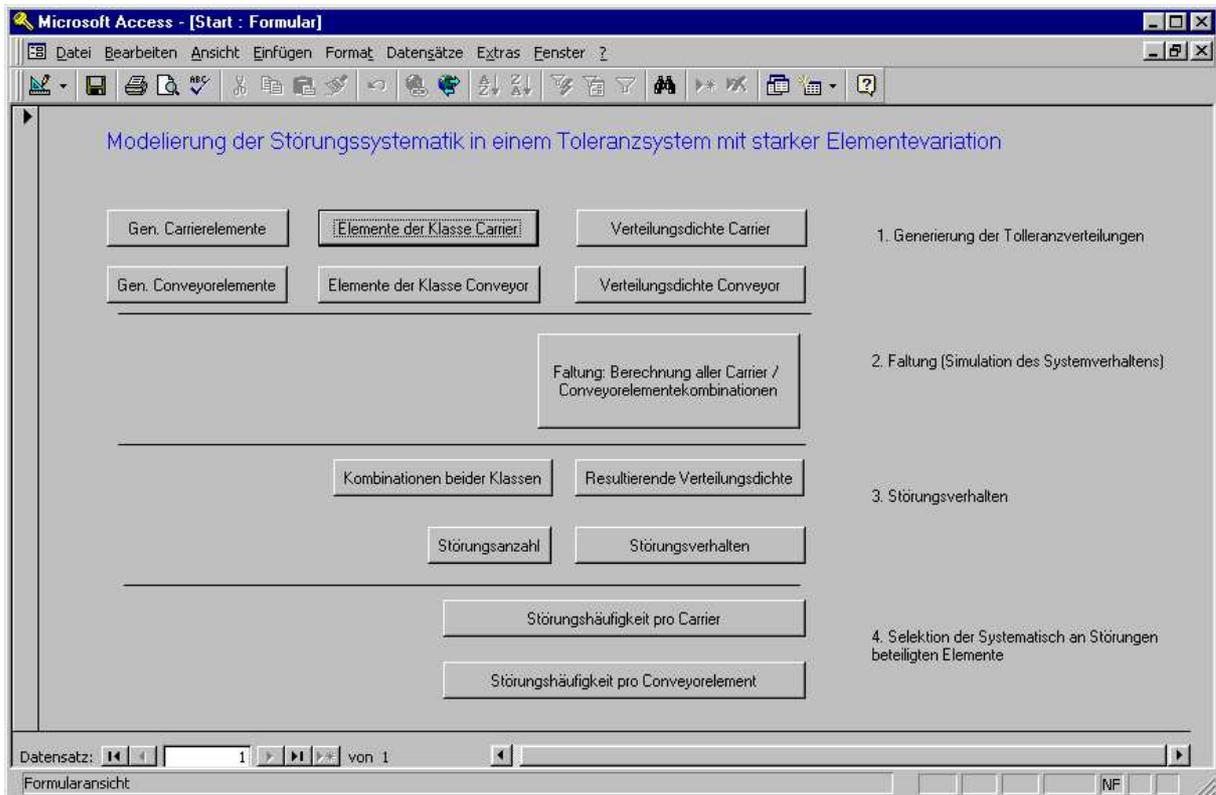
Anhang

Anhang 1: Verteilung der IH- bezogenen Arbeitsaufwände

	Ereignisse pro Tag	Equipments	Maßnahmen pro Jahr	„Mannstunden“ pro Einzelmaßnahme	Arbeitszeit pro Jahr
Stocker Wartung		75	150	35	5250
Lift Wartung		160	160	16	2560
Stockerinspektion		75	150	0,75	113
Instandsetzungen mit Beseitigung der Störungsursache	3		1095	0,5	548
Enstörungen (Conveyor + Lifte Stocker)	250 50		91250	0,17	15208
Sonstige Arbeiten und Standbyzeiten:					562
	Leiharbeiter	IH-Personal	Lift PM		
Verfügbare Arbeitszeit	4160	17520	2560		24240

- Stand November 1999

Anhang 2 : Programm "Verteilungsfunktion.mdb"



Visual Basic Quelltext:

Option Compare Database

Option Explicit

Function erzeuge_verteilung_E1()

Dim x As Double, xx As Double, x2 As Double, xx2 As Double, y As Double, id As Integer

Dim mü As Double

Dim sigma As Double

Dim fi As Double

Dim test As Double

Dim test2 As Double

Const pi = 3.141592

Dim PLCERR_NEW1 As Database, MTab As Recordset

Set PLCERR_NEW1 = DBaseEngine.Workspaces(0).Databases(0)

Set MTab = PLCERR_NEW1.OpenRecordset("Faltung E1")

mü = 0.12

sigma = 0.03

id = 1

For xx = 0 To 0.5 Step 0.02

x2 = (1 / (sigma * (Sqr(2 * pi))) * Exp(-(xx - mü) ^ 2 / ((2 * sigma) ^ 2)))

For x = 0 To 10 * x2

If x >= 1 Then

MTab.AddNew

MTab("xwert") = xx

MTab("ID") = id

MTab.Update

```

    id = id + 1
    End If
    Next x
Next xx

End Function
Function erzeuge_verteilung_E2()
Dim x As Double, xx As Double, x2 As Double, xx2 As Double, y As Double, id As Integer
Dim mü As Double
Dim sigma As Double

Dim fi As Double
Dim test As Double
Dim test2 As Double
Const pi = 3.141592
Dim PLCERR_NEW1 As Database, MTab As Recordset
Set PLCERR_NEW1 = DBEngine.Workspaces(0).Databases(0)
Set MTab = PLCERR_NEW1.OpenRecordset(„Faltung E2“)
mü = 0.09
sigma = 0.03
id = 1
    For xx = 0 To 0.5 Step 0.02

        x2 = (1 / (sigma * (Sqr(2 * pi)))) * Exp(-(xx – mü) ^ 2 / ((2 * sigma) ^ 2)))
        For x = 0 To 10 * x2
            If x >= 1 Then
                MTab.AddNew
                MTab(„xwert“) = xx
                MTab(„ID“) = id
                MTab.Update
                id = id + 1
            End If
            Next x
        Next xx

    End Function
Function erzeuge_verteilung_result_test()
Dim x As Double, xx As Double, x2 As Double, xx2 As Double, y As Double

Dim mü As Double
Dim sigma As Double

Dim fi As Double
Dim test As Double
Dim test2 As Double
Const pi = 3.141592
Dim PLCERR_NEW1 As Database, MTab As Recordset
Set PLCERR_NEW1 = DBEngine.Workspaces(0).Databases(0)
Set MTab = PLCERR_NEW1.OpenRecordset(„Faltung result_test“)
mü = 0.21
sigma = 0.0424
    For xx = 0 To 0.5 Step 0.02

        x2 = (1 / (sigma * (Sqr(2 * pi)))) * Exp(-(xx – mü) ^ 2 / ((2 * sigma) ^ 2)))
        For x = 0 To 50 * x2
            If x >= 1 Then
                MTab.AddNew
                MTab(„xwert“) = xx
            End If
        Next x
    Next xx
End Function

```

```
    MTab.Update
    End If
    Next x
    Next xx
```

```
End Function
```

```
Function Faltung1()
Dim ws As Workspace
Dim db As Database
Dim rs1 As Recordset
Dim rs2 As Recordset
Dim rs3 As Recordset

Dim rs1_Xwert
Dim rs2_Xwert As Double
Dim rs3_summe As Double
Dim rs1_id As Double
Dim rs2_id As Double
Dim rs3_störung As Double

Const tab1 = „Faltung E1“
Const tab2 = „Faltung E2“
Const tab3 = „Faltung A“

Set ws = DBEngine.Workspaces(0)
Set db = ws.Databases(0)
Set rs1 = db.OpenRecordset(tab1, dbOpenTable)
Set rs2 = db.OpenRecordset(tab2, dbOpenTable)
Set rs3 = db.OpenRecordset(tab3, dbOpenTable)
DoCmd.Hourglass True

rs1.MoveFirst

Do Until rs1.EOF
With rs1
    rs1_Xwert = !xwert
    rs1_id = !id
End With
    rs2.MoveFirst
    Do Until rs2.EOF
    With rs2
        rs2_Xwert = !xwert
        rs2_id = !id
    End With
        rs3_störung = 0
        rs3_summe = rs1_Xwert + rs2_Xwert
        If rs3_summe > 0.35 Then rs3_störung = 1
        With rs3
            .AddNew
            !x_e1 = rs1_Xwert
            !x_e2 = rs2_Xwert
            !summe = rs3_summe
            !störung = rs3_störung
            !ID_e1 = rs1_id
            !ID_e2 = rs2_id
            .Update
```

```
    End With  
    rs2.MoveNext  
  Loop  
rs1.MoveNext  
Loop  
Beep  
DoCmd.Hourglass False  
End Function
```

Anhang 3: Verteilungsfunktion $\Phi(x)$ der standardisierten Normalverteilung

x	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,500000	0,503989	0,507978	0,511966	0,515953	0,519938	0,523922	0,527903	0,531881	0,535856
0,1	0,539828	0,543795	0,547758	0,551717	0,555670	0,559618	0,563560	0,567495	0,571424	0,575345
0,2	0,579260	0,583166	0,587064	0,590957	0,594835	0,598706	0,602568	0,606420	0,610261	0,614092
0,3	0,617911	0,621720	0,625516	0,629390	0,633072	0,636831	0,640576	0,644309	0,648027	0,651732
0,4	0,655422	0,659097	0,662757	0,666402	0,670031	0,673645	0,677242	0,680822	0,684386	0,687933
0,5	0,691462	0,694974	0,698468	0,701944	0,705402	0,708840	0,712260	0,715661	0,719043	0,722405
0,6	0,725747	0,729069	0,732371	0,735653	0,738914	0,742154	0,745373	0,748571	0,751748	0,754903
0,7	0,758036	0,761148	0,764238	0,767305	0,770350	0,773373	0,776378	0,779350	0,782305	0,785236
0,8	0,788145	0,791030	0,793892	0,796731	0,799546	0,802338	0,805106	0,807850	0,810507	0,813267
0,9	0,815940	0,818589	0,821214	0,823814	0,826391	0,828944	0,831427	0,833977	0,836457	0,838913
1,0	0,841345	0,843752	0,846136	0,848495	0,850830	0,853141	0,855428	0,857690	0,859929	0,862143
1,1	0,864334	0,866500	0,868643	0,870762	0,872857	0,874928	0,876976	0,879000	0,881000	0,882977
1,2	0,884930	0,886861	0,888768	0,890651	0,892512	0,894350	0,896165	0,897958	0,898727	0,901475
1,3	0,903200	0,904902	0,906582	0,908241	0,909877	0,911492	0,913085	0,914656	0,916207	0,917736
1,4	0,919243	0,920730	0,922196	0,923642	0,925060	0,926471	0,927855	0,929219	0,930563	0,931889
1,5	0,933193	0,934478	0,935744	0,936992	0,938220	0,939429	0,940620	0,941792	0,942947	0,944083
1,6	0,945201	0,946301	0,947384	0,948449	0,949497	0,950528	0,951543	0,952540	0,953521	0,954486
1,7	0,955434	0,956367	0,957284	0,958185	0,959070	0,959941	0,960796	0,961636	0,962462	0,963273
1,8	0,964070	0,964852	0,965620	0,966375	0,967116	0,967843	0,968557	0,969258	0,969946	0,970621
1,9	0,971283	0,971933	0,972571	0,973197	0,973810	0,974412	0,975022	0,975581	0,976148	0,976704
2,0	0,977250	0,977784	0,978308	0,978822	0,979325	0,979818	0,980301	0,980774	0,981237	0,981691
2,1	0,982136	0,982571	0,982997	0,983414	0,983823	0,984222	0,984614	0,984997	0,985371	0,985738
2,2	0,986097	0,986447	0,986791	0,987126	0,987454	0,987776	0,988089	0,988396	0,988696	0,988989
2,3	0,989276	0,989556	0,989830	0,990097	0,990358	0,990613	0,990862	0,991106	0,991344	0,991576
2,4	0,991802	0,992024	0,992240	0,992451	0,992656	0,992857	0,993053	0,993244	0,993431	0,993613
2,5	0,993790	0,993963	0,994132	0,994297	0,994457	0,994614	0,994766	0,994915	0,995060	0,995201
2,6	0,995339	0,995473	0,995604	0,995731	0,995855	0,995975	0,996093	0,996207	0,996319	0,996427
2,7	0,996533	0,996636	0,996736	0,996833	0,996928	0,997027	0,997110	0,997197	0,997282	0,997365
2,8	0,997445	0,997523	0,997599	0,997673	0,997744	0,997814	0,997882	0,997948	0,998012	0,998074
2,9	0,998134	0,998193	0,998250	0,998305	0,998353	0,998411	0,998462	0,998511	0,998559	0,998605
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
3,0	0,998650	0,999032	0,999313	0,999517	0,999663	0,999767	0,999841	0,999892	0,999928	0,999952
4,0	0,99996 83243	0,99997 93394	0,99998 66522	0,99999 14587	0,99999 45865	0,99999 66017	0,99999 78872	0,99999 86989	0,99999 92065	0,9999995 207
5,0	0,99999 97133	0,99999 98301	0,99999 99003	0,99999 99421	0,99999 99667	0,99999 99810	0,99999 99893	0,99999 99940	0,99999 99967	0,9999999 982
6,0	0,99999 9999013	0,99999 9999469	0,99999 9999718	0,99999 9999851	0,99999 9999922	0,99999 9999960	0,99999 9999979	0,99999 9999990	0,99999 9999995	0,9999999 99997

Anhang 4: Carrierbeteiligung an Traktionsstörungen (Auszug)

Carrier ID	zuletzt removed	wie oft removed	Störungs- summe	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.
0000000000ADA7F3	27.09.00	2	120					8	58	54
0000000000AD857F	01.08.00	3	61	8	7		8	38		
00000000009D6558	02.08.00	1	42			1	7	33	1	
0000000000C0DD49	25.09.00	2	42				2	18	15	7
0000000001002001			36		10			26		
0000000000A9D2A5	25.09.00	2	35		1	8	5	8	7	6
0000000000A9D2A3	26.09.00	2	35		3	11	7		6	8
0000000000C0EF35	07.09.00	1	35					1	34	
0000000000AD8BC7	02.08.00	1	34		3	7	1	19	4	
0000000000AD87A9	11.06.00	1	33		29	4				
0000000000AD832A	26.09.00	3	33		2	8	5	3	3	12
0000000000C0E266	31.07.00	1	33				11	22		
0000000000AD6DD6			32		2	1	1	28		
0000000001003202	07.09.00	1	32						31	1
0000000000AD87CE	07.09.00	1	31					3	20	8
0000000000A9D159	25.09.00	2	31	10		2	6	1	8	4
0000000000C0E13B			29				28	1		
0000000000AD8551	31.07.00	1	28				1	26	1	
0000000000AD7FD4	31.07.00	2	27		3	22		2		
0000000000AD76C0	31.07.00	1	27			1	13	13		
0000000001003488			27					27		
0000000000AD78D3	24.06.00	3	26	6	1	9	10			
0000000000AD48D3	27.09.00	2	25		4			18	3	
0000000000C802D4	31.07.00	1	25	3		1		21		
0000000000AD9FAE	28.09.00	2	23	1	3			6	6	7
00000000005A65D3	31.07.00	1	22					22		
0000000000A9D034			22			22				
0000000000AD89D0	01.09.00	1	21				4		11	6
0000000000AD7EB5			20	12	8					
0000000000AD94FB	28.09.00	2	20		1	3	5	4	7	
0000000000C0DED7	31.07.00	1	20			3	5	12		
0000000000595CFB	01.09.00	1	19					6	12	1

- Sortiert nach der Störungssumme;
- Zeitraum: März bis September 2000 Begrenzung der Leistungsfähigkeit durch Traktionsstörungen

Anhang 5: Mittlerer Carrierstrom pro Segment

15.09.2000:

Lfd. Nr.	PLC	Track	Segment	Transporte	Carrierstrom pro Segment pro 10 min	Störungsanzahl / 24 h	Anzahl der Carrier, die an diesem Tag 10 min später angekommen sind	Zeitverlust der pro Tag verspäteten Carrier [Carrier * h]
1	200	2223	P200C015	867	6.02	4	24.08	4.01
2	200	2223	P200C015	867	6.02	3	18.06	3.01
3	100	4180	P100C034	1719	11.94	1	11.94	1.99
4	100	10212	P100C087	508	3.53	3	10.58	1.76
5	200	3581	P200C027	1508	10.47	1	10.47	1.75
6	100	10021	P100C083	1384	9.61	1	9.61	1.60
7	100	12223	P100C104	1114	7.74	1	7.74	1.29
8	100	12316	P100C104	1114	7.74	1	7.74	1.29
9	209	10360	P209C005	1074	7.46	1	7.46	1.24
10	100	10286	P100C090	992	6.89	1	6.89	1.15
11	200	1360	P200C006	925	6.42	1	6.42	1.07
12	200	1322	P200C006	925	6.42	1	6.42	1.07
13	200	4441	P200C037	893	6.20	1	6.20	1.03
14	200	4420	P200C037	893	6.20	1	6.20	1.03
15	110	12620	P110C002	292	2.03	3	6.08	1.01
16	106	1290	P106C001	815	5.66	1	5.66	0.94
17	109	20840	P109C006	204	1.42	2	2.83	0.47
18	103	15200	P103C005	227	1.58	1	1.58	0.26
19	110	12520	P110C003	207	1.44	1	1.44	0.24
20	104	23640	P104C009	139	0.97	1	0.97	0.16
21	705	14200	P705C024	134	0.93	1	0.93	0.16
22	102	10540			7.78	1	7.78	1.30
23	102	9540			7.78	2	15.56	2.59
24	102	9500			7.78	1	7.78	1.30
25	103	8080			7.78	1	7.78	1.30
26	102	7160			7.78	2	15.56	2.59
27	103	3080			7.78	1	7.78	1.30
28	105	7120			7.78	2	15.56	2.59
29	102	9540			7.78	2	15.56	2.59
30	102	10540			7.78	1	7.78	1.30
31	102	9500			7.78	3	23.33	3.89
32	101	3600			7.78	2	15.56	2.59
33	100	3300			7.78	4	31.11	5.19
34	100	3480			7.78	1	7.78	1.30
35	100	3660			7.78	1	7.78	1.30
36	100	3680			7.78	1	7.78	1.30
37	100	8045			7.78	1	7.78	1.30
38	100	8045			7.78	1	7.78	1.30
39	100	8055			7.78	1	7.78	1.30
40	100	8060			7.78	1	7.78	1.30
41	100	8070			7.78	1	7.78	1.30
42	100	8075			7.78	1	7.78	1.30
43	102	8400			7.78	1	7.78	1.30
44	101	1541			7.78	1	7.78	1.30
45	102	9280			7.78	4	31.11	5.19
46	101	3600			7.78	2	15.56	2.59
47	101	3600			7.78	2	15.56	2.59
48	101	6500			7.78	1	7.78	1.30
49	101	6600			7.78	1	7.78	1.30
50	101	6600			7.78	1	7.78	1.30
51	101	6600			7.78	1	7.78	1.30
52	107	4120			7.78	5	38.89	6.48
53	102	8000			7.78	1	7.78	1.30
54	105	11080			7.78	1	7.78	1.30
55	102	8440			7.78	1	7.78	1.30
56	101	1469			7.78	3	23.33	3.89

30.09.2000:

Lfd. Nr.	PLC	Track	Segment	Transporte	Carrierstrom pro Segment pro 10 min	Störungsanzahl / 24 h	Anzahl der Carrier, die an diesem Tag 10 min später angekommen sind	Zeitverlust der pro Tag verspäteten Carrier [Carrier * h]
1	207	1280	P207C003	1716	11.92	42	500.50	83.42
2	207	1240	P207C001	1716	11.92	30	357.50	59.58
3	100	10212	P100C087	623	4.33	6	25.96	4.33
4	110	11280	P110C014	905	6.28	4	25.14	4.19
5	109	2301	P109C004	967	6.72	3	20.15	3.36
6	200	1203	P200C006	1303	9.05	2	18.10	3.02
7	100	5163	P100C047	725	5.03	3	15.10	2.52
8	209	8480	P209C011	1903	13.22	1	13.22	2.20
9	207	1080	P207C001	1716	11.92	1	11.92	1.99
10	207	1120	P207C001	1716	11.92	1	11.92	1.99
11	100	4200	P100C038	1602	11.13	1	11.13	1.85
12	200	1203	P200C006	1303	9.05	1	9.05	1.51
13	100	10322	P100C090	1275	8.85	1	8.85	1.48
14	109	2161	P109C003	1165	8.09	1	8.09	1.35
15	200	2223	P200C015	1031	7.16	1	7.16	1.19
16	200	3362	P200C030	929	6.45	1	6.45	1.08
17	201	18040	P201C003	420	2.92	2	5.83	0.97
18	105	4200	P105C004	732	5.08	1	5.08	0.85
19	200	4360	P200C038	709	4.92	1	4.92	0.82
20	100	11423	P100C099	692	4.81	1	4.81	0.80
21	103	6200	P103C003	674	4.68	1	4.68	0.78
22	109	20840	P109C006	301	2.09	2	4.18	0.70
23	200	2140	P200C016	600	4.17	1	4.17	0.69
24	205	2160	P205C003	501	3.48	1	3.48	0.58
25	110	12620	P110C002	315	2.19	1	2.19	0.36
26	110	12660	P110C002	315	2.19	1	2.19	0.36
27	200	1375	P200C002	191	1.33	1	1.33	0.22
28	201	19160	P201C009	52	0.36	1	0.36	0.06
29	106	6000			6.47	1	6.47	1.08
30	105	21080			6.47	1	6.47	1.08
31	104	15080			6.47	1	6.47	1.08
32	105	16080			6.47	1	6.47	1.08
33	105	21120			6.47	1	6.47	1.08
34	100	8055			6.47	1	6.47	1.08
35	100	6292			6.47	1	6.47	1.08
36	106	20000			6.47	1	6.47	1.08
37	101	11600			6.47	1	6.47	1.08
38	101	11600			6.47	1	6.47	1.08
39	105	4040			6.47	1	6.47	1.08
40	101	11600			6.47	1	6.47	1.08
41	106	20500			6.47	1	6.47	1.08
42	106	20500			6.47	1	6.47	1.08
43	106	5480			6.47	1	6.47	1.08
44	104	6580			6.47	1	6.47	1.08
45	703	5841			6.47	2	12.94	2.16
46	102	3160			6.47	9	58.25	9.71
47	702	6221			6.47	6	38.83	6.47
48	701	11940			6.47	5	32.36	5.39
49	108	9120			6.47	5	32.36	5.39
50	207	3500			6.47	5	32.36	5.39
51	100	3660			6.47	4	25.89	4.31
52	105	14080			6.47	4	25.89	4.31
53	105	7120			6.47	3	19.42	3.24
54	100	3300			6.47	3	19.42	3.24
55	200	6292			6.47	2	12.94	2.16
56	209	18280			6.47	3	19.42	3.24
57	101	1109			6.47	2	12.94	2.16
58	703	5021			6.47	2	12.94	2.16
59	105	18080			6.47	2	12.94	2.16

60	101	11600			6.47	1	6.47	1.08
61	205	5280			6.47	2	12.94	2.16
62	102	3200			6.47	2	12.94	2.16
63	102	9400			6.47	2	12.94	2.16
64	103	9080			6.47	2	12.94	2.16
65	210	2520			6.47	2	12.94	2.16
66	702	8083			6.47	2	12.94	2.16
67	109	17160			6.47	3	19.42	3.24
68	201	9080			6.47	1	6.47	1.08
69	101	11600			6.47	1	6.47	1.08
70	207	3580			6.47	1	6.47	1.08
71	207	6580			6.47	1	6.47	1.08
72	207	17080			6.47	1	6.47	1.08
73	210	2560			6.47	1	6.47	1.08
74	701	9353			6.47	1	6.47	1.08
75	701	9362			6.47	1	6.47	1.08
76	702	8083			6.47	1	6.47	1.08
77	703	2121			6.47	1	6.47	1.08
78	109	17040			6.47	1	6.47	1.08
79	205	7320			6.47	1	6.47	1.08
80	200	3223			6.47	1	6.47	1.08
81	205	7240			6.47	1	6.47	1.08
82	200	9283			6.47	1	6.47	1.08
83	200	5263			6.47	1	6.47	1.08
84	200	5283			6.47	1	6.47	1.08
85	200	5441			6.47	1	6.47	1.08
86	200	6263			6.47	1	6.47	1.08
87	200	6263			6.47	1	6.47	1.08
88	200	8380			6.47	1	6.47	1.08
89	200	9203			6.47	1	6.47	1.08
90	200	9222			6.47	1	6.47	1.08
91	107	14080			6.47	1	6.47	1.08
92	100	2000			6.47	1	6.47	1.08
93	102	9500			6.47	1	6.47	1.08
94	101	2022			6.47	1	6.47	1.08
95	101	9600			6.47	1	6.47	1.08
96	101	9600			6.47	1	6.47	1.08
97	101	9600			6.47	1	6.47	1.08
98	102	7380			6.47	1	6.47	1.08
99	101	11600			6.47	1	6.47	1.08
100	200	3223			6.47	1	6.47	1.08
101	103	11120			6.47	1	6.47	1.08
102	102	3080			6.47	1	6.47	1.08
103	102	4040			6.47	1	6.47	1.08
104	200	9223			6.47	1	6.47	1.08
105	102	9500			6.47	1	6.47	1.08
106	101	1329			6.47	1	6.47	1.08
107	103	9000			6.47	1	6.47	1.08
108	103	10080			6.47	1	6.47	1.08
109	101	11500			6.47	1	6.47	1.08
110	207	1200			6.47	1	6.47	1.08
111	201	12500			6.47	1	6.47	1.08
112	201	12500			6.47	1	6.47	1.08
113	201	12500			6.47	1	6.47	1.08
114	201	13080			6.47	1	6.47	1.08
115	201	21080			6.47	1	6.47	1.08
116	204	3280			6.47	1	6.47	1.08
117	107	2120			6.47	1	6.47	1.08
			Mittlerer Carrierstrom aus den Zeilen 1 bis 28		6.47			
					Summe	252	1993.11	332.19

Leider standen nicht für alle Trackadressen Seamentzuordnungen zur Verfügung.
Daher wurde ab Zeile 29 mit dem mittleren Carrierstrom gerechnet.

Anhang 6: Inhalt der beigefügten CD

- **„Verteilungsfunktion.mdb“**
Tool zur Veranschaulichung der Berechnungen zum
Abschnitt 3: „Theoretische Grundlagen“
- **„Störungsentwicklung.xls“**
Störungsentwicklung von November 1999 bis September 2000

Die folgenden Programme wurden speziell an die Systemumgebung von Infineon Dresden angepaßt. Die Funktionen zum Datenimport und Verknüpfungen zu anderen Datenbanken können „Offline“ leider nicht genutzt werden.⁷⁹

- **„Conveyorstörungen.mdb“**
siehe Kapitel 4.12: „Entwicklung der Traktionsprobleme“
- **„Carriertraktionsprobleme.mdb“**
siehe Kapitel 4.13: „Carrierbezogene Maßnahmen“
beinhaltet ca. 20 000 Störungsmeldungen mit Carrierzuordnung
- **„Stockerstörungen.mdb“**
siehe Kapitel 4.14: „Stockerstörungen“

⁷⁹Diese 3 Programme stellen Weiterentwicklungen der ursprünglichen Tools „Task_Abort_Comm_Lost.mdb“ und „PLCERR_NEW1.mdb“ dar. Mit diesen war es bereits möglich, Daten aus Logfiles in Access Tabellen zu importieren und entsprechende Abfragen darauf aufzubauen.

