



Zustandsorientierte Instandhaltung und Teleservice für Schüttgut- Materialflusssysteme

Der Fakultät Maschinenbau der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktoringenieurs

(Dr.-Ing.)

am 29.11.01 vorgelegte Dissertation

von Dipl.-Ing. Kaverynskyy Sergiy Alexandrovitsh

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meines Graduiertenstudiums am Institut für Förder- und Baumaschinentechnik, Stahlbau, Logistik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.

Besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Friedrich Krause, dem Leiter des Lehrstuhls für Fördertechnik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. Durch regelmäßige Konsultationen wurden Vorhaben und Ideen der Arbeit unterstützt und Arbeitsfortschritte diskutiert. Damit sorgte er für das erfolgreiche Gelingen der Arbeit.

Weiterhin danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Georg Marquardt, dem Leiter des Institutes für Fördertechnik, Baumaschinen und Logistik der Technischen Universität Dresden, für die Anregungen und wertvollen Hinweise sowie ständige kritische Durchsicht des Arbeitsinhaltes.

Bei Herrn Dr.-Ing. Günter Koch, dem geschäftsführenden Leiter der SIGMA Innovationsgesellschaft mbH Magdeburg, möchte ich mich für die enge Betreuung der Arbeit und Hilfe bei der Schwerpunktsetzung herzlich bedanken. Den Kollegen der SIGMA GmbH, wo die Arbeit entstand, danke ich für das freundliche Arbeitsklima und die kameradschaftliche Unterstützung.

Dank an meine Familie für die stete Unterstützung aus der Heimat, Geduld und Glauben.

Magdeburg, im November 2001

Sergiy Kaverynskyy

Bibliographische Beschreibung und Kurzreferat

Zum Thema

Zustandsorientierte Instandhaltung und Teleservice für Schüttgut-Materialflusssysteme

Dipl.-Ing. Kaverynskyy Sergiy

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Fakultät für Maschinenbau, Institut für Förder- und Baumaschinentechnik, Stahlbau, Logistik

148 Seiten; 52 Bilder; 24 Tabellen

Die Einführung des Teleservice im Anlagenbau ermöglicht die effektive Gestaltung des lebenszyklusorientierten Anlagenmanagements. Mit der Strategie des Teleservice kann der wachsenden Bedeutung des Services oder technischen Kundendienstes als Schnittstelle zum Kunden entsprochen werden. Für den Hersteller und Betreiber von förder-technischen Geräten und Anlagen zeichnen sich eine Reihe von Vorteilen ab, die erheblich die Verfügbarkeit und Leistungsfähigkeit steigern und somit ein Kostensenkungspotential beim Betreiber darstellen.

In der Dissertation werden die Grundlagen für die Einführung der Teleservice-Strategie für Förderanlagen in einem Schüttgut-Materialflusssystem eines Maschinenbauunternehmens erarbeitet. Folgende Bestandteile und Aspekte des Teleservice wie Kommunikationstechnik, Technische Diagnostik mit dem Schwerpunkt der zustandsorientierten Instandhaltung, Möglichkeiten der Iteration zur Anlagenkonstruktion, organisatorische Aspekte der neuen Teleservice-Strategie werden in der Arbeit ausführlich behandelt, um sowohl die entstandenen Wissenslücken infolge des rasanten Entwicklungsprozesses neuer Technologien zu schließen, als auch die wachsende Zahl der interdisziplinären Ansätze zu unterstützen. Mit Hilfe der betrachteten Arbeitsfelder werden die Schwerpunkte für ein Dienstleistungssystem zur Begleitung des Anlagenbetriebes und umfangreichen Anlagenmanagements gesetzt, das den After-Sales-Service eines Anlagenbauunternehmens auf ein völlig neues Niveau stellt.

Die Arbeit leistet einen wissenschaftlichen und ingenieurtechnischen Beitrag für die Anwendung und Weiterentwicklung der vielversprechenden Methoden einer zustandsorientierten Instandhaltung an Förderanlagen unterstützt durch Teleservice-Strategien, die nicht nur die Wettbewerbsfähigkeit der Produkte und Dienstleistungen gewährleisten, sondern auch die Effektivität von Betriebsprozessen erhöhen und Kosten der Anlagenführung und Instandhaltung senken.

Bibliographical description and abstract

To the topic

Condition based maintenance and teleservice of systems for materials handling equipment

cand. ing. Kaverynskyy Sergiy

Otto-von-Guericke-University Magdeburg

Faculty of Mechanical Engineering

148 pages; 52 figures; 24 tables

Abstract:

Teleservice is one of the most recent achievements in German mechanical engineering and plant construction. Small and medium-size companies in particular are given a chance enabling them to offer world-wide servicing. The introduction of the Teleservice in the equipment construction enables the effective organization of the life-cycle-oriented system management. Teleservice means providing assistance in commissioning, rectifying trouble incidents, maintaining and repairing machines and plants with the assistance of telecommunication.

Teleservice is based on the reading and transmitting of machinery and process data. For a manufacturer and an operator of conveying technical devices and systems appear a set of advantages, which substantially increase the availability and efficiency and represent thus a reduction of a potential operator's costs.

The bases for the introduction of the strategy of the Teleservice for the conveyor plants in a system of a mechanical engineering enterprise are compiled in the thesis. Following constituents and aspects of the Teleservice such as communications, technical diagnostics with the emphasis of the condition based maintenance, possibilities of the iteration for the system construction, organizational aspects of the new Teleservice strategy are considered in details in the work.

Regarded parts of the thesis set the emphasis for a service system to the company of the system operation and extensive system management. The work makes a scientific and engineering contribution to application and advancement of a condition based maintenance methods at the conveyor plants with support of the Teleservice strategies, which ensure not only competitive ability of the products and services, but also the effectiveness of operational processes gain and the system guidance and maintenance costs decrease.

Библиографическое описание и краткий реферат

Тема: Телесервис транспортных устройств по обработке сыпучих материалов и их техническое обслуживание на основе полученных данных о фактическом состоянии оборудования

Работа выполнена в университете Отто-фон-Гёрике Магдебург, кафедра подъёмно-транспортной техники, стальных конструкций и логистики

148 страниц, 52 рисунка, 24 таблицы

Краткий реферат:

Использование возможностей телесервиса рассматривается в настоящее время как взаимовыгодное решение в отношениях между растущими требованиями потребителей в сервисном обслуживании приобретённой техники и требующими, в связи с этим, постоянного совершенствования задачами служб сервиса предприятия-изготовителя. И для потребителя, который приобрёл машины и механизмы, оснащённые системами телесервиса, и для производителя, изготовившего эти устройства, очевиден целый ряд положительных факторов, которые подтверждают и гарантируют повышение эксплуатационной надёжности такой техники. Некоторые из них: обеспечение и контроль требуемой производительности оборудования; наличие оперативной информации о фактическом рабочем состоянии механизмов; обеспечение возможности своевременного предупредительного ремонта оборудования и предупреждение аварийной ситуации и т.д.

Перечисленные факторы обеспечивают рациональное использование оборудования и снижение эксплуатационных затрат по его обслуживанию. В диссертации проведен анализ и разработаны основы по внедрению стратегии телесервиса для транспортных устройств по обработке сыпучих материалов на примере оборудования и механизмов, обслуживающих угольный склад тепловой электростанции. Такие основополагающие вопросы, как техническое диагностирование оборудования с основной задачей определения его фактического состояния на основе оперативной информации, применение современных средств коммуникации для обеспечения удалённого наблюдения и контроля, создание и использование баз данных по сохранению получаемого информационного потока для дальнейшего использования, проведение анализа конструкции механизмов и расчёт отдельных узлов на основании сохранённых и предварительно обработанных данных, организационные, правовые и экономические аспекты стратегии телесервиса рассматриваются детально, с целью дальнейшего развития новых технологий и обосновывают возможность практического применения знаний по рассматриваемому вопросу из сопредельных областей науки и техники.

С учётом рассмотрения указанных выше вопросов, в диссертации параллельно в полном объёме разработана концепция информационной системы по сопровождению и контролю процесса эксплуатации оборудования в рамках комплексного менеджмента технических устройств, главной целью которой является качественно новое, как для производителя, так и для потребителя, послепродажное обслуживание оборудования.

Работа вносит, таким образом, научный и инженерно-технический вклад в развитие новых технологий по применению перспективной стратегии телесервиса и, на этой основе, возможность обслуживания оборудования с учётом его фактического состояния, что обеспечивает не только конкурентоспособность оборудования, но и повышает эффективность технологического процесса и создаёт экономически благоприятные условия его эксплуатации для потребителя.

3.2	Technische Diagnostik des Betriebes der Elemente des Materialflussesystems	46
3.2.1	Gurttörderer	48
3.2.1.1	<i>Technische Merkmale</i>	48
3.2.1.2	<i>Parameter, Betriebsdaten und Sensorik zur Gewährleistung der Funktion</i>	49
3.2.1.3	<i>Technische Diagnose des Betriebes</i>	51
3.2.2	Absetzer	64
3.2.2.1	<i>Technische Merkmale</i>	64
3.2.2.2	<i>Parameter, Betriebsdaten und Sensorik zur Gewährleistung der Funktion</i>	65
3.2.2.3	<i>Technische Diagnose des Betriebes</i>	67
3.2.3	Kohle-, Misch- und Stapelplatz	68
3.2.3.1	<i>Technische Merkmale</i>	68
3.2.3.2	<i>Parameter zur Gewährleistung der Funktion und des Betriebes</i>	68
3.2.4	Portalkratzer	69
3.2.4.1	<i>Technische Merkmale</i>	69
3.2.4.2	<i>Parameter, Betriebsdaten und Sensorik zur Gewährleistung der Funktion</i>	70
3.2.4.3	<i>Technische Diagnose des Betriebes</i>	71
3.3	Überwachung der Anlagenführung während des Betriebes	72
4.	RÜCKSCHLUSS AUF DIE AUSLEGUNG DER KRATZERKETTENANTRIEBE	74
4.1	Auslegung nach der Herstellermethode	75
4.1.1	Auslegungsalgorithmus	75
4.1.2	Analyse der Auslegungsmethode	76
4.2	Auslegung aufgrund der spezifischen Gutkennwerte	81
4.2.1	Widerstände	81
4.2.2	Analyse der Methode	86
4.3	Überarbeitete Tagebautechnik-Methode für die Auslegung der Kettenantriebe	86
4.3.1	Spezifische Grabwiderstände	87
4.3.2	Methode der Bestimmung der Motorleistung für den Turasantrieb	90
4.3.2.1	<i>Kettenantriebsleistung</i>	90
4.3.2.2	<i>Bewegungswiderstände</i>	92
4.4	Kratzerkette	95
4.4.1	Dimensionierungskriterien	95
4.4.2	Verschleißlebensdauer	95
4.4.3	Ablagekriterien und Überwachung	96

5. ORGANISATORISCHE ASPEKTE DER TELESERVICE-TECHNOLOGIE	97
5.1 Erstellung eines Anlagendiagnosekonzeptes für ein Maschinenbau- unternehmen	97
5.1.1 Vorbereitung der Anlagen-Diagnosefähigkeit	98
5.1.2 Datenverwaltung und Hardwareprofil	100
5.1.3 Teleservice-Leistungsarten	104
5.2 Systemingenieur als neues Berufsfeld	106
5.2.1 Datenbankgestützte Arbeitweise	109
5.2.1.1 Datenbank-Prinzip	109
5.2.1.2 Projekt-Datenbank zur langfristigen Speicherung der Betriebsparameter	112
5.2.2 Rückschlüsse auf die Produktentwicklung	113
5.2.3 Systemingenieur als Partner für den Kunden/ Betreiber	116
5.3 Wirtschaftliche Aspekte	120
5.4 Soziale Fragestellungen	121
5.5 Rechtliche Aspekte	123
6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	126
LITERATURVERZEICHNIS	130
VERWENDETE FORMELZEICHEN	142
Lateinische Buchstaben	142
Griechische Buchstaben	145
SCHRIFTLICHE ERKLÄRUNG	146
ANHANG	147
ANHANG 1: INSTANDHALTUNG UND TELESERVICE	
ANHANG 2: TECHNISCHE DIAGNOSTIK DES SCHÜTTGUT-MATERIALFLUSSSYSTEMS	
ANHANG 3: TELESERVICE-PROJEKT	
ANHANG 4: AUSLEGUNGsalgorithmen des Kratzerkettenantriebes	

Abkürzungsverzeichnis

ADN	Advanced Digital Network
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BCU	Bearing Control Unit
BDSG	Bundesdatenschutzgesetz
BROWSER	Client-Programm zur Auswahl und Navigation vernetzter Information (z.B. NETSCAPE, MS INTERNET EXPLORER usw.)
BSW	Bandschleifenwagen
CAD	Computer Aided Design
CD	Committee Draft (Stadium der ISO-Norm-Entwicklung)
CSCW	Computer Supported Cooperative Work
ELHY	Elektrohydraulisches Hubgerät
ETHERNET	Bussystem
DIN	Deutsches Institut für Normung
DFÜ	Datenfernübertragung
DLL	Dynamic Link Library
DSL	Digital Subscriber Line
EDM	Engineering Data Management
E-MAIL	Electronic Mail
ET	Elektrotechnik
FAM	Förderanlagen und Baumaschinen GmbH Magdeburg
FTP	File Transfer Protocol
GF	Gurtförderer
GSM	Global System for Mobil Communication
HTML	Hyper Text Markup Language
HTTP	Hyper Text Transfer Protocol
IH	Instandhaltung
IPS	Instandhaltungs-Planungs-Software (Systeme)

ISDN	Integrated Services Digital Network
ISO	International Standard Organisation
IuKDG	Information und Kommunikationsdienstgesetz
JDBC	Java Database Connectivity
KMS	Kohle-, Misch- und Stapelplatz
LAN	Local Area Networks
LAUBAG	Lausitzer Braunkohle Aktiengesellschaft
MM	Multi-Media
MDT	Mean Down Time – mittlere Störungsdauer
MS	Microsoft
MTBF	Mean Time Between Failure – mittlere Betriebsdauer zwischen zwei Ausfällen
PC	Personal Computer
PGP	Pretty Good Privacy
SI	Systemingenieur
SPM	Shock Pulse Method
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
TC	Technical Committee (ISO)
TCP	Transmission Control Protocol
TPM	Total Productive Maintenance
VB	Visual Basic
VDI	Vereine Deutsche Ingenieure
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.
VoIP	Voice over IP = Internet-Telefonie
VRML	Virtual Reality Markup Language
WAN	Wide Area Network
WWW	World Wide Web, Multimedialfähige Computer-Benutzer-Oberfläche
xDSL	Digital Subscriber Line
XML	Extensible Markup Language
ZEDAS	Zustandserfassung-, Diagnose- und Archivierungssystem

Verzeichnis der Bilder und Tabellen

Bild	Benennung	Seite
Bild 1-1	Einordnung der Arbeit in die Ingenieurwissenschaft	3
Bild 1-2	Instandhaltungsstrategien	5
Bild 1-3	Teleservice	8
Bild 1-4	Arbeitsfelder vom Teleservice	10
Bild 1-5	Transformationsprozesse am Kohle-, Misch- und Lagerplatz	12
Bild 1-6	Lagerplatz-Schüttgutgeräte	13
Bild 1-7	Lagerplatzgeräte Absetzer (links), Portalkratzer (rechts)	14
Bild 2-1	Informationsfluss einer komplexen Anlagenüberwachung	19
Bild 2-2	Unterschiedliche Wege zur Aufstellung und Nutzung des Diagnosemodells [MELT00]	33
Bild 2-3	Sensorausstattungsvergleich	38
Bild 2-4	Richtige Maßnahme zum richtigen Zeitpunkt	39
Bild 3-1	Bekohlungs-system Kraftwerk Heyden	43
Bild 3-2	Einlagerung nach dem Strata-Verfahren	45
Bild 3-3	Absetzer 04 EAD 02	47
Bild 3-4	Absetzer 04 EAD 02 am Aktivlager II	64
Bild 3-5	Portalkratzer 04 EAF 02 am Aktivlager II	70
Bild 4-1	Geometrien im Abbauprozess	77
Bild 4-2	Spannbildung im Abbauprozess	78
Bild 4-3	Geometrische Beziehungen am vereinfachten Bruchmodell	83
Bild 4-4	Verschriebewiderstand F_{Vn}	85
Bild 4-5	Verschiebe- und Grabwiderstand an den Schaufeln	85
Bild 4-6	Übersicht über die Widerstände an der Kratzerkette	93
Bild 5-1	Schematische Darstellung des Informationsflusses	100
Bild 5-2	Kommunikationsschema der weltweiten Fernüberwachung	102
Bild 5-3	Leistungs-Portfolio, in Anlehnung an [FISCH01]	106
Bild 5-4	Struktur des Datenbanksystems	111

Bild 5-5	Teleservice im Zusammenspiel der Meinungen	121
Bild 6-1	Schaufelradbagger	127
Anhang		
Bild I-1	Eignung von Messgrößen zur Fehlerfrüherkennung	
Bild I-2	Überwachungs- und Diagnosephilosophie nach ISO/CD 13379	
Bild II-1	Bandwaage-Messwerte im Halden-Abbauprozess (in t/h, 01.03.01 im Zeitraum von 14:00 - 14:27)	
Bild II-2	Visualisierung der Positionsänderung des Absetzers, 24-h-Darstellung	
Bild II-3	Lagerplatzgeometrie, schematische Darstellung	
Bild II-4	Änderung des Absetzer-Auslegerhub- und -Schwenkwinkels während der Aufschüttung (Wochendarstellung)	
Bild II-5	Stromaufnahme eines Bandmotors des Absetzers	
Bild II-6	Visualisierung der Positionsänderung des Kratzers, 48-h-Darstellung	
Bild II-7	Änderung des Kratzerausleger-Hubwinkels (Wochendarstellung)	
Bild II-8	Visualisierung der Kettenantriebsstromwerte	
Bild II-9	Schwingungserregung durch Überrollen von Ermüdungsschaden [MELT01]	
Bild II-10	Diagnosemerkmale zur monovariaten Bewertung des Wälzlagerzustandes [MELT01]	
Bild II-11	Havarieanalyse, Zusammenstellung der Parameter, Klärung der Situation	
Bild II-12	Havarieanalyse, Zusammenstellung der Parameter, Minutenbereich	
Bild II-13	Verfolgung der Messverläufe zum Havariezeitpunkt	
Bild II-14	Störungsursache – Start im falschen Betriebsmodus	
Bild II-15	Störungssuche, Tag vorher	
Bild III-1	Datenkommunikationsschema Kraftwerk-Magdeburg	
Bild III-2	Datenbank, Hauptmenü	
Bild III-3	Datenbank, Wochenbericht Portalkratzer	
Bild III-4	Datenbank, Wochenbericht Absetzer	
Bild IV-1	Projektierte Portal-, Halbportal- und Seitenkratzer für Urea	
Bild IV-2	Projektierte Portal-, Halbportal- und Seitenkratzer für Kohle	
Bild IV-3	Projektierte Portal-, Halbportal- und Seitenkratzer für Gips	

Tabelle	Benennung	Seite
Tabelle 3-1	Schwingstärke gemäß ISO 2372/VDI 2056	52
Tabelle 3-2	Tabelle zur Aufstellung der Merkmale	52
Tabelle 3-3	Abhängigkeit der Lebensdauer von der Schwingbeschleunigung der Gehäuseschwingungen von Wälzlagern	58
Tabelle 4-1	Zusammenstellung der Parameter zur Ermittlung von Massenstrom	79
Tabelle 4-2	Leerlaufleistungswertevergleich	80
Tabelle 4-3	Ausgewählte Kennwerte der Salze	82
Tabelle 4-4	Prozentuelle Verhältnisse der Kratzeranlagen für Hoch- und Tiefschnitt	87
Tabelle 4-5	Spezifische Widerstände im Abbauprozess am Kratzer 04 EAF 02	90
Tabelle 4-6	Spezifischer Widerstand k_A für einzelne Bodenkategorien [PAJER79]	90
Anhang		
Tabelle I-1	Anbieter und Anwender von multimedialen Fernservice-Diensten in der Produktionstechnik	
Tabelle I-2	Teleservice-Aktivitäten	
Tabelle I-3	Liste der Firmen, die Datenerfassung-, Visualisierungs-, Auswertungssoftware und Maschinendiagnose anbieten	
Tabelle I-4	Firmen und Softwareprodukte zum Instandhaltungsprozess	
Tabelle I-5	Einteilung von Sensoren nach der Messgröße und dem Messprinzip	
Tabelle I-6	Datenübertragungsmethodenvergleich	
Tabelle II-1	Absetzer 04 EAD 02, technische Daten	
Tabelle II-2	Portalkratzer 04 EAF 02, technische Daten	
Tabelle II-3	Kohle-, Misch- und Stapelplatz, technische Daten	
Tabelle II-4	Störungen Gurtbandförderer und Hinweise zur Störungsbeseitigung	
Tabelle II-5	Entwurf einer Richtlinie für die Überwachung des Gurtfördererbetriebes	
Tabelle II-6	Entwurf einer Richtlinie für die Überwachung des Kratzerbetriebes	
Tabelle II-7	Entwurf einer Richtlinie für die Überwachung des Absetzerbetriebes	

- Tabelle IV-1** Auslegung der Leistung für Kettenantriebe bei Abbaukratzern, Hersteller-Methode
- Tabelle IV-2** Auslegung der Kratzerkettenantriebe aufgrund der Schüttgutkennwerte nach D. Schirmer [Schi78]
- Tabelle IV-3** Überarbeitete Tagebautechnik-Methode der Auslegung der Kettenantriebe
- Tabelle IV-4** Stromaufnahme des Kettenmotors in Abhängigkeit vom Auslegerwinkel

1 Einführung

In der Fördertechnik werden zunehmend komplexe, hochautomatisierte Maschinen, Anlagen und Systeme eingesetzt, an die höchste Anforderungen in Bezug auf Verfügbarkeit und Betriebssicherheit gestellt werden. Bei dem Betrieb von Anlagen und während ihrer späteren Instandhaltung treten oft Probleme auf, bei deren Lösung das Bedien- und Instandhaltungspersonal unterstützt werden muss. Im Regelfall wird hierbei auf vorhandene Erfahrungen bzw. auf die Anlagendokumentation zurückgegriffen oder die Hotline zum Anlagenhersteller genutzt.

Im Zeitalter von Internet und globalen Kommunikationsstrukturen muss man darüber nachdenken, in welcher Form derartige Informationen und Leistungen im Betrieb und für die Instandhaltung wesentlich effektiver bereitgestellt werden können.

Mit der Bezeichnung „Teleservice“ wird eine Methode gekennzeichnet, bei der, unter Ausnutzung modernster Kommunikations-Technologien sowohl eine zustandsorientierte Instandhaltung als auch eine virtuelle Präsenz des Herstellers beim Kunden bzw. an der Anlage möglich wird. Für die Anlagenhersteller ist es eine Möglichkeit, durch neue Dienstleistungen ihre Wettbewerbsfähigkeit deutlich zu erhöhen, weitere Geschäftsfelder zu erschließen bzw. den vorhandenen Kundendienst zu erweitern. Um alle oben genannte Schwerpunkte zu verwirklichen, werden neben dem Einsatz von Servicepersonal vor Ort zunehmend die modernen Tele-(Fern)Servicetechnologien angeboten, die für die erfolgreiche Anlagenutzung und Instandhaltung die erforderlichen Informationen bereitstellen.

1.1 Zielsetzung und Inhalt der Arbeit

Ausgehend von den Methoden der heutigen Instandhaltungsstrategien und dem Bestreben der Hersteller und Betreiber der Technik, mit neuen Servicekonzepten, höhere qualitative und quantitative Anforderungen im Anlagenbetrieb zu gewährleisten, wird im Rahmen der Arbeit die Problematik der Überwachung und Diagnose am Beispiel einer Bekohlungsanlage untersucht. Der Schwerpunkt der Arbeit wurde auf die Nutzungsaspekte der Überwachungsergebnisse gelegt, um eine sichere Basis zur Weiternutzung der gesamten Teleservice-Strategie zu schaffen und die Grundlagen einer zustandsorientierten Instandhaltung zu realisieren. Es werden folgende Arbeitsrichtungen für die Untersuchungen festgelegt und in die entsprechenden Kapitel gegliedert.

Das **Kapitel 1** "Einführung" gibt eine Vorstellung über die gesamte Problematik und zeichnet die Arbeitsfelder auf, mit denen sich zur Zeit moderne Unternehmen (sowohl Hersteller als auch Betreiber der Technik) im Bereich Service, Technische Diagnostik und Instandhaltung beschäftigen, um die Effektivität von Betriebsprozessen zu erhöhen und Kosten zu senken. Der Ausgangspunkt der Arbeit (Teleservice-Pilotprojekt in einem Maschinenbauunternehmen) wird dargestellt und geplante Zielrichtungen und notwendige Untersuchungen werden genannt.

Für die Schlussfolgerungen zum Zustand der Anlagen müssen die Grundlagen der sogenannten technischen Diagnostik angewendet werden, die im **Kapitel 2** "Technische Diagnostik als Grundlage der zustandsorientierten Instandhaltung" dargestellt sind. Als Bestandteile der technischen Diagnostik sind Überwachungs- und Diagnosemaßnahmen zu nennen. Schwerpunkte wie Definition der Überwachungsparameter (Diagnosesignale) und Informationsverwaltung, Untersuchung der Methoden der Datenerfassung, der Datenhandhabung und des Datentransfers zum Anlagenbauer/ Instandhalter, Bildung von Diagnosemerkmalen und Diagnosemodellen, Auswahl der Diagnosemethoden, Treffen der Diagnoseentscheidungen, gesamte Organisation des Diagnoseprozesses sowie Einsatzgrenzen und Risiken der zustandsorientierten Instandhaltung werden hier ausführlich behandelt.

Zum Kernstück der Arbeit gehört das **Kapitel 3** "Das Schüttgut-Materialflusssystem als Objekt der Überwachung und Diagnose". In diesem Kapitel wird der ausgewählte Abschnitt des Bekohlungs-Schüttgut-Materialflusssystem durch die Objektanalyse im einzelnen untersucht. An den Geräten ist fast keine dem Diagnose- und Überwachungszweck dienende Ausrüstung vorhanden. Deshalb stand die Aufgabe, eine möglichst komplette Konfiguration der Überwachung für die ausgewählten Anlagen zu schaffen und eine Auswahl sowohl der Bauteile als auch der Diagnosesignale zu begründen, um die Grundlage der Zustandsüberwachung sowie Schadenserkenkung an Schüttgutanlagen auszuarbeiten sowie die Kenntnisse zum Bauteilzustand während des Betriebes zu vervollständigen. In diesem Abschnitt wird auch der Aspekt der Erfassung der Ereignisse an den Anlagen und Überwachung der Anlagenführung während des Betriebes mit dem Zweck der Verfolgung der Anlagenhistorie betrachtet.

Im Rahmen der Anwendung der gemessenen Parameter und Betriebsdaten für Rückschlüsse auf die Projektierung und Konstruktion der wesentlichen Hauptbaugruppen der hergestellten Anlagen wird der Portalkratzer analysiert. Eine der wichtigsten Baugruppen eines Portalkratzers ist das Kettenwerk. An dieser Stelle bestehen immer noch gewisse Unsicherheiten bei der Auslegung, die durch die Nutzung der realen Betriebsdaten ausgeschlossen werden können. Deshalb werden im **4. Kapitel** "Rückschluss auf die Auslegung der Kratzerkettenantriebe" neue Dimensionierungsalgorithmen für Kratzerkettenantriebe erarbeitet. Das Ziel in diesem Abschnitt ist die Erstellung eines neuen Auslegungsverfahrens der Kettenantriebe, um die Unsicherheit bei der

Dimensionierung zu minimieren und eine genauere Annäherung an die tatsächlichen Leistungserfordernisse zu ermöglichen.

Die technische Diagnose ist aber keine rein technische Sache. Wirtschaftliche, soziale und rechtliche Aspekte des Teleservice schließen die gesamte Problematik ab, zeigen die nichttechnischen Facetten des Teleservice auf und werden im **Kapitel 5** "Organisatorische Aspekte der Teleservice-Strategie" zusammengefasst. Der Abschnitt für die Erstellung eines Anlagendiagnosekonzeptes eines Maschinenbauunternehmens in diesem Kapitel zeigt die Bestandteile der Problematik und Lösungswege auf, die bei Einführung der Teleservice-Strategie angewendet und berücksichtigt werden müssen.

Die Basis der organisatorischen Strukturen zur erfolgreichen Einführung der Teleservice-Systeme stellt ein neu erarbeitetes Berufsbild eines "Systemingenieurs" mit den unternehmensspezifischen Aufgabenstellungen dar, der im Unternehmen im Kundendienst platziert wird und auch als der Partner für den Kunden/Betreiber der hergestellten Anlagen zur Verfügung steht. Die technische Basis des Service-Systems, mit dem der Systemingenieur arbeitet, ist eine leistungsfähige Teleservice-Datenbank. Deshalb werden in der Arbeit eine Analyse der bestehenden Datenbanksysteme, das Herausarbeiten und die Organisation der Datenbankstrukturen, die für die Datenverwaltung beim Hersteller/Instandhalter für die Instandhaltungsplanung, für Rückschlüsse auf die projektierten Anlagen durch die Speicherung der Anlagenhistorie und entsprechende Unterstützung der Mitarbeiter im Störfall durch die Bereitstellung der Anlagenlebensakten aus der Vergangenheit ermöglichen, durchgeführt. Datenbanken solcher Art stellen die computergestützte Grundlage der zustandsorientierten Instandhaltung dar.

Eine zusammenfassende Darstellung der durchgeführten Arbeiten und notwendige weitere Untersuchungen auf dem Gebiet der Fernüberwachung von Anlagen sowie der Problematik der Weiterentwicklung der Service-Strategien werden im **Kapitel 6** "Zusammenfassung und Ausblick" skizziert. Hinsichtlich der Analyse von Lagerplatzgeräten mit ihren Baugruppen und Bauteilen sind im weiteren eine Verallgemeinerung und Übertragung der Ergebnisse auf andere fördertechnischen Geräte möglich.



Bild 1-1: Einordnung der Arbeit in die Ingenieurwissenschaft (in Anlehnung an [BRA98])

Die Arbeit umfasst interdisziplinäre Probleme der Fördertechnik, des Instandhaltungsmanagements und der Kommunikationstechnik und bringt die technischen Dienstleistungen auf ein höheres Niveau. Im **Bild 1-1** ist die Einordnung der Arbeit in die Ingenieurwissenschaften schematisch dargestellt.

Die Arbeit leistet einen wissenschaftlichen und ingenieurtechnischen Beitrag für die Anwendung und Weiterentwicklung der vielversprechenden Methoden einer zustandsorientierten Instandhaltung an Förderanlagen mit Hilfe von Teleservice-Strategien, die nicht nur die Wettbewerbsfähigkeit der Produkte und Dienstleistungen, sondern auch die Effektivität von Betriebsprozessen erhöhen und Kosten der Anlagenführung und Instandhaltung senken. Inhalt und erzielte Ergebnisse der Arbeit können in einem beliebigen Fernüberwachungs- und Diagnosesystem für unterschiedliche Förderanlagen integriert werden.

1.2 Stand der Technik

Die Globalisierung stellt hohe Anforderungen an die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen, ihre Produkte und Dienstleistungen. Der Maschinen- und Anlagenbau ist der größte Industriezweig der Wirtschaft. Deutschland liegt mit einem Anteil von über 20 % am gesamten Weltexport des Maschinenbaus auf Platz 1 [RÜT97]. Auch bei Patent-Anmeldungen steht der deutsche Maschinenbau weltweit an der Spitze. Mit über 20.000 Patentanmeldungen und bis zu 5.000 neuen Produkten jährlich ist der deutsche Maschinen- und Anlagenbau der innovativste der Welt [EPO],[EPO99].

1.2.1 Zustandsorientierte Instandhaltung

Unter Instandhaltung werden nach DIN 31051 [DIN31051] die Maßnahmen zur Bewahrung und Wiederherstellung des Sollzustandes sowie zur Feststellung und Beurteilung des Istzustandes von technischen Mitteln eines Systems verstanden, die im einzelnen aus den Maßnahmen der Wartung, Inspektion und Instandsetzung bestehen.

Die Instandhaltungskosten sind Kostengrößen, die durch Wissenschaft und Technik, neue Organisationsformen und innovative Investitionen positiv zu beeinflussen sind. Aus diesen Ansätzen gibt es gegenwärtig in allen Wirtschaftszweigen große Anstrengungen, die Methode der Instandhaltung und damit die Instandhaltungsstrategie (**Bild 1-2**) zu verändern. Je nach Anlagen- und Anwendungsart bzw. Ausbildungsstand des Personals können alternativ zu einer zentralen Instandhaltung die Ergreifung folgender Maßnahmen vorgeschlagen werden [MENE97]:

- Kompetente und kontinuierliche Unterstützung durch die Steuerungs- und Maschinenhersteller bei der Fehlersuche, dem Umrüsten und Konfigurieren sowie dem Projektieren der Anlagen.

- Gänzliche Fremdvergabe der Instandhaltung durch die Betreiber. Einige Hersteller bieten seit kurzer Zeit ihren Kunden komplette Betreibermodelle an. Hierbei übernimmt der Anlagenhersteller neben der Produktion auch die Instandhaltung, der Kunde zahlt lediglich für das fertige Produkt [WIEL97].
- Übernahme von Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten an Produktionsanlagen durch den Bediener (Total Productive Maintenance/TPM).
- Zunehmende Zustandsorientierung bei Instandhaltungsmaßnahmen.

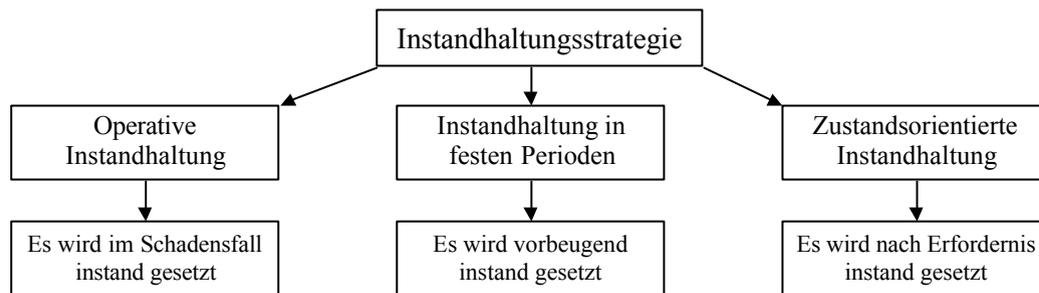


Bild 1-2: Instandhaltungsstrategien [STF90]

Weltweit vollzieht sich bei der Instandhaltung von Maschinen und Anlagen ein Übergang zur zustandsorientierten Instandhaltung. Für die sichere Betriebsführung und effektive Instandhaltung von Maschinen, Anlagen und Systemen ist die Kenntnis des jeweiligen technischen Zustandes während der Nutzungsdauer erforderlich. Damit wird das Ziel verfolgt, die Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit von Anlagen und Sicherheit des Betriebsprozesses zu erhöhen und durch möglichst vollständige Ausschöpfung der Abnutzungsreserven die Lebensdauer zu verlängern sowie die Effektivität zu verbessern. Das Konzept einer zustandsorientierten Instandhaltung erfordert eine leistungsfähige technische Diagnostik anhand der vielseitigen Informationen mit zuverlässigen Diagnosemethoden und anwenderfreundlichen Diagnosegeräten [STF90].

Die zustandsorientierte Instandhaltung ist eine der Formen der Instandhaltung, deren Effektivität mit dem konkreten Wissen zum Anlagenzustand deutlich wächst. Grundsätzlich ist vor der Einführung der zustandsorientierten Instandhaltung zu klären, welche physikalischen Zustände der Produktionsanlagen können und müssen mit welchen Mitteln wann und wie erfasst werden. Aus der Erfassung folgt die Bewertung. Sie setzt eine Vergleichsmöglichkeit voraus, die es gestattet, möglichst genau den Zeitpunkt des Ausfalls des Bauteils vorauszusehen. Seine Grenzlebensdauer soll maximal ausgenutzt werden, ohne dass das Bauteil mit einer Störung ausfällt.

In der Praxis ist die Bewertung heute immer noch der schwierigste Teil. Der langjährig erfahrene Werkmeister hat mit seinen Sinnesorganen schon immer subjektiv den Istzustand von Bauteilen erfasst und auf Grund seiner Erfahrungen bewertet. Die Erfassung mit Messgeräten ist unabhängig von den Erfahrungen

des Überprüfenden, hat einen wesentlich größeren Informationsgehalt und geht über die Möglichkeiten der Sinnesorgane des Menschen hinaus. Aus diesem Grund liegt im Bereich der Instandhaltung für Anlagenbetreiber ein erhebliches Einsparungspotential.

Im Laufe der Recherche im Bereich des Maschinenbaus wurde festgestellt, dass die technische Diagnostik und Überwachung im Rahmen einer zustandsorientierten Instandhaltung bereits in vielen Gebieten der Industrie eingeführt worden sind. Werkzeugmaschinenbau, Walzwerktechnik [PRITZ00], Schiffsmaschinenbau [FATHI92], Getriebetechnik [FLEN],[ASUG], SPS-Steuerungs-Diagnose und Überwachung [AUTEM],[PRIN], Kraftwerke [FAMOS], Betriebsüberwachung in Tagebauen [LAUB00] sind einige ausgewählte Beispiele der Umsetzung von Maschinen- und Anlagendiagnostik. Zur Zeit werden zahlreiche Untersuchungen durchgeführt, das Prinzip der zustandsorientierten Instandhaltung im Rahmen der neuen "Teleservice-Strategien" zu realisieren und die Anwendung der vielversprechenden Ansätze zu verbreiten.

1.2.2 Teleservice

Entwicklung und Nutzung modernster "Teleservice-Strategien" hat für den deutschen Maschinen- und Anlagenbau große strategische Bedeutung. Strategische Bedeutung deshalb, weil leistungsfähige Maschinen, Anlagen und Problemlösungen aus Deutschland auf den internationalen Märkten (Fernost, Nord- und Südamerika) unvermindert nachgefragt werden, und weil die Anforderungen der Abnehmer an eine weitreichende Nachbetreuung durch den Lieferanten permanent ansteigen. Ohne einen leistungsfähigen Service kann kein Hersteller in diesen Ländern dauerhaft erfolgreich sein. Auch der ehemalige VDMA-Präsident Berthold Leibinger sieht Chancen: *"Da die Differenzierung über das Produkt alleine immer schwerer wird, lässt sich über produktbegleitende Dienstleistungen der Nutzen für die Kunden erhöhen und damit eine längerfristige Kundenbindung erzielen"* [COM98].

Was versteht man eigentlich unter diesen Schlagwörtern? Teleservice wird zur Zeit als Sammelbezeichnung für Telekommunikationsdienste betrachtet, mit deren Hilfe eine vielseitige Kundenunterstützung gewährleistet werden kann (**Bild 1-3**). Hinsichtlich der industriellen Anwendung versteht man unter Teleservice eine telekommunikative Unterstützung bei Inbetriebnahme, Installation, Störfallbeseitigung, Wartung und Reparatur von Maschinen und Anlagen durch die automatische Erfassung von Maschinen- und Prozessdaten sowie der Analyse des Anlagenzustandes unter Nutzung von modernen Kommunikationsmedien [HUHA97]. Hilfreich für die Leistungsbeschreibung kann auch die Orientierung an der DIN 31051 "Instandhaltung, Begriffe und Maßnahmen" sein [DIN31051]. Übersetzt auf den Teleservice bedeutet dies die Untergliederung in Ferndiagnose (Inspektion), Wartungsmaßnahmen mittels Teleservice und Instandsetzungsmaßnahmen [VDMA].

Beim Teleservice (Telediagnose-Service) ist in der Technik grundsätzlich zwischen folgenden Verfahrensweisen zu unterscheiden:

- a) Mobiler Teleservice findet statt, wenn dem Diagnosespezialisten Daten per Fax, E-Mail, Datenträger oder per Datenfernübertragung (z.B. ein kurzzeitiger Zugriff per Telefon) übermittelt werden. Der Spezialist steht deshalb weltweit zur Verfügung. Reisekosten entstehen nicht.
- b) Klassischer Teleservice setzt sich aus permanent ablaufenden Monitoringfunktionen und intermittierend stattfindenden Diagnosefunktionen zusammen. Einfache Diagnose- und Monitoringfunktionen laufen automatisiert ab und die Ergebnisse werden dem Diagnosespezialisten regelmäßig per E-Mail zugestellt. Er prüft in seiner normalen Arbeitszeit die Ist-Zustände und nimmt nur noch bei Notwendigkeit direkten Kontakt zur Anlage auf. Diagnoseresultate werden nachbereitet, gegebenenfalls neue Diagnosealgorithmen erstellt und in vorhandene Diagnosesysteme per Datenfernübertragung implementiert. Bei Nutzung der Internet-Technologie ergeben sich im Rahmen der abzuschließenden Wartungsverträge nur geringe monatliche Servicepauschalen.
- c) Modernes Servicemanagement als optimale Form des Telediagnose-Services kann stattfinden, wenn eindeutige Diagnoseerfahrungen vorliegen und alle wichtigen Diagnosefunktionen automatisch ablaufen. Der Diagnosespezialist wird nur noch bei relevanten Abweichungen informiert und führt vor dem Festlegen von Instandhaltungsmaßnahmen Plausibilitätstest durch. Moderne Instandhaltungskonzepte bis hin zum Full-Service wie auch Verfügbarkeitsgarantien bekommen so eine Basis. Diagnosekosten fallen nicht mehr separat an. Sie sind im Servicepaket des modernen Serviceunternehmens enthalten.

Die Unternehmen betrachten zur Zeit Teleservice als wettbewerbsstrategisches Element einer kundenorientierten Neugestaltung der Servicefunktionen. Die Anlagenbetreiber und Kunden berücksichtigen zunehmend bei ihren Investitionsentscheidungen für die verschiedenen technischen Produkte nicht nur ihre Funktionalität, sondern auch die Herstellerunterstützung bei Betrieb, Wartung und Instandhaltung [MENE97].

Eine große Bedeutung hat auch die vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie im Rahmen des im Mai 1995 gestarteten Programms "Produktion 2000" geförderte und vom VDMA begleitete Untersuchung zu Potentialen des Teleservice gezeigt [IAI99]:

- Die Kombination von innovativen Produkten mit intelligenten Dienstleistungen kann neue Arbeitsplätze schaffen.
- Teleservice verbessert deutlich die Kundenanbindung.
- Neue Marktregionen können erschlossen werden, da knappes Servicepersonal vor Ort oft nicht mehr erforderlich ist. Dies ist vor allem für kleine und mittlere Maschinenanbieter wichtig.

- Kosten werden sowohl beim Hersteller vor allem während der Inbetriebnahme und in der Garanzzeit als auch beim Kunden durch bessere Verfügbarkeit der Anlagen gesenkt.
- Über den Teleservice bleibt der Hersteller mit der Anlage verbunden und kann jederzeit Optimierungs- und Verbesserungsleistungen erbringen.

Das Programm hat in den ersten zwei Jahren einen echten Innovationsschub ausgelöst: rund 100 Verbundprojekte mit 650 Einzelvorhaben konnten gestartet werden [RÜT97].

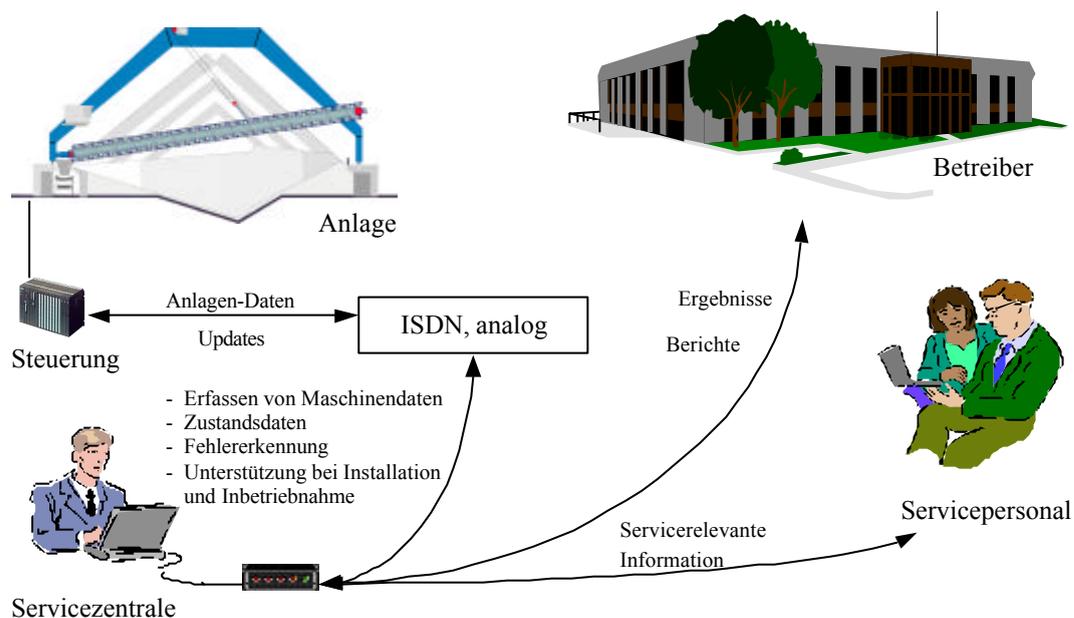


Bild 1-3: Teleservice

Aus einer aktuellen Analyse des VDMA über den internationalen Stand geht hervor, dass der deutsche Maschinen- und Anlagenbau sowohl in der Entwicklung als auch in der Anwendung von Ferndiagnose und Fernüberwachung gegenüber seinen Wettbewerbern einen deutlichen Vorsprung hält [VDMA]. In den USA und in Japan ist Teleservice ebenfalls bekannt, doch ist der Einsatz bisher begrenzt.

Die Nutzer/Anwender von Teleservice haben vielfach Schwierigkeiten, die Möglichkeiten und das Nutzenspotential neuer informations- und kommunikationstechnischer Entwicklungen abzuschätzen. Vielen Herstellerunternehmen sind die Potentiale von Teleservice zur Zeit aber nicht bewusst bzw. fehlen ihnen:

- Aussagen zur Diagnose- bzw. Teleservicefähigkeit der eigenen Produkte,
- Wirtschaftlichkeitsberechnungen zur Kosten-/Nutzenanalyse von Teleservice aus Unternehmens- und Kundensicht mit Methoden zur Definition und Bewertung von Serviceleistungen im Zusammenhang mit Teleservice,

- Konzepte zur Integration von Teleservice-daten in das betriebliche Informationssystem usw. [IFF-FHG].

Deshalb versuchen einige Unternehmen, in Form von Arbeitskreisen diesen Weg gemeinsam zu gehen. Beispiele hierfür sind das VDMA-Anwenderforum Teleservice [VDMA], das Technologieforum Teleservice [MSERV], Arbeitskreis Ferndiagnose des Fachbereiches Elektrotechnik der Fachhochschule Gelsenkirchen [FHG1-4]. Übersicht zu den weiteren Projekten ([TESMA], [TELEC] usw.) und Initiativen ist in der Tabelle I-2 im Anhang I zu finden.

Die Aktivitäten lassen sich in folgende Kategorien einteilen (**Bild 1-4**):

1. Datenkommunikation: Es geht darum, vorhandene oder kommende Kommunikationstechniken und Datenverarbeitungsmethoden nutzbar zu machen [RICH99].
2. Diagnostik (technische Diagnostik): Für eine erfolgreiche Diagnose ist entsprechende Sensorik und Messdatenauswertung notwendig. Eine umfassende Diagnose soll z.B. nicht nur defekte Sensoren oder zu hohe Temperaturen in einem Anlagenteil, sondern auch bestimmte Verschleißzustände während des Betriebes erkennen. Technische Diagnostik anhand der gemessenen Daten stellt die Grundlage zur Durchführung einer zustandsorientierten Instandhaltung dar.
3. Organisation: Es geht um die organisatorischen Maßnahmen bei der Einführung von Teleservice. Dabei geht es nicht nur um die interne Umstrukturierung z.B. des Kundendienstes, sondern auch um die Gestaltung der Zusammenarbeit zwischen dem Betreiber und Hersteller der Technik während der Gewährleistungsphase und/oder mit einem Serviceunternehmen nach dem Ablauf der Gewährleistungszeit durch einen Servicevertrag. Zur Zeit gibt es keine Standard-Teleservice-Verträge. Eine Arbeitsgruppe im VDMA ist dabei, ein Grundkonzept für die Erstellung eines solchen Vertrages zu erarbeiten. Ein Leitfaden für den Teleservice-Vertrag erschien im Jahre 2001 [VDMA2].
4. Betriebswirtschaft: In dieser Kategorie wird untersucht, wer welchen Nutzen aus Teleservice zieht.
5. Soziale und rechtliche Verhältnisse.

Es muss erwähnt werden, dass im Mittelpunkt von Forschungsprojekten an erster Stelle steht, allgemeingültige Lösungen für die technische Umsetzung zu entwickeln und/oder zu erproben. Aspekte der Service-Organisation und Qualifizierung werden zwar zum Teil behandelt, bislang fehlt es jedoch an Forschungsprojekten, die Fragen der Organisationsentwicklung und Service-Technikerqualifizierung unter durch Teleservice verändernden Vorzeichen zu betrachten. Genau an dieser Stelle gibt es noch Forschungsbedarf.

Die Realisierung eines allgemeinen Teleservice-Konzeptes unter der Berücksichtigung der oben genannten Aspekte kann am Beispiel der vom Fraunhofer

Institut Magdeburg angebotenen Dienstleistungen dargestellt werden [IFF2]:

- Festlegung der Diagnoseziele (aus technischer und betriebswirtschaftlicher Sicht),
- Auswahl der erforderlichen Gerätetechnik und Software zur Messwertaufnahme und Messdatenverarbeitung (Datenselektion und -klassifikation),
- Auswahl von Strategie und Methoden für die Diagnose (Algorithmen: z.B. Fehlerbaum-Prinzip; Verarbeitung der aufbereiteten Messwerte; Nutzung anderer Informationen, beispielsweise über interaktive Eingabe),
- Auswahl der Diagnosemanagement-Software, ggf. mit eigener Auswerteeintelligenz (Expertensystemtechnik),
- Auswahl des zu untersuchenden Objektes im Diagnosesystem, Anpassung der Bedienoberfläche, Schaffung von Schnittstellen,
- Durchführung der Diagnose, meist gekoppelt mit der Funktion Anlagenüberwachung als Grundlage des Diagnoseprozesses,
- Kosten-Nutzen-Analyse.

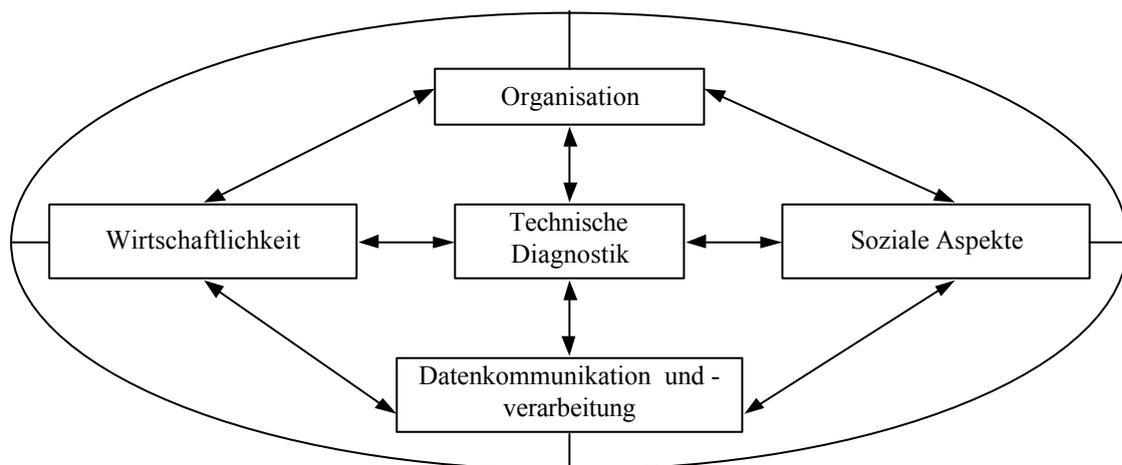


Bild 1-4: Teleservice-Arbeitsfelder

Trotz der Anzahl verschiedener Unternehmen und Firmen, bei denen Teleservice-Leistungen angeboten werden, ist es zur Zeit ziemlich schwierig zu definieren, ob diese Leistungen wirklich dem Teleservice-Prinzip wegen der Modernität der Technologie entsprechen (siehe auch Abschnitt *Soziale Fragestellungen* im Kapitel 5).

Aber Teleservice lässt sich nur dann verwirklichen, wenn neben geeigneter Kommunikations- und Messtechnik und qualifiziertem Service-Personal auch umfangreiche Diagnoseerfahrungen zur Verfügung stehen. D.h. im Hintergrund einer Teleservice-Anwendung steht immer die sogenannte technische Diagnostik. Die Basis ist das Lesen und Übertragen von Maschinen- und Prozessdaten, ihre

Speicherung und Auswertung mit dem Ziel, eine Aussage über den technischen Zustand der Anlage zu bekommen.

Effiziente Lösungen hängen noch stark vom Know-how der einzelnen Anbieterunternehmen ab, obwohl die wesentlichen technischen Grundelemente für Teleservice, z.B. Sensoren, Leitrechner oder Modems schon vorhanden sind. Hersteller greifen deshalb derzeit noch in hohem Maß auf Eigenentwicklungen zurück. Teleservice setzt auch im wesentlichen neue Maschinen voraus. Eine Nachrüstung ist aus technischen und Kostengründen meistens kaum möglich. Bei den neuen Maschinengenerationen muss bereits in der Konstruktionsphase eine teleservicegerechte Maschinenarchitektur und Komponentenauswahl getroffen werden, die die maschineninterne Architektur, die Auswahl und Platzierung von Sensor-Aktor-Komponenten sowie die Prozesssteuerung und Überwachung der Anlage umfasst.

1.3 Charakterisierung von Schüttgut-Materialflusssystemen

Die VDI-Richtlinie 2411 definiert den Materialfluss als *"die Verkettung aller Vorgänge beim Gewinnen, Be- und Verarbeiten sowie bei der Verteilung von Gütern innerhalb fester Bereiche"* [VDI2411]. Ein Materialflusssystem ist eine Kombination von Gegenständen des Materialflusses, die im Rahmen eines Transformationsprozesses eine Veränderung des Systemzustandes von Gütern hinsichtlich Zeit, Ort, Menge, Zusammensetzung und Qualität ermöglicht [JÜNE00]. Die enormen Energiekosten, der Zwang und der Wille zu verbessertem Umweltschutz und die Forderung nach einem hochwertigen Endprodukt führen zu immer höheren Anforderungen an die Verfahrenstechnik und damit an die Rohstoffe, die in einen Prozess im Rahmen eines Materialflusssystems eingebracht werden.

Ein typischer großtechnischer Prozess ist die Beschickung von Kohlekraftwerken, bei denen der Aschegehalt und der Heizwert der eingebrachten Kohle möglichst konstant gehalten werden müssen, um den Verbrennungsvorgang optimal zu steuern.

Im weiteren wird der Begriff "Schüttgut-Materialflusssystem" verwendet. Unter einem Schüttgut-Materialflusssystem wird eine Verknüpfung von verschiedenen stetig/unstetig arbeitenden Schüttgut-Fördereinrichtungen, die ein störungsfreies Transportieren des Gutes zur Erfüllung systemspezifischer Aufgaben gewährleisten, verstanden. Die Bekohlungsanlagen stellen auf diese Weise ein repräsentatives Schüttgut-Materialflusssystem dar.

Sowohl bei knapper werdender Ölreserven und zu erwartenden Preissteigerungen für Öl und Gas als auch unsicherem und, wie die Erfahrung der letzten Jahre zeigt, oft gefährlichem Betreiben der Atomkraftwerke wird Kohle bereits in wenigen Jahren weltweit als Energieträger wieder stärker an Bedeutung

gewinnen. Um so wichtiger ist die zuverlässige Versorgung des Kraftwerkes im Vorfeld der Stromerzeugung: Transport, Lagerung und Auslagerung der Kohle.

Die meisten Kohlekraftwerke sind gezwungen, die Kohle zwischenzulagern und wieder aufzunehmen. Erforderlich ist dies überall dort, wo ein ständiger Vorrat verfügbar sein muss, und dort, wo die Kohle zeitversetzt ein- und ausgestapelt wird. In einem für die Bekohlung eines Kraftwerkes errichteten Kohletransport-system, das als Bandsystem zur Zeit häufig ausgeführt wird [N.N.00], bildet der Kohle- Misch- und Stapelplatz (KMS) das Herzstück. Der KMS übernimmt eine Bevorratungsfunktion sowie Qualitätssicherungsfunktion (Einhalten des Kohlebrennwertes) durch gesteuerte Ein- und Ausstapeltechnologie.

Ein Schüttgut-Materialflusssystem dieser Art wird insgesamt durch die Transformationsprozesse

- Materialfluss (Kohle),
- Informationsfluss (Steuerung),
- Energiefluss und Organisation

gekennzeichnet (**Bild 1-5**). Die Wahl der Lagerplatzausrüstung im Bekohlungs-system wird entscheidend durch die Menge des zu lagernden Materials, die zur Verfügung stehende Lagerplatzfläche, die Förderleistung der Geräte für das Ein- und Ausstapeln und die klimatischen Verhältnisse am Aufstellungsort beeinflusst. Bei den Lagerplätzen haben sich infolge der geforderten Funktion im wesentlichen Portal-Seitenkratzer [PAJER88], Bandabsetzer [z.B. CIES68] und Gurtförderer (**Bild 1-6**) durchgesetzt [THWA96].

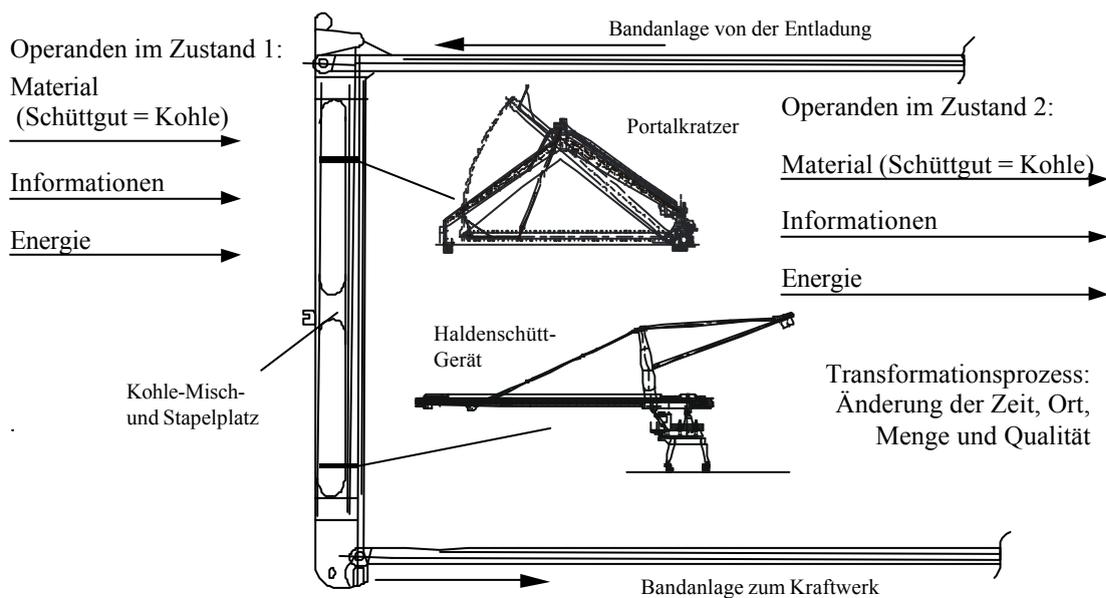


Bild 1-5: Transformationsprozesse am Kohle- Misch- und Stapelplatz (KMS)

Diese Geräte zeichnen sich durch ihre große Flexibilität in bezug auf schnelle Umsetzungöglichkeiten, hohe mögliche Förderleistung, Ein- bzw. Ausstapeln an verschiedenen Halden aus.

Die Betrachtung und Analyse der Eigenschaften und Funktionalitäten von Materialflusssystemen mit dem Ziel der Diagnose der Funktionen sowohl des Gesamtsystems als auch des Zustandes der Systemkomponenten wird in der Arbeit auf die Bekohlungsanlagen eines Kohlekraftwerkes (Kraftwerk Heyden, Energiekonzern PreussenElektra, Petershagen) beschränkt (**Bild 1-7**). Der für die Analyse in der Arbeit ausgewählte Systemabschnitt enthält Lagerplatzgeräte Absetzer und Kratzer, einen Kohle- Misch- und Stapelplatz sowie Bandanlagen als Materialflusssystem-Elemente.

1.4 Teleservice-Projekt

Die grundsätzlichen Untersuchungen wurden im Rahmen eines Teleservice-Projektes bei dem Maschinenbauunternehmen FAM Förderanlagen Magdeburg [FAM] durchgeführt. Für die Lageplatzgeräte im Kraftwerkeinsatz wurde in Zusammenarbeit mit einem Softwarehersteller ein Fernüberwachungssystem entwickelt und hinsichtlich der Nutzung der neuen Teleservice-Strategie erprobt.

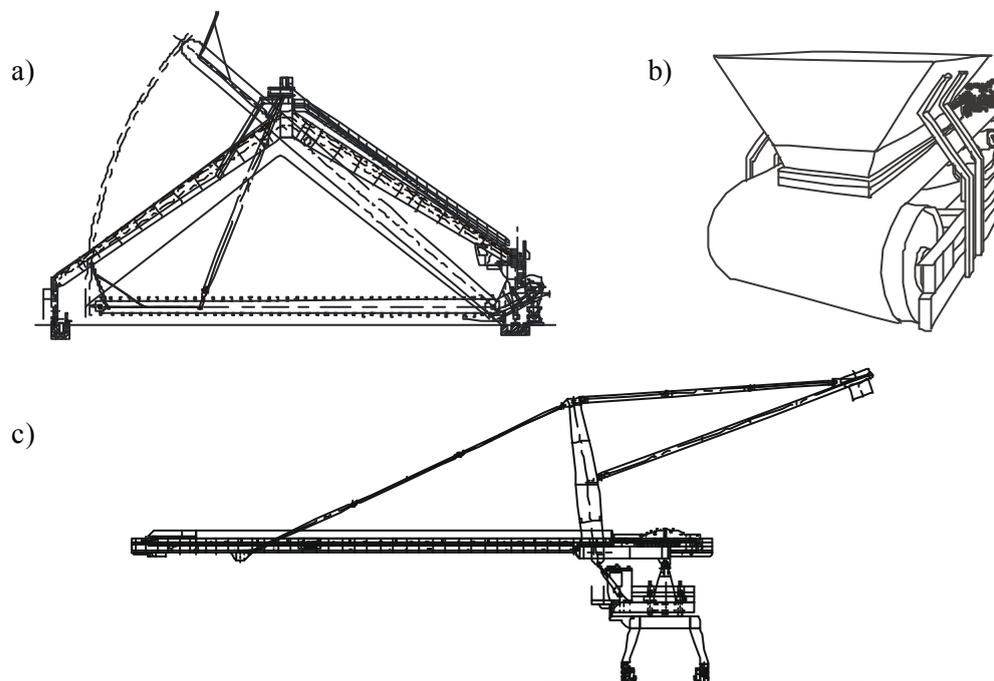


Bild 1-6: Lagerplatz-Schüttgutgeräte,
a) Portalkratzer; b) Gurtförderer (Aufgabestelle); c) Absetzer



Bild 1-7: Lagerplatzgeräte Absetzer (links), Portalkratzer (rechts)

Die Anlagen sind über Breitbandfunk auf Basis von ETHERNET mit dem Verwaltungsgebäude ("Eckturm") verbunden. Im "Eckturm" des Kraftwerks fungiert eine SIEMENS SPS S7-400 als zentraler Datenverteiler zwischen dem Leitstand und den Bekohlungsanlagen sowie unmittelbar zwischen den Geräten. Die hierarchische Struktur des Datenaustausches zwischen verschiedenen Stueberebenen ist im Anhang III (Bild III-1) dargestellt.

Die Zielstellungen bei der Entwicklung und Umsetzung der Teleservice-Lösung waren:

a) Quantitative Verbesserung des Kundenservices:

- Effizienter Einsatz von Servicepersonal,
- Transparenz in der Gewährleistungsphase, Kontrolle der funktionsgerechten Nutzung der Anlage durch den Betreiber,
- Einsparung von Aufwendungen im After Sales Service.

b) Beurteilung der Anlagenfahrweise im Gewährleistungszeitraum (Fahrten-schreiberfunktion):

- Realisierung von Zuverlässigkeitsanforderungen, Nachweis von Funktionsparametern,
- Datensammlung und Auswertung hinsichtlich realer Lauf- und Standzeiten von Ersatz- und Verschleißteilen,
- Unterstützung bei der Beurteilung von Störfällen durch die Auswertung der gemessenen und gespeicherten Anlagendaten.

c) Informationsakquisition aus der Produktnutzungsphase:

- Gewinnung von Erkenntnissen für die Produktweiterentwicklung,
- Aufbau von Statistiken zur Beurteilung der Produkte (Historiedaten, Anlagenzustände und Anlagenverhalten),
- Ermittlung von realen Belastungsgrößen und Belastungsbeanspruchungen für die Dimensionierung zukünftiger Anlagen.

Für die Umsetzung wurden folgende Schritte festgelegt:

Schritt I: Schaffung eines Projektes (Kraftwerksanlagenkomplex), Erprobung des Datentransfers und der Datenaufbereitung.

1. Hardware: Installation des Datensammlers im Kraftwerk und Einrichtung des Beobachtungsrechners im Hersteller-Unternehmen.

Der Datensammler ist ein PC mit großer Festplatte, der mittels einer Netzkarte in das lokale Netz des Kraftwerkes eingebunden ist. Durch einen Router und einen Hub wird die Verbindung zum ISDN-Telefonnetz sichergestellt.

Der Beobachtungsrechner im Hersteller-Unternehmen ist ein handelsüblicher PC, der über einen Router mit dem ISDN-Telefonnetz verbunden ist. Eine Verbindung zum Unternehmens-Intranet wurde aus Sicherheitsgründen getrennt.

2. Einbindung des Datensammlers in den Kraftwerk-Anlagenkomplex.

Durch die SPS wird ein Datentelegramm bereitgestellt und an den Datensammler gesandt. Die einzelnen Variablen (Anlageninformationen) aus dem Telegramm werden mit einem Zeitstempel versehen (Binärdaten mit Zeitstempel aus der SPS, Analogwerte mit Abtastzeitpunkt in einstellbaren Intervallen) und auf dem Datensammler archiviert. Insgesamt stehen zirka 80 analoge und digitale Messwerte pro Gerät (Kratzer, Absetzer) zur Verfügung:

- Betriebsparameter zu den Anlagen und zum Gesamtsystem,
- Betriebsparameter zu den Hauptbaugruppen der Anlagen,
- Betriebs-, Fehler-, Bereitschaftsmeldungen usw.

Im FAM-Pilotprojekt wurde ausschließlich auf die standardmäßigen SPS-Informationen zurückgegriffen. Es wurde keine zusätzliche Sensorik in die Geräte (Portalkratzer, Absetzer) eingebaut.

3. Verfahrensweise.

Im Rahmen der Realisierung des Projektes wurde auf Wunsch des Kunden eine ISDN-Leitung zwischen dem Kraftwerk und FAM-Magdeburg eingerichtet, um einen Fernzugriff auf die Steuerung zu ermöglichen. Für den erforderlichen Datentransfer wird diese ISDN-Leitung benutzt.

Die Verfahrensweise (Ablauf einer Fernüberwachungsverbindung) sieht wie folgt aus:

- Aufbau der Verbindung zwischen Magdeburg und Kraftwerk. Die Anmeldung im Kraftwerksintranet und der Zugriff auf den Datensammler sind durch Sicherheitsmechanismen (Call-back-Funktion, Passworte) geschützt. Nach der Anmeldung kann der Zugriff auf die Messwerte in der Datenbank des Datensammlers stattfinden.
- Für den Zugriff ist es erforderlich, ein Anforderungsprotokoll zu erstellen, mit dem die gewünschten Daten (z.B. Strom, Position, usw.) und der zu betrachtende Zeitraum definiert werden. Die Gerätedaten, die diesem Anforderungsprotokoll entsprechen, werden dann automatisch an den Beobachtungsrechner in Magdeburg gesendet.
- Anschließend kann die ISDN-Verbindung zum Kraftwerk abgebrochen werden. Die entsprechenden Gerätedaten liegen als Datenfile auf der Festplatte des Beobachtungsrechners und können mit spezieller Software ausgewertet, verarbeitet oder visualisiert werden.

Aufgabe des Systems ist nicht, die Vor-Ort-Störungen und Probleme sofort zu beseitigen, sondern die Entwicklungsprozesse an den Geräten zu beobachten, Trendentwicklungen zu erkennen und Vorschläge zu Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen zu geben. Plötzliche und unerwartete Ausfälle sind im Anlagenbetrieb nicht auszuschließen, aber anhand der Messwerten können mindestens die Störungsursachen gefunden oder die Fehler (z.B. Bedienungsfehler) festgestellt werden.

4. Verwendete Software (Datensammler, Beobachtungsrechner).

Im Wesentlichen wurde handelsübliche Standardsoftware eingesetzt. Als Betriebssystem kam auf dem Datensammler Windows NT zum Einsatz, der Beobachtungsrechner läuft unter Windows 98.

- Für die Archivierung der Daten, die Recherche in der Datenbank und den Datentransfer zum Beobachtungsrechner wird eine spezielle in Zusammenarbeit für den Einsatzfall entwickelte Software genutzt. Die Software heißt ZEDAS (Zustands-, Erfassungs- und Datenarchivierungssystem) und wird für die Zustandsüberwachung genutzt, um die betrieblichen Anforderungen mit den Erfordernissen der Wartungs- und Instandhaltung abzustimmen [ZEDAS]. Die Bedienoberfläche wurde für FAM und diesen Einsatzfall angepasst, um eine einfache Kommunikation und Bedienbarkeit zu gewährleisten.
- Für die Fernwartung und Fernsteuerung des Datensammlers wird die Software pc-ANYWHERE eingesetzt. Diese handelsübliche Software wird genutzt, um die Datenbank auf dem Datensammler zu konfigurieren, zu pflegen und zu warten.
- Für die Visualisierung und Auswertung der Gerätedaten wird das Programmprodukt FAMOS benutzt, ebenfalls eine handelsübliche Software zur statistischen Be- und Verarbeitung von Datenmengen [IMC].

In dem realisierten Konzept wurde das System zur Fernüberwachung beim Hersteller aus autonomen Komponenten zusammengestellt. Sie entsprechen individuellem Nutzerprofil und erlauben einen abgestimmten, differenzierten Zugriff auf Maschinensteuerung sowie eine systematische, konfigurierbare Suche im Datenbestand der Anlagenhistorie.

Bei der technischen Integration von Teleservice-Komponenten ist eine Reihe von Problemen aufgetreten, die in den nächsten Projekten berücksichtigt werden müssen. Das sind unter anderem:

- Die ordnungsgemäße Anordnung der gemessenen Werte an die Datenbankstrukturen muss sorgfältig ausgeführt werden.
- Die entsprechende Kompatibilität zwischen der Datenbanksoftware und der Anlagensteuerung muss im Voraus geplant und berücksichtigt werden.
- Datenverluste durch plötzliche unerwartete Ausfälle der Stromversorgung und Datensammlerabschaltungen können auftreten und sind möglichst zu vermeiden.

Schritt 2: Erprobung des Pilotprojektes, Datenverdichtung, Aufarbeitung der Daten für die unterschiedlichen Bereiche des Unternehmens.

Schritt 3: Vorbereitung und Ausrüstung weiterer Projekte mit entsprechender Wartungs- und Diagnosetechnik, Entwicklung und Installation eines Systemingenieur-Berufsbildes im Kundendienst/Service.

Nach dem Schritt 1 stand das passende "*Teleservice-Werkzeug*" für die Anlagenüberwachung und Diagnose im Unternehmen zur Verfügung. Die Schritte 2 und 3 waren zum Zeitpunkt des Arbeitsanfanges für die Bearbeitung offen und dienten als Ausgangspunkte der Untersuchungen.

2 Technische Diagnostik als Grundlage der zustandsorientierten Instandhaltung

Um eine zustandsorientierte Instandhaltung zu realisieren, muss eine umfassende Diagnose des Anlagenzustandes mit Hilfe der technischen Diagnostik durchgeführt werden. In diesem Kapitel werden die Anwendungsgrundlagen der technischen Diagnostik, ihre Hauptbestandteile *Überwachung* und *Diagnose*, Definition der Diagnosesignale mit den Möglichkeiten der Modellbildung, Methoden der Datenverwaltung und der Übertragung sowie Voraussetzungen zur Einbindung der Teleservice-Strategie in die Unternehmensstrukturen mit Einsatzgrenzen und Risiken dargestellt.

2.1 Strategie

Als technische Diagnostik wird die Gesamtheit aller Maßnahmen und Verfahren zur Ermittlung und Bewertung des technischen Zustandes von Maschinen und Anlagen unter der Beachtung der spezifischen Einsatzbedingungen definiert [STF90].

Die technische Diagnostik ist eng mit der gesamten Maschinen- und Anlagenüberwachung verbunden. Ein komplexes Anlagenüberwachungssystem hat deshalb eine Vielzahl von Daten unterschiedlicher Qualität und Menge aus der Betriebsführung, der Instandhaltung und speziellen Diagnoseeinrichtungen zu verarbeiten. Die Vielzahl dieser unterschiedlichen Daten erfordert effektive Formen der Datenübermittlung, -verarbeitung, -darstellung und -speicherung. Die Hauptbestandteile einer solchen komplexen Anlagenüberwachung sind im **Bild 2-1** dargestellt. Die Aufgabe der Betriebsführung ist vorrangig auf die Regelung, Steuerung und Dokumentation des Prozessablaufes orientiert. Die Ableitung von Instandhaltungsumfängen, -zeiten, -zyklen und -ressourcen sowie die Organisation des Instandhaltungsablaufes sind Hauptaufgaben der Instandhaltungsvorbereitung. Die technische Diagnostik mit ihren differenzierten Verfahren liefert gezielt Informationen zum technischen Zustand der Maschinen und Anlagen.

Aus der Sicht des Konstrukteurs erscheint die Maschinentechnik außerordentlich differenziert, für den Instandhalter reduziert sich wegen der Vielzahl zwar unterschiedlich dimensionierter, jedoch typgleicher Objekte die Gesamtmenge aller Betrachtungseinheiten auf eine letztlich überschaubare Zahl an Schadens-

objekten und Abnutzungselementen, die nach Art und Umfang (mehr oder weniger) spezifische Instandhaltungsmaßnahmen erfordern [WERN94].

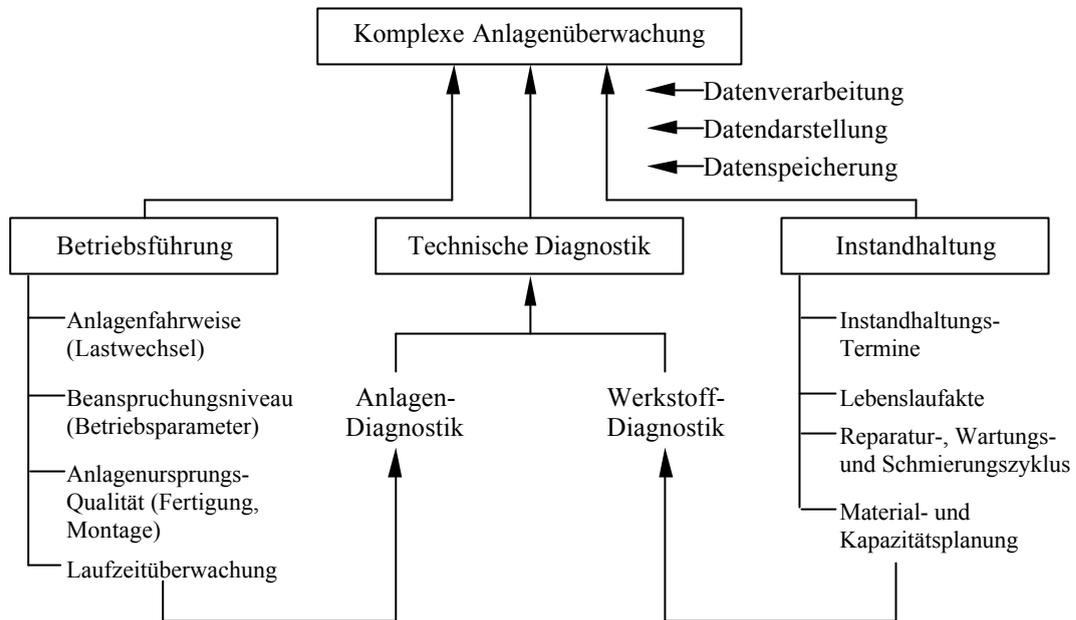


Bild 2-1: Informationsfluss einer komplexen Anlagenüberwachung [STF90]

Um negative Erscheinungen an der Anlage (Fehler, Störungen und Ausfälle) zu vermeiden bzw. frühzeitig zu erkennen, sind entsprechende strategische Maßnahmen der *Überwachung* und *Diagnose* durchzuführen, um die geforderte *Verfügbarkeit* und ausreichende *Zuverlässigkeit* der Anlage zu gewährleisten.

Die technische Verfügbarkeit V wird durch eine Formel beschrieben als:

$$V = \frac{MTBF}{MTBF + MDT} \quad (2.1)$$

mit: MTBF (Mean Time Between Failure), mittlere Betriebsdauer zwischen zwei Ausfällen

MDT (Mean Down Time), mittlere Störungsdauer

Die in dieser Form definierte Verfügbarkeit wird auch heute noch in vielen Unternehmen verwendet, um eine Aussage über die Effizienz einer Produktionseinrichtung zu treffen. Wenn von Verfügbarkeitswerten weit oberhalb von 90 % gesprochen wird, ist fast immer die wie oben angegeben berechnete technische Verfügbarkeit die Grundlage. Durch die Beschränkung auf rein technische Ursachen (störungs- und ausfallbedingte Stillstände) für Produktionsausfälle wird jedoch nur ein Teilbereich der zur Effizienzberechnung notwendigen Größen erfasst. Abweichungen von geplanten Sollvorgaben, die durch organisatorische Mängel oder Qualitätsprobleme entstehen, werden nicht berücksichtigt.

Für den Begriff Zuverlässigkeit gibt DIN 40041 die folgende Definition: *"Zuverlässigkeit ist die Fähigkeit einer Betrachtungseinheit, denjenigen durch*

den Verwendungszweck bedingten Anforderungen zu genügen, die an das Verhalten ihrer Eigenschaften während einer gegebenen Zeitdauer gestellt sind". Der Begriff Zuverlässigkeit hat damit eine ähnliche Semantik wie der Begriff Funktionserfüllung.

Im Zusammenhang mit technischen Systemen wird häufig von der Fehlerdiagnose gesprochen. Im folgenden soll die Fehlerfrüherkennung als Aufgabe der Überwachung und die Ermittlung der Fehlerursache mit der möglichen Lebensdauer- bzw. Restlebensdauerprognose als Diagnose verstanden werden.

2.1.1 Überwachung und Informationsverwaltung

Der Begriff *Überwachung* kann insgesamt als "auf dem Vergleich von charakteristischen Merkmalen mit Soll- und Grenzwerten beruhende Zustandserfassung eines Systems" definiert werden [UNI-H]. Die konkrete Aufgabe der Überwachung besteht im Erfassen und Aufbereiten der zur Zustandsbeschreibung geeigneten Messgrößen sowie deren Vergleich mit entsprechenden Sollwerten, Beobachtung der Schädigungsentwicklung und rechtzeitige Signalisierung von Grenzzuständen zur Außerbetriebnahme von Maschinen und Anlagen.

Unter dem Begriff *Schaden* wird die bleibende unerwünschte Veränderung an einem Bauteil oder einem System von Bauteilen, durch die die vorgesehene Bauteil- oder Systemfunktion beeinträchtigt oder unmöglich gemacht wird oder eine Beeinträchtigung zu erwarten ist (z.B. Gurtriss eines Gurtbandförderers), verstanden.

Die Abweichung eines Zustandes oder Wertes von den vorgegebenen Anforderungen (Soll-Werten) außerhalb der zulässigen Toleranzen eines Objektes (Bauteil, Funktion, Software) wird als *Fehler* bezeichnet. Die Fehler können durch die Änderungen der Betriebsparameter identifiziert werden.

Als *Störung* wird die unerwünschte Beeinträchtigung der Qualität oder Quantität einer Produktion oder einer vergleichbaren Systemfunktion definiert. Eine Störung kann sowohl von der Maschinentechnik (Schaden/Fehler an den Bauteilen) als auch von der Bedienung oder von Hilfsprozessen (z.B. Verminderung der Transportleistung durch Verstopfungen an den Übergabestellen einer Förderstrecke) hervorgerufen werden. Eine Überwachung der genannten Zustände soll dazu dienen, den gegenwärtigen Zustand anzuzeigen, unerwünschte oder unerlaubte Zustände zu erkennen und eine entsprechende Diagnose zu veranlassen, um Störungen und Ausfälle möglichst zu vermeiden [STRÖ93].

Eine direkte messtechnische Erfassung von Schädigungsmerkmalen erfordert im allgemeinen die Außerbetriebnahme des Diagnoseobjektes und eine Demontage. Bei laufendem Betrieb lassen sich ebenfalls Informationen über den aktuellen Schädigungszustand gewinnen, weil die Schädigungsmerkmale den Betriebs-

prozess beeinflussen. Für die ingenieurmäßige Erfassung des Schädigungszustandes einer Maschine oder Anlage (Schadensobjekt) sind messbare makrotechnische Veränderungen der Werkstoffoberfläche, der Werkstoffeigenschaften und der geometrischen Form oder Position an den Baugruppen und Einzelheiten sowie freigesetzte Schädigungsprodukte (Verschleißabtrieb, Korrosionsprodukte), die in einem engen Zusammenhang zum Schädigungsprozess stehen, den aktuellen Zustand indirekt widerspiegeln und die Schädigung charakterisieren können, maßgebend. Sie werden als *Zustandsparameter* (oder *Diagnosesignale* [MELT00]) bezeichnet [STF88]. Als Diagnosesignale sind alle für den technischen Zustand typischen und aussagefähigen Objekt- und Prozessmessgrößen anwendbar, die den Zustand indirekt widerspiegeln. In vielen Fällen kann die Ermittlung des technischen Zustandes mit einem oder mehreren Zustandsparametern erfolgen.

Um die Diagnoseergebnisse zu erzielen, braucht man vielseitige und aussagekräftige Information zu den laufenden Prozessen und aktuellen Zuständen der Anlagen. Deshalb ist die Frage der Informationsverwaltung bei jedem Projekt mit dem Ziel, eine (Fern)-Überwachung und (Fern)-Diagnose durchzuführen, besonders wichtig. Es sind insgesamt folgende Schritte bei der Datenbehandlung durchzuführen:

1. Festlegung der Diagnoseziele und Diagnoseparameter,
2. Gewinnung der Diagnoseinformationen in Form von Messdaten,
3. Übertragung, Speicherung und Verfügbarmachung für die verschiedenen Unternehmensabteilungen,
4. Darstellung und Auswertung im Diagnoseprozess.

2.1.1.1 *Überwachungsziele und Diagnoseparameter in der Fördertechnik*

In der Schüttgutfördertechnik sind unterschiedliche Überwachungsziele zu definieren:

- Prozessüberwachung (Hauptziel)

In Abhängigkeit vom Einsatzfall müssen unterschiedliche Prozesse überwacht und kontrolliert werden. An fördertechnischen Anlagen lässt sich der Förderprozess mit wenigen Informationen beschreiben. Mit Hilfe der Erfassung z.B. der Materialbelegung kann eine ausreichende Bewertung des Förderprozesses erfolgen.

- Zustandsüberwachung (Hauptziel)

Ziel der Zustandsüberwachung ist es, ein Abbild über den aktuellen Zustand der wesentlichen Anlagenbauteile zu erhalten. Für diese Überwachung sind eine Vielzahl von Messwerten erforderlich, z.B.:

- Drehzahl, Drehmoment, Leistung, Strom, Spannung,
- Temperaturen einzelner Elemente, Umgebungsbedingungen usw.

Um den Anlagezustand zu überwachen und eine Anlagendiagnose durchzuführen, müssen die bereitgestellten Messgrößen in Algorithmen eingebunden und entsprechend interpretiert werden.

- Qualitätsüberwachung

Wenn die Qualität des Produktes als Ergebnis des Arbeitsprozesses betrachtet werden muss, ist eine Qualitätsüberwachung notwendig (z.B. in der Aufbereitungstechnik).

Zwischen den Ausgangssignalen (Diagnoseparameter), die prinzipiell an den Förderanlagen gemessen werden können, sind nach den Aussagebereichen zu unterscheiden:

- Störungs-, Warnungs- und Bereitschaftsmeldungen dienen zum Anzeigen der relevanten aktuellen Situation.

Als Störung werden an den Förderanlagen die Auslösung der elektrischen Schutzeinrichtungen, der mechanischen Endschalter und alle Ereignisse und Bedingungen gewertet, die einen für die Anlagen gefährlichen Zustand darstellen. Zur Warnmeldung führen alle Signale, die nicht zur sofortigen Stillsetzung der Geräte führen, sondern einen gefährlichen Zustand signalisieren, der in Kürze zur Störmeldung führt. (z.B. Bandspannvorrichtung, Fettfüllstandmeldungen usw.).

- Betriebsparameter zur Trendentwicklungsüberwachung (z.B. Temperatur).

Messwerte dieser Art lassen eine Trendentwicklung beobachten und ermöglichen, anhand der langfristigen Veränderung (z.B. durch Steigerung oder Senkung der Temperatur oder des Drucks) entsprechende Schlussfolgerungen auf den Betriebszustand zu ziehen. Zunächst bleibt die Maschine lauffähig, auch wenn ein Fehler im Frühstadium erkannt worden ist. Die Trendanalyse stellt in diesem Sinn eine Prognose dar, welche Restlaufzeit zur Verfügung steht, bevor der Fehler ein kritisches Ausmaß annehmen wird [KOLE00]. Die gesammelte Erfahrung auf dem Gebiet der Schwingungsüberwachung zeigt, dass fast 80 % der Havarien oder Störungsfälle eine Trendentwicklung bei den gemessenen Überwachungsparametern hatten [SKET].

- Parameter zur möglichen Lebensdauer- und Restlebensdauerprognose.

Diese Parameter werden meistens in Form eines Lastkollektivs dargestellt und weiter in die Berechnungen eingebunden (z.B. Kräfte). Eine solche Lebensdauerprognose beeinflusst erforderliche Instandhaltungsintervalle und bietet dem Instandhaltungspersonal die Informationen über den Zustand der Anlagen in einer neuen Qualität.

2.1.1.2 Erfassung der Messdaten

In modernen Überwachungs- und Diagnosesystemen erfolgt die Messsignal-Erfassung mit Hilfe von Sensoren. Ein Sensor wandelt die zu messende Größe und ihre Änderung in elektrische Größen um, die elektronisch übertragen und/oder weiterverarbeitet werden können [UNI-H]. Durch Messung geeigneter Größen werden technische Zustände teilweise oder vollständig abgebildet. Für den Anwender steht die Messgröße im Hintergrund, weil zunächst anhand der Überwachungsaufgabe die zu messenden Größen festgelegt sind. Das Messprinzip wird erst dann wichtig, wenn es darum geht, das richtige Messverfahren für den betrieblichen Einsatz auszuwählen (Anhang I, Tabelle I-5).

Der Aufbau und die Struktur industrieller Anlagen erlauben jedoch in den wenigsten Fällen eine messtechnische Ermittlung an allen relevanten Stellen der Anlage. Die Ursachen hierfür sind einerseits durch die Zugänglichkeit (z.B. im Inneren eines Getriebes) und andererseits durch wirtschaftliche Gesichtspunkte gegeben. Die notwendige Fehlerfreiheit der Daten muss durch die entsprechenden Messeinrichtungen gewährleistet werden. Ein Überblick über wichtigen Messgrößen im Hinblick auf ihre Eignung zur Fehlerfrüherkennung gibt das Bild I-1 im Anhang I. Zur Auswertung vorliegende Daten können ermittelt werden durch:

- Messung, Speicherung und Auswertung von allen Anlagen- und Betriebsparametern (gewährleistet eine riesige Menge von exakten Daten),
- Messung einiger ausgewählter Parameter für die Ableitung von Erkenntnissen und Gesetzmäßigkeiten zur Simulation des Anlagenzustandes mit dem Ziel, eine schnelle, kurzfristige und reale Vorhersage von Leistungskenngrößen des Systems zu erhalten. Diese Möglichkeit kann nur dann realisiert werden, wenn zwischen den gemessenen und berechneten Größen sichere Zusammenhänge existieren.

Wegen der Vielfalt möglicher Bauteil- und Beanspruchungskombinationen und Arbeitsprozesse ist die Simulation eine Methode, die es gestattet, mit der Kenntnis oder Annahme von Eingangsfunktionen (z.B. einige wenige ausgewählte und gemessene Prozessparameter) und Systemeigenschaften den Last- und Beanspruchungsverlauf als Systemantwort in interessierenden System-/Bauteilquerschnitten zu ermitteln.

Ein Beispiel dafür ist das System der Simulation eines Gurtfördererbetriebes ZEDAS-M [ZEDAS-M]. Unter einer Simulation versteht man hier das Nachbilden von Betriebszuständen eines Gurtförderers in einem Modell und das fortschreitende Analysieren der Prozessdaten durch das Modell. Das Modell dient dabei als Informationsinstrument, welches Aufschluss über mögliche real ablaufende Betriebsvorgänge einer Bandanlage gibt. Die modellgestützte Anlagenüberwachung und -diagnose sichert ein frühzeitiges Erkennen und Vermeiden von Störungen wie Gurtschieflauf, Anbackungen und Überschüttung.

2.1.1.3 Übertragung

Dieser Abschnitt hat nicht die Aufgabe, alle möglichen Datenübertragungsmedien zu beschreiben und erschöpfend zu behandeln. Hier werden nur die Methoden der Datenübertragung dargestellt, die im Maschinenbau sowohl teilweise schon im Einsatz sind als auch solche, die nach der Analyse und dem Vergleich von Vorteilen und Nachteilen unter der Berücksichtigung der Weiterentwicklung verwendet werden können. Im Hintergrund der Betrachtung stehen immer die Gedanken einer möglichen Anwendung im Rahmen eines Teleservice-Projektes.

Der Ausgangspunkt folgender Betrachtung ist die Bedingung, dass die Messdaten von Sensoren fehlerfrei gesammelt sind und zur Übertragung zur Verfügung stehen. Die Schwerpunkte und besondere Aufmerksamkeit bei den Datenübertragungsmethoden liegen in der Geschwindigkeit der Übertragung, Flexibilität, Verbreitungsgrad, Standardisierung und Anpassung an vorhandene Hard- und Software ohne oder mit minimalem Aufwand. Wichtig ist auch die Zukunftsorientierung, d.h. die Anwendung von aktuellen Methoden, die ihre Bedeutung in der rasant wechselnden Informationswelt nicht so schnell verlieren können. Aspekte, wie Kosten bei der Übertragung, müssen hier unbedingt mit herangezogen werden, weil trotz der möglichen technischen Vorteile die wirtschaftlichen Nachteile die Auswahlentscheidung sehr stark beeinflussen können.

Ab einer bestimmten Datendichte lohnt sich die Übertragung von online gesammelten Daten nicht (z.B. eingeschränkte Datenübertragungsrate, Datenmenge zu groß). Diese Schwierigkeiten können umgangen werden, wenn auf die Übertragung von kompletten Messdaten zur Generierung von Berichten im Überwachungsrechner vor Ort mit anschließender Übertragung verzichtet wird.

Es muss erwähnt werden, dass die Auswahl des Übertragungsmediums von der Überwachungsstrategie (kontinuierlich, zyklisch usw.) des Unternehmens stark abhängig ist. Es sollte immer ein einheitliches und leicht erweiterbares Konzept sein, um nicht mit jedem Projekt die Strategie und die Geräte ändern zu müssen und jedes Mal eine neue technische Lösung auszusuchen.

MODEM

Unter einem Modem (Modulator und Demodulator) versteht man im normalen Sprachgebrauch ein Gerät, das die Übertragung von Daten über eine analoge Telefonleitung erlaubt. Zu diesem Zweck wandelt es die Datenbits in Tonsignale um (Modulator) oder umgekehrt (Demodulator). Als Nachteile dieser analogen Übertragung sind zu nennen:

- Fehleranfälligkeit macht Fehlerkontrollverfahren und gegebenenfalls Mehrfachübertragung nötig,

- begrenzte Datenübertragungsrate (28800 ... 56000 Bit/s) und daraus entstehende hohe Übertragungskosten bei großen Datenmengen.

Trotzdem zeichnet sich eine Modemverbindung im Vergleich mit anderen Methoden als preiswerte Hardware- und Softwarelösung ab, mit der eine fast weltweite Erreichbarkeit gezielt werden kann, was beim Teleservice sehr wichtig ist. Deshalb sind schon seit Mitte 80. Jahre einige Steuerungen an verschiedenen Industrieanlagen mit einem Modem ausgerüstet, um den Zugriff auf die Anlagenfunktionen von überall her zu bekommen.

Für Multimedia-Kommunikationstechnik (z.B. Videokonferenzen für den Kundendienst) haben analoge Wählleitungen auf Grund der geringen Datenübertragungsgeschwindigkeit eine untergeordnete Bedeutung. Ihre Anwendung kommt nur dann in Frage, wenn keine leistungsfähigeren Kommunikationsnetze zur Verfügung stehen. Bewegtbildübertragung (bei der Videoüberwachung) ist bei analogen Wählleitungen nur in sehr eingeschränktem Maße möglich [BRA98]. Weitere Information zum Thema [YMOD].

ISDN

Im ISDN-Netz kann jede digital kodierte Information unter Verwendung des bestehenden Telefonleitungsnetzes übertragen werden. Das heisst, prinzipiell kann jede Art der Telekommunikation, unabhängig ob Sprache, Text, Grafik, Daten, Bewegtbild usw. also Informationen, die in allen Unternehmen in mehr oder weniger großer Menge anfallen, über dieselbe Leitung ohne Anschluss an unterschiedliche Netze abgewickelt werden. Charakteristische Merkmale dieser Art der Datenübertragung sind:

- die Übertragungsgeschwindigkeit erhöht sich auf 64 Kbit/s,
- auf der Anschlussseite: einheitliche genormte Dosen und Stecker für alle Arten von Endgeräten, vereinheitlichte Verbindungssteuerung und einheitliche digitale Protokolle,
- das vorhandene Telefonleitungssystem ist für ISDN nutzbar.

ISDN leistet einen wesentlichen Beitrag zur Vereinheitlichung der Kommunikations-Infrastruktur im geschäftlichen Bereich, da man an jedem vorhandenen Telefonanschluss auch Zugang zu allen nicht-sprachlichen Telekommunikationsdiensten hat. An einem Basisanschluss kann der Anwender von ISDN bis zu acht Endgeräte anschließen (herkömmliche analoge Telefon-Apparate, Anrufbeantworter, neue ISDN-Telefonapparate, Telefaxgeräte, PC's, Terminals, auch Hosts und Workstations). Diese Vorteile können beim Aufbau eines Servicenetzes im Bereich Kundendienst im Rahmen von Teleservice-Projekten genutzt werden.

Obwohl ISDN international normiert wird, unterscheiden sich einzelne ISDN-Implementierungen so sehr, dass sie inkompatibel sind [PAY99-6]. Aus diesem Grund ist die ISDN-Anwendung für eine Teleservice-Lösung (insbesondere bei

der internationalen Kommunikation, wenn in dem zu verbindenden Land überhaupt keine ISDN-Technologie vorhanden ist) sehr eingeschränkt. Weitere Informationen zum Thema [YISDN].

SATELLIT

Als Alternative zu dem Datentransport durch die terrestrischen Kommunikations-Netze kommt zunehmend der Einsatz von Satellit-Technologien in Frage [NZZ99]. In vielen Gegenden der Erde ist die Satellitenfunk-Verbindung die einzige Kommunikationsmöglichkeit, weshalb diese Methode für den Teleservice-Einsatz so wertvoll ist. Der Datendurchsatz bei Datenverbindungen liegt jedoch zur Zeit bei 1.200 bit/s bis zu 64 Kbit/s. Unter den Datenübertragungsangeboten via Satellit ist der Internet-Zugang sicherlich eines der attraktivsten (z.B. bei [STRATO]), wenn das Unternehmen für die Datenübertragung eine Internet-Lösung gewählt hat.

Satelliten werden zukünftig in zunehmendem Umfang für klassische Telekommunikationsdienstleistungen eingesetzt werden. Sie ersetzen und ergänzen dabei zunehmend terrestrische Telekommunikationsnetze. Auch mit der Entwicklung weiterer satellitenspezifischer Kommunikationsdienste ist zu rechnen.

Ein Ende dieser Entwicklung ist derzeit nicht abzusehen, es ist im Gegenteil zu erwarten, dass in den osteuropäischen Staaten beim Aufbau einer modernen Telekommunikationsinfrastruktur - speziell in Gebieten mit territorial schwierigen Bedingungen für den Aufbau terrestrischer Netze verstärkt auf die Satellitentechnik zurückgegriffen wird.

INTERNET

Im Internet werden über Festleitungsverbindungen Rechner miteinander verbunden. Diese Verbindungen sind ständig in Betrieb, auch wenn keine Datenübertragung erfolgt. Als Kommunikationsmechanismus verfügt das Internet über eine Reihe von Eigenschaften, die es als alternatives Medium für Teleservice attraktiv macht. Die Vorteile sowohl der Datenübertragung als auch einer Browser-gestützten Interaktion mit einer Anlage lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Der Zugriff auf die Anlage ist sowohl direkt vor Ort als auch von jedem Ort der Welt aus möglich, sofern ein Internet-Anschluss verfügbar ist.
- Als einziges clientseitiges Werkzeug wird ein Standard WEB-Browser (z.B. [NETS], [MS-IE]) benötigt. Alle anwendungsspezifischen Module, wie HTML-Seiten, Java-Applets [JAVA] usw. befinden sich vor Ort an der Anlage und werden bei Bedarf von dort in den Browser übertragen.
- Mit entsprechenden Werkzeugen aus dem WEB-Design-Bereich, z.B. FRONTPAGE [FRONTP], können relativ schnell entsprechende Bedien-Oberflächen für die Anlagen entworfen werden. Aufgrund dieser Eigenschaft

werden sogar HTTP/HTML-gestützte Bedienoberflächen für Steuerungen vorgesehen [FLEN]. Weitere Interaktionsmöglichkeiten bieten Java-Script, Java-Applets oder auch VB-Script.

Ein wichtiges Verfahren der Datenübertragung stellt das File-Transfer-Protokoll (*FTP*) dar. FTP ist ein Verfahren zur Übertragung von Binärdateien zwischen Rechnern im Internet bzw. unternehmensinternen lokalen Netzen (hilfreich beim Herunterladen oder Umtausch großer Mengen von Teleservice-Informationen). Aufgrund der Übertragungsverfahren bestehen hier aber ernstzunehmende Sicherheitsrisiken bei der ungeschützten Übertragung von Dateien. Daher ist die Anwendung zusätzlicher Datenverschlüsselungsmechanismen bei der Übertragung notwendig. Durch den Datentransport erfolgt technisch bedingt eine Zwischenspeicherung der Nachricht im Netz. Somit ist potentiellen Angreifern, welche sich unberechtigt Zugang zu diesen verschaffen, die prinzipielle Möglichkeit des Ausspähens dieser Daten gegeben [BRA98].

Electronic Mail (*e-mail*) stellt eine schnelle, flexible und standortunabhängige Möglichkeit zur elektronischen Nachrichtübertragung im Internet oder in unternehmensinternen Netzen dar. E-Mails bieten die Möglichkeit, Binärdateien als sogenannte Anhänge (*attachments*) zu versenden. Damit wird dem Anwender gleichzeitig eine bequeme Möglichkeit zur Datenübertragung zur Verfügung gestellt.

xDSL

Die Abkürzung *xDSL* (*Digital Subscriber Line*) steht für eine Reihe unterschiedlicher Techniken zur Erzielung hoher Datenraten auf normalen zweiadrigen Kupferleitungen, wie sie im herkömmlichen analogen Telefonnetz zu finden sind. Die Datenraten von einigen Mbit/s werden dadurch möglich, dass ein Frequenzbereich von bis zu 1 MHz ausgenutzt wird. Aufgrund der hohen Ausbreitungsdämpfung in den hohen Frequenzbereichen ist die Reichweite einer *xDSL*-Strecke auf wenige Kilometer begrenzt.

DSL-Verbindungen sind Stand-Verbindungen, eine Einwahl ist nicht nötig. Es gibt auch keine Vermittlung, d.h. diese Verbindung geht direkt in das System (wie z.B. Internetverbindung) des Providers ein. Die *xDSL*-Techniken sind deshalb hervorragend dafür geeignet, die "letzte Meile" vom Endanwender bis zum Provider mit hohen Bitraten zu überbrücken.

DSL-s stehen zur Zeit in Konkurrenz zu Kabelmodems (Datentransport über Kabel-TV) und ISDN, aber man stößt zur Zeit an die mangelnde lokale Verfügbarkeit der entsprechenden neuen Hochtechnologien. Weiterführende Ressourcen zu DSL-Techniken: [YDSL].

ANDERE MÖGLICHKEITEN

Die Verwendung von TV-Kabel-Netzen (Fernsehkabel) für schnelle Datendienste, die in vielen Haushalten verfügbar sind, spielt im Teleservice keine

große Rolle, da diese Netze naturgemäß nicht in Produktionsbetriebe verlegt werden. Eine mögliche Anwendung betrifft den Service-Techniker, der von Hause aus arbeitet. Dieser würde von der hohen Übertragungsgeschwindigkeit in einem multimediategestützten Servicekonzept profitieren [WORK99].

An dieser Stelle muss unbedingt noch eine interessante Möglichkeit erwähnt werden, um Teleservice-Aufgaben verwirklichen zu können. Das ist die Datensammlerübernahme, wo Anlagendaten und andere Informationen gesammelt werden oder die Gerätesteuerung angekoppelt ist. Weil fast alle modernen Steuerungen Modem- oder ISDN-Schnittstellen besitzen, über die wichtige Anlagenparameter abgefragt und zum Teil auch geändert werden können, gibt es diesen Weg, den Datensammler zu erreichen. Mögliche Teleservice-Lösungen in diesem Fall basieren auf käuflicher Fernsteuerungssoftware, wie z.B. CARBON COPY [CCOPY] oder pc-ANYWHERE [NETC00],[PC-ANW], mit der ein (Windows-) Rechner, auf dem eine Leitstandssoftware läuft, von der Ferne aus bedient werden kann. Fernsteuerungswerkzeuge (Remote Control) ermöglichen die Maus- und Monitorübernahme entfernter Arbeitsstationen von zentraler Stelle, deshalb finden in der betrachteten Situation alle notwendigen Operationen (Ausführen von Auswertungs-Software, Arbeit mit den Datenbanken usw.) vor Ort statt. Der Datenaustausch besteht hier nur in der Übertragung von Ergebnissen auf die Bildschirmoberfläche, statt im Herunterladen von Megabytes der Rohdaten zum Bearbeitungszweck.

Die Frage der Datensicherheit spielt eine wichtige Rolle bei der Datenverwaltung. Verschiedene Daten und Informationen von anderen Unternehmen zu wissen und solche Kenntnisse zu benutzen, sind immer ein Mittel im Wettbewerb oder ein Vergnügen beim Surfen für die Netz-Hacker.

Um die sensiblen Anlagendaten und Unternehmensdaten zu schützen, müssen entsprechende Sicherheitskonzepte erarbeitet und umgesetzt werden [TICHY]:

- Maßnahmen zur Zugangskontrolle ins interne Netz (Authentikation durch sichere Softwaremechanismen oder noch besser durch eine Kombination von Hard- und Softwaremechanismen (z.B. PCMIA Cryptographic Smart Cards),
- Kontrolle der Datenübertragung (sichere Protokolle, Anwendung von Verschlüsselungsverfahren, z.B. [PGP]),
- Maßnahmen zur Organisationskontrolle bei der Verwaltung der Information (Sicherung des physischen Zugangs: Verschluss des Rechners, gesicherte Räume),
- Maßnahmen zur Speicherkontrolle der übertragenen Informationen (Quarantäne-Rechner: isolierter Rechner, auf denen neue Software oder Dateien unsicherer Herkunft zuerst getestet werden, bevor sie auf anderen Rechnern genutzt werden),

- Maßnahmen zur Zugriffskontrolle auf die Daten (Zugangsberechtigungsüberprüfung durch Hardware, z.B. Fingerabdrucksensor; kein Vertrauen in Personen, die Wartung oder Reparaturen vornehmen).

Eine optimale, aber dennoch praktikable Sicherheit für wirklich sensible Daten erfordert eine Kombination von gesundem Menschenverstand, Software-Komponenten und Hardware-Komponenten zur Sicherung auf allen Ebenen.

2.1.1.4 Speicherung und Zugriffsmöglichkeiten

Die an den Anlagen erfassten Messwerte müssen nach der Übertragung vom Messort in einer Datenbank gespeichert werden. Damit wird das Ziel verfolgt, umfangreiche aber notwendige Informationen über die Anlage mit der Aufzeichnung im System zu sammeln.

Immer mehr Firmen wollen ihre Daten aus Datenbanken sowohl im Intranet als auch im Internet zugänglich machen. Da die Datenbank in der Regel nicht direkt zur Verfügung steht, müssen entsprechende Möglichkeiten zum Zugriff auf diese Daten vorgesehen werden. Zu diesem Zweck erscheint es sinnvoll, den Datenbankrechner als Web-Server auszustatten und via Internet/Intranet einen Zugriff auf die Datenbank zu ermöglichen.

Bis hierhin wurde der WEB-Browser-Einsatz lediglich unter dem Aspekt der Interaktion mit der Anlage betrachtet. Die Interaktion bedeutet: Auslesen von Anlagenparametern und Messdaten, Fernbedienung, Auslösen von Messungen und Diagnoseroutinen, Übertragen von Software-Updates usw. Aber der Browser erlaubt auch die einfache Integration von Service-unterstützenden Dokumenten als Hypertext-Dokument in ein und demselben Bedienkontext (nämlich der Browseroberfläche) [WORK99]. Das kann für die Service-Information, die im allgemeinen Fall folgende Schwerpunkte umfasst, angewendet werden:

1. Anlagen-Dokumentation (Zeichnungen/CAD, Kunden-/Serviceverträge),
2. Bedienungsanleitungen (Stückliste/ET-Katalog),
3. Service-Vorschriften/Richtlinien,
4. Service-Berichte der aktuellen oder vergleichbaren Anlagen (Montage/Inbetriebnahme).

Die ersten drei Punkte lassen sich in einfachen Fällen über statische WEB-Seiten erledigen, die z.B. durch entsprechende Export-Filter automatisch aus den jeweiligen Originaldokumenten erzeugt werden können (Beispiel: MS WORD, MS EXCEL, MS POWER POINT [MS]). Für die Zeichnungsformate sind jedoch entsprechende "Viewer" notwendig. Z.B. zur CADAM/CATIA-Welt ist ein CATWEB-Navigator zu empfehlen [ENOVIA]. Für komplexe Anlagen, deren Komponenten auch in anderen Anlagen verwendet werden, möglicherweise noch in verschiedenen Versionen, sollten elektronische Dokumentationssysteme eingesetzt werden.

Der Punkt 4 kann durch geeigneten Suchmechanismen der Datenbank realisiert werden, um die Datenbank zu einer nützlichen Informationsquelle zu machen. Um eine solche Service-Datenbank über das Internet anzusprechen, werden WEB-Browsergestützte Bedienoberflächen häufig an der CGI-Technik angesetzt, um beispielweise vom Browser aus dynamische Datenbankabfragen initiieren zu können.

Als andere Möglichkeit zur Datenbankanbindung stellt die Programmiersprache Java für die Ansprache von Datenbanken einen entsprechenden Mechanismus namens JDBC (Java Database Connectivity) zur Verfügung, mit dem eine Verbindung zu Datenbanken an beliebiger Stelle im Netz hergestellt werden kann. In diesem Fall ist das Konzept *"Service-PC benötigt nur einen Browser"* nicht mehr möglich, weil an den Client-PC's die Java-Software installiert werden muss. Z.B. wurden im FAM-Teleservice-Pilotprojekt die Anfragen der Datenbank, Datenpflege und System-Tools durch die entsprechenden Java-Applikationen (Masken) realisiert.

Neue Trends in Darstellung und Austausch von elektronischen Dokumenten bietet die XML-Technologie [W3]. XML ist die Abkürzung für eine erweiterte Beschreibungssprache für strukturierte Dokumente, mit derer Hilfe fast jede beliebige Struktur beschrieben und im Browser dargestellt werden kann. Es stehen auch verschiedene Abfragemöglichkeiten zur Verfügung.

2.1.2 Diagnose anhand der Diagnoseinformation

Allgemein lässt sich die Diagnose als *"Klassifizierung und Bewertung des Zustandes eines Systems oder Teilsystems mit dem Ziel der Gewinnung eines Gesamtbildes"* definieren.

Die Diagnose wertet Fehlersymptome, die von der Überwachung übermittelt werden, online während des laufenden Prozesses oder offline nach einem festen Zeitraum oder einem Stillstand der Anlage mit Einbringung von Benutzerbeobachtungen aus. Erstrebenswert ist in jedem Fall die Erkennung von Fehlerursachen zur Verhinderung von weiteren zukünftigen Schäden.

Nach [FÄHN90] sind drei Ansätze bekannt, um eine Diagnose anhand beobachteter Symptome durchzuführen:

- die statistische Diagnose

Bei der statistischen Diagnose werden die Zusammenhänge zwischen Fehlerursache und Symptom(en) durch Wahrscheinlichkeitswerte angegeben. Fehler lassen sich somit erst dann diagnostizieren, wenn sie genügend häufig aufgetreten sind.

- die assoziative Diagnose

Bei den assoziativen Verfahren werden die beobachteten Symptome und die möglichen Ursachen durch Expertenwissen miteinander verknüpft. Den

Verknüpfungsregeln können physikalische Gesetzmäßigkeiten oder Erfahrungswerte zugrunde liegen.

- die modellbasierte Diagnose

Bei den modellbasierten Verfahren ist ein funktionaler Zusammenhang zwischen Fehlerursache und Symptom vorausgesetzt. Grundlage der Modellbildung ist ein fundiertes Wissen über alle Zusammenhänge.

Um die Entscheidung im Diagnoseprozess zu unterstützen, sind die Diagnosemerkmal- und Diagnosemodellbildung mit gezielter Auswertung der Diagnosesignale als Schwerpunkte des Prozesses zu nennen.

2.1.2.1 *Diagnosemerkmale und Diagnosemodelle*

Anhand der Diagnosesignale findet die Bewertung des technischen Zustandes statt. Die Zustandsbewertung erfolgt meist durch den Vergleich des diagnostizierten Zustands mit Grenzwerten der Zustandsparameter oder der Zustandsklassenzugehörigkeit. Diese Anforderung stellt vier wesentliche Fragen an die Anlagendiagnose [STF90]:

1. Welche Grenzwerte des Diagnosesignalverlaufes sind festzulegen?
2. Welche Prüfperioden sind zu wählen?
3. Welcher Zeitpunkt einer Restfunktionsdauerprognose ist zu wählen?
4. Welche Prognosemethoden werden angewendet?

Die Festlegung solcher Grenzwerte ist eine der schwersten Aufgaben bei der Zustandsbewertung. Sie erfolgt meist intuitiv mit dem Ziel:

- möglichst alle Schadensentwicklungen so rechtzeitig abubrechen, dass es nicht zu einer schwerwiegenden Havarie oder einem ungewollten Produktionsausfall kommt,
- andererseits aber unbegründete "Fehlalarme" zu vermeiden.

Da die Sensorplatzierung und -befestigung auf die Größe des aktuellen Diagnosemerkmals einen wesentlichen Einfluss hat, sollten nie Absolutwerte des Diagnosemerkmals, sondern deren Relativwerte (bezogen auf das Diagnosemerkmal im "Neuzustand" als Referenzwert) als Grenzwerte festgelegt werden. Es setzt sich mehr und mehr durch, mit einem bestimmten Faktor oberhalb des Referenzwertes eine *Alarm*-Schwelle (erhöhte Aufmerksamkeit beim Maschinenbetrieb erforderlich) und noch höher eine *Trip*-Schwelle (Außerbetriebnahme empfohlen) festzulegen. Allerdings werden nur für wenige Maschinentypen dafür quantitative Angaben in Standards oder Richtlinien gemacht [MELT00].

Diese Art der Überwachung eines Kennwerts (*monovariate* Diagnose) ermöglicht zwar zuverlässig die Notabschaltung von Maschinen, lässt aber meist nur in Ausnahmefällen eine frühzeitige Schadenserkennung zu, wie sie für die

zustandsorientierte Instandhaltung notwendig ist. Nur durch die Kombination mehrerer Messgrößen (*multivariate* Diagnose) zu einem Diagnoseverfahren oder die Verknüpfung von Aussagen mehrere Diagnoseverfahren ist eine zuverlässige Detektion von Schäden und eine korrekte Schadenslokalisierung möglich.

In einer unbearbeiteten Form enthalten Diagnosesignale viel zu viel Informationen, welche in der Diagnostik überhaupt nicht genutzt werden. Es werden deshalb aus den Diagnosesignalen *Diagnosemerkmale* extrahiert, welche sich ebenso langsam ändern, wie der zu diagnostizierende technische Zustand. Hilfsmittel zur Merkmalextraktion ist die Signalverarbeitung.

Im weiteren werden aus den Diagnosemerkmalen *Diagnosemodelle* gebildet, die als ein quantitativer Zusammenhang zwischen dem (gemessenen) Diagnosemerkmal und dem (zu identifizierten) Zustand bezeichnet werden können. Als wichtige Bedingung ist hier zu erwähnen, dass zum Diagnoseprozess von Maschinen und Anlagen Referenzbedingungen der Eingangsgrößen, Prozessgrößen (z.B. Leistung, Drehzahl, Temperatur) oder Umgebungsbedingungen einzuhalten sind.

Verfahrenswege zur Gewinnung des Diagnosemodells sind:

- datenbasierte Modelle, die auf der Grundlage gemessener Merkmale und bekannter Zustände an Lernobjekten gewonnen werden (das ist das konventionelle Vorgehen),
- wissensbasierte Modelle auf der Grundlage der systembeschreibenden Gleichungen oder des akkumulierten Expertenwissens (das ist eine neuere Strategie mit dem Ziel einer Einsparung von Versuchskosten).

Die formelmäßige Ableitung des Diagnosemodells ist in vielen Fällen schwierig und wird durch andere Verfahren ersetzt. Das **Bild 2-2** zeigt alle bekannten Wege zur Aufstellung des Diagnosemodells. Im oberen Teil des Bildes ist die Lernphase dargestellt, die der Modellierung (Aufstellung des Diagnosemodells) dient. Sie führt zu den in der mittleren Zeile benannten Diagnosemodellen. Im unteren Teil des Bildes ist die Kannphase (Arbeitsphase) dargestellt, sie dient der Identifikation des Zustandes (Nutzung des Diagnosemodells). Dazu werden die vereinbarten Diagnosemerkmale des Diagnoseobjektes (mit zunächst unbekanntem Zustand) in das Diagnosemodell eingeführt und der aktuelle Zustand identifiziert. Traditionell sind die datenbasierten Verfahren der statisch-kybernetischen Modellierung. Bei ihnen wird der Zusammenhang zwischen Zustand und Diagnosemerkmal ermittelt, indem entweder

- an Objekten gleichen Typs, aber unterschiedlichen Zustands (gleichzeitig oder im Laufe der nutzensbedingten Zustandveränderungen) geeignete Diagnosemerkmale messtechnisch bestimmt und der Zustand definiert werden (*passives Experiment*) oder
- an den Objekten der Zustand durch Eingriffe verändert und die zugehörigen Diagnosemerkmale messtechnisch bestimmt werden (*aktives Experiment*).

Der Zustand kann in verschiedenen Maßskalen ausgedrückt werden:

- metrische Proportionalskala (kann jeden beliebigen Zahlenwert annehmen: mm, % usw.),
- metrische Intervallskala (die metrische Skala wird in scharf begrenzte Wertebereiche unterteilt),
- nichtmetrische Nominalskala (der Zustand wird ohne feste Wertzuweisung verbal beschrieben).

Damit kann der Zustand entweder durch einen metrischen Zustandsparameter oder durch die Zugehörigkeit zu einer Zustandsklasse beschrieben werden. Das Ergebnis dieser Modellierung sind *Kennlinien*, datenbasierte *Klassifikatoren* und *neuronale Netze*.

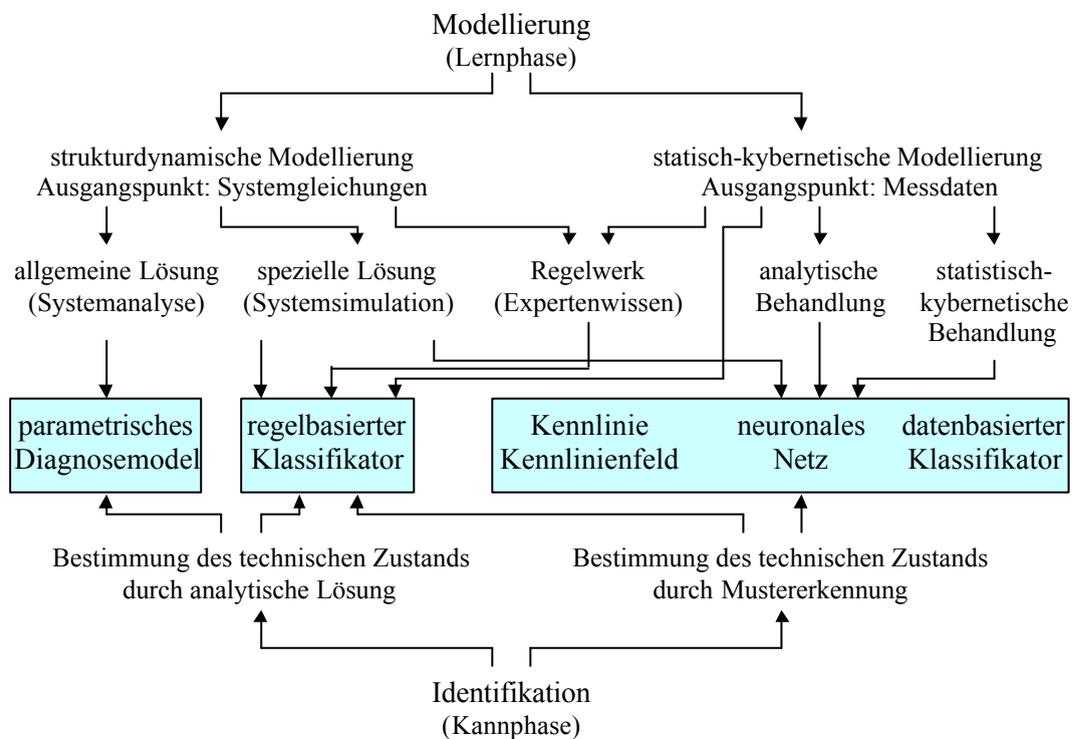


Bild 2-2: Unterschiedliche Wege zur Aufstellung und Nutzung des Diagnosemodells [MELT00]

Bei einer monovariaten Diagnose kann der Zustandsparameter in einem Diagramm als eine Punktfolge dargestellt werden. Ohne mathematische Hilfe kann rein intuitiv eine nicht analytisch beschreibbare *Kennlinie* eingezeichnet werden (z.B. linearer oder logarithmischer Zusammenhang zwischen Schädigungs- und Diagnosemerkmalen), welche die Ergebnisse der Lernphase möglichst gut annähert.

Immer dann, wenn die analytische Beschreibung des Zusammenhanges zwischen Diagnose- und Schädigungsmerkmal nicht gelingt oder erforderliche Verein-

fachung zu nicht vertretbaren Ungenauigkeiten führen, kann eine Klassenzuordnung erfolgversprechend sein. Die Lösung von Aufgaben mit mehreren Einflussgrößen und mehreren Diagnoseparametern wird in das Gebiet der *Mustererkennung* eingeordnet [STF88].

Zur Umgehung des Aufwandes oder der Schwierigkeiten bei der Aufstellung des Diagnosemodells sind *regelbasierte Klassifikatoren* in Anwendung gekommen [MELT00]. Zu ihrer Aufstellung sind neben der Auswahl geeigneter Diagnosemerkmale für die experimentelle Ermittlung der Merkmalsverteilung wenigstens fehlerfreie bzw. ungeschädigte Exemplare ("Gutzustand") erforderlich, die realisierbar sind. Ausgehend von Betriebsbeobachtungen oder von der theoretischen Beschreibung des Diagnoseobjektes wird dann dieses Expertenwissen in Form von Merkmalsdatensätzen und Regeln formuliert, die die Veränderung der Diagnosemerkmale bei Veränderung des technischen Zustands beschreiben.

Das künstlich neuronale Netz als statisch-kybernetisches Modell berücksichtigt den statischen Aspekt durch Auswertung einer möglichst großen Stichprobe von Daten in der Lernphase und den kybernetischen Aspekt durch das "Nachlernen" anhand neu gewonnener Merkmal-Zustand-Zuordnungen der Kannphase.

Hinsichtlich der Messung und Überwachung muss beim Einsatz von Überwachungs- und Diagnosesystemen zwischen *Online*- und *Offline*-Überwachungssystemen unterschieden werden. Werden Messungen ständig, ohne zeitliche Unterbrechung, von einem fest installierten System durchgeführt, so handelt es sich um eine permanente Überwachung. Sie ist immer dort eingesetzt, wo Maschinenänderungen sofort erkannt und geeignete Gegenmaßnahmen getroffen werden müssen [GERO99]. Für die zustandsbezogene Instandhaltung müssen Messwerte meist nicht permanent überwacht werden, da sich Schäden oder Fehler in der Regel innerhalb von Tagen, Wochen oder Monaten entwickeln. Ein System, das zwar permanent installiert aber intermittierend misst, ist hierfür vollkommen ausreichend. Permanent installierte Überwachungssysteme, egal ob sie permanent oder intermittierend messen, werden als *Online*-Systeme bezeichnet.

Von einer *Offline*-Überwachung spricht man, wenn mit einem portablen System regelmäßig, z.B. alle 4 Wochen, an einer Maschine gemessen wird. Eine große Anzahl von Maschinen lässt sich damit ökonomisch überwachen, da Kosten für Sensorik und Verkabelungsaufwand entfallen. Aber bei solchen intermittierend messenden, portablen Systemen, ist häufig die Reproduzierbarkeit der Überwachungsergebnisse ein Problem, da die Sensoren für eine korrekte Überwachung immer an der gleichen Stelle an der Maschine befestigt werden sollen. Nur so lassen sich Messungen sinnvoll vergleichen. In solchen Fällen bieten sich portable Systeme an, die einen Teil der Messkette, z.B. die Sensoren, permanent an der zu überwachenden Maschine appliziert haben. Auch unter den Aspekten Sicherheit und Zugänglichkeit ist eine permanente Installation der Sensoren insbesondere an großen Anlagen vorteilhaft [GERO99].

Eine Übersicht der Firmen und Softwareprodukte zur Datenerfassung, Visualisierung und Auswertung ist in der Tabelle I-3 Anhang I, dargestellt.

2.1.2.2 *Diagnoseentscheidung*

Die Diagnoseentscheidung als letzter Arbeitsschritt der Diagnose leitet im Fall der technischen Objekte schon die Instandhaltung ein. Gegenwärtig stellen sich die Möglichkeiten zur Bewertung des Maschinen- oder Anlagenzustandes folgendermaßen dar:

- Vergleich eines Messwertes bzw. Diagnosemerkmals mit einem Grenzwert (monovariat),
- Voneinander unabhängiger Vergleich mehrerer Messwerte bzw. Merkmale (diese können aus einem oder mehreren Messsignalen gebildet werden) mit zugehörigen Grenzwerten (monovariat),
- Kombiniertes Vergleich mehrerer Messwerte bzw. Merkmale mit zustandsabhängigen Mustern und Bewertung des Ähnlichkeitsmaßes bzw. Zugehörigkeitsmaßes (multivariat).

Die Anwendung von Normen kann entsprechende Diagnoseentscheidung erleichtern. Normen und Richtlinien spiegeln in der Regel nur gesichertes Wissen und erprobte Verfahren wider. Deshalb haben sie unter zwei unterschiedlichen Aspekten Vorteile und Nachteile:

- sie ermöglichen dem Anwender eine fehlerfreie und prüfbare Arbeit,
- sie provozieren das Festhalten an konventionellen Verfahren auch dann noch, wenn längst der „neueste Stand von Wissenschaft und Technik“ neue und bessere Verfahren zulässt [MELT00].

Maßgebliche Gremien für die internationale Normung auf dem Gebiet der technischen Diagnostik sind ISO/TC 108 (International Standard Organization/ Technical Committee „Mechanical vibration and shock“) und folgende Subcommittees:

- ISO/TC 108/SC 2: Measurement and evaluation of mechanical vibration and shock as applied to machines, vehicles and structures,
- ISO/TC 108/SC 5: Condition monitoring and diagnostics of machines.

Bild I-2 im Anhang I zeigt eine Zusammenstellung der ISO-Überwachungs- und Diagnosephilosophie nach dem gegenwärtigen Stand der ISO 13379. In DIN-Normen werden Analyseverfahren auch dokumentiert. Z.B. gemäß DIN 25424, Teil 1, ist es Zweck der Fehlerbaumanalyse, diejenigen logischen Verknüpfungen von Komponenten- oder Teilsystemausfällen zu ermitteln, die zu einem unerwünschten Ausfall der Systemfunktion führen. Der Fehlerbaum ist die graphische Darstellung der logischen Zusammenhänge zwischen den Fehler-
eingängen, die zu einem vorgegebenen unerwünschten Ereignis führen.

Bei der automatischen Zustandsdiagnostik technischer Systeme wird auch zwischen Online- und Offline-Entscheidungen unterschieden. Eine automatische "Online-Entscheidung" hat sich (auf der Basis eines einfachen monovariaten Grenzwertvergleiches oder eines multivariaten Mustervergleiches) bisher nur in solchen Fällen durchgesetzt, wo eine Verzögerung der Entscheidung zu schwerwiegenden Sicherheitsrisiken führen würde (z.B. an kerntechnischen Anlagen). In der Regel reicht die Lebensdauerreserve der überwachten (diagnostizierten) Maschine oder Anlage aus, um eine "Offline-Entscheidung" durch einen Experten ggf. auf der Basis zusätzlicher Diagnosebefunde herbeizuführen. Die Entscheidung, ob die Maschine instandgesetzt oder endgültig stillgelegt wird, erfolgt meist nach betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten. Bei einer zustandsabhängigen Instandhaltung wird auch in Betracht gezogen, die Restlebensdauer (soweit eine solche vorhanden ist und abgeschätzt werden konnte) zu nutzen oder durch Einflussnahme auf den Betriebsverlauf sogar zu beeinflussen.

2.2 Organisation der technischen Diagnose

Die Organisation des Zusammenspiels zwischen den Verantwortlichen für die technische Diagnostik, den Betreibern und den Instandhaltern muss, in die jeweilige betriebliche Organisationsstruktur angepasst, aufgebaut werden. Besonders folgende Aufgaben sind mit dem zu wählenden Informationsflussschema eindeutig zu regeln [STF88]:

- Wahl der Instandhaltungsstrategie,
- Auswahl der Ausrüstungen,
- Festlegung der Diagnoseart und der Diagnoseperiode sowie von Ausgangs- und Grenzwerten,
- Speicherung und Abruf der Diagnosedaten,
- Analyse der Messergebnisse,
- Einordnung der Diagnoseergebnisse in die gewählte Instandhaltungsstrategie,
- Korrekturen und Verbesserungen von Art, Umfang und Zeitpunkt der Diagnose in Abhängigkeit von Zuverlässigkeits- und Verfügbarkeitsanalysen,
- Festlegung der Verantwortung für einzelne Arbeitabschnitte,
- Auswahl und Qualifizierung des Personals.

Die Auswertung von Daten stellt den schwierigsten Teil des modernen Diagnoseprozesses dar. Der eigentliche Wert der Anlagenüberwachung und des Teleservice ergibt sich erst in der Ergebnisdarstellung in einem, auch für den Nichtspezialisten interpretierbaren Messbericht, weil Diagnoseergebnisse die Grundlage sowohl für eine zuverlässige Betriebsführung als auch für eine zustandsbezogene Instandhaltung sind.

Eine permanente Überwachung von Anlagen bedeutet dann einen Gewinn, wenn:

- die Ergebnisse der Überwachung in einer übersichtlichen, klaren und aussagekräftigen Form (z.B. Wochen- oder Monatsbericht) präsentiert werden,
- die Ergebnisse der Überwachung zeitlich regelmäßig oder ereignisgesteuert gemeldet und in Berichten dargestellt werden,
- das Zusammenstellen der Ergebnisse keine zeitraubende Tätigkeit ist.

Im Bericht können enthalten sein:

- Betriebszeit (Einschaltdauer) der Anlage, Baugruppen und/oder Bauteile,
- Trendanalysekurven für ausgewählte Parameter,
- Lebens- oder Restlebensdauer der Bauteile (geplante und unter den realen Betriebsbedingungen gerechnete),
- Instandhaltungspläne mit der Liste der Ersatz- und Verschleißteile usw.

Für den Aufbau der Zustandserfassung und des Diagnosesystems müssen auch entsprechende technische Voraussetzungen geschaffen werden. Zur Realisierung dieses Vorhabens ist es notwendig, durchgängig von der Projektierung bis zur Konstruktion die Anforderungen hinsichtlich Zustandserfassung und Anlagen-diagnose zu berücksichtigen. Dies sind insbesondere:

- Berücksichtigung und Einplanung der geforderten Messwerterfassungseinrichtungen,
- Schaffung der Anbaumöglichkeiten für Messwerterfassungseinrichtungen,
- Berücksichtigung von technischen Einsatzbedingungen, die sich durch die Nutzung bestimmter Messeinrichtungen ergeben (z.B. Abdeckung, Zugänglichkeit von Messstellen, Einsatzbedingungen der jeweiligen Einrichtungen).

Die Hardware für die Überwachung der Anlagen ist ursprünglich immer die Standardausrüstung, die für die Zwecke einer umfassenden Analyse des Maschinenzustandes weiter gerätspezifisch oder allgemeingültig ergänzt werden muss. Unter der Standardausrüstung der fördertechnischen Anlagen versteht man die Sensorik, die z.Z. bei der Installation an der Maschine üblich ist und den Steuerungs- und Sicherheitsregeln entspricht.

Um eine entsprechende Ergänzung für eine Zustandsanalyse der Anlagen vorschlagen zu können, soll zuerst ein Vergleich der Parameter herstellerspezifischer vorhandener (oder meist installierter) Ausrüstung der Anlagen mit den wünschenswerten Ergebnissen und zu erwartenden Zustandsaussagen durchgeführt werden (**Bild 2-3**). Bei einer solchen Betrachtung sind folgende Kriterien zu beachten:

- Welche binären Betriebsparameter (Meldungen) und analogen Messwerte sollen erfasst und übermittelt werden?
- Welche Daten sollen wie gemeldet bzw. dokumentiert werden?

- Stehen die zu erfassenden Signale bzw. Messwerte bereits in der Maschinensteuerung zur Verfügung?
- Welche Signale oder Messwerte müssen erfasst werden, die nicht in einer Steuerung verfügbar sind?
- Einteilung der Meldungen in unterschiedliche Prioritätsklassen.

Die Basis der zustandsorientierten Instandhaltung mit Mitteln der technischen Diagnostik ist die Aussage zur zeitlichen Entwicklung des Abnutzungsverlaufs (Zustandserkennung), um möglichst sicher das Entscheidungskriterium während des Betriebs, nämlich die Restlebensdauer von Anlagen und Bauteilen zu definieren, weil man sich dann rechtzeitig auf Reparaturen vorbereiten kann.

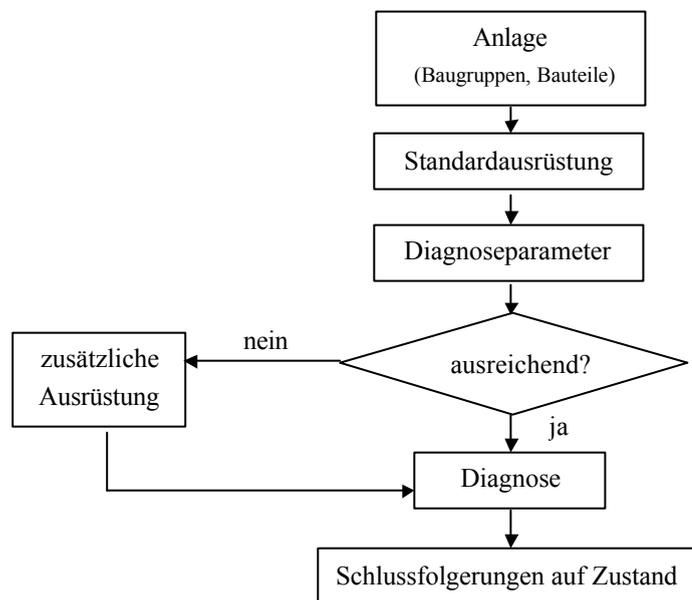


Bild 2-3: Sensorausrüstungsvergleich

Ist die Art, die Ursache und der Ort des Fehlers nach erfolgreicher Detektion durch die Überwachung bekannt, ist je nach Schwere des Fehlers eine geeignete Reaktion einzuleiten, d.h. die richtige Maßnahme zum richtigen Zeitpunkt durchzuführen (**Bild 2-4**). Für den Anlagenhersteller ist eine auf Basis der Analysen erstellte und ständig aktualisierte Schadensstatistik notwendig, um eventuell häufiger auftretende, gleichartige Probleme zu lokalisieren.

Die so identifizierten Problempunkte können dann systematisch durch Änderungen bzw. Verbesserungen von Konstruktion, Beanspruchungen, Fertigungsverfahren, Montage und Bedienungsanleitungen angegangen werden. Neben der Restlebensdauerabschätzung als *passive* Unterstützung der vorausschauenden Instandhaltung, lassen sich jedoch auch *aktive* Maßnahmen zur Verlängerung der Bauteillebensdauer ergreifen.

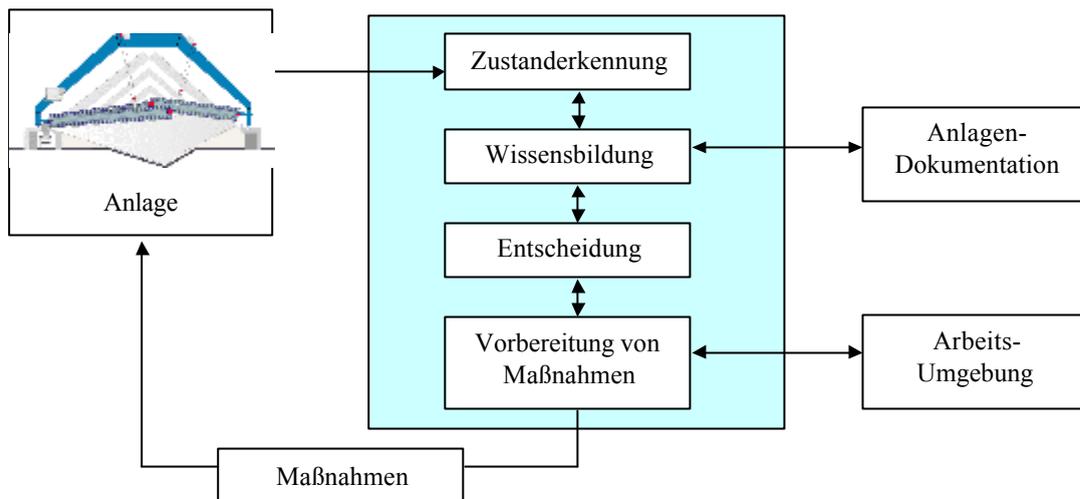


Bild 2-4: Richtige Maßnahme zum richtigen Zeitpunkt (in Anlehnung an [NiFu00])

Der Anlagenbetreiber andererseits kann durch geänderte Instandhaltungsmaßnahmen (Wartungsintervalle, Schmiermittelwahl), verbesserte Bedienung und erhöhten Kontrollaufwand versuchen, eine Wiederholung des Schadens zu vermeiden.

2.3 Einsatzgrenzen und Risiken der zustandsorientierten Instandhaltung

Häufig lassen sich Maschinen und Anlagen nur dann zustandsorientiert instandhalten, wenn komplexe Verfahren zur Zustandermittlung zum Einsatz kommen. Technische Anlagen bestehen außerdem aus Teilsystemen bzw. Einzelausrüstungen, die eine unterschiedliche Wertigkeit für die volle Funktionsfähigkeit der Anlage besitzen.

Die Festlegung der Überwachungsnotwendigkeit von Baugruppen/Bauteilen kann erleichtert werden, wenn die Gesamtanlage in unterschiedlich gewichtete Kategorien eingeteilt wird. Für eine solche Einteilung in Anlagenkategorien können *Prioritätsregeln* (Reihung der Wertigkeit) aufgestellt werden [STF90]. Diese Wertungsgruppen bieten die Möglichkeit, alle Ausrüstungen nach ihrem technisch-ökonomischen Verhalten so zu ordnen, dass Überwachungsmaßnahmen sowie deren organisatorische Bestandteile und Instandhaltungsmaßnahmen je nach vorhandener Instandhaltungskapazität festgelegt werden können. Nach diesem Prinzip kann auch die Reihenfolge für betriebliche Festlegungen, Sammlungen von Informationen, technologische Bearbeitung u.a. vorgenommen werden. Auf dieser Weise teilt man ein in:

- Anlagen oder Anlagenteile, deren Ausfall die Sicherheit von Menschen oder der Anlagen vermindert,

- Anlagen oder Anlagenteile, deren Ausfall einen Totalausfall der Produktionseinheit oder des Gesamtbetriebes zur Folge hat,
- Anlagen oder Anlagenteile, deren Ausfall Leistungsminderung bewirkt,
- Anlagen oder Anlagenteile, deren Ausfall mit Wirkungsgradverschlechterung verbunden ist,
- Anlagen oder Anlagenteile, deren Ausfall keinen unmittelbaren Produktionsausfall nach sich zieht.

Für die fördertechnischen Anlagen im Automatikbetrieb eines Schüttgut-Materialflusssystemes ist es notwendig, die Funktionsfähigkeit der Anlagen zu gewährleisten. Das vermindert die Vielzahl der möglichen Messungen auf einige relevante technische Betriebsparameter der Antriebs-, Übertragungs- und Abtriebs Elemente zur Gewährleistung des Betriebes und auf die Funktionsparameter (Positionen, Förderleistungen usw.) zur Gewährleistung der Funktion. Entsprechende anlagenspezifische Verschleißteile müssen in Betracht angezogen werden, bei denen die Möglichkeit besteht, die Lebensdauer und Restlebensdauer im Voraus zu definieren oder im Vergleich mit den unternehmensspezifischen Lebensdauer-Katalogwerten vorauszusagen.

Die neue Strategie bringt aber nicht nur klare Vorteile mit sich, sondern auch entsprechende Einführungsschwierigkeiten und Anwendungsrisiken. Bei der Einführung einer Zustandsermittlung und Diagnose ergeben sich in der Praxis einige Probleme [GERO99]:

- Notwendigkeit der Anpassung an die jeweilige Maschine,
- Benutzerakzeptanz,
- Expertenwissen für Systeminbetriebnahme und Betreuung.

Dabei sind selbstverständlich auch die Kosten gegenüber dem zu erwartenden Nutzen abzuwägen. Ein großes Problem bei der Anwendung der portablen Überwachungssysteme ist es z.B., dass immer weniger Instandhaltungsabteilungen Personal für das regelmäßige Datensammeln entbehren können. In Ländern wie Deutschland, wo Personal einen entscheidenden Kostenfaktor bildet, ist häufig selbst ein gut ausgearbeitetes "Condition Monitoring"-Instandhaltungsprogramm mit portablen Datensammlern zum Scheitern verurteilt. Der Grund hierfür liegt in der Problematik, dass das Personal zwar zu Beginn noch für die z.B. täglichen Routinemessungen eingesetzt wird, aber nach und nach für andere Arbeiten abgezogen wird. Regelmäßige Messungen können dann aber nicht mehr gewährleistet werden [GERO99].

Benutzerakzeptanz spielt natürlich auch eine große Rolle im Einführungs- und Arbeitsprozess des Überwachungssystems. Wenn die Leute vor Ort an der Maschine den Einsatz des Diagnosesystems nicht unterstützen, bringt in der Regel die gesamte Überwachung kaum zuverlässige Informationen. Ein behutsamer Umgang mit den Systemkomponenten, z.B. Sensoren, ist vom

Maschinenbedienpersonal nur zu erwarten, wenn sie über den prinzipiellen Aufbau und die Funktion des Überwachungssystems informiert sind und wenn sie den Vorteil, den das System bringt, erkennen. Manchmal ergeben sich Änderungen im Maschinenbetrieb oder es werden konstruktive Veränderungen an der Maschine durchgeführt. Dies erfordert meist eine Anpassung der Überwachung. Nur wenn das Bedienpersonal mitdenkt und die Information über solche Änderungen weiterleitet, wird das Diagnosesystem zuverlässig funktionieren.

Zu den Risiken der Einführung einer zustandsorientierten Instandhaltung gehören in erster Linie die ungenaue Abschätzung des Zustandes wegen fehlender Informationen, falscher Interpretation oder eines Messungs-/Berechnungsfehlers. Die vielversprechenden Theorien zur Bestimmung der Restlebensdauer sind mit Vorsicht zu genießen, weil die Berechnungen von vielen Einflussgrößen abhängig sind. Es ist viel sicherer, auf die Erfahrungswerte der Anlagenhersteller zurückzugreifen, die im Laufe der Jahre gesammelt wurden. Trotz genauester Messungen und aller gesammelten Erfahrungswerte kann eine Aussage über die verbleibende Restbetriebsdauer durch das nichtlineare Verhalten von komplexen Schwingungssystemen z.B. immer nur einen unverbindlichen Charakter haben.

Der Diagnoseprozess ist zur Zeit in starkem Maße mit den "Wissensträgern" verbunden. Das sind die Leute, die sich ständig mit den Systemen, mit der Überwachung und entsprechender Auswertung der Daten beschäftigen. Eine einfache Temperaturüberwachung auf Grenzwertüberschreitung kann durch den Maschinenbetreiber korrekt installiert und betrieben werden. Für die korrekte Einstellung und Inbetriebnahme eines komplexen Überwachungssystems, z.B. einer frequenzselektiven Schwingungsüberwachung an einem mehrstufigen Getriebe, wird aber in der Regel ein Experte benötigt. Deshalb besteht das Risiko in Form eines Wissensverlustes, der sich nach der Änderung der Personalsituation einstellen kann. Das gilt auch für die Festlegung der kritischen Grenzen, die meistens in persönlichen Erfahrungswerte bestehen. Auch für die Auswertung im Alarmfall hinsichtlich detaillierter Diagnose der Störungsursachen muss meistens ein Experte hinzugezogen werden, obwohl bereits auch automatische Diagnosesysteme im Einsatz sind. Die auf dem Markt befindlichen automatischen Diagnosesysteme erreichen nicht die Diagnosezuverlässigkeit eines menschlichen Experten. Der favorisierte Einsatz von neuronalen Netzen zur automatischen Diagnose hat sich nicht durchgesetzt [GERO99]. Neuronale Netze und andere trainierbare Klassifikatoren kommen dort zum Einsatz, wo nur wenig oder gar kein explizit vorhandenes Wissen über die Klassifizierung vorhanden ist, aber repräsentative Daten für den Trainingsvorgang zur Verfügung stehen. Genau diese Voraussetzung ist aber häufig ein Problem in der Maschinendiagnose. Es existiert deswegen dringende Notwendigkeit, die Funktionen menschlicher Diagnose auf das automatische Diagnosesystem auf unpersönlicher Ebene zu verlagern und sichere Grundlagen für eine erfolgreiche Zustandsdiagnose der verschiedenen, in unserem Fall, Förderanlagen zu schaffen.

3 Das Schüttgut-Materialflusssystem als Objekt der Überwachung und Diagnose

In diesem Kapitel wird der ausgewählte Abschnitt des Bekohlungs-Schüttgut-Materialflusssystem durch die Objektanalyse im einzelnen untersucht. An den Geräten war fast keine dem Diagnose- und Überwachungszweck relevante Ausrüstung vorhanden. Deshalb bestand die Aufgabe, eine möglichst komplette Konfiguration für die Überwachung der ausgewählten Anlagen zu schaffen und die Auswahl sowohl der Bauteile als auch der Diagnosesignale zu begründen, um eine Zustandsüberwachung sowie Schadenserkennung an den Schüttgutanlagen zu ermöglichen.

Zusammenfassend sind folgende Aufgaben zu lösen:

1. Analyse der geforderten Funktionen des Gesamtsystems,
2. Analyse der Konstruktion und Funktion der Systemelemente (Gurtförderer, Absetzer, Portalkratzer, Kohle- Misch- und Stapelplatz),
3. Festlegung der diagnosewürdigen Baugruppen und Bauteile mit zugehörigen relevanten Diagnosesignalen und Betriebsdaten für die Systemelemente mit notwendiger Sensorausrüstung,
4. Auswahl der Diagnosemerkmale und Diagnosemethode, die Schlussfolgerungen auf den Zustand ausgewählter Bauteile zulassen.

In diesem Kapitel werden mehrere Überwachungsparameter von den Baugruppen der Anlagen analysiert. Es muss erwähnt werden, dass auch Diagnosesignale in Abhängigkeit von der Überwachungsstrategie des Unternehmens (sog. Komplexitätsstufen der Überwachung, *Kapitel 5, Abschnitt 5.1*) ausgewählt werden müssen, um das vom Unternehmen definierte Überwachungsziel zu erreichen. In der Analyse der Diagnosesignale ist zu beachten, dass die skizzierten Zustandsparameter für eine Fernüberwachung geeignet sind.

Es waren einige Messeinrichtungen vorhanden, deren Signale für die weiteren Untersuchungen herangezogen werden konnten. Anhand der entsprechenden Messverläufe werden eine Überwachung der Anlagenführung, Erfassung der Ereignisse und Verfolgung der Anlagenhistorie dargestellt.

Gleichzeitig wird in diesem Kapitel die Frage betrachtet, für welche Bauteile der Förderanlagen die Maschinenbauer und Wissenschaftler zur Zeit in der Lage sind, eine sichere Zustandsanalyse und eventuell Lebensdauerprognose mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit durchzuführen.

3.1 Technische Diagnostik eines Materialflusssystems am Beispiel einer Bekohlungsanlage

3.1.1 Technische Merkmale

Die kontinuierliche Beschickung von Kohlekraftwerken, bei denen der Aschegehalt und der Heizwert der eingebrachten Kohle möglichst konstant gehalten werden müssen, um den Verbrennungsvorgang optimal zu steuern, stellt hohe Anforderungen an das Schüttgut-Materialflusssystem.

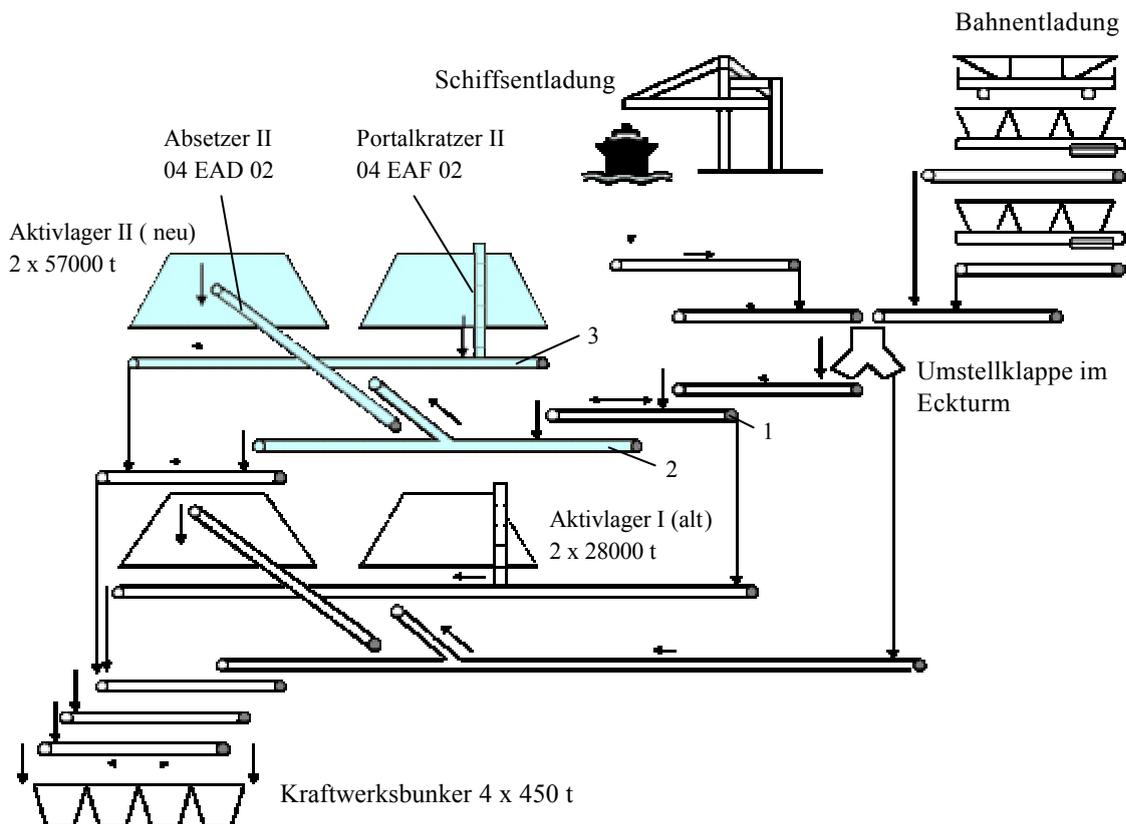


Bild 3-1: Bekohlungssystem Kraftwerk Heyden,

1 – Gurtförderer GF 04 EAC 32; 2 – Bandschleifenwagen BSW 04 EAC 43; 3 – Gurtförderer GF 04 EAC 51.

Durch die Gestaltung eines flexiblen Anlagenkonzeptes des Kraftwerkklagerplatzes wurde das Ausfallrisiko der Gesamtanlage wesentlich vermindert. Durch die Anordnung eines zweiten parallelen Beschickungs- und Lagersystem im Jahre 1999 mit einem gleichartigen Abschnitt von Halden und Großgeräten, die nach Notwendigkeit in die Kohletransportkette eingeschaltet werden können, wurde die Verfügbarkeit des Bekohlungssystems erhöht. Die Anlieferung der Kohle erfolgt über einen Bahnanschluss und per Schiff über den Weserseitenkanal. Die Verteilung des Kohlestroms findet an einer Verteilungsstation im sogenannten „Eckturm“ statt. Durch den Reversierbetrieb des Gurtförderers

Pos. 1 kann die Bekohlung wahlweise über die nachgeschalteten Fördereinrichtungen der vorhandenen Bekohlungsanlage zum Aktivlager I oder über die Fördereinrichtungen zum neuen Aktivlager II erfolgen. Die Haldenlagerung erfolgt für die Kohlemengen 2x28000 t (Aktivlager I der alten Bekohlungsanlage) und 2x57000 t (Aktivlager II der Erweiterung) und dient zum Bevorraten zwischen der Entladestelle und den Kraftwerksbunkern.

In der Arbeit wird die Erweiterung der Bekohlungsanlage (Aktivlager II im **Bild 3-1** farbig hinterlegt) untersucht, die im Wesentlichen aus den Anlagenteilen für die:

- Einlagerung in das neue Aktivkohlelager (Absetzer II 04 EAD 02),
- Auslagerung aus dem neuen Aktivkohlelager (Portalkratzer II 04 EAF 02),
- Zuführungs- und Auslagerungsband,
- Kohle- Misch- und Stapelplatz mit zwei Halden

besteht. Die angelieferte Kohle wird von den Fördereinrichtungen der vorhandenen Bekohlungsanlage übernommen und bis zum Gurtförderer Pos. 1 transportiert. Von hieraus wird die Kohle über den Bandschleifenwagen Pos. 2 zum Absetzer II gefördert und von diesem in das neue Aktivkohlelager eingelagert.

Die Halden werden mit der „Strata“-Methode [VDI3972] aufgeschüttet, d.h. der Aufbau der Halde erfolgt in seitlichen Schrägschichten (37 Schichten am betrachteten Haldensystem) mit dem schwenkbaren Absetzer (**Bild 3-2**). Dabei schüttet der Absetzer zunächst am äußersten Rand des Haldenplatzes eine Schicht und wird dabei um einen bestimmten Betrag X verfahren. Ist diese aufgebaut, wird der Ausleger um den Betrag Y versetzt und es erfolgt die Schüttung der nächsten Schicht, deren Fußlinie auf dem First der ersten Schicht liegt. Durch mehrmaliges Versetzen des Auslegers erfolgt der schichtweise Aufbau der Schüttguthalde bis zur vollständigen Haldenhöhe. Dabei sind die Materialeigenschaften pro Schicht relativ konstant. Vorteile der Methode:

- mittlerer Mischeffekt möglich sowohl bei seitlichem als auch stirnseitigem Abbau, d.h. gut geeignet für nicht so hohe Ansprüche an die Mischung des Materials,
- gute Automatisierungsmöglichkeiten, d.h. geringe Personalkosten,
- gleichmäßiger Mischeffekt möglich bis in die Endkonen der Halde, d.h. keine Länge/Breite-Restriktionen.

Nachteile:

- Absetzer mit Drehwerk nötig, da der Ausleger in die verschiedenen Abwurfpositionen gebracht werden muss,
- Automatisierung etwas teurer als bei Kegelschalenaufhaltung durch die verschiedenen Abwurfpositionen,

- Fahrweg für Absetzer etwas länger, da Platz für das Einschwenken des Auslegers benötigt wird,
- Entmischung von Grob- und Feinkorn [PETER99].

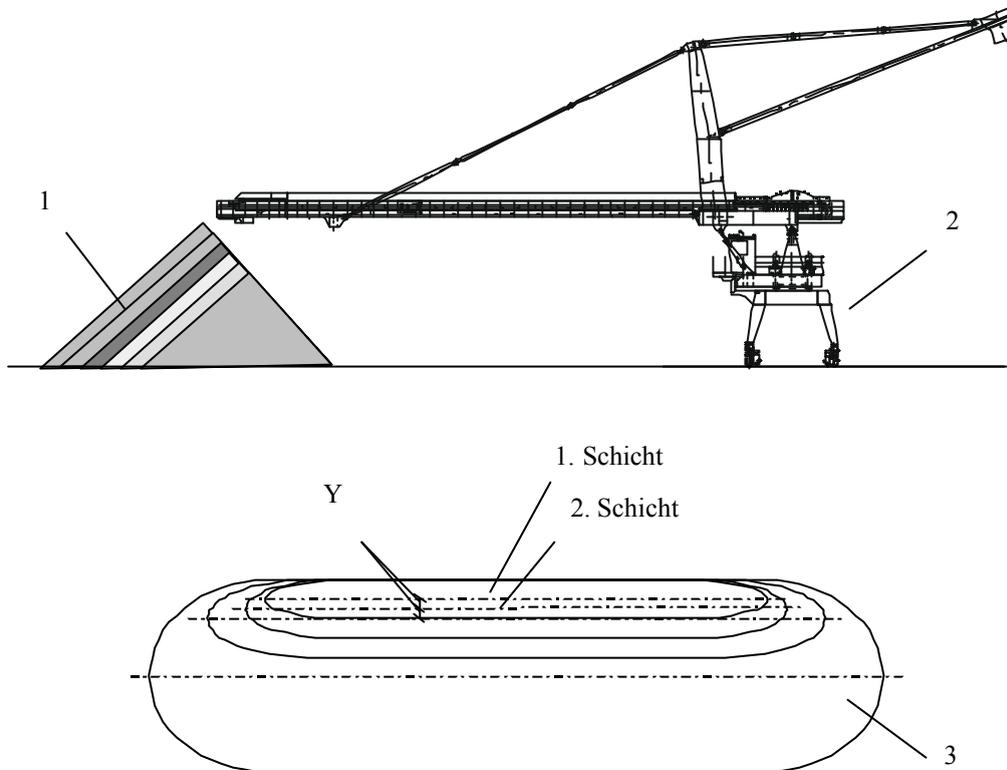


Bild 3-2: Einlagerung nach dem Strata-Verfahren,
 1 – Haldenschichten; 2 – Absetzer; 3 – Strataaufhaldung.

Die Auslagerung erfolgt mittels Portalkrater 04 EAF 02. Bei der stirnseitigen Rückladung mit dem stets den gesamten Haldenquerschnitt erfassenden Portalkrater wird mit der Strata-Methode ein guter Mischeffekt erzielt. Damit die beiden Vorgänge, Aufschüttung durch den Absetzer und Abbau durch den Krater, gleichzeitig erfolgen können, sind zwei Halden pro Abschnitt vorgesehen, die von den Geräten parallel bearbeitet werden können.

Der Portalkrater übergibt die Kohle auf das Auslagerungsband Pos. 3 im **Bild 3-1**. Von hieraus wird die Kohle über die Auslagerungsbänder der bestehenden Bekohlungsanlage in die Kesselbunker gefördert. Die Auslagerung wird über die Füllstandsmessung der Kesselbunker bei Füllstand "min" automatisch in Betrieb gesetzt oder kann von der Warte aus gestartet werden.

Die Auslagerungsbänder laufen nach akustischer und optischer Vorwarnung in gestaffelter Reihenfolge entgegen der Förderrichtung an. Liegt keine Störung vor, setzt sich der Portalkrater in Bewegung und speichert die Kohle aus.

3.1.2 Gewährleistung der Funktion des Materialflusssystems

Für die Gewährleistung der Funktion des Kraftwerk-Materialflusssystems ist vor allem die rechtzeitige Versorgung des Kraftwerkklagerplatzes mit Brennstoff zu beachten. Das ist eine Aufgabe sowohl der Betriebsführung als auch der Instandhaltung der Entladestellen mit den Zwischenförderern, die die entsprechende Versorgung des Lagerplatzes gewährleisten.

Als Gefahrenverursacher gelten bei der Kohlelagerung im ausgewählten Abschnitt:

- die Bandanlagen,
- der Absetzer für den Aufbau der Halden,
- der Kratzer für den Abbau der Halden.

Die Zusammenarbeit der Großgeräte wird durch einen Kollisionsschutz gesichert. Für den Kollisionsschutz wurden der Kratzer mit Wegmesssystemen und der Absetzer mit Messsystemen für Fahrwerk, Hub- und Schwenkwerk ausgestattet. Die Messergebnisse werden von einer SPS erfasst und zur Berechnung der Kollisionsgefahr genutzt.

Allgemein gilt für das in Betracht gezogene System, dass der störungsfreie Betrieb der Systemkomponenten mit dem automatischen Ablauf der Hauptfunktionen die fehlerfreie Funktion des Gesamtsystems gewährleistet, die durch die laufende Überwachung und entsprechende Analyse des Anlagenzustandes gesichert werden kann.

3.2 Technische Diagnostik des Betriebes der Elemente des Materialflusssystems

Die ausschließlich zur Bewegung von Schüttgutmassen bestimmten Förderanlagen werden in ihren maschinellen Teilen vor allem aus den klassischen Maschinenelementen aufgebaut. Trotzdem sind bestimmte Maschinenelemente als typische Bauteile fördertechnischer Maschinen zu bezeichnen, weil sie entweder überwiegend bei diesen eingesetzt werden, z.B. Gurte, Drahtseile, Ketten, Trommeln oder in diesen Maschinen eine besondere Bedeutung und funktionelle Wertigkeit haben, z.B. Bremse oder Laufrad.

Aus den verschiedenen Baugruppen lassen sich vier Grundformen herauslösen, die als klassische fördertechnische Antriebe allgemeinere Bedeutung haben, weil sie in vielen Fördermaschinen vorkommen:

- Hub- und Einziehwerke, die vornehmlich durch die Gewichtskräfte der bewegten Massen belastet werden,
- Fahr- und Drehwerke, die vor allem gegen Reibungskräfte und Windkräfte (Geräte im Freien) wirken.

Eine fünfte Grundform fördertechnischer Antriebe bilden die im Dauerbetrieb arbeitenden Triebwerke der Stetigförderer. Vorwiegend leiten sie benötigte mechanische Energie kraft- oder formschlüssig in das Zugmittel dieser Maschinen ein [SCHE94]. Bestimmte Fördermaschinen, z.B. Bandförderer, haben häufig nur einen Antrieb, andere, wie z.B. der Absetzer (**Bild 3-3**) am Kraftwerklagerplatz, brauchen mehrere Triebwerke.

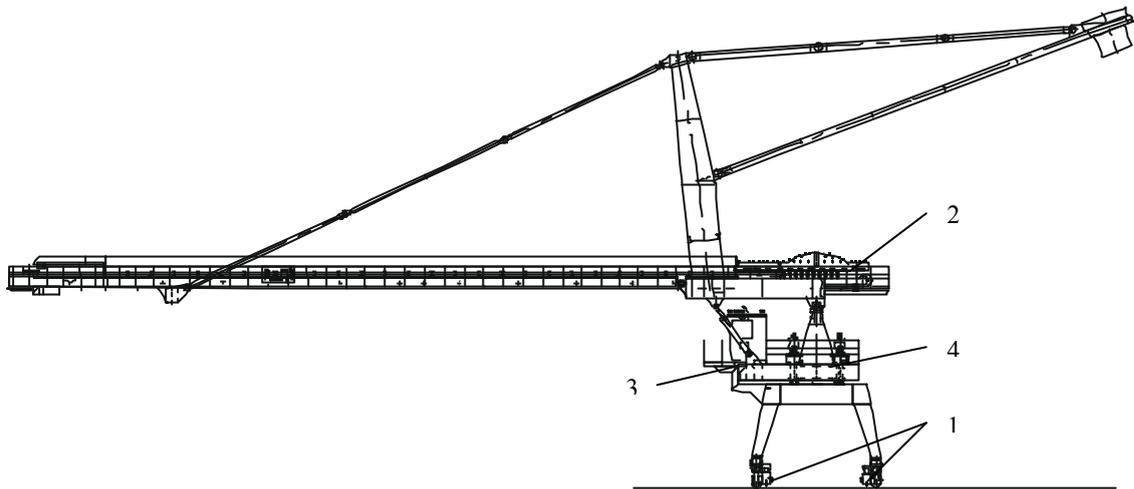


Bild 3-3: Absetzer 04 EAD 02,

1 – Antrieb Fahrwerk; 2 – Bandantrieb; 3 – Antrieb Hubwerk; 4 – Antrieb Schwenkwerk

Zusammenfassend sind folgende Elemente der fördertechnischen Anlagen im ausgewählten Abschnitt zu nennen (in Anlehnung an [SCHE94]):

ENERGIEWANDLER: Elektromotoren, Hydromotoren.

ÜBERTRAGUNGSELEMENTE:

- mechanische Übertragung (Getriebe, Wellen, Kupplungen),
- elektrische Übertragung (Kabel, Motoren),
- hydraulische Übertragung (Pumpen, Rohrleitungen, Motoren).

ABTRIEBSELEMENTE:

- Trommeln, Scheiben (für Seile, Gurte),
- Kettenräder (für Ketten) und Zahnräder (für Drehkränze, Zahnstangen),
- Laufräder (für Schienen),
- hydraulische Zylinder (für translatorische Bewegung).

Im weiteren werden die Bauteile und die Baugruppen der Anlagen hinsichtlich der Überwachungsnotwendigkeit mit entsprechenden Diagnoseparametern und Rückschlüssen auf den Zustand im einzelnen betrachtet. Die Darstellung enthält sowohl vorhandene installierte Anlagenausrüstung als auch notwendige Parameter zur Steigerung der Diagnosefähigkeit der Anlagen.

3.2.1 Gurtförderer

Der Gurtförderer als der leistungsfähigste Stetigförderer und herausragendes Fördermittel beim Umschlag von Schüttgütern wie Kohle [MART78] ist sowohl ein selbständiges Gerät, als auch die Grundeinheit spezieller fahrbarer Förderanlagen. Der Gurtförderer im betrachteten Bekohlungssystem dient als Verbindungselement zwischen den Systemabschnitten sowie als eine der Hauptbaugruppen des Absetzers.

Für die Hauptbauelementen des Gurtförderers (Motor, Getriebe, Tragrollen usw.) werden relevante Überwachungsparameter zur Gewährleistung der Funktion und des Betriebes ausführlich betrachtet, für die anderen Anlagen mit diesen Baugruppen (Portalkratzer und Absetzer) werden diese Parameter wegen der Ähnlichkeit der Überwachungsaufgaben und Lösungswege nur genannt und aufgelistet.

3.2.1.1 Technische Merkmale

Die Gurtförderer [VDI2326, DIN22101] sind nach DIN 15201 Stetigförderer mit Gurten, die zugleich Trag- und Zugfunktion übernehmen. Der Gurt wird mindestens um zwei Umlenkrollen geführt, wobei mindestens eine davon angetrieben wird, und durch Tragrollen abgestützt. Das Tragorgan wird durch einen Elektromotor in Bewegung gebracht.

Bei der Projektierung, Ausführung und im Betrieb von Anlagen spielen einige Merkmale eine entscheidende Rolle.

- Einsatzbedingungen

Die Funktionsfähigkeit der Technik ist an bestimmte Umgebungsbedingungen gebunden. Vor allem geht es um die geforderte Betriebstemperatur, die Luftfeuchtigkeit und die Luftreinheit.

- Einschaltdauer

Zeitmessungen sind in technischen Systemen vor allem deshalb erforderlich, um die Dauer bestimmter Abläufe zu ermitteln, und um bestimmte Zeitintervalle vorgegebener Dauer zu markieren. Die Analyse der Betriebszeitzyklen zwischen den Instandhaltungsterminen für die Bauteile des Gurtförderers kann auch als Diagnosemerkmal verwendet werden. D.h. die Information über die vorherigen Ausfälle unter Berücksichtigung der Belastung und bestehenden Betriebsabläufe bildet im Zusammenhang ein Verhältnis in bezug auf die zu erwartete Betriebszeit der Bauteile.

Unter Überwachungseinrichtungen sollen alle Hilfsaggregate verstanden werden, mit deren Hilfe das Bedienungspersonal auf ein Minimum reduziert werden kann und die auftretenden Unregelmäßigkeiten und Schäden, die zu Betriebsunterbrechungen führen, frühzeitig erkannt, die Anlage gesteuert, still gesetzt und Reparaturen rechtzeitig ermöglicht werden [VDI3607].

Nach der Betrachtung der Störungsursachen bei Gurtförderern (Tabelle II-4, Anhang II) laut Hersteller [FAM] ist festzustellen, dass die meisten Störungen mit möglichen Folgeschäden durch die Überwachung und Zustandsdiagnose ausgeschlossen werden können.

3.2.1.2 *Parameter, Betriebsdaten und Sensorik zur Gewährleistung der Funktion*

Der störungsfreie Betrieb des Gurtförderers wird durch die Erfüllung seiner Hauptfunktion des Schüttguttransportes in geplanter Menge gekennzeichnet. Der zu überwachende Parameter dafür ist der Massenstrom (Förderleistung). Andere Parameter dienen zur Signalisierung der für die Anlage gefährlichen Situationen, die den Betrieb negativ beeinflussen können.

- Massenstrom (Förderleistung)

Der Massen- bzw. Volumenstrom ist ständig zu erfassen. Die gewonnenen Messwerte werden benötigt für:

- Soll- bzw. Größtwertüberwachung (Kontrolle der Anlagenproduktivität),
- Feststellung des Beladungszustandes des Bandes für Anlauf- und Spannkraftsteuerung.

Der Massenstrom wird mit einer Bandwaage erfasst, die exakte Informationen über die Menge des transportierten Materials liefert. In dem betrachteten Materialflusssystem müssen folgende Messorte genannt werden:

- an der Bandanlage zwischen der Entladung und der Schüttguthalde (Absetzer) zur Messung der aufgeschütteten Kohle (nicht vorhanden, ist zu installieren),
- an der Bandanlage zwischen dem Kratzer und dem Kraftwerkbunker zur Messung der von der Halde abgebauten Kohle (installiert).

Die Bandwaage bietet einen Vorteil gegenüber einer volumetrischen Erfassung der Fördermengen, weil die transportierte Masse als objektive Massenstrommessung kontinuierlich in Tonnen (t) bzw. Tonnen pro Stunde (t/h) erfasst wird. Durch die Ermittlung der Kohlemenge kann auch der Haldenaufbau- und Haldenabbauprozess gesteuert werden.

Die Messung und Analyse der Messwerte kann folgendermaßen durchgeführt werden:

- Die installierte Bandwaage führt eine Vorbewertung durch, in der die Bildung der Gesamtsumme des transportierten Materials pro Zeiteinheit enthalten ist. Eine solche Vorbereitung spart Zeit bei der Übertragung von stark reduzierten Datenmengen und Bearbeitungszeit durch das beauftragte Personal.
- Eine andere Möglichkeit ist die Messung der laufenden Werten und

Übertragung zum Datensammler mit nachträglicher Bearbeitung. Hier sind zusätzliche Auswertungsroutinen notwendig.

Der Messwertverlauf einer kontinuierlichen Beschickung der Kraftwerksbunker während des Haldenabbaus durch den Kratzer ist im Bild II-1 Anhang II dargestellt.

Meldung, Reaktion: Massenstrom in t/h , Überwachung und Speicherung der Werte für eine weitere statistische Bearbeitung.

Um sichere Betriebsbedingungen des Gurtförderers zu gewährleisten, sind folgende Sicherheitsmeldungen mit entsprechender Ausrüstung zu erfassen und in die Überwachungssysteme zu implementieren:

- Seilzugnotschalterkontrolle

Seilzugnotschalter an beiden Seiten des Förderbandes schützen das Bedienungspersonal vor schweren Unfallfolgen. Die Zugfedern an den Seilenden der Seilzugnotschalter gewährleisten die Selbstüberwachung der Reißleine. Kommt es zum Bruch der Reißleine, wird der Seilzugnotschalter ausgelöst.

Meldung, Reaktion: Störungsmeldung, sofortiges Abschalten des Bandantriebes.

- Fremdkörper

Um magnetische und nicht magnetische Metallteile im Fördergutstrom aufzufinden, kommen Metallsuchgeräte zum Einsatz, die mit der Bandanlage so gekoppelt werden müssen, dass diese beim Durchgang von Metallteilen stillgesetzt wird und die Fremdkörper von Hand entfernt werden können. Metallsuchgeräte dienen auf dieser Weise zum Schutz der Fördergurte bzw. des Endproduktes vor metallischer Verunreinigung. Zusammen mit dem Fördergut können Bohrstangen, Baggerzähne, Brecheisen und andere Metallteile transportiert werden, die vor Erreichen einer Übergabestation erkannt und entfernt werden müssen, um eine Beschädigung der Anlage zu vermeiden. Magnetische Metallteile können aus dem Fördergutstrom durch Magnete entfernt werden. Das ermöglichen

- a) die Magnettrommel als Abwurftrammel,
- b) knapp über dem Fördergutstrom angeordnete Aushebemagnete,
- c) Überbandmagnetscheider, ausgerüstet mit einem Kurzband, das die Fremdkörper abtransportiert [VDI 3607].

Durch eine lautstarke Hupe wird die Anfahrwarnung des Bandes realisiert. Wird der Seilzugnotschalter betätigt, ist durch eine Signalleuchte der Ort des Notfalls lokalisiert.

3.2.1.3 Technische Diagnose des Betriebes

Unter technischer Diagnose des Betriebes der Gurtförderer wird die Überwachung und Analyse der Antriebsparameter, des Gurtes und der relevanten Baugruppen verstanden.

Im ausgewählten Abschnitt haben folgende Gurtförderer entsprechende Antriebseinheiten:

- Zuführungsband BSW 04 EAC 43 (Pos. 2 **Bild 3-1**),
- Auslagerungsband GF 04 EAC 51 des Portalkratzers 04 EAF 02 (Pos. 3 **Bild 3-1**) zu den Fördereinrichtungen der Bekohlung der Kraftwerksbunker,
- Auslegerband des Absetzers 04 EAD 02.

Für den **Elektromotor** des Antriebes ist die Überwachung der Einschaltdauer vorzuschlagen. Mit der Erfassung der Einschaltdauer wird die gesamte Betriebszeit ermittelt und kann als Referenzwert der zu erwartenden Betriebszeit des Elektromotors im vergleichbaren Projekt für weitere ähnliche Einsatzfälle der Technik herangezogen werden.

Meldung, Reaktion: Betriebszeit in Stunden, Speicherung in der Datenbank, Summieren, Vergleich mit den gesammelten Daten zur Betriebsdauer der relevanten ausgeführten Projekte oder von Motorhersteller/Lieferant.

Schadenserscheinungen am Elektromotor können durch die Überwachung der folgenden Parameter erfasst werden:

- Wicklungstemperatur

Temperatur in der Wicklung wird durch den Einbau von Kaltleitern überwacht.

Meldung, Reaktion: Abschalten des Bandantriebes, Störungsmeldung, Recherche der Störungsursache.

- Motorstrom bzw. Leistungsaufnahme

Motorstrom bzw. Leistungsaufnahme sind zu überwachen, damit bei unzulässig hohen Gegenmomenten infolge Blockierungen oder Schäden der Gurtförderer abgeschaltet werden kann.

Ständig hohe Messwerte im Vergleich mit Sollwerten im Normalbetrieb bedeuten permanente Störungen in der angetriebenen Baugruppe.

Meldung, Reaktion: Störungsmeldung, Abschalten des Bandantriebes. Eine weitere Nutzung der tatsächlichen Leistungsaufnahme besteht in der Unterstützung der Projektierung ähnlicher Anlagen beim Hersteller und Erhöhung des Herstellerwissens über Bandanlagen.

- Körperschwingungen

Eine der sichersten Methoden zur Zustandsanalyse der Elektromotoren ist die

Körperschwingungsanalyse. Die Schwingungssignale als Diagnosesignale und Träger der Zustandsinformation haben gegenüber anderen, insbesondere gegenüber der Oberflächentemperatur den Vorteil, dass sie nach dem Einschalten der Maschine sofort messbar sind und dass sie Änderungen des Betriebszustandes auch relativ trägheitsarm folgen. Der Nachteil besteht darin, dass aufgrund der hohen Signalfrequenz das Verhältnis Speicherbedarf/ Informationsgehalt besonders hoch ist [MELT00].

Tabelle 3-1: Schwingstärke gemäß ISO 2372/VDI 2056

Schwingungsgeschwindigkeit V_{eff}	28					
	18					
	11		Unzulässig			
	7					
	4,5		Noch zulässig			
	2,8					
	1,8		Brauchbar			
	1,1					
	0,7		Gut			
	0,45					
	0,28					
	mm/s		Klasse I Kleinmaschinen bis 15 kW	Klasse II Mittelmaschinen 15-75 kW	Klasse III Großmaschinen ab 75 kW	Klasse IV Turbomaschinen

Die Aufstellung der Merkmale kann in einfacher tabellarischer Form erfolgen.

Tabelle 3-2: Tabelle zur Aufstellung der Merkmale [MSERV]

Komponente	Zuverlässigkeitsmerkmal	Diagnosemerkmal			
		Quelle	Kenngrößen		Kriterium
			Messgröße	Kennwert	
Rotor vom E-Motor	Rundlaufeigenschaft	Beschleunigungssensor	Sensorsignal	Schwingungsamplitude	unterhalb drehzahlabhängiger Grenzkurve

Üblicherweise wird an elektrischen Motoren an den Lagern ein Messpunkt angebracht. Ob je Maschine ein, zwei oder mehr Messpunkte überwacht werden, ist leistungs- und prioritätsabhängig. Falls nur ein Messpunkt überwacht wird, ist dieser vorzugsweise am Lager der Kupplungsseite zu installieren. Tabelle 3-1 gibt eine Übersicht der zulässigen Schwingstärke von Maschinen aufgrund von Messungen an nichtrotierenden Teilen ([VDI2056], Diagnosemerkmal ist der Effektivwert der Schwinggeschwindigkeit im Frequenzbereich 10...1000 Hz). Entscheidend ist die Veränderung des

Schwingungsverhaltens über der Betriebszeit unter Berücksichtigung der Betriebsparameter Last und Drehzahl. Aber wegen der Dominanz der Gehäuseschwingungen gegenüber den Unwuchten der umlaufenden Teile waren Lagerschäden nach der erst 1997 zurückgezogenen VDI-Richtlinie 2056 nicht detektierbar. Die inzwischen verbindliche Norm DIN ISO 10816 [DIN10816] modifiziert das Diagnosemerkmal Schwingungsgeschwindigkeit durch Frequenzbewertung und empfiehlt noch weitere Diagnosemerkmale und Beurteilungskriterien [MELT00] (siehe *Trommellagerüberwachung*).

Meldung, Reaktion: Überwachung des Grenzwertes, bei Erhöhung des Pegels kommt eine Warnungsmeldung, bei Überschreitung der zulässigen Grenzen erfolgt das Abschalten des Antriebes mit der Störungsmeldung.

Die Vorteile der Anwendung der Überwachung der Elektromotoren sind in der Reduzierung des Gesamtreparaturaufwandes. So kann beispielsweise ein fortgeschrittener Lagerschaden auch die Wicklung in einem Motor schädigen. In diesem Fall wäre dann eine Generalüberholung des Elektromotors nötig. Die Überwachung der Motoren ist nur zweckmäßig bei Großantrieben. Einsatzbeispiele zur Überwachung der Elektromotoren sind z.B. unter [PRUF] zu finden.

Die **Getriebe** übertragen Drehmomente, belasten die Antriebsmaschine und die Abtriebsmaschine über die An- und Abtriebswelle. Um einen Ausfallfreien Betrieb zu gewährleisten, sind folgende relevante Messungen durchzuführen.

- **Ölkontrolle**

Die ausreichende Ölversorgung ist die Grundvoraussetzung für einen guten Lauf und geringen Verschleiß der einzelnen Getriebekomponenten. Mangel an Schmierstoff führt zu raschem und starkem Verschleiß, als Folge können Blockierungen und schwere Schäden auftreten. Die regelmäßige Analyse des Öls in Getrieben gibt nicht nur eine Aussage, wann ein Ölwechsel sinnvoll ist, sondern kann auch die Diagnoseergebnisse z.B. von Schwingungsanalysen untermauern und so die Diagnosezuverlässigkeit erhöhen wie auch die Schadenslokalisierung verbessern.

Die Schmieranalyse lässt folgende Aussagen über den Zustand zu:

- Menge der Abriebpartikel (oder Abriebrate als Mengezunahme pro Zeiteinheit): momentaner Zustand bzw. Schädigungsfortschritt,
- Form der Partikel: Verschleiß verrät sich durch flache Partikel, Materialermüdung mehr durch kompakte Partikel,
- Materialart der Partikel (Wälzlager-, Verzahnungs- oder Gehäuseschäden usw.).

Überwachung: regelmäßige Wartungskontrolle.

- Öltemperatur

Diese thermische Überwachung dient im wesentlichen zur Früherkennung von auftretenden Lagerschäden und kann auch Diagnoseergebnisse einer anderen Methode unterstützen.

Für die Messung kommen normale Thermokontakte, die bei einer bestimmten einstellbaren Ansprechtemperatur ein Warnsignal geben, oder normale Thermometer (Thermoelemente, Widerstandsthermometer) infrage, die eine stetige Anzeige der vorhandenen Temperatur ermöglichen.

Überwachung: Sensorabfrage im eingestellten Intervall, Verfolgung der Trendentwicklung.

- Schwingungen der Verzahnung

Die Schadenserscheinungen an Zahnradpaarungen des Getriebes sind über die Schwingungsmesstechnik erfassbar. An Zahnrädern können Ermüdungsschäden (Pittings), Verschleißschäden, Verformungen, Anrisse, Dauerbruch (am Zahnfuß) und Gewaltbruch (von Zahnecken) auftreten. Die Zahnschäden ergeben sich mit zunehmender Betriebsdauer und sind das Ziel der Diagnose.

Bei Zahnradfehlern, die zusätzliche Schwingungsquellen darstellen, ist prinzipiell zu unterscheiden zwischen verteilten Fehlern (gleichmäßige Abnutzung) und lokalen Fehlern (beschädigter Einzelzahn), die verschiedene Schwingungswerte erzeugen [KOLE95]. Auftretende Schäden können durch vergleichende Messungen erkannt werden. Für solche Untersuchungen muss nach der Einlaufphase eines Getriebes eine Referenzmessung durchgeführt werden. In regelmäßigen, zeitlichen Abständen wird dazu das Schwingungssignal aufgenommen und mit der Referenzmessung verglichen. Dabei ist die Triggerung der Messungen, abhängig von bestimmten Betriebsparametern, wie z.B. Last oder Drehzahl, von entscheidender Bedeutung für die Qualität der Diagnose. Mit zunehmendem Verschleiß oder bei plötzlich eintretendem Schaden ist dann eine entsprechende Abweichung im Spektrum zu erkennen. Um Verzahnungsschäden an Getrieben zu detektieren, werden momentan folgende Signalanalyseverfahren zur Gewinnung aussagefähiger Diagnosemerkmale genutzt:

- Auswertung harmonischer Komponenten der Zahneingriffsfrequenz,
- das *Spreizen des Grundspektrums* (Funktion *ZOOM*) zur Bestimmung der Seitenbandabstände links und rechts der Zahneingriffsfrequenzen und ihrer höheren Harmonischen,
- die Bildung des *Cepstrum* aus dem Leistungsspektrum zur genaueren Analyse der Seitenbandstrukturen,
- die *Hüllkurvenanalyse* des gemessenen Zeitsignals zur Bestimmung der Modulationsfrequenzen.

Als Sensor kommt in der Regel ein Beschleunigungsaufnehmer zum Einsatz.

Dieser kann am Getriebegehäuse installiert werden. Untersuchungen und Ergebnisse der Schwingungsüberwachung an den Getrieben sind z.B. unter [RWTH], Anwendungsbeispiele z.B. unter [FLEN] zu finden.

- Wälzlagerschwingungen

Entsprechende Methoden der Wälzlagerüberwachung und Diagnose werden bei der *Trommellagerüberwachung* dargestellt.

Überwachung, Schlussfolgerung: Die Verfolgung des Zeittrends der ausgewählten Diagnosemerkmale der Schwingungsüberwachung und deren Vergleich mit vorgegebenen Grenzwerten (können im Laufe des Einsatzes des Diagnosesystems qualifiziert werden) lässt eine aktuelle und prognostische Zustandseinschätzung zu und ist der Schlüssel zur zustandsorientierten Instandhaltungsplanung.

Das Bestreben der Wissenschaftler und Instandhalter seit Jahren besteht darin, die Lebensdauer und Restlebensdauer des Getriebes vorauszusagen. Dafür werden zahlreiche Untersuchungen geführt (z.B. [HEIN82]). Zusammenfassend können folgende Kriterien, die die rechnerische Getriebelebensdauer beeinflussen, genannt werden [BUCK73]:

- Belastungskollektiv: Beim Getriebebelastkollektiv muss das gemessene Drehmoment so aufbereitet werden, dass der für den Zahneingriff wichtige Zusammenhang zwischen Lasthöhe und Eingriffshäufigkeit erhalten bleibt,
- Schadensart (Zahnbruch, Grübchenbildung),
- Wöhlerlinie ([GNIL82]),
- verwendete Schadenshypothese (siehe [BUX92], [HAI89]).

Die Untersuchungen zur Zerstörung von Zahnradgetrieben mit Hilfe der Elektronenmikroskopie von ALISIN [KDKO82] haben gezeigt, dass zwei Haupterscheinungen des Verschleißes auftreten: die Ermüdung infolge Reibung und der abrasive Verschleiß. Unter der Berücksichtigung der Zahnradgeometrie und des zulässigen Zahnverschleißes wird die Betriebsdauer der Zahnpaarung theoretisch berechnet. Weil die Ausgangsgrößen für die Berechnungen nur spezifische Orientierungsgrößen sind und nicht die technologische Vorbereitung der Oberflächen sowie deren Herstellung berücksichtigen, z.B. die Wärmebehandlung, die Herstellungsverfahren der Zahnräder oder die Reibungstemperatur, hat diese Berechnung nur die Bedeutung einer groben Schätzung, die in der Praxis schwer einsetzbar ist.

Die **Bremsen** erfüllen Sicherheitsfunktionen, müssen also sehr sorgfältig ausgebildet sein und gewartet werden. Für moderne Anlagen ist es zweckmäßig, übergeordneten Steuerungssystemen Informationen über die aktuelle Funktion des elektro-hydraulischen Lüftgerätes (ELHY) bereitzustellen. An der Bremse können Messungen von folgenden Parametern durchgeführt werden:

- Bremskraft

Überwachung: in jeder Bremsbacke werden die Anpresskräfte, welche auf die Scheibe bzw. Trommel wirken, ermittelt.

Schlussfolgerung: falsche Einstellung der Bremsfeder, Bremskraft zu gering.

- Temperatur

Überwachung: zwei Sensoren an den Bremsbacken dienen zur Messung der jeweiligen Belagtemperatur.

Schlussfolgerung: bei Überschreitung des Grenzwertes: Bremsbeläge überhitzt; bei Temperaturunterschieden zwischen beiden Bremsbacken: Bremsbeläge schleifen.

- Verschleiß

Überwachung: die Messung des Bremsbelagverschleißes erfolgt für jede Bremsbacke über Sensoren. Im wesentlichen besteht der Sensor aus einer Kontaktbrücke, die bei Verschleiß des Bremsbelages durch die Bremscheibe bzw. -trommel geöffnet wird. Spricht der Sensor an, ist die Restdicke des Bremsbelages nicht mehr ausreichend, die Bremsbacken müssen gewechselt werden.

Eine andere theoretische Möglichkeit zur Definition des Bremsbelagverschleißes und der Bremsbelagslebensdauer wurde in [REIT79] untersucht. Der beim Reibungsvorgang auftretende Verschleiß des Bremsbelages ist bei konstanten Reibungsverhältnissen angenähert proportional der geleisteten Reibungsarbeit. Mit dem verschleißbaren Volumen (in mm^3) des Reibbelages, dem spezifischen Verschleiß (in mm^3/KWh) und der mittleren Reibleistung (in kW) je Betriebsstunde wurde die Lebensdauer des Reibbelages definiert.

- Drehzahl

Überwachung: die Drehzahl der Bremscheibe bzw. -trommel wird mit einem Impulsgeber ermittelt.

Schlussfolgerung: zulässige Bremszeit überschritten.

- Analoge Lageanzeige

Schlussfolgerung: durch Auswertung der Wegmessung sind folgende Aussagen möglich:

- Reservehub der Bremse zu klein: die Bremse muss nachgestellt werden,
- Bremse gelüftet bzw. geschlossen.

Vorteile der Anwendung der Diagnose und Überwachung an der Bremse:

- Einbindung kompletter Bremssysteme in die Steuer- und Leittechnik,
- Senkung des manuellen Kontrollaufwandes an Bremssystemen,

- Effiziente zustandsorientierte Instandhaltung.

Die Herstellervorschläge und konstruktive Gestaltung sind z.B. unter [EMG] zu finden.

Bei den **Strömungskupplungen** sind folgende Parameter zu überwachen:

- Kupplungsschlupf bei Strömungskupplungen

Strömungskupplungen arbeiten mit einem Dauerschlupf von 2...3%. Überschreitet der Dauerschlupf den zulässigen Wert, dann erwärmt sich das Öl, und es wird bei Erreichen einer Grenztemperatur (etwa 120°) über eine Schmelzsicherung abgeblasen. Um das zu vermeiden, ist der Schlupf zu überwachen, bei Überschreitung eines zulässigen Dauerwertes ist zu warnen.

Zusätzlich kann eine weitere thermische Sicherung vorgesehen werden, die vor dem Ansprechen der vorgenannten Schmelzsicherung ein Warnungssignal zur Steuerung liefert. Dabei ist zu beachten, dass planmäßig im Anlaufzustand kurzzeitig hohe Schlupfwerte auftreten.

Die **Förderbandtrommeln** bestimmen durch Antrieb und Umlenkung des Fördergurtes maßgeblich die Funktionalität des Gurtfförders. Aufgrund der Gurtzugkräfte und der rauen Betriebsbedingungen unterliegen sie hohen mechanischen Beanspruchungen. Durch den Ausfall von Förderbandtrommeln entstehen dem Kraftwerk zusätzliche Kosten, die insbesondere durch einen erforderlichen Wechsel der Trommel verursacht werden. Nach den Angaben von [GLEBE01] stellen die Belagschäden und der Ausfall der Trommellager die häufigsten Ausfallursachen von Förderbandtrommeln dar.

Bei der Betrachtung der Trommelüberwachung des Gurtförderers geht es in ersten Linie um die Überwachung der Wälzlager. Wälzlagerausfälle haben entsprechend den in der Fachliteratur enthaltenen Angaben folgende Ursachen [MELT00]:

- < 50% Material-, Herstellungs-, Montagefehler und Gewaltbeanspruchung,
- > 50% Abnutzung im Betrieb.

Die Schäden der ersten Gruppe führen meist zu Frühausfällen. Die Abnutzungsausfälle gehen auf folgende Effekte zurück:

- ca. 50% Verschleiß,
- ca. 35% Ermüdung durch zu große Wechselbeanspruchung,
- ca. 15% Korrosion.

Für die Abnutzungsfälle ist eine Überwachung und Diagnose mit dem Ziel der Schadensverhütung möglich und empfehlenswert.

- Temperatur der Lagerstellen

Diese thermische Überwachung dient im wesentlichen zur Erkennung von

Lagerschäden. Die Lagertemperaturüberwachung dient zur Sollwertüberwachung. Wartezeiten bis zu zuverlässigen Messergebnissen (Referenzbedingungen) sind zu berücksichtigen.

Überwachung: Sensorabfrage, Speicherung im definierten Zeitabstand, Trendanalyse.

Reaktion: Abweichung von der Betriebstemperatur ist zu melden, Wartungskontrolle.

- Schwingungen

Verschlossene Wälzlager verursachen eine breitbandige, meist stochastische Schwingung im Frequenzbereich von ca. 1kHz bis in den Ultraschallbereich. Dieses nimmt mit zunehmenden Lagerspiel gleichmäßig zu. Beim Überrollen der durch Ermüdung entstandenen Pittings werden dagegen die freien Schwingungen der das Lager umgebenden Bauteile (Lagergehäuse) impulsartig angeregt. Diese sind ebenfalls hochfrequent, aber nicht breitbandig. Jeder Überrollung folgt eine freie Schwingung mit einer oder mehreren Eigenfrequenzen der Lagerteile, welche im Takte der periodischen Überrollung amplitudenmoduliert ist. Die Überrollfrequenz f_s kann man aus der Wälzlagergeometrie und der Drehzahl der Welle nach Formeln berechnen, die rein kinematisch abgeleitet werden. Der Überrolleffekt ist in Bild II-9 Anhang II dargestellt. Zur Erfassung der Schwingungssignale kommen permanent an den Lagerstellen installierte Beschleunigungsaufnehmer zum Einsatz. Für Rotor-Lager-Baugruppen existieren Bewertungskriterien über zulässige Schwingungspegel (Tabelle 3-3 [STF90]). Diese Schwingungsgrenzwerte sind orientierende Richtwerte, eine Differenzierung auf Lagerungs- bzw. Rotorschädigung ist nicht möglich.

Tabelle 3-3: Abhängigkeit der Lebensdauer von der Schwingbeschleunigung der Gehäuseschwingungen von Wälzlagern [STF90]

Normalbetrieb	
$x(t)$, m/s^2	Verbrauchte Lebensdauer, %
20	60 - 70
60	80
100	90 - 95
200	Restlebensdauer von wenigen Tagen
400	Ausfall kann plötzlich und mit Folgeschäden auftreten

Es ist zu erwarten, dass die von Wälzlagerschäden verursachten Schwingungen im Vergleich zu Schwingungen aufgrund der Unwucht des Rotors sehr energiearm sind. Das hat zur Folge, dass eine Überwachung der Baugruppe mit rotierenden Massen anhand nur eines summarischen Merkmals in den meisten Fällen keine Hinweise auf einen Wälzlagerschaden liefern kann [MELT00]. Es müssen zusätzlich die auf die Wälzlagerschäden zugeschnittenen Merkmale berücksichtigt werden, die zumindest die Existenz

irgendeines Schadens oder Fehlers detektieren, ohne die Art des Fehlers unbedingt zu identifizieren. Zur Zeit werden *Crestfaktor*, *Kurtosis* \mathbf{b} und *K(t)-Faktor* mit Berücksichtigung sowohl des Effektivwertes als auch der Spitzenhaltigkeit des Schwingbeschleunigungssignals angewendet. Die weiteren Wälzlager-Diagnosekennwerte sind *SPM*, *Spike-Energy* und *BCU* (Bild II-10, Anhang II). Bei diesen drei Merkmalen werden der Effektivwert und der Spitzenwert der gemessenen Schwingbeschleunigung nach firmenspezifischen Verfahren kombiniert [MELT00]. Alle genannte Wälzlagerdiagnosemerkmale liefern etwa die gleiche Aussage über den Wälzlagerzustand.

Überwachung, Reaktion: die Bewertung der aktuellen Diagnosemerkmale findet aufgrund der von den Herstellern der Messgeräte mitgelieferten Tabellen statt, in denen Richtwerte für die Zustandsbewertung in Abhängigkeit von Lagerbauart, Lagerabmessung und Drehzahl angegeben werden. Bauart- oder exemplarbedingte Unterschiede sowie Übertragungsfehler bleiben unberücksichtigt und können deshalb Lagerschäden vortäuschen.

Die Analyse der Überrollimpulse bei dynamisch überlasteten Lagern liefert empfindliche Symptome zur Schadensfrüherkennung und lässt nicht nur eine Zeittrendanalyse mit dem Ziel einer Restlebensdauerprognose zu, sondern auch eine Diagnose und Detektion von Art, Lage und Ausmaß des aufgetretenen Wälzlagerschadens. Eine passende Methode dafür ist die *Hüllkurvenanalyse*.

- Grenz-Radialspiel des Wälzlagers

Die Folge der Geometrieänderungen durch Verschleiß, Ermüdung und Korrosion ist, dass ab einem bestimmten Lagerspiel der Käfig eine Tragfunktion übernehmen muss, für welche er nicht ausgelegt ist. Mit dem nachfolgenden Käfigbruch werden die Wälzkörper nicht mehr in den vorgesehenen Abständen gehalten, sie können sich verklemmen und die Welle blockieren. Unabhängig von der Schadensentstehung kann deshalb ein bestimmtes Grenz-Radialspiel zwischen Innen- und Außenring angegeben werden, bis zu welchem das Wälzlager voraussichtlich nicht gefährdet ist [MELT00].

- statistische Abschätzung der Restlebensdauer

Mit bestimmten Methoden gibt es schon seit langer Zeit die Möglichkeit, unter der Berücksichtigung von gemessenen Lastkollektiven theoretisch die Lebensdauer der Wälzlager zu ermitteln (Methodik siehe z.B. [FAG89]).

Bei der Wälzlagerüberwachung ist zu beachten, dass die Wälzlager selbst ein relativ billiges Maschinenelement sind, dessen Ausfall und Erneuerung keine nennenswerten betrieblichen Verluste zur Folge hat. Allerdings kann die Maschine, in welcher das Wälzlager eingebaut ist, selbst einen hohen Anlagenwert besitzen.

Die Herstellermethoden und Geräte für die Lagerüberwachung sind z.B. unter [PRUF] zu finden.

Die Gurtförderer sind mit einem **Gurt** ausgerüstet. Der Fördergurt als wesentlicher Teil einer Bandanlage muss sich in einwandfreiem Zustand befinden, um einen störungsfreien Betrieb der Anlage zu gewährleisten. Für den störungsfreien Betrieb sind folgende Parameter zu überwachen.

- **Schieflauf**

Um eine mittige Fördergutaufgabe und -führung zu erreichen, darf der Gurt nur in gewissen Grenzen außermittig laufen. Wenn der Gurt über ein zulässiges Maß seitwärts auswandert, ist ein Abschalten des Gurtförderers erforderlich. Der Schieflauf des Gurtes wird über die gesamte Länge des Bandes durch die Förderband-Schieflaufschalter ständig überwacht, um Kantenbeschädigungen auszuschließen und die Anlage vor hohen Folgeschäden zu schützen, wenn der Fördergurt seitlich abläuft.

Meldung, Reaktion: der Schieflaufwächter hat die Aufgabe, bei Auftreten von Schieflauf zu warnen bzw. automatisch eine Laufkorrektur vorzunehmen (Gurtschieflaufkompensation) oder das Band bei Überschreitung eines zulässigen Wertes abzuschalten. Es erfolgt Störungsmeldung mit der Speicherung der Meldezeit für die weitere Suche der Störungsursache.

- **Gurtschlupf**

Die Gurtschlupfkontrolle basiert auf der Drehzahlmessung an einer angetriebenen und einer nichtangetriebenen Trommel. Die Drehzahl wird im wesentlichen zur Kontrolle der einwandfreien Kraftübertragung zwischen Trommeln und Gurt überwacht. Die Schlupfanzeige ist mit einem Zeitglied zu versehen, um nicht bei jedem geringen Schlupf einen Abschaltimpuls zu bekommen.

Meldung, Reaktion: Störungsmeldung, bei Überschreitung einer zulässigen Drehzahldifferenz ist zu warnen bzw. das Band abzuschalten. Impulsgeber nehmen die Drehzahl z.B. an der Umlenktrummel auf und melden in Verbindung mit einem Drehzahlwächter Betriebsstörungen wie Unterdrehzahl, Gurtschlupf oder Stillstand. Abschließend folgt die Recherche der Störungsursache.

- **Verschmutzungsüberwachung der Umlenkstation**

Die Verschmutzungsüberwachung der Umlenkstation findet mittels Berührungssonden statt und soll dem erhöhten Gurtverschleiß entgegenwirken.

Meldung, Reaktion: Störungsmeldung, bei der Registrierung des Verschmutzungszustandes folgt eine verzögerte Abschaltung.

- **Überschüttung**

Im Bereich der Übergabestellen sollte der einwandfreie Abfluss des Fördergutes überwacht werden, um nicht bei Verstopfen im Bereich der Schurren Überschüttungen zu erhalten. Die Überschüttungen sind so früh wie möglich zu erfassen, um das Band dann still zu setzen. Die Verstopfungsüberwachung an der Schurre wird mittels Berührungssonden durchgeführt.

Meldung, Reaktion: Störungsmeldung, Abschalten des Bandantriebes, Recherche der Störungsursache.

- **Gurtspannkraft**

Eine ausreichende Gurtspannung muss in jedem Betriebszustand sichergestellt sein, damit eine schlupffreie Übertragung zwischen Antriebstrommel und Gurt gewährleistet ist. Die Spannkraftmessung dient zur Spannkraftsteuerung beim Einsatz regelbarer Spannstation. Die gemessenen Spannkraften werden in Abhängigkeit vom Bewegungszustand des Bandes mit dem Sollwert verglichen und lösen im Bedarfsfall die Nachregelung aus.

Bei der Gewichtsspannstation des Gurtförderers 04 EAC 32,51 erhält der Fördergurt die erforderliche Vorspannung durch die entsprechende Anzahl von Ballaststeinen. Zur Kontrolle des Spannungszustandes dienen Endschalter. Wenn infolge der Gurtdehnung der untere Positionsschalter des Ballastkastens anspricht, löst der Endschalter den Stillstand des Gurtförderers aus und der Gurt muss gekürzt oder gewechselt werden.

Der Gurtförderer des Absetzers 04 EAD 04 ist mit einer hydraulischen Spannstation an der Abwurftrammel ausgerüstet, die die notwendige Vorspannung gewährleistet.

- **Gurtlängsrissüberwachung**

Durch Verklebung von Fremdkörpern im Fördergut kann es zu Längsrissen im Gurt kommen. Diese Risse sind kurzfristig zu erfassen, und das Band ist stillzusetzen. Durch Fremdkörper verursachte Gurtlängsrisse können überwacht werden, wenn im Gurt Schleifen aus elektrisch leitendem Material einvulkanisiert sind. Unter dem Gurt angeordnete berührungslose Einrichtungen sprechen an, wenn die Leiterschleife durchtrennt ist. Eine weitere mögliche Lösung ist eine Diagnose anhand der vorbereiteten Videosequenz der Gurtoberfläche und der Gurtkanten.

- **Verschleiß**

Viele Hersteller von Gurten arbeiten an der Thematik des Gurtverschleißes (z.B. [COT]), weil dieser Prozess auch die Lebensdauer des Gurtes bestimmt. Eine quantitative Bewertung der Lebensdauer von Fördergurten ist nicht bekannt, aus diesem Grund hat sich die qualitative Abschätzung durchgesetzt. Eine vorgeschlagene Lösung ist die Transponder-Technologie. Die beruht auf der Anwendung einer im Gurt eingebauten Sensortechnik, deren Signale fernabgefragt werden können. Die Sensoren liegen in den verschiedenen

Gurtschichten und ihre Anmeldung signalisiert bei entsprechender Software, dass der Gurt noch einen zulässigen Verschleiß hat, der von der Gurtbeladung, der Gurtgeschwindigkeit und der Betriebszeit abhängt.

Die **Tragrollen** der Gurtförderer am Lagerplatz sind im Obertrum in dreiteiligen, und im Untertrum in zweiteiligen gemuldeten starren wartungsfreien Tragrollenstationen angeordnet. Im Betriebsprozess werden jedoch häufig Anlagen umgebaut und umgesetzt. Es kann passieren, dass an einem Gurtförderer Fördergurtragrollenstationen unterschiedlichen Alters und Laufzeit eingesetzt sind. Dann scheint es problematisch, eine Entscheidung zu treffen, wann die Tragrollen gewechselt werden müssen. Als Unterstützung sind folgende Messungen zu nennen.

- Temperatur der Tragrollen einer Tragrollenstation

Thermische Größen sind für das Erkennen von Schädigungsprozessen besonders geeignet. Vorteilhaft ist, dass die Extraktion von langsam veränderlichen Diagnosemerkmalen aus den Diagnosesignalen unnötig wird. Folgende Nachteile sind aber zu berücksichtigen,

- dass die Temperatur vom Betriebszustand der Bauteile stärker abhängig ist als von diagnostizierten Änderungen des technischen Zustandes und
- dass sich der stationäre Temperaturzustand nach einer Änderung des Betriebszustandes nur langsam einstellt.

Blockiert eine Tragrolle wegen Ausfalls eines Wälzlagers, kann es entweder zur Erhitzung aufgrund der Reibung zwischen dem gleitenden Band und feststehender Rolle mit anschließendem Brand des Bandes im Stillstand oder zum Verschleiß des Rollenmantels kommen, bis die entstehenden scharfen Verschleißkanten das Band zerschneiden.

Die Tragrollen werden meist subjektiv nach dem Gehör beurteilt, da sich zunehmender Lagerverschleiß aufgrund Schmierausfall akustisch bemerkbar macht. Als moderne Lösung der Zustandsdiagnose ist die Beobachtung der Tragrollen an den Gurtförderern im definierten Zeitabstand mit der Thermovisionskamera zu nennen [NOACK00]. Die heißlaufenden Lager der Tragrollenstationen werden im Thermobild sichtbar gemacht. Die Normaltemperatur der Lager liegt bei 30 - 40° C, ab 70° C muss der Tragrollensatz sofort ausgebaut werden.

Meldung, Reaktion: Überwachung des Grenzwertes, bei erhöhten Temperaturen über 40° bis 70° C erfolgt Nachkontrolle mit dem Ziel, die Laufzeit der Lager der Tragrollen bis zum Auftreten einer Gefährdung möglichst vollständig auszunutzen.

Die Besonderheit der Methode liegt in der Eigenschaft, dass nicht die absolute Oberflächentemperatur, sondern deren Verteilung bzw. Abweichung vom Mittelwert Träger der Diagnoseinformation ist. Deshalb erfordert die

Anwendung von Thermobildgeräten auch nicht die strenge Kalibrierung bzw. Einhaltung von Referenzbedingungen wie die punktuelle Messung von Oberflächentemperaturen [MELT00]. Thermografiesysteme sind z.B. unter [I-Tec] und Anwendungsbeispiele unter [NOACK00] zu finden.

- Bestimmung der Tragrollen-Restlebensdauer

Einige Forschungseinrichtungen untersuchen zur Zeit die Problematik der Restlebensdauerabschätzung von Tragrollenstationen, z.B. [RWTH]. Vorteile sind die höhere Ausnutzung der Gesamtlebensdauer und deutliche Kostenreduzierung durch die Minimierung der Girlandenwechselkosten.

Durch Messung des Laufwiderstandes bzw. der übertragenden Schubkraft jeder einzelnen Tragrollenstation sollen bei laufender Anlage auch einzelne schwergängige Rollen erkannt werden. Zu dieser Thematik finden zur Zeit auch Untersuchungen der Firmen ContiTech [COT], DES, FAM [FAM] und LAUBAG [LAUBAG] statt.

- Tragrollenstation-Schwingungsüberwachung

Die modernen Lösungen erlauben anhand der vibroakustischen Diagnose-signale, durch Zeittrendanalyse eine zustandsorientierten Instandhaltung der Tragrollen zu realisieren [MELT00]. Die große Anzahl von Girlanden lässt eine feste Installation von Sensoren und feste Verdrahtung mit dem Diagnoserechner jedoch nicht zu. Die Messungen erfolgen deshalb mit dem tragbaren Datensammler und Sensoren. Eine Messung direkt an den Tragrollenachsen ist aus Gründen der Arbeitssicherheit auch nicht zulässig. Deshalb werden folgende Messungen vorgeschlagen:

- a) Schwingbeschleunigung in zwei Richtungen am Traggerüst mittels piezoelektrischen Beschleunigungsaufnehmer,
- b) Schalldruckpegel aufgrund des geringen Girlandeabstandes mittels Richtmikrofon.

Alle benutzten Diagnosemerkmale müssen unabhängig von der Belastung des Bandes sein, weil die Referenzbedingungen (Beschüttung des Förderbandes) nicht einzuhalten sind. Die Methodik der Analyse sieht folgendermaßen aus:

- 1) in der Lernphase werden bestimmte Girlanden mit Tragrollen bekannten Wälzlagerzustandes (Zustandsklassen): Ω_1 – neu bis eingelaufen (Radialspiel $< 0,1$ mm); Ω_2 – geringer Verschleiß (Radialspiel $0,1 \dots 0,5$ mm); Ω_3 – unzulässig großer Verschleiß (Radialspiel $> 0,5$ mm) an verschiedenen Positionen und in verschiedenen Kombinationen ausgerüstet.
- 2) Auswahl und Festlegung der Frequenzbänder mit belastungsunabhängigen Effektivwerten, Bildung der Diagnosemerkmale y^*_i aus den Diagnosemerkmalen des Zeit- bzw. statistischen Bereiches (wie *Effektivwert*, *Spitzenwert* und *Crestfaktor*) und den *Oktavpegeln* des Schalldrucks, Auswahl der Diagnosemerkmale nach der *Korrelation*

$\tilde{K}_{y_i, p}^*$ mit dem Zustandsparameter $p = \text{Lagerspiel}$, der Sensitivität $G(y_i^*)$ und der Belastungsunabhängigkeit.

- 3) Aufnahme der Diagnosesignale mit dem tragbaren Diagnoserechner, Speicherung der Diagnosemerkmale, Übertragung auf einen stationären Diagnoserechner zwecks Zeittrendanalyse.

3.2.2 Absetzer

3.2.2.1 Technische Merkmale

Der Absetzer 04 EAD 02 (**Bild 3-4**) des Kraftwerkbekohlungs-systems dient dem Aufschütten von Längshalden im Automatikbetrieb. Das Portal trägt die Drehscheibe sowie die Plattform mit dem Ausleger. In die Auslegertragkonstruktion ist das Förderband integriert. Das Auslegerband läuft mit konstanter Geschwindigkeit. Der Antrieb des Förderbandes erfolgt durch die Antriebs-trommel, die am Auslegerheck angeordnet ist. Das Schüttgut wird mittels des heb-, senk- und schwenkbaren Bandauslegers auf die Halde gegeben. Der Bereich des Hebens/Senkens und Schwenkens des Auslegers ist durch mechanische Endschalter begrenzt. Der Bandabsetzer verfährt dabei auf parallel zur Halde verlegten Fahrschienen. Die Fahrtrichtung wird reversiert in Abhängigkeit der Fahrendschalter (Haldenende) bzw. der eingestellten Parameter in der programmierbaren Steuerung. Andere am Fahrwerk befestigte Endschalter dienen zur Erkennung des Haldenwechsels. Vor der Umkehr der Fahrtrichtung wird der Ausleger mit Hilfe der Winde um eine Schrittweite angehoben und geschwenkt.



Bild 3-4: Absetzer 04 EAD 02 am Aktivlager II

Auf dem parallel zur Halde angeordneten Gurtförderer GF 04 EAC 43 wird das aufzuschüttende Material zum Absetzer transportiert. Der am Absetzer integrierte Bandschleifenwagen hebt das Zuförderband auf das Niveau des Absetzerbandes und das Gut wird in die Abwurfchurre auf das Auslegerband geleitet.

Zur Verhinderung der Staubentwicklung wird die Kohle an der Abwurfstelle des Auslegerbandes und an der Übergabestelle vom Bandschleifenwagen zum Absetzerband mit Wasser besprüht. Der Signalaustausch mit dem zentralen Leitstand erfolgt über eine Funkverbindung. Die Signale werden mit Hilfe eines Datenbussystems übertragen. Weitere Information zu den technischen Daten ist aus dem Anhang zu entnehmen (Anhang II, Tabelle II-1).

3.2.2.2 *Parameter, Betriebsdaten und Sensorik zur Gewährleistung der Funktion*

Der Betrieb des Absetzers wird durch die Sicherheitseinrichtungen kontrolliert und in Abhängigkeit vom Anlagenzustand und den aktuellen Betriebsparametern durch die Abschaltung oder entsprechende Warnungs-/Störungsmeldungen angezeigt. Die Funktionssicherung findet durch die entsprechende Überwachung folgender Parameter statt.

- Windwarnung

Der Absetzer ist mit einem System zur Messung und Überwachung der Windgeschwindigkeit ausgerüstet. Bei Windstärke 12 fallen die Schienenzangen automatisch ein.

- Reißleinenschalter

Längs des Auslegerbandes und längs des Teilbandes auf dem Bandschleifenwagen sind an beiden Seiten Seile gespannt, die jeweils einen Notausschalter betätigen. Kommt es zum Bruch der Reißleine, wird der Seilzugnotschalter ausgelöst.

Meldung, Reaktion: Störungsmeldung, sofortiges Abschalten des Absetzers.

- Kollisionsschutz

Der Portalkratzer und der Absetzer arbeiten auf dem selben Haldensystem. Für den Kollisionsschutz wurden der Kratzer mit zwei Wegmesssystemen und der Absetzer mit Meßsystemen für Fahrweg, Hub- und Schwenkwerk ausgestattet. Die Position des Absetzers wird durch die Absolutdrehgeber erfasst. Die Positionserfassung wird auch für die programmierbare Steuerung zum Wechsel der Fahrtrichtung verwendet.

Die Visualisierung der Arbeitsvorgänge (Aufschütten und anschließend Wechsel der Halde) durch die Fahrwegmessung wird im Bild II-2 dargestellt (Anhang II).

Meldung, Reaktion: Position des Fahrwerkes im definierten Ausgabeformat (m) als Entfernung vom 0-Punkt (siehe Bild II-3 Anhang II), Speicherung.

- Schwenk- und Hubwinkelerfassung

Die Schwenk- und Hubwinkel werden durch die Absolutwinkelkodierer erfasst. Der Absetzer arbeitet solange im Automatikbetrieb, bis die Einspeicherung unterbrochen wird oder der Endschalter die höchste Stellung des Auslegers angezeigt hat. Anhand der gemessenen und gespeicherten Daten kann der Prozess der Aufschüttung visualisiert und verfolgt werden (Bild II-4, Anhang II).

Meldung, Reaktion: Position des Hub- bzw. Schwenkwerkes in Grad, Registrierung und Speicherung der Positionsänderung.

- Endschaltermeldungen (Betriebs- und Sicherheitsendschalter)

Zur Abschaltung von Hub-, Schwenk- und Fahrwerk dienen mechanische Endschalter mit zwangsöffnenden Kontakten. Die Sicherheitsendschalterbetätigung signalisiert gleichzeitig die Funktionsuntüchtigkeit der zugehörigen Betriebsendschalter.

Meldung, Reaktion: Registrierung der Grenzpositionen der Triebwerke, Speicherung der Betätigungszeitpunkte.

- Knickstabsondenmeldungen

Am Auslegerkopf werden je Seite eine Knickstabsonde montiert. Unterhalb des Auslegers werden längs frei hängende Seile angebracht. Ein Ende des Seils ist mit der Knickstabsonde verbunden.

Überwachung, Reaktion: Berühren die Seile beim Fahren die Halde, wird am nächsten Haldenende das Hubwerk einen Schritt nach oben und das Schwenkwerk einen Schritt nach rechts entsprechend der Aufschüttungsmethode bewegt, bevor die Fahrtrichtung geändert wird.

- Schieflaufkorrektur

Die Schlupfvermeidung sowie eine mögliche Fehlerermittlung der Positionserfassung infolge von Schlupf wird durch die Synchronisation durchgeführt und über Initiatoren mit integrierter Profibuschnittstelle in der Mitte der Halde korrigiert.

Meldung, Reaktion: Beim Überfahren werden die Positionen der Fahrwerkseiten der Steuerung zugewiesen.

- Materialflusswächter am Band des Bandschleifenwagens

Die Überwachung des Materialflusses wird mit Hilfe von Mikrowellenschranken durchgeführt, die eine berührungslose und verschleißfreie Detektion von Schüttgut gewährleistet und zum Start der Fahrwerkantriebe des Absetzers dient.

Meldung, Reaktion: Überwachung des Grenzwertes, bei Überschüttung ist der Gurtförderer 04 EAC 43 stillzusetzen.

- Sicherheitsmeldungen
 - Der Rasselwecker gibt einen Intervallton ab, solange die Fahrwerk-antriebe aktiv sind,
 - der Dauerbetrieb wird durch eine Warnleuchte angezeigt,
 - eine Störung wird mittels einer Hupe am Portal signalisiert,
 - Reißleinenschalter befinden sich längs des Teilbandes des Bandschleifenwagens.

3.2.2.3 Technische Diagnose des Betriebes

Unter der Diagnose des Betriebes werden im weiteren die Überwachung und die Analyse von Betriebsparameter der wesentlichen Baugruppen und Bauteile des Absetzers verstanden.

Das **Schwenkwerk** des Absetzers ermöglicht eine Schwenkbewegung des Auslegers, die das Aufschütten der Kohle nach dem Strata-Verfahren gewährleistet. Das Schwenkwerk besteht aus den maschinellen Teilen der Drehverbindung und dem eigentlichen Schwenkwerktrieb, der am drehbaren Teil der Anlage gelagert wird. Der Schwenkantrieb besteht aus Bremsmotor, drehelastischer Kupplung und Spezialgetriebe. Das an der Antriebswelle angebrachte Ritzel greift in die Verzahnung der Kugeldrehverbindung ein.

Als der zu überwachende Betriebsparameter der Baugruppe kann die Betriebsdauer der Antriebsgruppe genannt werden.

Beim hydraulischen **Hubwerk** des Absetzers erfolgt der Hubantrieb direkt durch Druckzylinder. Das Hubwerk des Absetzers besteht im wesentlichen aus einer Pumpe mit Motor und Kupplung, Wegeventilen, Manometer, Schlauchleitungen, Normölbehälter und den Differentialzylindern mit eingebautem Senkbremsventil. Zur Sicherung des Betriebes wird die Druckmesseinrichtung für Ausleger (Minimallast und Überlast) angewendet. Als der zu überwachende Betriebsparameter der Baugruppe kann die Betriebsdauer der Antriebsgruppe genannt werden.

Das **Fahrwerk** des Absetzers besteht im wesentlichen aus dem Unterwagen als Portal in geschweißter Ausführung, dem Fahrwerk mit Laufrädern aus Stahlguss, den Kegelradgetriebe-Antriebsmotoren mit Scheibenbremse, elektrohydraulisch wirkenden Schienenzangen. Der mit dem Fahrwerk verbundene **Bandschleifenwagen** besteht im wesentlichen aus dem Bandschleifenwagengerüst in Profilstahlkonstruktion, den Laufrädern, 2 Umlenk- und 1 Abwurftrammel, den oberen 3-teiligen Tragrollenstationen, der Gurtreinigungsvorrichtung.

Als die zu überwachenden Betriebsparameter der Fahrwerkbaugruppen können folgende genannt werden:

- Betriebsdauer der Antriebsgruppe

- Trommelüberwachung entsprechend den im *Abschnitt 3.2.1* dargestellten Maßnahmen

Der in den Ausleger integrierte **Gurtbandförderer** wird durch den Bandantrieb (Elektromotor, Kegelstirnradgetriebe, Turbokupplung mit einer berührungslosen, thermischen Schalteinrichtung, Doppelbackenbremse mit Eldo-Bremslüfter und mit automatischer Bremsverschleißfreilaufnachstellung) angetrieben. Die Gurtspannvorrichtung wird als hydraulische Spannstation an der Abwurftrammel ausgeführt. Für den integrierten Gurtförderer können wesentliche Überwachungsparameter zur Gewährleistung sowohl der Funktion (Schieflauf, Schlupfkontrolle, Überschüttung usw.) als auch des Betriebes (Überwachung der Antriebselemente und des Gurtes) aus dem *Abschnitt 3.2.1* übernommen werden.

Im Bild II-5, Anhang II, sind die Stromwerte eines Arbeitsvorgangs (Start, Arbeitsgang unter Last, Leerlauf und Abschaltung) dargestellt.

3.2.3 Kohle- Misch- und Stapelplatz

3.2.3.1 *Technische Merkmale*

Der Kohle- Misch- und Stapelplatz wird in Form von hintereinanderliegenden Aktivhalden ausgeführt und dient zum Puffern zwischen den Betriebsabteilungen (Entladestationen und Kraftwerksbunker), die mit anderen Massenströmen arbeiten. Wesentliches Ziel des Lagerplatzes ist neben der Bevorratung und Pufferung das Mischen unterschiedlicher Kohlearten, das Vergleichmäßigen und das Homogenisieren, da der Zustand von Kohle verschiedenster Lieferanten mit total verschiedenen Qualitäten den Zwang zur Homogenisierung mit sich bringt. Zu diesem Zweck werden die Halden nach dem vom Kunde definierten Strata-Verfahren aufgeschüttet.

Durch die aktive Beeinflussung des Mischeffektes mittels computergestützter Überwachungssysteme ist es immer besser möglich, Kohle mit relativ homogenen Eigenschaften (z.B. hinsichtlich Schwefel- und Aschegehalt) bereitzustellen. Dies führt zu wesentlich stabileren Brennprozessen und einer besseren Qualität der Asche, die in der heutigen Zeit auf Grund ständig fortschreitender Verfahrenstechnik schon längst nicht mehr nur auf Deponien verkippt, sondern auch in anderen Industriezweigen weiter verwendet wird.

3.2.3.2 *Parameter zur Gewährleistung der Funktion und des Betriebes*

Zur Sicherung des Betriebes werden die Halden durch Endschalter begrenzt und mittels eines Magnetschalters voneinander getrennt. Die wesentlichen Betriebsparameter des Kohle- Misch- und Stapelplatzes werden durch die Bediengeräte Portalkratzer und Absetzer erfasst.

- Halde leer

Diese Meldung erscheint und der Haldenzustand wird registriert, wenn der Kratzer einmal die ganze Halde mit dem Ausleger in tiefster Stellung durchfährt. Nach diesem Vorgang ist die Halde leer, der Kratzer kann den Betrieb an dieser Halde beenden.

- Halde voll

Dieser Zustand wird registriert, wenn der Absetzer einmal die ganze Halde mit dem Ausleger in der stirnseitigen höchsten Stellung durchfährt. Durch die die Kohle kontaktierende Seilsonde bekommt man die Information über die Völligkeit der Halde.

- Definition der Bevorratungsnotwendigkeit

Die Notwendigkeit der Beschickung der Halden kann auch aufgrund der gemessenen Parameter von den Bandwaagen im voraus definiert werden. Die mit dem Absetzer aufgeschüttete Fördermenge wird mit der Bandwaage gemessen, durch die andere Bandwaage wird die abgebaute Fördermenge bekannt. Die Differenz zwischen den beiden Werten bedeutet den Rest der Kohle am Lagerplatz. Mit der bekannten Abbaugeschwindigkeit des Kratzers kann die Dauer des Abbauprozesses der Kohle berechnet werden, so dass eine exakte Betriebsplanung ermöglicht wird.

3.2.4 Portalkratzer

3.2.4.1 Technische Merkmale

Der Portalkratzer (**Bild 3-5**) dient zum Ausspeichern der Kohle von der Halde im Automatikbetrieb. Der Portalkratzer ist mit einem höhenverstellbaren Ausleger ausgestattet. Die um den Kratzerausleger endlos geführte Kratzerkette kratzt die Kohle von der Halde ab und gibt sie auf den parallel zur Halde laufenden Gurtförderer GF 04 EAC 51 auf. An der Kratzerkette sind Kratzerschaukeln befestigt. Angetrieben wird die Kette von dem Kratzerkettenantrieb.

Beim Materialabbau durchfährt der Portalkratzer eine durch Endschalter festgelegte Abbaustrecke und reversiert die Fahrtrichtung in Abhängigkeit von den am Hauptausleger angebrachten Ultraschallsensoren (Haldenkegel) bzw. der Fahrendschalter (Haldenende). Vor der Umkehr der Fahrtrichtung wird der Ausleger mit Hilfe der Winde um eine Schnitttiefe abgesenkt.

Die Regelung der Abbauleistung erfolgt durch Veränderung der Fahrgeschwindigkeit in Abhängigkeit von einem vorzugebenden Sollwert. Den Ist-Wert ermittelt die im Gurtförderer GF 04 EAC 51 für den Transport der abgebauten Kohle eingebaute Bandwaage. Die Soll- und Ist-Werte werden in der Steuerung verglichen und somit die Fahrgeschwindigkeit des Portalkratzers geregelt. Weitere Information zu den technischen Daten ist aus dem Anhang zu entnehmen (Anhang II Tabelle II-2).



Bild 3-5: Portalkrater 04 EAF 02 am Aktivlager II

3.2.4.2 *Parameter, Betriebsdaten und Sensorik zur Gewährleistung der Funktion*

Eine Funktionssicherung findet durch die entsprechende Überwachung von folgenden Parametern statt.

- Positionserfassung

Die Position des Portalkraters wird durch die Absolutdrehgeber erfasst und

- für die programmierbare Steuerung zum Wechsel der Fahrrichtung,
- für die Schiefelauf erfassung,
- für die Kollisionsvermeidung,

verwendet. Das Bild II-6 (Anhang II) zeigt die Visualisierung der Positionsänderung des Kraters im Abbauvorgang.

- Hubwinkelerfassung

Der Hubwinkel wird durch die Absolutwinkelkodierer erfasst. Der Krater arbeitet solange im Automatikbetrieb, bis die Ausspeicherung unterbrochen wird oder der Endschalter die niedrigste Stellung des Auslegers angezeigt hat. Das Bild II-7 (Anhang II) gibt eine Übersicht über den Messwertverlauf in einer Wochendarstellung.

- Endschaltermeldungen (Betriebs- und Sicherheitsendschalter)

Zur Abschaltung von Hub-, Schwenk- und Fahrwerk dienen mechanische

Endschalter mit zwangsöffnenden Kontakten. Die Sicherheitsendschalter signalisieren beim Betätigen gleichzeitig die Funktionsuntüchtigkeit der zugehörigen Betriebsendschalter.

- Schiefauflaufkorrektur

Um Verspannungen der Portalkonstruktion der Kratzers zu vermeiden, wurde eine Fahrwerkseite über ein bewegliches Gelenk mit dem Portal verbunden. Beim Erreichen einer vorgegebenen Abweichung vom Geradeauslauf wird die Geschwindigkeit des Fahrwerkantriebes auf der Losseite über einen Umrichter durch negative oder positive Sollwertaufschaltung solange verändert, bis sich der Geradeauslauf wieder eingestellt hat.

- Materialerkennung

Die im vorderen und hinteren Bereich des Auslegers senkrecht montierten Ultraschallsensoren (beidseitig 4 Stück) bewirken das Reversieren der Fahr- richtung und gewährleisten den Überschüttungsschutz. Während des Abbau- vorganges erkennen die senkrecht angeordneten Ultraschallsensoren das unter ihnen befindliche Material. Der Umkehrpunkt ist erreicht, wenn der Ultra- schallsensor kein Material mehr erkennt.

3.2.4.3 Technische Diagnose des Betriebes

Unter der Diagnose des Betriebes werden im weiteren die Überwachung und die Analyse von Betriebsparametern der wesentlichen Baugruppen und Bauteile des Kratzers verstanden.

Das **Fahrwerk** des Kratzers besteht im Wesentlichen aus sechs Getriebepremse- motoren für die Festseite und drei Getriebepremsemotoren für die Losseite, Schienenzangen, Räder, Stahlbau. Die elektrohydraulischen Schienenzangen dienen zur Sturmsicherung. Über die elektro-mechanischen Bremsen wird das Fahrwerk bei Windstärke 12 und bei Stromausfall abgeschaltet und durch die Schienenzangen gesichert.

Als die zu überwachenden Betriebsparameter der Baugruppe kann die Betriebsdauer der Antriebsgruppe genannt werden.

Das mechanische **Hubwerk** des Kratzers ist als Seilwinde ausgeführt, die von einem Elektromotor angetrieben wird und besteht aus den Hauptbaugruppen der kinematischen Kette: Motor, Untersetzungsgetriebe, Seiltrommel, Seiltrieb. Die Hubwinde ist mit Schlaffseilschalter versehen.

Als die zu überwachenden Betriebsparameter der Baugruppe können folgende Parameter genannt werden.

- Einschaltdauer der Antriebsgruppe
- Seilspannung

Die Betriebsüberwachung ist unter Berücksichtigung von [DIN 15020, Blatt 2] durchzuführen. Sind z.B. ausreichende Betriebserfahrungen bekannt, dann kann im Rahmen einer vorbeugenden Instandhaltung bei gleichbleibenden Betriebsbedingungen und gleichem Drahtseil der Zeitpunkt für den Seilwechsel vorher abgeschätzt werden.

Das **Kettenwerk** besteht im wesentlichen aus Auslegerstahlbau in Schweißkonstruktion, Überhebetrog, zwei Drehstrom-Kettenmotoren und Kegelstirradaufsteckgetriebe, Strömungskupplungen, Kettenschmieranlage (Ölpumpe, Ölbehälter, Rohrleitungen), einer hydraulischen Spannstation (zwei Zylinder und Hydraulikaggregat), Kettenräder, Kratzerkette als eine Doppelstrang-Buchsenförderkette mit wälzgelagerten und gekapselten Laufrollen.

Als die zu überwachenden Betriebsparameter der Baugruppe können folgende genannt werden:

- Einschaltdauer der Antriebsgruppe
- Kettenmotorstrom

Der Kettenmotorstrom ist zu überwachen, damit bei unzulässig hohen Gegenmomenten infolge Blockierungen im Abbauprozess das Kettenwerk des Portalkratzers abgeschaltet werden kann, um Kettenrisse zu vermeiden. Ständig hohe Messwerte im Vergleich mit Sollwerten im Normalbetrieb bedeuten permanente Störungen in der angetriebenen Baugruppe.

Die Stromaufnahme am Kettenmotor kann auch für die Analyse des Antriebsauslastungszustandes benutzt werden. Ein Beispiel für die Visualisierung der Messergebnisse der Stromaufnahme ist im Bild II-8 dargestellt. Im weiteren kann die Stromaufnahme für Untersuchungen zur Baugruppendimensionierung herangezogen werden. Für eine solche detaillierte Betrachtung wird das Kettenwerk im *Kapitel 4* untersucht und eine Analyse durchgeführt.

Meldungstyp, Reaktion: Störungsmeldung, Abschalten des Kettenantriebes.

Überwachung: Referenzbedingungen sind zu berücksichtigen.

Im Kettenwerk spielt die Funktionsfähigkeit der Kette die maßgebende Rolle. Dieser Thematik wird ein besonderer Abschnitt im *Kapitel 4* gewidmet.

3.3 Überwachung der Anlagenführung während des Betriebes

Der Betrieb der Anlagen des Bekohlungssystem des Kraftwerkes wurde während einer langen Zeit verfolgt. Während der Projektführung wurden im Zeitraum 01.10.00 - 01.10.01 die Leistungsparameter erfasst, in der Datenbank gespeichert und ausgewertet. Durch die Installation des Fernüberwachungssystem und permanente Verfolgung des Betriebes der Anlagen, Überwachung der Parameteränderungen und Parameterzusammenhänge konnten auch Recherchen

der Störungsursachen in den Störfällen durchgeführt werden. Anhand eines charakteristischen Beispiels wird diese Möglichkeit aufgezeigt.

Im April 2001 wurde ein Kettenriss am Portalkratzer 04 EAF 02 des Kraftwerkkomplexes gemeldet. Aus der Konstruktionsabteilung kam die Frage, ob durch die Analyse und eine entsprechende Zusammenstellung der Betriebsparameter die Störfallursache ermittelt werden kann.

Für die Untersuchungen wurden folgende Parameter im Zeitraum einiger Stunden vor und nach der Havarie ausgewählt, um ein umfassendes Bild durch die Daten zu bekommen und auswerten zu können:

- Betriebsarten der Anlagen im ausgewählten Abschnitt für den Portalkratzer 04 EAF 02,
- Stromaufnahme der Kettenmotoren und Zylinderdruckwerte der Kettenstation,
- Positionsänderungen des Fahrwerkes und Hubwerkes,
- Meldungen der Hubwerkbaugruppe (Betätigung der Endschalter).

Wie aber können Entscheidungen bei der Störungssuche durch Betrachtung der zahlreichen Zusammenstellungen und Diagrammen getroffen werden? Betrachtet man bei der hier angewendeten monovariaten Diagnose die zeitliche Entwicklung einzelner Diagnosesignale, so sind nichtlineare oder sogar sprunghafte Anstiege über kürzester Zeit (z.B. Zylinderdruckwerte der Kettenstation) in jedem Falle Anzeichen für außergewöhnliche *Zustandsänderungen*. Sie sind nicht durch die Änderung der Betriebsbedingungen verursacht und müssen als Anzeichen der drohenden Ausfälle angesehen werden.

Die Zusammenstellung einiger Parameter im Laufe der Recherche der Störungsursache (siehe Anhang II, Bild II-11...15) zeigen, dass es sich in diesem Fall um einen Bedienungsfehler handelt, der aus der aktuellen Betriebsituation entstanden ist und in der Nacht stattgefunden hat (Einschalten des Kettenwerkes für den Abbauprozess im nicht dafür vorgesehenen Modus). Die Betrachtung der Anlagenhistorie am Tag vor der Havarie zeigte ebenfalls einige Unregelmäßigkeiten im Betrieb, aber die zur Verfügung stehenden Messungen können nicht eindeutig interpretiert werden und definieren, ob eine mechanische Störung im Kettenwerk schon am davor liegenden Tag existierte.

Die Verfolgung der Anlagenhistorie wird mit Hilfe einer speziell für das Pilotprojekt entwickelten Datenbank realisiert, in der alle relevanten Betriebsparameter über der Zeit in Form von Wochenberichten gespeichert wurden. Mehr dazu siehe *Kapitel 5, Abschnitt 5.2*.

4 Rückschluss auf die Auslegung der Kratzerkettenantriebe

Einer der Schwerpunkte der Nutzung von Überwachung, Zustandsdiagnose und Verfolgung der Anlagenhistorie ist für den Hersteller die Iteration zur Konstruktionsoptimierung der hergestellten Anlagen. Für die Konstrukteure ist die Frage der optimalen Dimensionierung der Anlagen ein fortlaufender Prozess. Eine zentrale Aufgabe der funktionstechnischen Berechnung von Fördermaschinen ist die Bestimmung der Antriebsleistung für die Arbeitsbewegungen. Die wichtigsten Ausgangsdaten für die Auslegung einer Fördermaschine sind der Fördergutstrom und die dafür erforderliche Antriebsleistung, die aus den Bewegungswiderständen ermittelt wird.

Die Fernüberwachung der eingesetzten Anlagen erlaubt eine entsprechende Informationssammlung, die für die Analyse des Betriebsverhaltens herangezogen werden kann. Über einen längeren Zeitraum wurde der Betrieb des Portalkratzers 04 EAF 02 verfolgt. Eine der wichtigsten Baugruppen des Kratzers ist das Kettenwerk. An dieser Stelle besteht immer noch eine gewisse Unsicherheit bei der Auslegung der Kratzerkettenantriebe. Die Recherche zum Stand der Technik ergab insgesamt nur eine geringe Anzahl von Literaturstellen, welche den Haldenabbauprozess beschreiben und zur Unterstützung herangezogen werden könnten. Aus der Literatur und der Praxis sind folgende Auslegungsmethoden zu nennen, die im weiteren ausführlich behandeln werden:

1. Auslegung nach der Methode des Herstellerunternehmens.

In diesem Fall werden empirische Gesetzmäßigkeiten angewendet, die eine Sammlung der Herstellererfahrung über einen längeren Zeitraum darstellen und an zahlreichen Projekten erprobt wurden. Weil der Algorithmus als allgemeingültig für die ganze Palette der Abbaukratzer (Portal-, Halbportal-, Seiten-, Schwenk- und Brückenkratzer) des Herstellers [FAM-BV] fungiert, wurde in der Arbeit eine andere Methode untersucht, um für die Konstruktionsabteilung eine sichere Alternative anzubieten.

2. Auslegung der Antriebsleistung für spezifische Einsatzfälle (Schüttgüter, Umgebungs- und Einsatzbedingungen).

In der Arbeit [SCH78] wurden Untersuchungen zum Grabwiderstand als maßgebende Größe der Leistungsbestimmung am Kratzerkettenantrieb beim Abtragen von Salzen durchgeführt. Diese Methode wird hinsichtlich ihrer Vorteile und Nachteile analysiert.

3. Auslegung der Kettenantriebe nach den Algorithmen der Tagebautechnik.

In diesem Abschnitt wird die Methode der Antriebsleistungsermittlung der Eimerkettenbagger überarbeitet, um die vorhandenen Kenntnisse auf das Gebiet der Abbaukratzer zu übertragen. Die Methode der Tagebautechnik basiert auf der Anwendung der spezifischen Grabwiderstandswerte, für die eine Berechnung anhand der gemessenen Daten am Portalkratzer 04 EAF 02 durchgeführt wurde, um die Anwendbarkeit der Werte im entwickelten Algorithmus zu bestätigen.

Das Ziel des Vorhabens in diesem Abschnitt ist es, sowohl eine Analyse der vorhanden Methoden, als auch die Erstellung eines neuen Auslegungsverfahrens für die Kettenantriebe vorzunehmen, um eine relative Unsicherheit bei der Dimensionierung auszuschließen und eine genauere Annäherung an die tatsächlichen Leistungserfordernisse zu ermöglichen.

In diesen Abschnitten werden einige unternehmensspezifische Bezeichnungen und Formel aus den Literaturquellen unverändert übernommen, um die Methoden nachvollziehen zu können.

4.1 Auslegung nach der Herstellermethode

Weil die komplizierten Vorgänge des Schneidens im Haldenabbauprozess schwer erfassbar sind, spielen bei der Ermittlung der Leistungen empirische Gleichungen aus Versuchswerten oder Erfahrungen eine ausschlaggebende Rolle. Mit Hilfe der zur Verfügung stehenden Messwerte des Portalkratzers wird die Methode im weiteren analysiert.

4.1.1 Auslegungsalgorithmus

Die Berechnungsvorschrift der Antriebsleistungsermittlung wurde auf der Basis der Berechnung der Trogkettenförderer wie folgt aufgebaut [FAM-BV]:

$$P_K = 1,1 \cdot (P_A + P_L + P_{Hub}) \quad (4.1.1)$$

- mit P_K Kettenantriebsleistung (kW)
 $1,1$ Sicherheitsfaktor
 P_A effektive Arbeitsleistung (kW)
 P_L effektive Leerlaufleistung (kW)
 P_{Hub} effektive Hubleistung (kW)

Die Arbeitsleistung im Abbauprozess wird als

$$P_A = Q_t \cdot g \cdot AA \cdot m_f \cdot (1 + m_v) \cdot \frac{1}{3600} \quad (4.1.2)$$

- mit Q_t Massenstrom (t/h)
 g Fallbeschleunigung (m/s²)

AA Achsabstand (Spanntrommel - Ablenktrommel) (m), **Bild 4-1a**

m_f Reibwert für Fördergutreibung (-)

m_U Reibwert zu den Kettengelenken (-)

definiert. Die Leerlaufleistung wird durch die folgende Formel beschrieben:

$$P_L = (2 \cdot M_{Ke} + M_{Sm}) \cdot g \cdot 2 \cdot (AA + AAT) \cdot m_k \cdot (1 + m_U) \cdot v_K \cdot \frac{1}{1000} \quad (4.1.3)$$

mit M_{Ke} Masse der Kette pro Meter Einzelstrang (kg/m)

M_{Sm} Masse der Schaufel pro Meter (kg/m)

AAT Achsabstand Trog (m), **Bild 4-1a**

m_k Reibwert Kette - Schiene (-)

Die Hubleistung wird wie folgt definiert:

$$P_{Hub} = Q_t \cdot g \cdot \Delta h \cdot \frac{1}{3600} \quad (4.1.4)$$

mit Δh Hubhöhe (m)

Die Schwierigkeit der Auslegung liegt auch darin, dass jeder einzelne Kratzer für bestimmte Betriebs- und Umgebungsbedingungen konzipiert, projektiert und in Einzelfertigung hergestellt wird. Deshalb ist es fast kaum möglich, die Zusammenhänge zwischen der installierten Antriebsleistung und einigen wichtigen Anlagenparameter (z.B. Fördergut, Förderleistung, Auslegerlänge usw.) herzustellen (Anhang IV, Bild IV-1...IV-3). Deshalb ist es zweckmäßig, den gesamten Berechnungsablauf und entsprechende Annahmen zu analysieren, um die angewendeten Formeln durch die Messungen zu bestätigen.

4.1.2 Analyse der Auslegungsmethode

Zu den Vorteilen der Auslegungsmethode gehören:

- Einfluss von wenigen Parametern,
- Gültigkeit für alle hergestellten Kratzertypen,
- Breite Anwendung der Erfahrungswerte.

Als Nachteile im Algorithmus sind folgende Punkte zu nennen:

- Wirklich gebrauchte Leistungskomponenten werden nur in drei Teile gegliedert und abgeschätzt,
- Materialeigenschaften werden ausschließlich in einem Reibwert für Fördergutreibung berücksichtigt.

Die Analyse der Herstellermethode wird am Beispiel des Portalkratzers 04 EAF 02 am Lagerplatz im Kraftwerk Heyden durchgeführt, zu dem durch die reali-

sierte Fernüberwachung entsprechende Betriebsparameter zur Verfügung stehen.

- Massenstrom

In den Grundformeln zur Bestimmung der effektiven Leistungen wird die Größe des Massenstroms Q_t verwendet, die aus der Berechnung der Trogketten-förderer übernommen wurde. Es ist also notwendig, die grundlegende Größe zu überprüfen. Zuerst wird das Modell der Spanbildung im Abbauprozess betrachtet. Die Seitenkante einer Schaufel hinterlässt auf der Halde eine schräge Fläche in Richtung der Absolutgeschwindigkeit v_A (**Bild 4-1b**).

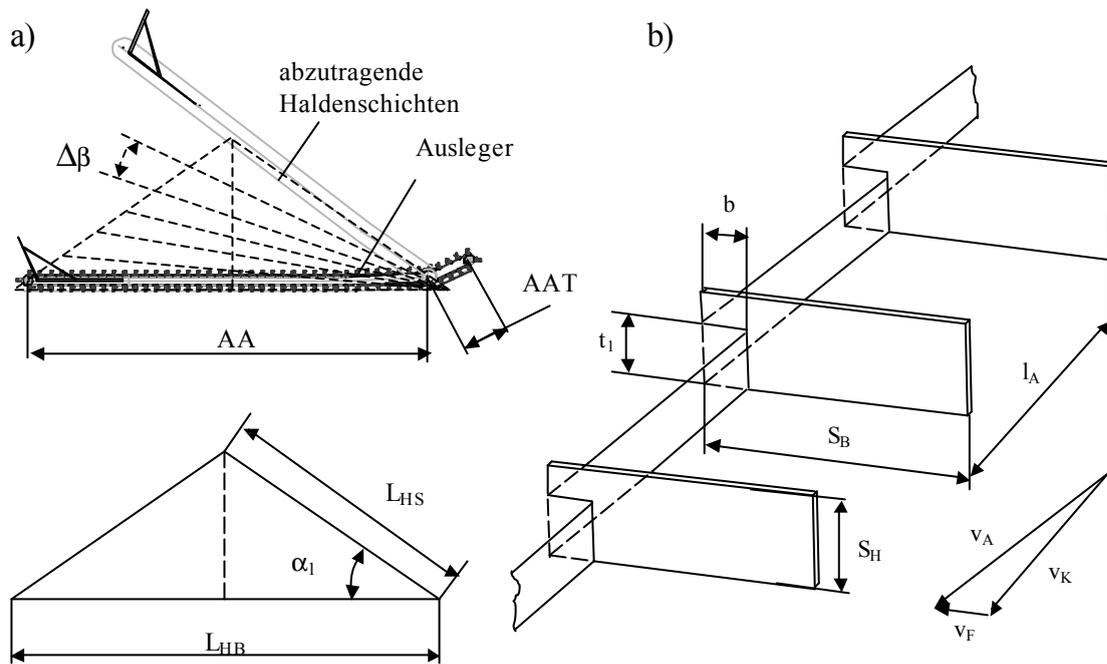


Bild 4-1: Geometrien im Abbauprozess:

a) Haldengeometrie

b) Kontinuierliches Abtragen des Gutes

Die Absolutgeschwindigkeit setzt sich aus der Fahrgeschwindigkeit des Kratzers v_F und der Relativgeschwindigkeit der Kette zum Kratzer (der Ketten- geschwindigkeit v_K) zusammen. Das Geschwindigkeitsdreieck ist dem recht- winkligen Dreieck ähnlich, dessen Katheten die Grabbreite b und der Schaufel- abstand l_A sind. Das Abbauvolumen nach einer Schaufelbewegung von oben nach unten wird durch das Volumen eines Keils (**Bild 4-2**) mit den Abmessungen L_{HS} , t_1 und b gekennzeichnet:

$$V_s = L_{HS} \cdot \frac{t_1}{2} \cdot b \cdot k_{auf} \quad (4.1.5)$$

mit L_{HS} Haldenseite (m)

t_1 Grabbtiefe (m)

- b Spanbreite (m)
 k_{Auf} Auflockerungsfaktor (-)

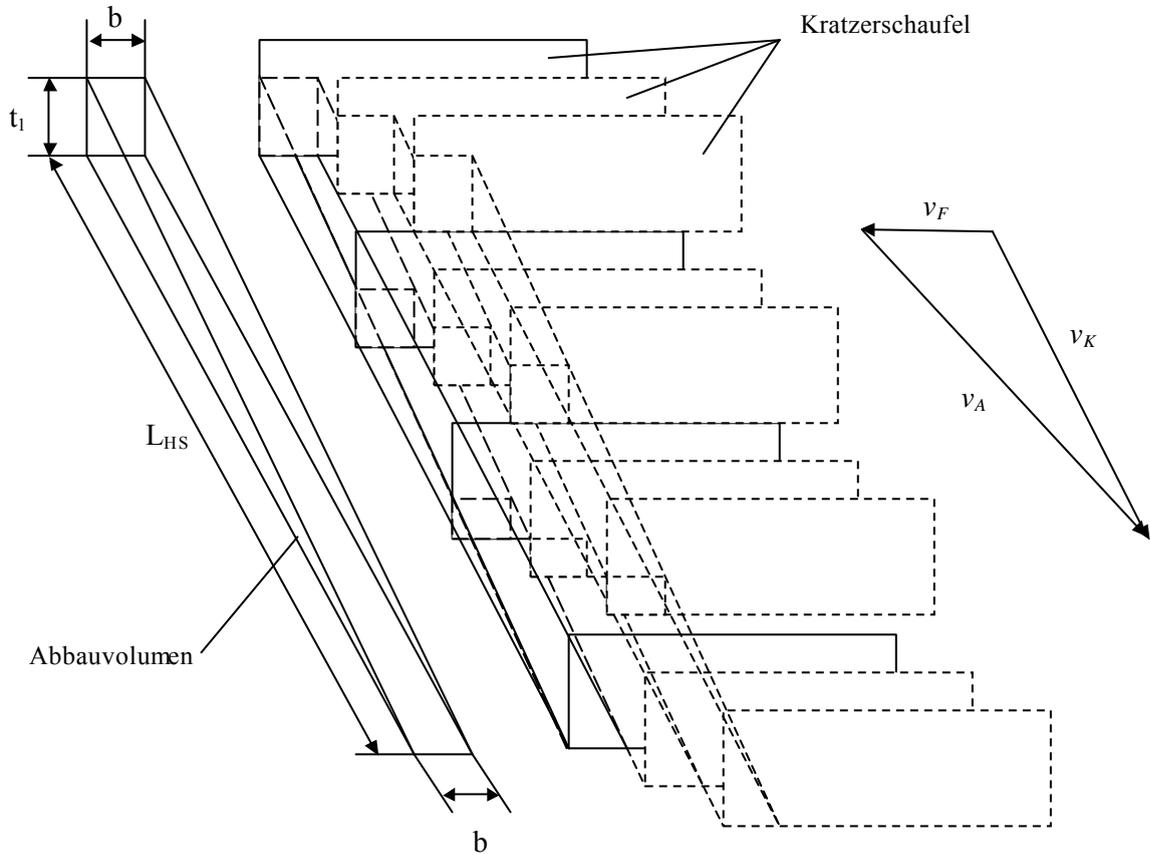


Bild 4-2: Spanbildung im Abbauprozess

Aus der bekannten Haldengeometrie im Vollzustand (Haldenfußlänge, Schüttwinkel), den Auslegerparametern (Schaufelbreite, Schaufelabstand, Auslegerlänge) und aus der Annahme, dass der Kratzer um Schaufelbreite verfahren wird, wenn die Schaufel einmal die Auslegerlänge zurückgelegt hat, kann die Spanbreite (Grabbreite) b und die Zahl der grabenden Schaufeln n_{SH} definiert werden:

$$b = \frac{S_B}{n_S} \quad (4.1.6)$$

mit S_B Schaufelbreite (m)
 n_S gesamte Zahl der Schaufeln im Untertrum (Stück)

$$n_S = \frac{AA}{l_A} \quad (4.1.7)$$

mit l_A Schaufelabstand (m)

Die Zahl der grabenden Schaufeln n_{SH} auf der Länge der Haldenseite L_{HS} (Stück) ist eine variable Größe im Abbauprozess und beträgt:

$$n_{SH} = \frac{L_{HB}}{2 \cdot \cos \alpha_1 \cdot l_A} \quad (4.1.8)$$

mit L_{HB} Haldenfußbreite (m)

α_1 Haldenschüttwinkel (Grad)

Durch die Besonderheit der Kratzerkonstruktion (Trog zum Heben des Materials auf das Niveau des Gurtförderers nach dem Abkratzen) kann die Schaufelzahl im Einsatz auf der Haldenseite nicht als die Hälfte der gesamten Schaufelzahl definiert werden.

Die Einstellung der Grabtiefe t_I wird durch das Absenken des Auslegers eingestellt. Das Winkelverhältnis vom Anlenkpunkt bis zum Ende des Auslegers verursacht, dass die Grabtiefe am Anlenkpunkt nahezu Null beträgt. Im Abbauprozess wird der Ausleger in der Regel um Db gesenkt. Für die betrachtete Haldengeometrie beträgt diese Änderung auf dem Niveau der Haldenspitze die Grabtiefe $t_I = 0,4$ m, die nach dem Halbieren bei der Schaufelhöhe S_H von $0,5$ m die notwendige Schaufelfüllung von 40 % ($t = 0,2$ m) gewährleistet.

Die Zeit einer Schaufelbewegung t_S von oben nach unten im Abbauprozess beträgt:

$$t_S = \frac{AA}{v_K} \quad (4.1.9)$$

mit v_K Kettengeschwindigkeit (m/s)

Die Zahl der Schaufelbewegungen x einer Schaufel pro Stunde (von oben nach unten) definiert man als:

$$x = \frac{3600}{t_S} \quad (4.1.10)$$

Nach der Multiplikation mit der Schüttgutedichte r kann die Masse eines abgebauten Keils ermittelt werden. Beim Verfahren des Kratzers um eine Schaufelbreite wird folgender Massenstrom Q_t in t/h erzielt:

$$Q_t = V_S \cdot r \cdot x \cdot n_{SH} \quad (4.1.11)$$

Die Zusammenfassung der Werte ist in der Tabelle 4-1 dargestellt.

Tabelle 4-1: Zusammenstellung der Parameter zur Ermittlung des Massenstroms

AA (m)	AAT (m)	S _B (m)	v _K (m/s)	k _{Auf} (-)	ρ (t/m ³)	l _A (m)
47,9	5,39	2,5	0,7	1,1	0,8	1,26

α ₁ (°)	b (m)	t _S (sec)	L _{HS} (m)	t _I (m)	n _{SH} (Stck)	x (-)	V _S (m ³)	Q _t (t/h)
0	0,066	68,5	47,9	0,4	38	52,6	0,695	1100
39	0,066	68,5	32	0,4	25	52,6	0,465	489

Es werden die zwei Grenzfälle der höchsten und der tiefsten Auslegerstellung unter Annahme gleicher v_F betrachtet. Auf diese Weise kann der Kratzer die anhand der Konstruktion ermittelten Werte des Massenstroms in der tiefsten Auslegerstellung sogar mit 1100 t/h übertreffen (der Massenstrom für die Dimensionierung des Kratzers beträgt 1000 t/h). Der notwendige Massenstrom mit dem Ausleger in Hochstellung wird durch die Regelung der Fahrgeschwindigkeit des frequenzgeregelten Fahrwerkes erreicht.

- Leerlaufleistung

Der Vergleich der rechnerisch ermittelten Leerlaufleistung (nach der Gleichung 4.1.3) mit dem durch die Stromaufnahme erfassten Wert zeigt Tabelle 4-2.

Tabelle 4-2: Leerlaufleistungswertevergleich

Stromaufnahme (A)	Leerlaufleistung nach der Gleichung 4.1.3 (kW)	Leerlaufleistung nach der Messung (kW)
36	38,43	43

Die Antriebsleistung im Leerlauf wird durch die Stromaufnahme im symmetrischen Drehstromnetz ($U = U_L$, $I = I_L$) als Scheinleistung ($\cos \mathbf{j}$ wird nicht gemessen) ermittelt.

$$P_L = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot I}{1000} \quad (4.1.12)$$

Der Stromwert der Kettenmotoren bei der Aufnahme im Leerlaufzustand ($I = 36 \text{ A}$) zeigte sich als konstante Größe unabhängig von der Auslegerstellung ($\mathbf{b} = 0^\circ - 39^\circ$).

Der Vergleich zeigt, dass die nach der Formel gerechnete Leerlaufleistung der durch die Stromaufnahme gemessenen Leistung nicht genau entspricht. Die tatsächlich gemessene Leerlaufleistung ist größer als bei der Projektierung angenommen.

- Hubleistung

Die Hubleistung wird am betrachteten Portalkratzer benötigt, um die Kohle nach dem Abbau der Halde mit den Schaufeln im Trog anzuheben und zum Gurtförderer GF 04 EAC 32 zu transportieren. Bei der Ausführung der Kratzerkonstruktion auch für den Tiefschnitt wird Hubleistung auch für die Arbeit des Auslegers im negativen Winkelbereich \mathbf{b} benötigt.

Die Verfolgung des Betriebes des Portalkratzers im Zeitraum von einem Jahr hat gezeigt, dass das Kettenwerk in den verschiedenen Betriebssituationen eine zuverlässige Arbeit geleistet und anhand der Stromaufnahme der Kettenmotoren in Abhängigkeit vom Auslegerwinkel (Tabelle IV-4, Anhang IV) immer die für den zum Abbauprozess notwendige Leistung erbracht hat.

Als Alternative zur Herstellermethode werden im weiteren zwei anderen Auslegungsmethoden betrachtet und die Anwendbarkeit analysiert.

4.2 Auslegung aufgrund der spezifischen Schüttgutkennwerte

Das Spektrum der zu fördernden Schüttgüter ist sehr vielfältig. Es ergeben sich daher viele verschiedene Materialparameter, die bei der Auswahl der Antriebe berücksichtigt werden müssen. Hierzu zählen im wesentlichen die folgenden Schüttgutkennwerte:

- Schüttdichte, Korngröße und Korngrößenverteilung,
- Feuchtigkeitsgehalt und Temperatur,
- Schüttwinkel (innerer Reibungswinkel)
- Zusatzinformationen über Fließeigenschaften, Staubanteil, Abrasivität und Korrosionsverhalten [BÄHR00].

Eine andere Möglichkeit der Kettenantriebsauslegung anhand der Schüttgutkennwerte wurde von SCHIRMER [SCH78] entwickelt, geprüft und durchgeführt. Die Arbeit basiert auf der Betrachtung der verfestigter Salze. Das Ziel der Arbeit war, die Grabwiderstände mit Hilfe eines Prüfstandes zu untersuchen und entsprechende empirische Gesetzmäßigkeiten zwischen dem Schüttgutverhalten nach der Einlagerung und den notwendigen Leistungskomponenten des Antriebes zum Haldenabbau zu finden.

Der Grund für die Betrachtung und Analyse der Methode von SCHIRMER in der vorgelegten Arbeit besteht darin, dass viele Anlagen im Zeitraum von 1997-1999 für das Abtragen von Salzen im In- und Ausland projektiert und hergestellt wurden. Im weiteren wird das Auslegungsverfahren erläutert. Anschließend wird eine Analyse der Methode durchgeführt, um die Anwendbarkeit zu prüfen.

4.2.1 Widerstände

Für die Auslegung der Antriebseinheiten zum Grabvorgang müssen die zu überwindenden Widerstände bekannt sein. Die Leistung am Kettenantriebsmotor resultiert aus der Größe der an der Schaufel angreifenden Widerstände und aus Verlusten, die durch die Kettenbewegung entstehen.

Der Grabvorgang bei einem Ausspeicherungskratzer umfasst das Eindringen einer Schaufel in das Haldenmaterial, das einseitige Abschneiden eines Spans von der Haldenmasse, die Füllung der Schaufel und die Beschleunigung des Spans auf die Geschwindigkeit der Schaufel. Der Ausleger wird während des Kettenumlaufes seitlich verfahren, so dass die Schaufeln mit der Außenkante in das Schüttgut einfahren. Das zu gewinnende Gut setzt aufgrund seiner Beschaffenheit dem Schneidwerkzeug einen Widerstand entgegen, der als Grabwiderstand bezeichnet wird. Die zu ermittelnden Widerstände an der Schaufel, die für die Leistung des Kettenantriebes maßgebend sind, teilen sich auf in:

- den Grabwiderstand als Hauptanteil (50 – 80%),
- den Verschiebewiderstand (10 – 40%) und
- die Widerstände aus Gutbeschleunigung und Reibung (10%) [SCH178].

Als wesentliche Anteile der Gesamtleistung P_K werden festgestellt: die Grableistung P_{Gr} , die Verschiebeleistung P_V , die Leistung durch Gutbeschleunigung P_B und die Leistung durch Reibungsverluste P_R .

$$P_K = P_{Gr} + P_V + P_B + P_R \quad (4.2.1)$$

mit P_{Gr} Grableistung (kW)

P_V Verschiebeleistung (kW)

P_B Leistung durch Gutbeschleunigung (kW)

P_R Leistung durch Reibungsverluste (kW)

Die Grableistung P_{Gr} , der wesentliche Anteil bei verfestigten Salzen, beinhaltet das Losgraben des verfestigten Salzes mit den auf der Grabbreite angebrachten Zähnen der Schaufel. Die Verschiebeleistung P_V resultiert aus Verschieben des gelösten Salzes auf der Halde zum Gurtförderer. Die Beschleunigungsleistung P_B ist zur Beschleunigung des Salzes in der Schaufel erforderlich. Die Verlustleistung P_R wird durch die Reibungsverluste verursacht. Der Grabwiderstand ist die maßgebende Größe zur Ermittlung der Antriebsleistung der Kette beim Abtragen verfestigter Salze.

- Grabwiderstand

Durch die Berechnung der Tangentialkomponente des Grabwiderstandes ist die Ermittlung der Antriebsleistung möglich. Die Normalkomponente des Grabwiderstandes ist dafür nicht maßgebend. Aus der Vielzahl der Eigenschaften der Salze ist die für den Abbau maßgebende Eigenschaft die Verfestigung, die durch die Lagerung hervorgerufen wird. Da die Kohäsion c und der Winkel der inneren Reibung \mathbf{j} (Tabelle 4-3) Ausdruck der Verfestigung sind, gehen diese beiden Stoffkomponenten in die Berechnung des Grabwiderstandes ein.

Tabelle 4-3: Ausgewählte Kennwerte der Salze

innerer Reibungswinkel für losen Zustand	φ_1	Grad	34 – 39
innerer Reibungswinkel für verfestigten Zustand	φ	Grad	50 – 53
Kohäsion für losen Zustand	c_1	N/mm ²	0,02 – 0,044
Kohäsion für verfestigten Zustand	c	N/mm ²	0,47 – 0,98
Schüttwinkel	α_1	Grad	29 – 32
Schüttdichte	ρ	t/m ³	1,0 – 1,3

Zusammenfassend wird der maximale tangential Grabwiderstand (N) an den grabenden Schaufeln des Entspeicherungskratzers nach SCHIRMER wie folgt definiert:

$$F_{Gr} = \frac{1}{3} \cdot k_Z \cdot k_M \cdot c \cdot n_{SH} \cdot t_1^2 \cdot \frac{\tan e \cdot (p + 2 \cdot \tan e)}{2 \cdot \tan^2 d \cdot (1 + \tan e)^2} \quad (4.2.2)$$

mit k_Z empirischer Faktor, der die Zähnezahl der Schaufel berücksichtigt (-),

$$k_Z = 0,20409 \cdot n_Z + 0,79158 \quad (4.2.3)$$

n_Z Zähnezahl der Schaufel (-)

Die Gleichung (4.2.3) kann aufgrund der umfangreichen Berechnungen für verschiedene Salze als allgemeingültig für alle Salze angesehen werden.

k_M empirischer Faktor, der den Mittelwert des Grabwiderstandes und die Geschwindigkeit der Schaufeln berücksichtigt (-),

$$k_M = 0,182 \cdot \sqrt{v_Z} + 0,472 \quad (4.2.4)$$

v_Z Zahngeschwindigkeit (m/s)

Die Gleichung (4.2.4) kann aufgrund der umfangreichen Untersuchung ebenfalls als allgemeingültig für alle Salze angesehen werden.

c Kohäsion (N/mm²)

n_{SH} Anzahl der grabenden Schaufeln (Stück)

t_1 maximale Grabtiefe (m)

d Neigungswinkel der Bruchscholle, abhängig vom Winkel der inneren Reibung j (Grad), beträgt $d=32,5^\circ$ für alle abgetragenen Salze.

e Winkel, der die horizontale Ausdehnung der Bruchscholle an der Oberfläche des Salzblockes eingrenzt (Grad), ist empirisch in Abhängigkeit von der Grabtiefe t in Versuchen ermittelt worden und beträgt $e = 53^\circ$ für alle abzutragenden Salze (**Bild 4-3**).

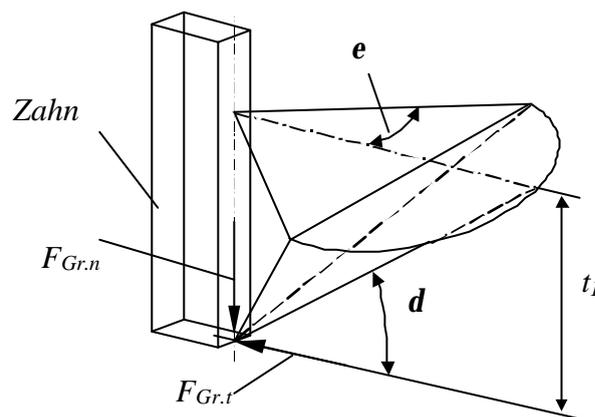


Bild 4-3: Geometrische Beziehungen am vereinfachten Bruchmodell

Der nach Gleichung 4.2.2 bestimmte Grabwiderstand ist das Resultat der durchgeführten Untersuchungen von SCHIRMER an einem Versuchsstand. Die Ermittlung des Grabwiderstandes F_{Gr} hängt im wesentlichen von der Bestimmung der Kohäsion c und des Winkels der inneren Reibung j ab.

Der Winkel der inneren Reibung für loses Salz j_1 ist Ausgangsgröße für den Verschiebewiderstand.

- Verschiebewiderstand

Der Verschiebewiderstand entsteht, wenn das losgegrabene Salz mit der Schaufel auf der Halde zum Gurtförderer geschoben wird. Der maximale Verschiebewiderstand tritt auf, wenn der Ausleger des Kratzers das Salz auf dem Haldenboden bergauf, mit nach unten geneigtem Ausleger, verschiebt.

Im **Bild 4-4** ist der Verschiebewiderstand F_{Vn} an einer Schaufel dargestellt. Der für die Antriebsleistung am Abbaukratzer maßgebende Verschiebewiderstand ist zu berechnen nach der Gleichung:

$$F_V = 1000 \cdot g \cdot r \cdot V_n \cdot (\sin b + \cos b \cdot \tan j_1) \quad (4.2.5)$$

mit V_n Schaufelinhalt (m^3)

$$V_n = \frac{1}{3} \cdot t_1 \cdot b \cdot \frac{L_{HS}^2}{l_A} \cdot k_{Auf} \cdot k_f \quad (4.2.6)$$

b Grabbreite (m)

$$b = \frac{v_F \cdot l_A}{60 \cdot v_K} \quad (4.2.7)$$

k_f Füllfaktor (-)

b Neigungswinkel des Auslegers (Grad)

j_1 Winkel der inneren Reibung für lose Salze (Grad)

- Gutbeschleunigungswiderstand

Die Beschleunigungsleistung P_B , die durch die Beschleunigung des Salzes auf die Kettengeschwindigkeit hervorgerufen wird, ist laut der von SCHIRMER durchgeführten Untersuchungen vernachlässigbar klein.

- Reibungswiderstand

Es wird von SCHIRMER vorgeschlagen, die Verlustleistung durch die Roll-, -Gleit- und Lagerreibung an der Kette und am Kettenantrieb aus den Messungen der Leerlaufleistung zu berechnen. Bei mehreren Abbaukratzern mit verschiedener Auslegerlänge wurde nach einjähriger Laufzeit der Kette eine Leerlaufleistung von angenähert

$$\bar{P}_R = 0,5 \text{ kW/m} \quad (4.2.8)$$

gemessen. Diese Leerlaufleistung pro Meter Auslegerlänge wird zur Berechnung der Verlustleistung herangezogen:

$$P_R = \bar{P}_R \cdot AA \quad (4.2.9)$$

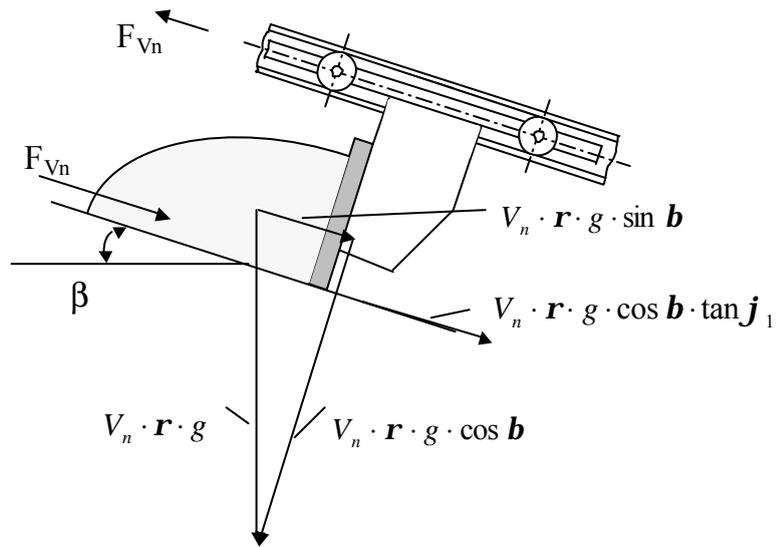


Bild 4-4: Verschiebewiderstand F_{Vn}

- **Gesamtantriebsleistung**

Danach beträgt die Gesamtleistung für den Kettenantrieb in kW

$$P_K = \frac{(F_{Gr} \cdot \cos b_2 + F_V) \cdot v_K}{1000} + P_R \quad (4.2.10)$$

mit b_2 Winkel der Schrägstellung des Zahnes (**Bild 4-5**), die durch die Richtung der Absolutgeschwindigkeit gegeben ist (Grad)

$$b_2 = \arctan \frac{v_F}{v_K \cdot 60} \quad (4.2.11)$$

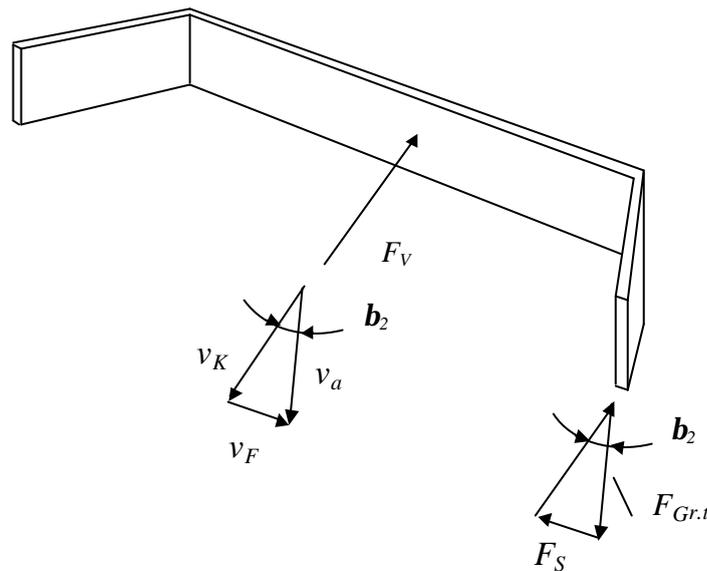


Bild 4-5: Verschiebe- und Grabwiderstand an den Schaufeln

Im Anhang IV, Tabelle IV-2 befindet sich die in computergestützter tabellarischer Form abgebildete Berechnungsmethode, die zur Anwendung als Hilfe bei der Auslegung der Abbaukratzer für das Abtragen von Salzen zur Verfügung steht.

4.2.2 Analyse der Methode

Im Ergebnis der Methodenanalyse können folgende Schwerpunkte genannt werden:

- Weil die theoretischen und praktischen Zusammenhänge aus den zahlreichen Versuchen sich ausschließlich auf rohe und verfestigte Salze mit entsprechenden spezifischen Materialkennwerten, untersuchten Bruchvorgängen und Bruchmodellen beziehen, ist eine Verallgemeinerung auf andere Schüttgüter nicht möglich.
- Genaue Kennwerte des Schüttgutes stellen entsprechende Voraussetzungen für die Anwendung der Algorithmen von SCHIRMER. Das bezieht sich auf die Kohäsion und den inneren Reibwinkel der abgebauten Salze, die ausschließlich aus einer Laborversuchsreihe gewonnen werden können (z.B. mit dem Jenike-Gerät lassen sich die Schüttgut-eigenschaften durch Scherversuche ermitteln).
- Eine Annahme der Leerlaufleistung pro Meter Auslegerlänge kann vom Hersteller der Abbaukratzer nur durch langjährige Erfahrungen definiert werden. Dazu sind entweder Vor-Ort- oder durch eine Fernüberwachungslösung gestützte Messungen an allen für den Abbau von Salzen hergestellten Anlagen durchzuführen.
- Die durch die Versuche von SCHIRMER ermittelten Kenntnisse zum Anlagenverhalten können jedoch dem Konstrukteur eine entsprechende Unterstützung bei der Auslegung geben. Dafür ist der in dieser Arbeit zusammengestellte computergestützte Algorithmus zu verwenden [Anhang IV, Tabelle IV-3].
- Eine Prüfung der Methode und der Vergleich der Ergebnisse nach dem Algorithmus von SCHIRMER mit einer vom Anlagenbauunternehmen hergestellten Anlage für den Abbau von Salzen war in dieser Arbeit nicht möglich (den Algorithmus bestimmende Eigenschaften der abzubauenen Salze sind nicht bekannt) und ist nicht Inhalt der vorgelegten Arbeit.
- Die Berechnungsmethode ist auch für den Abbau von Kohlenhalden anwendbar, wenn analoge Untersuchungen für Kohle nach [Schi78] durchgeführt werden.

4.3 Überarbeitete Tagebautechnik-Methode für die Auslegung der Kettenantriebe

Die überarbeitende Methode der Antriebsauslegung stammt aus der Tagebautechnik. Nach diesem Verfahren werden die Turasantriebe der Eimerkettenbagger berechnet [PAJER79].

Nach [PAJER88] ist die Berechnung der Abbaukratzer der Berechnung von Eimerkettenbaggern ähnlich, weil die Bewegung der Kratzerkette und das seitliche Verfahren des Gerätes gleichzeitig erfolgen. Ziel der Untersuchungen aus der Tagebautechnik war es, neben grundlegenden Beobachtungen zum Schneidvorgang einen Ansatz für die Bestimmung des Schneidwiderstandes zu finden. Andererseits stellen die Abbaukratzer Förderer mit endlosumlaufendem Zugmittel dar, an denen die Berechnungsgrundlagen der mechanischen Stetigförderer angewendet werden können.

Die Überarbeitung des Algorithmus wird für Abbaukratzer ohne Trog durchgeführt, weil die Abbaukratzer mit Trog eine Ausnahme in der Produktpalette des Herstellers darstellen und nur nach Auftraggeberwunsch hergestellt werden.

Nach der Betrachtung der Produktionspalette des Herstellers in einer Produktionsperiode von zwei Jahren (1997 – 1999) stellt man auch fest, dass die Mehrheit der hergestellten Kratzer für den Betrieb im Hoch- und Tiefschnitt projektiert wurde. Nach der Analyse der Produktionszahlen ergaben sich folgende Verhältnisse für die projektierten und hergestellten Geräte (Tabelle 4-4).

Tabelle 4-4: Prozentuelle Verhältnisse der Geräte für Hoch- und Tiefschnitt

Jahr 1997-1999	Portalkratzer	Halbportalkratzer	Seitenkratzer
Nur Hochschnitt	15%	3%	30%
Hoch- und Tiefschnitt	85%	97%	70%
Winkelbereich in Grad	-14°... +47°	-14° ...+52°	-15°... +48°

Deshalb ist es zweckmäßig, zwei Fälle der Kratzerauslegung zu unterscheiden:

- Der Kratzer arbeitet ausschließlich im Hochschnitt, für diese Berechnung ist die Auslegerposition bei 0° maßgebend.
- Der Kratzer arbeitet im Hoch- und Tiefschnitt, für die Dimensionierung des Kettenantriebs ist der Fall "Tiefschnitt" maßgebend, in dem die Hubleistung einen Maximalwert erreicht.

Im weiteren wird die Methode der Auslegung der Turasantriebe für die Eimerkettenbagger im Tiefschnitt hinsichtlich ihrer Anwendung für die Dimensionierung der Kratzerkettenantriebe überarbeitet. Weil die Auslegungsmethode auf der Anwendung spezifischer Grabwiderstandswerte basiert, wird die Untersuchung dieser Frage zuerst durchgeführt.

4.3.1 Spezifische Grabwiderstände

Für diese Untersuchungen wurde die Ermittlung von spezifischen Grabwiderständen während des Haldenabbauprozesses durch den untersuchten Portalkratzer vorgenommen mit dem Zweck, die gerechneten Werte mit den Angaben der Literaturquellen zu überprüfen, um diese im überarbeiteten Algorithmus anwenden zu können.

Es werden zwei Möglichkeiten zur Ermittlung des tangentialen Grabwiderstandes unterschieden [PAJER79]:

I. Ermittlung des Grabwiderstandes $F_{Gr.ti}$ (kN) einer Schaufel unter Benutzung eines spezifischen Grabwiderstandes bezogen auf die Spanquerschnittsfläche

$$F_{Gr.ti} = 10^3 \cdot k_A \cdot b \cdot t_2 \quad (4.3.1)$$

- mit k_A auf 1 mm² Spanquerschnittsfläche $A = 10^6 \cdot b \cdot t_2$ bezogener spezifischer Grabwiderstand (N/mm²)
- b Spanbreite (m)
- t_2 als Grabtiefe t_2 wird der mittlere Wert der Grabtiefe im Abbauprozess verstanden, $t_2 = t_1/2$ (m) für Kratzer

Auch in einigen anderen empirischen Gleichungen werden der Schnitt-, Füll-, Reibungs- und Beschleunigungswiderstand als Grabwiderstand zusammen angegeben, weil eine getrennte Darstellung schwierig und unsicher ist.

II. Ermittlung des Grabwiderstandes $F_{Gr.ti}$ (kN) unter Benutzung eines spezifischen Grabwiderstandes bezogen auf die schneidende Messerlänge

Mit diesem Beiwert beträgt der tangential Grabwiderstand (kN) einer Schaufel:

$$F_{Gr.ti} = k_l \cdot l \quad (4.3.2)$$

- mit k_l spezifischer Grabwiderstand, bezogen auf 1 mm schneidende Messerlänge (N/mm)
- l schneidende Messerlänge (m)

Für die Ermittlung der spezifischen Grabwiderstände sind die Spangeometrie (Spanbreite und Grabtiefe) und die Arbeitsleistung im Abbauprozess notwendig. Weil die Leistungsgrößen im Leerlauf und die Gesamtleistung im Abbauprozess durch die vorhandenen Messwerte der Stromaufnahme an den Kettenantrieben definiert werden können, müssen die spezifischen Grabwiderstände für das hier vorliegende Material Kohle durch eine Rückrechnung ermittelt werden. Um die Grableistung zu erhalten, muss man von der Gesamtleistung die rechnerisch zu ermittelnde Hubleistung und die gemessene Leerlaufleistung abziehen.

- Spangeometrie

Für die Ermittlung der spezifischen Grabwiderstände werden angewendet:

- Spanquerschnittsfläche $A = 10^6 \cdot b \cdot t_2$ in mm²

- Messerlänge $l = b + t_2$ in mm

Die Kratzerschaufeln, die zur Auflockerung der Kohle dienen, werden in den Berechnungen ohne Zähne betrachtet.

- **Arbeitsleistung P_F im Abbauprozess**

Die Arbeitsleistung im Abbauprozess kann einerseits analog der Gleichung (4.1.1) für die bisherige Auslegung der Kettenantriebsleistung P_K definiert werden [FAM-BV]:

$$P_K = P_F + P_L + P_{Hub} \quad (4.3.3)$$

$$P_F = P_K - P_L - P_{Hub} \quad (4.3.4)$$

Andererseits ist die Arbeitsleistung P_F durch die folgende Gleichung zu definieren:

$$P_F = F_{Gr.t_i} \cdot v_K \cdot n_{SH} \quad (4.3.5)$$

mit $F_{Gr.t_i}$ auf eine Kratzerschaufel bezogener Grabwiderstand (kN)

Im Ergebnis der Stromaufnahme an den Kettenantriebmotoren kann ermittelt werden:

- gesamte Antriebsleistung in kW durch die Stromaufnahme (bei der Auslegerstellung $\mathbf{b} = 0^\circ$) im symmetrischen Drehstromnetz ($U = U_L = 480 \text{ V}$, $I = I_L = 95 \text{ A}$) als Scheinleistung ($\cos \mathbf{j}$ wird nicht gemessen) bei der Lieferung des Förderstroms $Q_t = 1000 \text{ t/h}$:

$$P_K = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot I}{1000} \quad (4.3.6)$$

- Leerlaufleistung nach der Gleichung 4.3.6, wenn die Kette sich im Leerlauf befindet.

Die Hubleistung wird aus der folgenden Gleichung ermittelt:

$$P_H = \frac{Q_t \cdot g \cdot \Delta h}{3600} \quad (4.3.7)$$

mit Dh Höhendifferenz in m

$$Dh = AAT \times \sin \mathbf{a}_2 \quad (4.3.8)$$

mit \mathbf{a}_2 Winkel des Troges ($\mathbf{a}_2 = 35^\circ$)

Auf diese Weise beträgt der spezifische Grabwiderstand k_A bezogen auf die Querschnittsfläche A :

$$k_A = \frac{P_F}{F_{Gr.t_i} \cdot v_K \cdot n_{SH}} = \frac{P_K - P_L - P_H}{10^3 \cdot b \cdot t_2 \cdot v_K \cdot n_{SH}} \quad (4.3.9)$$

und der spezifische Grabwiderstand k_I bezogen auf die Messerlänge:

$$k_1 = \frac{P_K - P_L - P_H}{l \cdot v_K \cdot n_{SH}} \quad (4.3.10)$$

Die Tabelle 4-5 gibt die Berechnungsergebnisse für den ungünstigsten Fall der Auslegerposition bei 0° wieder.

Tabelle 4-5: Spezifische Widerstände im Abbauprozess am Kratzer 04 EAF 02

α_1 (Grad)	b (m)	t ₂ (m)	l (m)	A · 10 ⁶ (mm ²)	n _{SH} (Stck)	P _K (kW)	P _H (kW)	P _L (kW)	P _F (kW)	k _A (N/mm ²)	k ₁ (N/mm)
0	0,07	0,2	0,266	0,0132	38	93	8,42	43	41,59	0,151	7,94

Die gerechneten spezifischen Grabwiderstände k_A befinden sich in einer guten Übereinstimmung mit den durch zahlreiche Experimente ermittelten Werte für verschiedene Bodenkategorien (Tabelle 4-6).

Tabelle 4-6: Spezifischer Widerstand k_A für einzelne Bodenkategorien [PAJER79]

Benennung der Böden	Boden- kategorie	Spezifischer Grabwiderstand k_A in N/mm ² für Hobel oder Zugschaufel
Lockerer Sand	I	0,028 ... 0,045
Leichter Sand; lehmiger Sand	I	0,060 ... 0,120
Lehmiger Sandboden; feiner und mittlerer Kies; feuchter oder lockerer leichter Lehm	II	0,100 ... 0,190
Mittlerer oder lockerer schwerer Lehm; dichter, sandiger Lehm	III	0,160 ... 0,260
Schwerer Lehm	IV	0,260 ... 0,400
Gemischter, leicht zusammen- gebackener Boden (mit Stein- einschlüssen)	V	0,310 ... 0,410

Die zum Kraftwerk gelieferte Kohle kann der Klasse II zugeordnet werden. Die Übereinstimmung mit den Literaturangaben erlaubt auf diese Weise, auf die Werte der spezifischen Grabwiderstände im Projektierungsprozess mit dem im weiteren dargestellten Algorithmus zurückzugreifen.

4.3.2 Methode der Bestimmung der Motorleistung für den Turasantrieb beim Tiefschnitt

4.3.2.1 Kettenantriebsleistung

Der ungünstigste Fall ergibt sich im Tiefschnitt. Die größte Kettenzugkraft F_1 entsteht im Untertrum an der Auflaufstelle des Antriebsturass und ist für die Dimensionierung der Kette maßgebend (**Bild 4-6** a) und b)). Mit Hilfe des wesentlich kleineren Kettezugs F_2 an der Ablaufstelle des Antriebsturass ergibt sich die Umfangskraft $F_U = F_1 - F_2$, die für die Motorleistung bestimmend ist (Gleichung 4.3.1).

$$P_K = \frac{F_U \cdot v_K}{h_T} \quad (4.3.11)$$

mit h_T Gesamtwirkungsgrad des Turasantriebes (-)

Beide Kettenzüge F_1 und F_2 ermittelt man ausgehend von der gewählten Kettenvorspannkraft an der Spannscheibe. Die Kettenvorspannkraft F_{V_k} wird derart gewählt, dass keine unzulässigen Durchhänge entstehen. Die gegen die Laufrichtungen wirkenden Reibungs- und Beschleunigungswiderstände vergrößern im Untertrum die Kraft F_1 und verringern im Obertrum die Kraft F_2 . Deshalb gilt

$$F_1 = F_{V_k} + F_{Gr.t.ges} + F_{hu} + F_{ru} + F_{pu} + F_{uu} \quad (4.3.12)$$

$$F_2 = F_{V_k} + F_{ho} - F_{ro} - F_{po} - F_{uo} \quad (4.3.13)$$

mit $F_{Gr.t.ges}$ gesamter tangentialer Grabwiderstand

F_h Hubwiderstände der Kette mit bzw. ohne Füllung

F_r Reibungswiderstände in Kettenrichtung

F_p pulsierende Beschleunigungswiderstände der umlaufenden Massen beim Lauf der Kette um das sich mit konstanter Winkelgeschwindigkeit drehende Polygon

F_u Umlenkwiderstände (Kettenknickwiderstände an den Auflauf- und Ablaufstellen der Spannscheiben und Antriebsturasse und Lagerreibungswiderstände der Spannscheiben)

u, o die Indizes u und o beziehen sich auf das Kettenuntertrum bzw. -obertrum.

Im **Bild 4-6** ist der Verlauf der in Normalrichtungen aufgetragenen Kettenzüge dargestellt. Der wesentlich größere Kettenzug F_1 gegenüber dem Zug F_2 wird durch den Grabwiderstand, den größeren Hubwiderstand und den hohen Reibungswiderstand des Untertrums verursacht.

4.3.2.2 Bewegungswiderstände

Die Einteilung des Förderweges in Berechnungsabschnitte kann für Obertrum, Untertrum und Umlenkung mit zugehörigen Widerständen erfolgen (in Anlehnung an die Berechnungsgrundlagen von F. KRAUSE in [PAJER88, S. 74]).

Einzelne Eigenlasten der beweglichen Teile werden zu Streckenlasten zusammengefasst. So beträgt die Metereigenlast der Kette in kN/m :

$$q_E = 2 \cdot q_K + \frac{F_{SE}}{l_A} \quad (4.3.14)$$

mit q_K Metereigenlast eines Kettenstrangs (kN/m)

F_{SE} Eigenlast einer Schaufel (kN)

Die gesamte Metereigenlast der Schaufelfüllung beträgt in kN/m :

$$q_F = \frac{Q_{max} \cdot r \cdot g}{3600 \cdot v_K} = \frac{Q_t \cdot g}{3600 \cdot v_K} \quad (4.3.15)$$

mit Q_{max} größter Volumenstrom, aufgelockert (m^3/h)

Jede Eigenlast F_S bzw. Streckenlast q wird im Schnittpunkt mit der Kettenachse in eine Tangential- und eine Normalkomponente zerlegt. Die einzelnen Komponenten werden getrennt behandelt. Die Tangentialkomponenten der Eigenlasten bilden den Hubwiderstand; der Reibungswiderstand wird nur durch die Normalkomponenten hervorgerufen.

Gesamter tangentialer Grabwiderstand $F_{Gr.t.ges}$

Bei dem üblichen Berechnungsverfahren mit dem spezifischen Grabwiderstand k_l oder k_A beträgt der gesamte mittlere tangentiale Grabwiderstand nach Gleichung 4.3.16.1-2:

$$F_{Gr.t.ges} = k_l \cdot l \cdot n_{SH} \quad (4.3.16.1)$$

$$F_{Gr.t.ges} = 10^3 \cdot k_A \cdot b \cdot t_2 \cdot n_{SH} \quad (4.3.16.2)$$

Mit dem mittleren tangentialen Grabwiderstand $F_{Gr.t.ges}$ wird gerechnet, weil der tatsächliche tangentiale Grabwiderstand durch die Vielzahl unterschiedlich schneidender Schaufeln schwankt.

Hubwiderstand F_h

Der Ersatz der linear anwachsenden Schaufelfüllung durch eine stufenweise verlaufende Streckenlast wird folgenderweise vorgenommen:

- alle Schaufeln auf der unteren Hälfte der Grabstrecke sind leer,
- alle Schaufeln auf der oberen Hälfte der Grabstrecke sind voll und schieben außerdem das größte Fördervolumen vor sich her.

Der schematische dreieckige Füllvorgang auf der Grabstrecke wird also durch ein Rechteck mit gleicher Höhe, aber nur mit halber Basis ersetzt. Der Hubwiderstand des Untertrums bezieht sich auf die Kratzerkette bei ganzer Länge des Trums (entspricht dem Achsabstand AA) und auf die Schaufelfüllung bei der Länge $AA/2$. Diesen Längen entsprechen die Höhen h bzw. $h/2$ (Bezeichnungen nach **Bild 4-6**). Auf diese Weise folgt:

$$F_{hu} = q_E \cdot AA + q_F \cdot \frac{h}{2} \quad (4.3.17)$$

$$F_{ho} = q_E \cdot AA \quad (4.3.18)$$

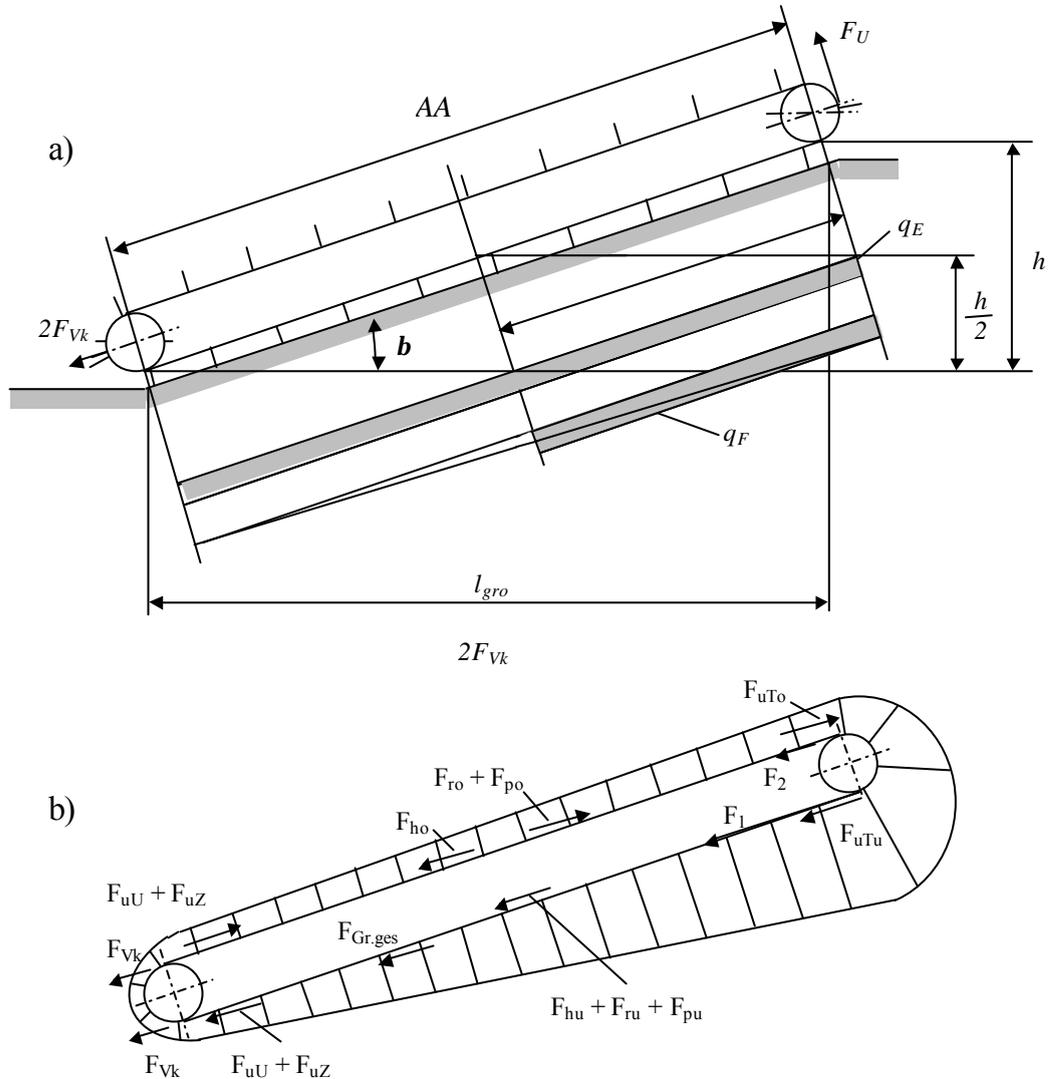


Bild 4-6: Übersicht über die Widerstände an der Kratzerkette

Reibungswiderstand F_r

Am Untertrum der Kratzerkette entstehen analog der Eimerkette folgende Reibungskräfte:

- Reibungskraft zwischen Schaufel und Böschung. Sie gehört zum Grabwiderstand und ist in seiner Größe enthalten.
- Reibungskraft der Kette in den Schienenführungen,
- Reibfahrwiderstand der Gelenkrollen,

- Reibung durch Kettenknickung beim Umlenken.

Pulsierender Beschleunigungswiderstand F_p

Dieser Widerstand entsteht infolge der Schwankungen der Ketten- geschwindigkeit, die aus der Änderung des Abstandes der Kettenachse zur Turasachse während der Drehbewegung des Turaspolygons resultiert. Für die Ermittlung der Motorleistung ist er nicht maßgebend, weil sein Mittelwert gleich Null ist.

Umlenk- widerstand F_u

Er besteht

- aus dem Kettenknickwiderstand an den Auflauf- und Ablaufstellen der Antriebstrasse und der Spannscheiben

$$F_{u\text{Untertrum}} = (F_{V_k} + F_{Gr.ges} + F_h + F_r + F_p) \cdot m_{zk} \cdot \frac{d_{zk}}{d_u} \quad (4.3.19)$$

$$F_{u\text{Obertrum}} = (F_{V_k} + F_h - F_r - F_p) \cdot m_{zk} \cdot \frac{d_{zk}}{d_u} \quad (4.3.20)$$

mit m_k Gleitreibungsbeiwert des Kettenbolzens

d_{zk} Durchmesser des Kettenbolzens (mm)

d_u Durchmesser der Umlenkscheibe (mm)

- aus dem Zapfenreibungswiderstand der Spannscheiben

$$F_{uz} = 2 \cdot F_{V_k} \cdot m_z \cdot \frac{d_z}{d_u} \quad (4.3.21)$$

mit m_z Zapfenreibungsbeiwert

d_z Zapfendurchmesser der Spannscheibe

Umfangskraft F_U

Erforderliche Umfangskraft an den Antriebstrassen in kN :

$$F_U = F_1 - F_2 \quad (4.3.22)$$

4.4 Kratzerkette

4.4.1 Dimensionierungskriterien

Die Kratzerkette spielt im Kettenwerk eine entscheidende Rolle. Im Einsatz am Portalkratzer 04 EAF 02 befindet sich eine Buchsenförderkette [DIN 8165]. Die Kratzerschaufeln werden an der Kette befestigt und gewährleisten den Abbauprozess.

Die Buchsenförderketten unterliegen mechanischen Beanspruchungen, die sie durch betriebsfeste Dimensionierung und durch verschleißfeste Gestaltung der Gelenke mit akzeptabler Lebensdauer ertragen müssen. Bei der Dimensionierung von Buchsenförderketten spielen Verschleiß und Lebensdauer derzeit eine untergeordnete Rolle. Die Dimensionierung erfolgt allein aufgrund eines statischen Festigkeitsnachweises.

Die Problematik der Betriebsfestigkeit der Laschen wird in der Praxis durch z.T. erhebliche Überdimensionierungen gelöst. Das wichtigste Kriterium ist die Bruchkraft F_B , die um einen geforderten Sicherheitsfaktor S größer sein muss als die größte Kettenzugkraft $F_{K,max}$ im Betrieb:

$$F_B \geq F_{K,max} \times S \quad (4.4.1)$$

Die Sicherheitsfaktoren von 5-7 gegen Bruch sind in den Kettennormen (DIN 8165, DIN 8167) verankert. Die Beanspruchungen, die beim Umlauf der Ketten um die Kettenräder unter Last entstehen, führen zu Verschleiß in den Kettengelenken (Reibpaarung Bolzen-Buchse), zwischen Buchse und Kettenrad sowie an Anbauteilen. Im Normalfall ist der Gelenkverschleiß die Ursache für das Erreichen der Lebensdauergerenze.

4.4.2 Verschleißlebensdauer

Verschleiß tritt an Stahlgelenken als unvermeidbare Folge der Reibung in den Gelenken auf und führt zu einer kontinuierlichen Längung der Kette während des Betriebs. Bei der Dimensionierung von Förderketten, insbesondere bei der Berechnung oder Abschätzung der Lebensdauer, stützt man sich auf die Erfahrungen der Ketten- bzw. Anlagenhersteller und Betreiber. Erkenntnisse über die spezifischen Einflüsse der Fördergüter und Umgebungsmedien auf den Verschleiß sind bestenfalls qualitativ bekannt. Die Gewährleistungszeiträume der Hersteller liegen im allgemeinen weit unterhalb der Lebensdauererwartungen der Betreiber.

Die Zielstellungen, geeignete Verschleißschutzmaßnahmen und Lebensdauerbewertungsmethoden für Buchsenförderketten in Richtung Erhöhung der Verschleißlebensdauer zu entwickeln, werden in zahlreichen Arbeiten verfolgt (z.B. [KAUSH01]) und stellen einen wesentlichen Ansatzpunkt für eine Optimierung dar.

4.4.3 Ablagekriterien und Überwachung

Eine Buchsenförderkette ist ein Verschleißteil, das in regelmäßigen Zeitintervallen ersetzt werden muss, wodurch Material- und Montagekosten sowie Produktionsunterbrechungen entstehen. Der Austausch findet dann statt, wenn die Verschleißgrenze (d.h. der maximal zulässige Verschleiß) erreicht ist. Die Kriterien zur Festlegung der Verschleißgrenze können:

- funktionsorientiert (Verlust funktionsnotwendiger Gebrauchseigenschaften),
- prozessorientiert (unzulässige Änderung des Reibungs- und Verschleißzustandes),
- systemorientiert (unzulässige Änderung tribologisch relevanter Systemeigenschaften)

sein [KAUSH01]. Funktionsorientierte Ausfallkriterien, d.h. solche Merkmale, deren Erreichen und Überschreiten Schäden oder Ausfälle zur Folge haben, sind für Förderketten relevant. Von maßgeblicher Bedeutung ist die Vergrößerung der Kettenteilung infolge einer verschleißbedingten Vergrößerung des Gelenkspiels. Sie führt dazu, dass die kinematischen Verhältnisse beim Zusammenspiel von Kette und Kettenradverzahnung beeinträchtigt werden. Das kann zu erheblichem Verschleiß an der Verzahnung, unerwünschten Geräuschen oder sogar zum Abspringen der Kette vom Kettenrad führen. Die Festlegung der zulässigen Werte für den Verschleißabtrag erfolgt in der Praxis aufgrund der Erfahrung der Hersteller von Kettenförderern und Förderketten.

Bei der Kette sind folgende Parameter zu überwachen.

- Kettenspannungskontrolle

Die Kettenspannung ist wegen des Kettenverschleißes zu überwachen. Die Kettenspannung wird in Zusammenhang mit der Auslegerstellung durch die Änderung der Zylinderdruckwerte der hydraulischen Spannstation geregelt. In Abhängigkeit vom aktuellen Neigungswinkel werden die vom Anlagenhersteller vorgegebenen Druckwerte eingestellt.

Überwachung, Reaktion: Die Kette und das Fahrwerk werden abgeschaltet, wenn der Zylinderdruck der hydraulische Spannstation in Abhängigkeit von der Auslegerstellung nicht dem vorgegebenen Bereich entspricht.

- Kettenverschleiß

Der Kettenverschleiß kann durch die Längung der Kette im Betrieb verglichen mit dem Neuzustand definiert werden. Sind die möglichen Standzeiten, die durch eine längere Überwachung, Verfolgung und Speicherung der Informationen zu den Kratzerketten gewonnen werden können, bekannt, kann im Rahmen einer vorbeugenden Instandhaltung der Kettenwechsel im voraus geplant werden.

- Umlaufkontrolle

Durch die Umlaufkontrolle findet eine Schaufelzahlkontrolle zur Erkennung von mechanischen Störungen statt. Als Sensor kommt ein Näherungsinitiator, installiert am Ausleger in der Nähe der Antriebsstation, zum Einsatz.

Überwachung, Reaktion: Unterschreitet die Kette ihre Mindestumlaufgeschwindigkeit, werden der Kettenantrieb und das Fahrwerk abgeschaltet.

Auf diese Weise wird der störungsfreie Betrieb des Kettenlaufwerkes gesichert.

5 Organisatorische Aspekte der Teleservice-Strategie

Durch den Wandel vom lokalen Anbieter hin zum globalen Käufermarkt ist das „Ohr so nahe am Kunde“ wie nie zu vor. Erweiterte Servicekonzepte der Anlagenbauunternehmen mit der Orientierung auf Teleservice-Strategien sind eine gängige Lösung, die Kundenzufriedenheit zu erhöhen und eine erfolgreiche Kundenbindung zu erzielen. In diesem Zusammenhang gewinnen ganzheitliche prozess-orientierte Managementkonzepte über den gesamten Lebenszyklus von Produkten und Anlagen im Zusammenspiel globaler Wirtschaftspartner zunehmend an Bedeutung.

Der Abschnitt *Erstellung eines Anlagendiagnosekonzeptes für ein Maschinenbauunternehmen* in diesem Kapitel zeigt die Bestandteile der Problematik und Lösungswege, die bei Einführung der Teleservice-Strategie angewendet und berücksichtigt werden müssen.

Im weiteren wird das Profil des Systemingenieurs in einem Herstellerunternehmen erarbeitet. An dieser Stelle wird vorausgesetzt, dass sich in der Rolle des Serviceunternehmens nicht nur im Gewährleistungszeitraum am besten der Hersteller der zu begleitenden Anlagen und Technik eignet. Das Ziel bei der Betrachtung der technischen und organisatorischen Aufgaben eines Systemingenieur besteht darin, die Arbeitsfelder und notwendige Voraussetzungen zu analysieren, die eine erfolgreiche Einführung des neuen Berufsbildes ermöglicht.

Die Betrachtung der sozialen, wirtschaftlichen und rechtlichen Aspekte der Teleservice-Strategie schließt die gesamte Problematik ab und gibt eine kompakte Übersicht zu den nichttechnischen Problemstellungen.

5.1 Erstellung eines Anlagendiagnosekonzeptes für ein Maschinenbauunternehmen

Das Konzept der Organisation einer Anlagendiagnose durch ein Teleservice-System enthält drei Bestandteile:

- Bestimmung der Diagnoseziele und Anlagenbaugruppen zur Überwachung,
- Organisation des Datentransfers inklusive Datensammlung,
- Schaffung der unternehmerischen Strukturen zur Datenbehandlung und Nutzung.

Folgendes Konzept wurde nach der Analyse des realisierten Teleservice-Pilotprojektes für die Anlagen der Brennstoffversorgungskette eines Kraftwerkes entwickelt, das eine Fernüberwachung der Maschinen und Anlagen mit der Möglichkeit von Online-Änderungen und Zugriffen darstellt.

Während der Pilotprojekt-Realisierungsphase und der Analyse der ersten Ergebnisse sind folgende Schlussfolgerungen zu ziehen, die die Schwerpunkte jedes Konzeptbestandteils widerspiegeln:

1. Auswahl und Definition der geeigneten Diagnosesignale zur Erfassung der Anlagenbaugruppen-Zustände der Geräte mit entsprechender Sensorik stellen die Grundlage jeder Teleservice-Strategie dar.

Trotz der hohen Anzahl der Steuersignale an den Geräten ist es nicht möglich, mit der herstellereigenen elektrischen Standardausrüstung der Anlagen eine Diagnose des Zustandes durchzuführen (fehlende *Diagnosefähigkeit* der Maschinen). Einige analoge Messwerte (Neigungswinkel, Fahrwege, Antriebsströme) liefern zwar allgemeine Informationen, die für die Steuerung wichtig sind, aber dem Sinn der Diagnose nicht voll entsprechen.

2. Die Kommunikation zwischen dem Datensammler am Gerät und dem Beobachtungsrechner in Magdeburg wird momentan mit Hilfe einer ISDN-Verbindung betrieben. Die zukünftige Art der Kommunikation ist zu diskutieren, um eine weltweite Anlagenüberwachung möglich zu machen.
3. Nutzungsaspekte der erfassten Informationen für den Hersteller und Betreiber der Technik bestehen nicht nur in der Anlagenüberwachung und der zustandsorientierten Instandhaltung sondern auch in einer gezielten Weiterentwicklung der Anlagen.

Die Bestandteile einer vorgeschlagenen Anlagenüberwachung werden im weiteren detailliert analysiert und Lösungswege vorgeschlagen.

5.1.1 Vorbereitung der Anlagen-Diagnosefähigkeit

Als Vorbereitung der Diagnosefähigkeit bezeichnet man die Phase, die notwendige Maßnahmen zur Auswahl der zu diagnostizierenden Baugruppen und Bauteile mit entsprechenden Diagnoseparametern, der Festlegung von Sensoren und der Konstruktionsänderungen für deren Installation umfasst.

Es ist erwähnenswert, dass die meisten Projekte fördererischer Anlagen bereits eine kunden- und gerätespezifisch entwickelte elektrische Konfiguration enthalten. Deshalb ist es aus Sicht des Herstellers zweckmäßiger, die Überwachungs- und Diagnosetools in den für die hergestellten Anlagen definierten elektrischen Ausrüstungskonfigurationen bereits vorzubereiten, um mit ihnen im Auftragsfall flexibel operieren zu können.

Für die Anlagenausrüstung können hinsichtlich der Intensität der Interaktion mit der Anlage drei Ausrüstungskonfigurationen vorgeschlagen werden:

1. Anlagenausrüstung entsprechend einer niedrigsten Komplexitätsstufe (übliche elektrische Standardsensorik der Steuerung ohne besondere Anforderungen zur Betriebsüberwachung = Pflichtparameter).

Zugangsintervall - gelegentlich. Zweck des Zugangs - sporadische Informationsabfrage (z.B. laufende aktuelle Betriebskennzahlen), Registrierung der Systemmeldungen im Alarmfall.

2. Anlagenausrüstung entsprechend einer mittleren Komplexitätsstufe (Standardausrüstung der Stufe 1 mit zusätzlicher Sensorik zur Überwachung des laufenden Anlagenverhaltens und der Möglichkeit, die laufenden Werte zu speichern und zu verfolgen).

Zugangsintervall - regelmäßig mit dem Zweck der Überwachung des Anlagenzustandes, Prozessbeobachtung und Analyse der Ereignisse an der Anlage.

3. Anlagenausrüstung entsprechend der höchsten Komplexitätsstufe, d.h. Standardausrüstung mit zusätzlicher Sensorik zur Überwachung und einer tiefgründigen Diagnose des laufenden Anlagenzustandes mit der Möglichkeit der Trenderkennung, Restlebensdauerprognose und Planung von zustandsorientierten Reparaturmaßnahmen.

Zugangsintervall - häufig, regelmäßig mit längeren Zugriffszeiten für die umfassende Überwachung von Anlagen und Prozessen (Fernsteuerung der Anlage kann vorausgesehen werden, der Einsatz muss unbedingt nach einer Absprache mit dem Betreiber stattfinden), Hilfestellung und Trouble-Shooting bei Inbetriebnahme, während des Betriebes und/oder im Störfall durch Herstellerspezialisten.

Die gewählten Konfigurationen beeinflussen sowohl eine entsprechende Auswahl von Soft- und Hardware als auch die Organisation der Diagnoseprozesse. Für jede Komplexitätsstufe ist es notwendig, den Umfang der notwendigen Ausrüstung festzulegen.

Zu diesem Zweck wurden in der Arbeit entsprechende Vorschläge zu den Richtlinien für die ausgewählten Förderanlagen erarbeitet, damit im Fall der Einführung der Teleservice-Strategie der Hersteller auf die notwendigen Konfigurationen zurückgreifen kann (siehe Tabelle II-5,6,7 im Anhang II). Die Tabellen stellen eine Übersicht zu den zu überwachenden Baugruppen und Bauteilen mit entsprechenden Diagnoseparametern und Schlussfolgerungen dar, die im *Kapitel 3* detailliert behandelt wurden. Die Betrachtung enthält:

1. Anlage, Baugruppe/Bauteil,
2. Diagnosesignale,
3. Zweck der Überwachung,
4. Sensorvorschlag,
5. Komplexitätsstufenzuordnung.

5.1.2 Datenverwaltung und Hardwareprofil

Die Implementierung eines Datenbanksammlers im Bereich der Anlage mit der Aufgabe, die Anlagen- und Prozessdaten aus der Steuerung (SPS) zu erfassen und zu verwalten, ist der nächste Schritt (**Bild 5-1**). Der Datensammler kann normalerweise ein herkömmlicher Personalcomputer sein, der eine große Festplatte besitzt und ständig im Betrieb ist.

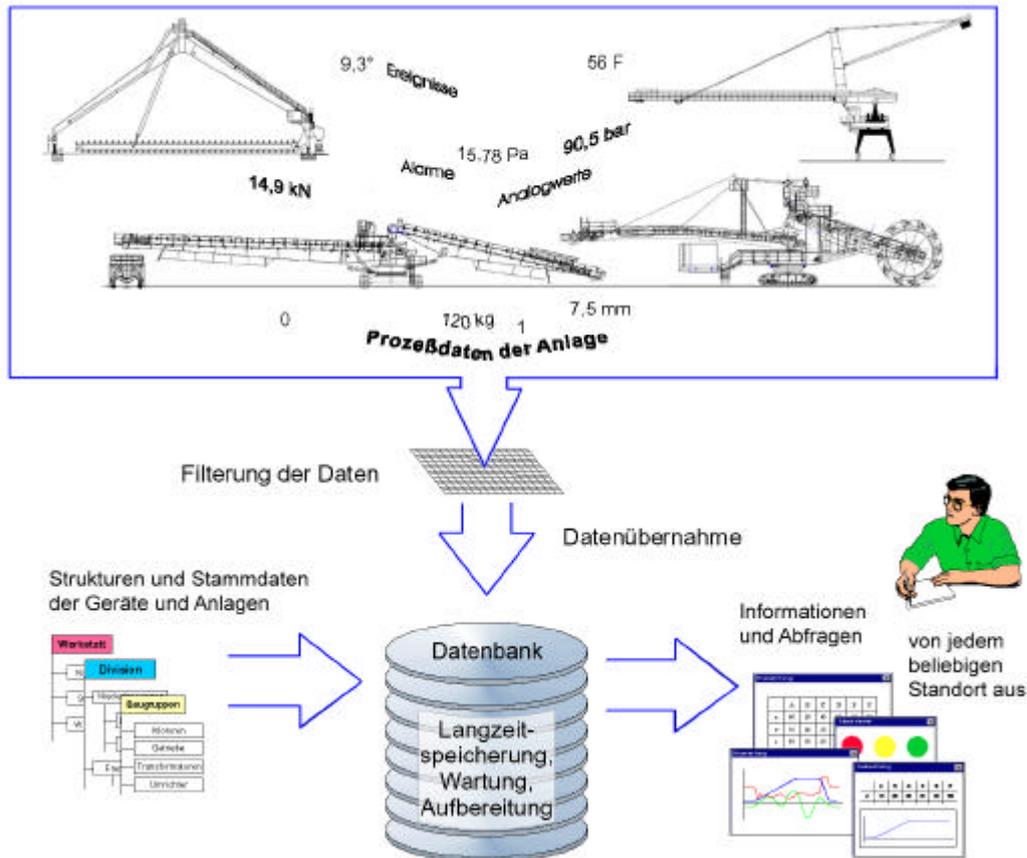


Bild 5-1: Schematische Darstellung des Informationsflusses

Software zur Datenerfassung und -bereitstellung kann aus der Reihe zahlreicher Programmprodukte ausgewählt werden. Die Übersicht zu den Datenerfassungssystemen ist in der Tabelle I-3 (Anhang I) dargestellt. Die Datenbanksoftware wird auf der Festplatte installiert und mit den Datentelegrammen für das Auslesen der laufenden Messwerte gekoppelt. Auf diese Art und Weise werden die Daten mit dem Zeitstempel auf die richtigen Plätze der Datenbank abgelegt. Andere Merkmale des Datensammler-Rechners sind:

- Web-Server Ausstattung,
- Programme für die Erstellung und Verwaltung von Alarmregeln und Alarmmeldungen,

- Programmierkomplex, in dem die Steuerung von Geräten programmiert ist,
- Remote-Control-Software, die externe Zugriffe auf den Rechner mit dem Zweck der Software-Updates und Systempflege ermöglicht.

Eine Sicherung der Anlagenhistorie kann durch die Speicherung der Messdaten auf den Magnetbändern oder CD's erfolgen. Dazu ist die notwendige Hardware auf dem Datensammlerrechner zu installieren.

In Abhängigkeit vom Nutzungskonzept kann für den Betreiber eine Clientfunktion eingerichtet werden, mit der Anlagenzustandsinformationen für die eigene weitere Verarbeitung gewonnen bzw. alle Aktivitäten im Zusammenhang mit dem Teleservice-System begleitet werden können.

Der Datensammler ist mit dem gewählten Übertragungsmedium durch eine entsprechende Hardware (Modems, Routers usw.) zwecks Datenfernübertragung auszurüsten. In der Regel sieht die Situation mit Kommunikation und Einbindung von Geräten in die Informationsstrukturen in einem Tagebau oder auf einem Lagerplatz folgendermaßen aus. Alle Informationen laufen am Gerät in der SPS auf, nach draußen (Leitwarte) gehen die Meldungen über die Funktionsfähigkeit der Anlage und Sicherheitsmeldungen. Die Entfernung der Geräte vom Stammhaus kann im Bereich 100 m bis einige Kilometer liegen und in der Regel gibt es keine extra zum Datenübertragungszweck verlegten Festleitungen. Trotzdem sind die projektbezogenen Besonderheiten zu beachten.

Betrachten wir ein solches Gerät in dem Falle, dass die notwendigen Voraussetzungen für die Einführung einer Teleservice-Strategie schon vorhanden sind (Installation eines Datensammlers, Sensor- und Hardware-Ausrüstung von Geräten entsprechend der Teleservice-Anforderungen). Dann sind folgende Entfernungen für den Informationsfluss zwischen der Anlage und dem Servicenetz des Herstellerunternehmens zu überbrücken:

1. Anlage mit den Informationen - Leitwarte mit dem Anschluss für die weitere Übertragung,
2. Leitwarte - Übertragungsmedium,
3. Übertragungsmedium - Receiver des entfernten Servicenetzes,
4. Unternehmensinterne Verteilung der Information.

Der erste Abschnitt (Gerät - Leitwarte) kann folgendermaßen aufgebaut werden: Entweder ist der Datensammler auf dem Gerät zu installieren (z.B. in der Kabine), in diesem Fall können die Daten während der externen Abfrage nach dem Verbindungsaufbau zwischen dem Hersteller-Stammhaus und dem Datensammler durch die Leitwarte mit dem Anschluss zum Übertragungsmedium ausgelesen und heruntergeladen werden, oder der Datensammler befindet sich in der Leitwarte. Im zweiten Fall kommuniziert der Datensammler ständig mit der SPS am Gerät per entsprechendem Übertragungsmedium und das Herunterladen

von Daten findet nach dem Verbindungsaufbau zwischen dem Stammhaus und der Leitwarte statt.

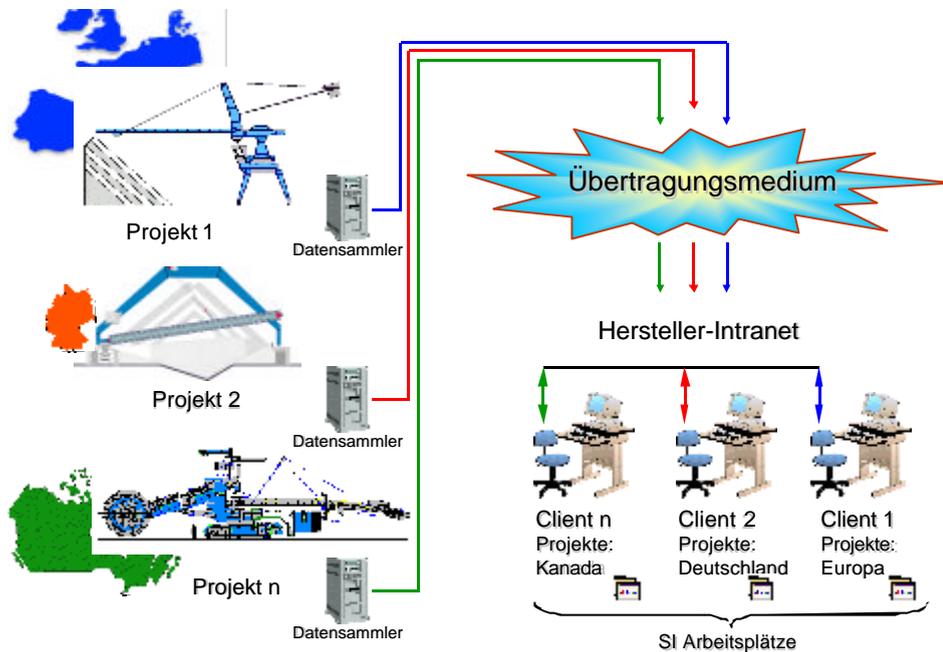


Bild 5-2: Kommunikationsschema einer weltweiten Fernüberwachung

In beiden Fällen sind Lösungen notwendig, die den Datensammler und die Leitwarte verbinden können. Zu diesem Zweck können folgende Möglichkeiten vorgeschlagen werden:

- Funkübertragung, für diese Methode sind Funkmodems notwendig. Die vorhandenen industriellen Lösungen erlauben problemlose Funkübertragung von Informationen für die notwendigen Entfernungen und mit ausreichender Geschwindigkeit [ARTEM], [DAFU].
- Übertragung durch das Stromkabel. Hier ist auf die modernen Entwicklungen zurückzugreifen, z.B. [RWE].

Der zweite und dritte Abschnitt (Leitwarte - Übertragungsmedium - Service-netz) hängt davon ab, welche Methode der Übertragung ausgewählt wurde. Die Auswahl wird meistens von der Situation vor Ort beeinflusst. Mit der Methode ist auch die Auswahl von Soft- und Hardware (Modems, Router, Netzkarten usw.) verbunden. Diese Abschnitte sind im Zusammenhang zu betrachten.

Ein Vergleich der zur Zeit verbreiteten Übertragungsmethoden ist in der Tabelle I-6 im Anhang I dargestellt. Im Bezug auf die reellen Bedingungen des realisierten Teleservice-Pilotprojektes wurden folgende Angaben für den Vergleich ausgewählt:

- Verbindungsaufbau findet einmal pro Woche statt,

- Übertragungsvolumen beträgt pro Session 20 MByte der Rohdaten,
- Berücksichtigung der Hard- und Softwarekomponenten,
- Berücksichtigung der Übertragungs- und Investitionskosten,
- Kalkulation für ein Jahr.

Die Möglichkeiten der Datenübertragung müssen im konkreten Einsatzfall hinsichtlich Vor- und Nachteile diskutiert werden.

Der vierte Abschnitt ist unternehmensspezifisch aufzubauen. Im Unternehmen muss zuerst die Struktur für den Datenempfang geschaffen werden. Es muss ein Systemingenieur-Arbeitsplatz eingerichtet werden, der mit dem Rechner und dem Anschluss zum Übertragungsmedium ausgerüstet ist. Auf dem Rechner sind folgende Komponenten zu installieren:

- Tools zur Erstellung und Konfiguration von Strukturen und Objekten der Anlage, für den Abruf der Anlagendaten und eine Reihe von Standardauswertungen wird normalerweise lediglich ein WEB-Browser benötigt,
- Visualisierungs- und Auswertungssoftware,
- Remote-Control-Software, die notwendigen Zugriffe zum Zweck der Änderungen der Grundeinstellungen und Strukturen sind vom Systemadministrator durchzuführen, der auf dem Rechner die Remote-Software im Fernsteuerungs-Modus startet und nach der Anmeldung mit dem festgelegten Login und Passwort die Verbindung aufbaut.

Die Ergebnisse der Überwachung und Diagnose können in einem für das Unternehmen üblichen Datenformat verbreitet werden (z.B. Microsoft®-Paket), das den Zugriff und die Nutzung der Informationen erleichtert.

Der Rechner am Systemingenieur-Arbeitsplatz im Servicenetz, der den Ausgang nach draußen in die Informationswelt hat, kann jedoch die potentielle Informationsverletzungsgefahr für das unternehmensinterne Netz bringen. Müssen diese getrennt sein oder können sie als ein einheitliches Netz gestaltet werden? Bei der Erarbeitung des Datenaustauschkonzeptes entsteht diese Frage in jedem Unternehmen. Weil der Zugriff auf interne Abläufe von draußen streng unerwünscht ist und die mögliche Zerstörung der Daten zu kostenintensiv sein kann, stellt diese Anforderung an die Organisationslösung bestimmte Grenzen, die unbedingt beachten werden müssen.

Als Lösung kann eine solche Variante betrachtet werden, in der bei dem Herunterladen der Daten die Rechner im Netz z.B. software- oder hardwaremäßig getrennt sind. Nach der Auswertung der Daten findet eine Verbindung zwischen den Rechnern im Netz wieder statt und die Ergebnisse stehen für die anderen Mitarbeiter zur Verfügung.

5.1.3 Teleservice-Leistungsarten

Für die Nutzung der Auswertungs- und Diagnoseergebnisse des entwickelnden Systems durch den Hersteller sind im Zusammenhang mit dem Angebot der Teleservice-Leistungen unterschiedliche Konzepte möglich:

1. Full Service

Der Hersteller erhält einen Servicevertrag über die Wartung und Instandhaltung der komplexen Anlage. Das Hersteller-Teleservice-System wird genutzt, um die Servicedienstleister vor Ort durch die Spezialisten aus dem Hersteller-Stammhaus oder auch von anderen Niederlassungen aus, zu unterstützen. Dem Anlagenbetreiber wird über eine Clientfunktion der Zugriff auf das Hersteller-Teleservice-System ermöglicht, um für eigene Untersuchungen und Betrachtungen entsprechende Informationen zusammenzutragen.

2. Teilservice

Der Anlagenbetreiber führt die Wartung und Instandhaltung in eigener Regie durch. Das Hersteller-Teleservice-System wird genutzt, um diese Aktivitäten zu unterstützen. Die Hersteller-Spezialisten stehen dem Betreiber als virtueller Experte mit konkreter Kenntnis zum Anlagenzustand zur Verfügung. Über eine Clientfunktion kann der Betreiber auf das Hersteller-Teleservice-System zugreifen und alle Aktivitäten begleiten.

3. Consulting

Auf Abruf durch den Betreiber und/oder Instandhaltungsdienstleister werden durch die Hersteller Entscheidungshilfen oder Schadensdiagnosen erarbeitet. Auf Basis der konkreten Kenntnisse zum Anlagenzustand können durch die Herstellerspezialisten Diagnosen durchgeführt werden, mit deren Hilfe die Entscheidungen hinsichtlich der Anlagennutzung, Anlagenoptimierung und Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen untermauert werden können. Nach dem Eintritt von Schäden kann eine Diagnose zur Schadensursachenermittlung durchgeführt werden, um zukünftige Schäden zu vermeiden. Die im Betriebsprozess entstehenden Daten (auch Anlagenhistoriedaten) können einem Unternehmens-Instandhaltungssystem zur Verfügung gestellt werden.

Teleservice-Leistungen sind heute Bestandteil des Dienstleistungsangebotes des Herstellerunternehmens und werden genauso als Produkte wie Anlagen und Software betrachtet. Den modernen Trends folgend werden produktbegleitende Dienstleistungen immer häufiger notwendige Voraussetzung für einen Verkaufserfolg [SERVICE]. So wie das Wartungskonzept genau das Quäntchen sein kann, das für einen Kunden bei der Wahl eines bestimmten Geräts den Ausschlag gibt. Kundenorientierte Dienstleistungen müssen deshalb entsprechend entwickelt und als Leistungspakete vermarktet werden. Z.B. kann das Auftreten einer Störung/Ausfalls der Maschine nach einer entsprechenden Analyse vorausgesagt werden. Entsprechend wird diesem Kunden rechtzeitig

eine Service-Bündel, bestehend aus Ersatzteilen und Montageangebot, zum festen Preis angeboten.

Dafür sind vom Hersteller eine systematische Entwicklung und einheitliche Beschreibung der Dienstleistungen mit der Berücksichtigung der unterschiedlichen Kundenanforderungen/Branchen notwendig. Diese Leistungs-Portfolio (**Bild 5-3**) muss enthalten:

- Detaillierte Beschreibung der Leistungsinhalte mit entsprechender Nutzenargumentation.
- Baukastenartiges Leistungsspektrum, das alle Anforderungen abdeckt. Man sollte den Kunden immer mehrere Wahlmöglichkeiten geben, weil es viele Lösungsanbieter gibt, die auch alles versuchen, um sich auf den Kunden zu fokussieren.
- Leistungspakete als Gesamtlösung, die ohne Stundensätze angeboten werden und den direkten Vergleich mit Wettbewerbern erschweren.
- Leistungsdefinitionen - Qualitätsaussagen, die unabhängig von der Leistungserbringung sind, z.B. Verfügbarkeitsgarantien, Sicherheitsgarantien.

Der Handlungsdruck für Unternehmen von „außen“ ist durch zunehmende Globalisierung und Verschmelzung von Branchengrenzen und Anwendung von neuen IuK-Technologien ausgeprägt. Von „innen“ wird der Handlungsdruck für die Unternehmen durch

- mangelndes Innovations- und Entwicklungsmanagement, notwendige Qualifikationen oft weder im Unternehmen noch am Markt verfügbar,
- Dienstleistungen werden zu oft „ad-hoc“ entwickelt, treffen so den Kundenwunsch nicht immer,
- hohe Komplexität, insbesondere beim unterstützenden Einsatz von IuK-Technologien mit dem Mangel an geeigneten Vorgehensweisen, Methoden und Werkzeugen

gekennzeichnet.

Das gesamte Komplex der Fragen des Service-Engineering, die mit dem erarbeiteten Berufsbild des Systemingenieurs hinsichtlich der systematischen Entwicklung der Dienstleistungen eng verbunden sind, wird in der Zusammenfassung der Arbeit mit den notwendigen Forschungsrichtungen dargestellt.

Die Ergebnisse der Anlagendiagnose und Instandhaltungsmaßnahmen können in verschiedenen Medien, z.B. im Internet dargestellt werden. Diese Möglichkeit ist nur mit begrenzten Inhalt zu planen, weil die unternehmensspezifischen und meistens sensiblen Ergebnisdaten, die z.B. Anlagenzustände/Kosten widerspiegeln oder die Vorteile/Nachteile der Technik zeigen, nicht zum Veröffentlichungszweck bestimmt sind. Aber dieses Verfahren der Unternehmenspräsenz muss berücksichtigt werden, wenn die Unternehmensprodukte und Leistungen durch den Vertrieb bei den Kunden weltweit dargestellt werden sollen. Eine

Referenz für Anlagen, die von jedem Ort der Welt mit dem Telefonanschluss erreichbar sind, bedeutet in jedem Fall einen Wettbewerbsvorteil.

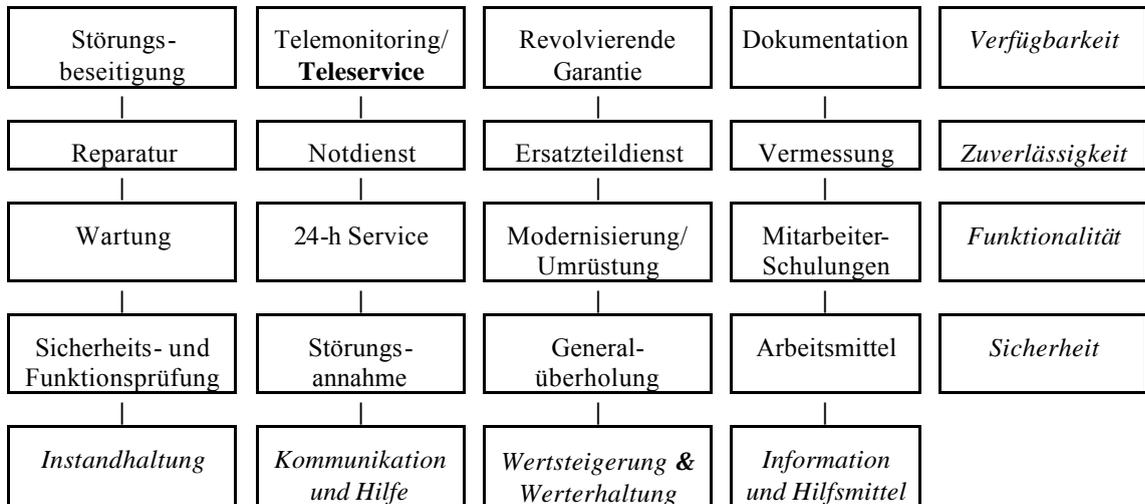


Bild 5-3: Leistungs-Portfolio (in Anlehnung an [FISCH01])

Für Präsentationen und verschiedene Werbemittel muss der Inhalt der Informationen auf Referenzanlagen, allgemeine Arbeitsschritte und erzielte Ergebnisse begrenzt werden.

5.2 Systemingenieur als neues Berufsfeld

Die erfolgreiche Einführung von Teleservice-Lösungen bedeutet mehr als lediglich die Installation der Hard- und Software. Die übergeordnete Zielsetzung der Überwachungstechnik besteht darin, die Unternehmensführung (und damit die Menschen) dabei zu unterstützen, den technischen Prozess im Hinblick auf Wirtschaftlichkeit, Sicherheit oder sonstige (nicht unbedingt technische) unternehmerische Zielsetzungen optimal zu führen. Für die erfolgreiche Nutzung des technischen Potentials ist ein zuständiges, speziell orientiertes und ausgebildetes Personal notwendig. Deshalb ist es zweckmäßig, im Rahmen der Einführung von neuen Service-Konzepten im Bereich Kundendienst ein neues Berufsfeld einzurichten. Der *Systemingenieur* (*Diagnostiker* [STF90]) ist der Fachmann, der sowohl technische als auch organisatorische Aufgabenstellungen zu erfüllen hat.

Unter dem Begriff Systemingenieur (SI) können zur Zeit zwei unterschiedliche Berufsbilder verstanden werden, die sich wegen des Einsatzortes und der Aufgabestellungen unterscheiden:

- Systemingenieur in einem Unternehmen, das als Hersteller der Technik gilt,
- Systemingenieur im Unternehmen, das als Betreiber der Technik betrachtet werden kann.

Der Unterschied besteht in den entsprechenden Arbeitsrichtungen. Der Systemingenieur beim Betreiber beschäftigt sich meistens mit den aktuellen Problemstellungen des Produktionsprozesses und leistet eine permanente Unterstützung der Mitarbeiter bei der Recherche der Störungsursachen des laufenden Betriebes.

Der Systemingenieur im Herstellerunternehmen gilt als Fachmann sowohl für die hergestellte Technik als auch als der Ansprechpartner für die Kunden hinsichtlich der Unterstützung der Produktionsführung anhand des umfangreichen Bildes der Anlagenzustände durch die ständig aktualisierten Überwachungs- und Diagnose-daten. Der Systemingenieur muss eine ganzheitliche Systemkenntnis (Ort, Mechanik und Elektrotechnik) haben, alle operativen Handlungen (u.a. Störungen) werden über ihn fachlich verwaltet und bewertet.

Zu den Arbeitsfeldern des Systemingenieurs im Herstellerunternehmen gehören zusammenfassend:

- Regelmäßige Remote-Inspektion der Anlagen (*Fitness-Check*),
- Auswertung der gemessenen Zustandsparameter mit weiteren Schlussfolgerungen auf den Zustand der Baugruppe und Bauteile,
- Bereitstellung der Information für die anderen Unternehmensabteilungen,
- Unterstützung des Betreibers bei der zustandsorientierten Instandhaltung, Empfehlungen zur Anlagennutzung,
- Verantwortlichkeit bei der Bestellung der Ersatz- und Verschleißteile nach der Abschätzung der Lebensdauer und/ oder Restlebensdauer der Anlagen-Bauteile,
- als Ergebnisse der Auswertung des Anlagenzustandes sind Konstruktions- und Schadensanalysen zu nennen, die durch den Systemingenieur durchgeführt werden.

Eine zuverlässige Beurteilung des Maschinenzustandes anhand von Messsignalen hängt in starkem Maße von der Intuition und Erfahrung des bearbeitenden Ingenieurs ab. In einer ganzen Reihe von Studien konnte in den vergangenen Jahren auf die Bedeutung sogenannten Erfahrungswissens auch und gerade in hochautomatisierten und hochtechnisierten Arbeitsumfeldern hingewiesen werden. Besonders für komplexe technische Systeme erfordert eine schnelle und effektive Fehlerdiagnostik und Ursachenbehebung nicht nur reines technisches und theoretisches Fachwissen, sondern eine Verbindung dieses Wissens mit Erfahrungswissen und erfahrungsgelitetem Arbeitshandeln. In diversen Studien wird die Bedeutung dieser Wissensbestände nachgewiesen. Darüber hinaus zeigt sich entgegen früherer Annahmen ein Bedeutungszuwachs von Erfahrungswissen und erfahrungsgelitetem Arbeitshandeln mit Zunahme der Komplexität und des Mediatisierungsgrades von technischen Systemen [PFEI99].

Ebenso ist die Festlegung von Grenzwerten bei der automatischen Maschinenzustandsüberwachung von der subjektiven Beurteilung des Anlagen-Betreibers

abhängig. Diese Vorgehensweise kann durch Informationen über typische Schadensverläufe an ähnlichen Bauteilen und Anlagen sinnvoll unterstützt werden. Zur Konzentration dieser Informationen ist z.B. ein Datenbanksystem erforderlich, das eine bauteilbezogene Fallstudiensammlung charakteristischer Messwertverläufe von Schadensereignissen umfasst.

Die Bedeutung einer Vor-Ort-Erfahrung spielt für die Service-Organisation eine große Rolle. Die beiden nachfolgenden Zitate illustrieren dies beispielhaft [PFEI99]: *"Das kann eine Maschine sein, die ein Jahr alt ist, das kann aber genau so gut eine Maschine sein, die fünfzehn Jahre alt ist. Das kann der Innendienst-Techniker ja nur dann machen, wenn er die Maschine auch wirklich kennt. D.h. er muss von Zeit zu Zeit eben auch rausfahren und Maschinen kennen lernen. Durch Inbetriebnahmen oder eben auch Reparaturen."* Oder auch: *"Und das Umfeld beim Kunden zu kennen, das ist auch sehr wichtig. Sehr hilfreich. Also bei kritischen Kunden. Man muss das schon wissen: Wer sind die Personen, mit wem habe ich es zu tun, wo steht die Maschine, in welchem Umfeld steht die Maschine. Was kann ich erwarten. Wie sieht die Maschine aus, das will ich auch von unseren Außendienstlern wissen: ist die verdreht, in welcher Ecke steht sie, ist da kalt, heiß, steht da eine Presse daneben. Das sind ganz wichtige Kriterien und das ändert sich durch Teleservice nicht."*

Oben genannte Vor-Ort-Erfahrung spielt auch bei der Qualifizierung von Service- und Teleservice-Spezialisten eine besondere Rolle, um die vollständige Kompetenz zu den Kunden zu bringen. Aber die Möglichkeit, diese Lern-erfahrung durch z.B. multimediale Lernformen zu ersetzen, wird abgelehnt, wenn auch deren unterstützende Potentiale gesehen werden: *"Das Risiko, sicher, die Gefahr, dass da (gemeint ist: bei Teleservice) Lernchancen wegfallen, die besteht. Das sehe ich schon so. Weil das wird sehr theoretisch auf einmal und sehr anonym. (...) Oder sagen wir es mal andersrum formuliert: Ich könnte mir eigentlich auch nur vorstellen, dass jemand, der die Praxis hat und das vor Ort mal gemacht hat und sich wirklich mit den Händen mal um die Dinge bemüht hat, auch nur den guten Teleservice machen kann. Weil, nur von der anderen Seite kommend kann er sich zwar eine gewisse Erfahrung im Rahmen dieses Teleservices dann erwerben. Aber er wird es sehr viel schwerer haben und die Qualität der Leistung wird schlechter werden oder ist schlechter"* [PFEI99].

In [NiFu00] wurde ein Beispiel der Arbeitsweise eines Systemingenieurs des Betreibers im Rahmen von "Asset-Management-System" zur technischen Betriebsbetreuung der Prozessleittechnik/Anlagentechnik gezeigt und als "futuristisch" bezeichnet: *"Der Systemingenieur setzt sich an einen Diagnostiker-Arbeitsplatz und überzeugt sich zunächst im technischen Schichtbuch, dass kein akuter Handlungsbedarf besteht. Er öffnet ein Übersichtsbild seiner Anlage, in dem der Zustand der Anlagenkomponenten dargestellt ist. Er sieht, welche Komponenten auf einen kritischen Zustand zusteuern, verschafft sich ergänzende Informationen aus der Anlagendokumentation und entwickelt eine Entscheidung, wann welche Maßnahme durchzuführen ist, um Beeinträchtigungen der*

Produktion zu vermeiden. Wenn er sich zum Auswechseln eines Gerätes entschließt, sorgt er für die Bereitstellung des Ersatzgerätes und die Eingriffszeit. Er erzeugt einen Auftrag, stellt die erforderlichen Unterlagen zusammen und veranlasst die Ausführung". Die beschriebenen Arbeitsgänge existieren bereits im eingeschränkten Umfang bei einigen Unternehmen ([PBN99]) und sind eigentlich das Ziel der Teleservice-Strategie mit dem Schwerpunkt einer zustandsorientierten Instandhaltung. Der Arbeitsplatz des Systemingenieurs stellt auf dieser Weise eine Schnittstelle der Mensch-Maschine-Kommunikation dar und muss durch die moderne Entwicklung von Rechen- und Kommunikationstechnik unterstützt werden.

5.2.1 Datenbankgestützte Arbeitsweise

5.2.1.1 Datenbank-Prinzip

Die technische Basis des Service-Systems, mit dem der Systemingenieur arbeitet, ist eine leistungsfähige Teleservice-Datenbank. Grundgerüst der Datenbank ist die Anlagenstruktur, die abhängig von der Komplexität der Maschine und Ziele des Überwachungsprozesses aufgebaut wird (**Bild 5-4**). Gleichzeitig muss dabei berücksichtigt werden: Welche Informationen können und sollen sinnvollerweise formalisiert werden? Welche Strukturen erfordert diese Kommunikation? Die Zugriffsmöglichkeiten auf die gespeicherte Information wurden im Abschnitt 2.1.1.4 diskutiert.

Die zu entwickelnde Datenbank soll den gesamten Lebensdauerzyklus der förder-technischen Maschine bzw. Anlage abbilden, um aus der vorhandenen Information entsprechende Rückschlüsse für zukünftige Anlagen zur Verfügung zu stellen. Damit wird das Ziel verfolgt, umfangreiche aber notwendige Information über die Anlage mit der Aufzeichnung im System zu sammeln. Fachwissen, kategorisierbare Fehlerursachen, weitreichende Dokumentationen: alle diese Dinge müssen einem Zugriff durchaus zugänglich gemacht werden [SIMO99]. Von der zu schaffenden Struktur des Teleservice-Systems muss deshalb die Möglichkeit bestehen, die Übersicht zu verzweigen, um einen gesamten und einheitlichen Überblick zu bekommen:

- a) zu den einzelnen Anlagenkomponenten, um mehr Informationen zugänglich zu haben.

In diesem Datenbankteil werden technische Informationen über die Baugruppen- und Bauteilehistorie während des Betriebes gesammelt (dynamische Daten: Anlagenteileparameter, Belastungen, Einsatzbedingungen, geplante Betriebsdauer, usw.).

Es ist zweckmäßig, diesen Bereich der Datenbank mit dem Auswertungs- und Diagnosesystem zu verknüpfen, um eine Erweiterung auf die Lebensdauer- und Restlebensdauerbetrachtung zu realisieren. Durch die Eingabe der geplanten Lebensdauer, Bildung und Darstellung der Differenz nach dem Import der

Messwerte aus dem Diagnosesystem und weitere Speicherung der erreichten Betriebszeit im *Bauteilkatalog* wird die Anlagenhistorie gebildet.

In einem *Lebensdauer katalog* der Datenbank können unterschiedliche Kriterien, u.a. erreichte Standzeiten und damit verbundene Bedingungen, geeigneten Messverfahren und Überwachungsmethoden für die ganze Vielfalt von Bauteilen festgehalten werden, die durch Informationen über typische Schadensverläufe mit charakteristischen Messwerten von Schadensereignissen an Bauteilen und Anlagen gesammelt wurden.

b) zu der Anlagendokumentation, um Entscheidungen vorzubereiten.

Durch die Zuordnung der Dokumentationen und Informationen zu den Anlagenstrukturen erhält man mit Auswahl einer konkreten Anlage/Baugruppe für diese entsprechende Dokumente. Die instandhaltungsrelevanten Dokumentationen sind insbesondere vom Hersteller gelieferte:

- Technische Beschreibungen,
- Vorschriften für Transport, Konservierung und Lagerung,
- Vorschriften für die Aufstellung und Inbetriebnahme,
- Vorgabe für Inspektion, Schmierung, Reinigung, Pflege, Wartung, Instandsetzung, entsprechende Automatismen: Abläufe, die dem IH-Personal die Arbeit erleichtern sollen (zyklisches Erstellen von Nachweisen, Wartungs- und IH-Aufträgen),

und betriebsspezifische Dokumentationen:

- anlagenbezogene und bauteilbezogene Arbeitspläne und Arbeitsanweisungen zur Arbeitsvorbereitung, Durchführung und Controlling von Instandhaltungsmaßnahmen,
- Zeichnungen und Bilder zur Hilfestellung oder Anleitung des Instandhaltungspersonals,
- Lebenslaufakten, Protokolle zur Dokumentation anlagenspezifischer Informationen.

Die in der Datenbank zu speichernden Informationen haben fast immer unterschiedliche Formate (verschiedene Text-Dokumente, CAD-Zeichnungen, Hypertextdokumente, Formulare, usw.). Deshalb ist es zweckmäßig, entsprechende Datenbankeingaben mit den Verknüpfungen zu versehen, die nach dem Aktivieren andere Applikationen starten und zu den gesuchten Inhalten führen. Die Verknüpfung erfüllt eine der wichtigsten Anforderungen des vernetzten Unternehmens: jedem Benutzer orts- und zeitunabhängig Zugang zu Anwendungen und Daten zu gewähren.

Eine andere Möglichkeit ist die Einbindung der Inhalte in ein unabhängiges Betrachtungssystem (z.B. Internet-Browser), in dem die gewünschte Information ohne besondere Anforderungen an Software dargestellt werden kann.

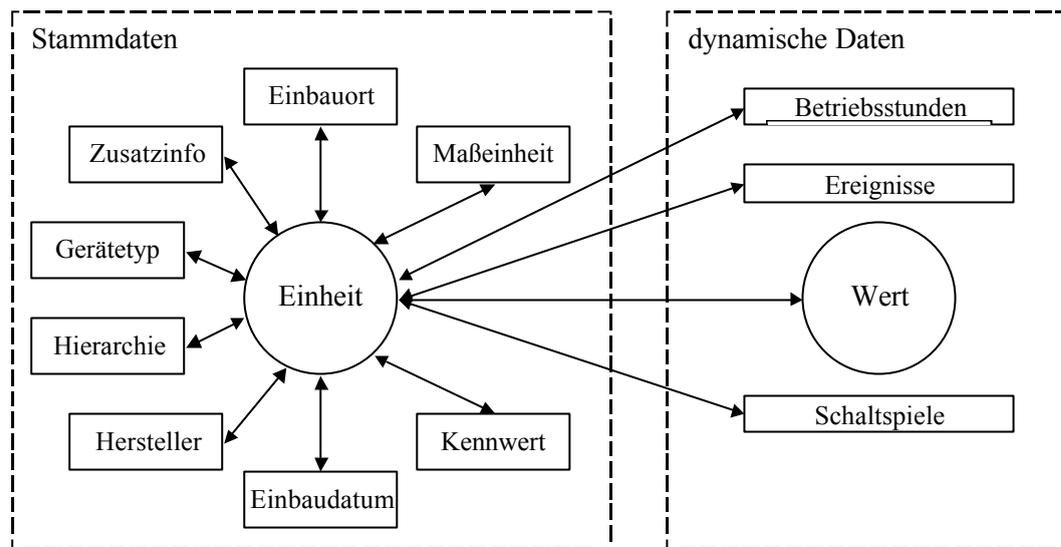


Bild 5-4: Struktur des Datenbanksystems

- c) zu den betriebswirtschaftlichen Systemen, um durch die Analyse der Datenbankinformationen folgende Maßnahmen durchzuführen:
- Schadensbild-/Ursachenanalyse und Störauswertungen,
 - Erkennung von Schwachstellen mit Vorschlägen zu den entsprechenden Reaktionsmaßnahmen,
 - Analyse des Instandhaltungsbudgets nach Leistungsarten und Kostenstellen (inhaltliche Nachvollziehung und Transparenz der Kosten mit dem Ziel der Reduktion der Instandhaltungskosten),
 - detaillierte Instandhaltungsplanung (Wartungs- und Inspektionsmaßnahmen) mit der Erfassung und Dokumentation der Instandhaltungsaktivitäten.

Der *Bauteilschadenskatalog* der Unternehmens-Produktionspalette in diesem Datenbankteil ist ein wichtiges Mittel, um die Kenntnisse über die Qualität der gefertigten Anlagen zu erhöhen und notwendige Rückschlüsse auf die gefertigten Maschinen zu ziehen.

Der *Ersatzteilekatalog* enthält die Information über Materialien, die für die Instandhaltung einer Anlage benötigt werden oder die als Einzelteile zur Erstellung einer Anlage beschafft werden. Ersatzteile können zum direkten Einbau in neue oder bereits bestehende Anlagen (Bestellung auf Auftrag oder Investitionsprojekt) oder zur Einlagerung beschafft werden. Diese Informationen sind zu verfolgen.

Der *Reserveteilekatalog* ist mit den Informationen über die speziellen Reserveteile verbunden, die zum Einbau in einer Anlage benötigt werden. Reserveteile sind aufgrund ihrer Spezifikationen nicht für den allgemeinen

Gebrauch geeignet, und werden aufgrund ihres geringen Umsatzes oft nicht in die zentrale Lagerhaltung aufgenommen, sie werden dezentral gelagert und disponiert. Diese Information ist auch aufzuzeichnen.

Die dargestellten Aufgaben können zur Zeit mit Hilfe der sogenannten Instandhaltungssoftware realisiert werden. Am Software-Markt sind einige Produkte zur Verwaltung von Instandhaltungsdaten und -informationen schon vorhanden. Die Software-Produkte dienen zur Erfassung, Steuerung und Budgetierung von Instandhaltungsaktivitäten, verfügen über die verschiedenen Klassifizierungssysteme zur Auswertung und Analyse der erfassten Instandhaltungsaufträge, um Leistungen und Instandhaltungsobjekte effektiv zu verwalten. Damit kann die Grundlage für die Einführung von maßgeschneiderten Instandhaltungsstrategien mit dem Ziel der Optimierung des modernen innerbetrieblichen Instandhaltungsprozesses gelegt werden. Eine Übersicht von Programmprodukten gibt die Tabelle I-4 im Anhang I.

Für die gesamte Informationsstruktur ist es notwendig, bei der Entwicklung auch darüber nachzudenken, ob es im Unternehmen zweckmäßig ist, die Teleservice-Datenbank und passende Instandhaltungssoftware in ein spezifisches Unternehmens-Daten-Verarbeitungssystem, z.B. SAP R/3 [SAP] einzubinden.

5.2.1.2 Pilotprojekt-Datenbank zur langfristigen Speicherung der Betriebsparameter

Der prinzipielle Systemaufbau für die Datenerfassung im Pilotprojekt wurde so gestaltet, dass der lokale Datensammler einen Ringspeicher besitzt, in dem die Daten nur drei Monate behalten werden, danach werden sie mit den aktuellen überschrieben. Ohne einer externen Speicherung gehen die aktuellen Daten für die Zukunft verloren.

Deshalb besteht die Notwendigkeit, wichtige relevante Daten an den Anlagen ständig in der Datenbank zu erfassen, um die Anlagenhistorie verfolgen zu können. Auf weitere Datensätze der letzten drei Monate muss notwendigerweise z.B. im Störfall ein gezielter Zugriff unternommen werden.

Für die spezifische Teleservice-Lösung an den Förderanlagen der Bekohlungsanlagen im Kraftwerkseinsatz wurde während der Arbeit eine spezifische Datenbank entwickelt. Eine regelmäßige Erfassung der Daten in der Datenbank findet seit 01.10.2000 statt.

Die Datenbank enthält folgende Bestandteile:

- wesentliche technische Parameter (als Word-Datei hinterlegt),
- Wochenberichte für den Portalkratzer,
- Wochenberichte für den Absetzer.

In die entsprechenden Masken der Wochenberichte werden laufende Werte eingetragen:

- Fahrwege der Anlagen während der gesamten Woche,
- Stromaufnahme der wichtigsten Baugruppen (Kettenantrieb am Kratzer, Gurtfördererantrieb des Absetzers) sowohl mit den maximalen als auch den Werten im An- und Leerlauf (Referenzmessung: Auslegerstellung),
- Einschaltdauer der Hauptbaugruppen,
- Baugruppen- und anlagenspezifische Störungen.

In einem besonderen Fenster werden die Summenwerte seit dem Beginn der Beobachtung dargestellt. Die Datenbankoberflächen sind im Anhang III (Bild III-2 ... III-4) zu finden. Anhand der gespeicherten Datensätze konnten reelle Betriebsparameter und Informationen der Anlagen im Betrieb für andere Unternehmensabteilungen zur Verfügung gestellt werden, um Rückschlüsse auf die Produktentwicklung zu ermöglichen.

5.2.2 Rückschlüsse auf die Produktentwicklung

Der Rückfluss von Erfahrungen und Erkenntnissen als gesammeltes Expertenwissen anhand der langfristig gespeicherten und abgearbeiteten Informationen führt zu Auswirkungen auf folgenden Gebieten:

- Projektierung
 - Anlagenauslegung, Einbeziehung von reellen Betriebsparametern und Einsatzbedingungen der ausgeführten Projekte in die zukünftigen Auslegungen durch die Nutzung von Betriebskennzahlen und eingesetzter Parameter für vergleichbare Projekte,
 - Vermeidung von Unter- bzw. Überdimensionierung der projektierten Anlagen durch die Nutzung der gespeicherten Daten der ausgeführten Projekte.

Für die Projektanten sind für die Angebotsprojektierung folgende Informationen zur Verfügung zu stellen:

- Einschaltdauer der Antriebe (Hub-, Schwenk- und Drehwerke beim Absetzer und Hub- und Fahrwerke beim Kratzer),
- Stromaufnahme der Antriebe,
- detaillierte Einsatzbedingungen und Materialkennwerte.

Durch Pflege und ständige Füllung der Datenbanken können diese Aufgaben problemlos realisiert werden:

- Technik
 - Analyse der Anlagenbedienung (Fehlerfreiheit, Hand- bzw. Automatikfahrweise, Bediensicherheit usw.),
 - Anlagenmodifikation/Anlagenoptimierung,

- Service
 - Analyse des Inbetriebnahmeprozesses,
 - Betriebsführung (Verfügbarkeit, Kosten, Qualität),
 - Verfolgung der Anlagenhistorie,
 - Instandhaltung-/Wartungsmaßnahmen.

Eine Hauptschwierigkeit der heutigen Projektierung von Fördermaschinen liegt darin, dass in der Projektierungsphase eine Beanspruchungszukunft angenommen wird, die von der späteren, von vielen zufälligen Faktoren beeinflussten Lebenswirklichkeit der Maschine fast immer erheblich abweicht. Die Diskrepanz zwischen den anfangs angenommenen und den später über viele Betriebsjahre realisierten Beanspruchungskollektiven von Fördermaschinen hat bedeutende technische und wirtschaftliche Auswirkungen auf den Bau und Betrieb dieser Maschinen. Die technischen Auswirkungen liegen in unsicheren Aussagen über Verfügbarkeit und Ausfallwahrscheinlichkeit, die wirtschaftlichen Auswirkungen sind hohe Folgekosten durch über- oder unterdimensionierte Maschinen und hohe Instandhaltungskosten während der Gewährleistungsphase.

Deshalb ist besonders interessant für den Hersteller der Informationsrückfluss, der Auskunft über das Betriebsverhalten und über Schwachstellen der ausgelieferten Maschinen gibt. Dazu ist sehr hilfreich die Auswertung der aus den Datenbanken abgelesenen Informationen. Z.B. die *Top 5* Analyse der Bauteile oder Baugruppen, die am meisten ausfallen oder die Analyse des Instandhaltungsbudgets helfen, die richtige Entscheidung zu treffen. Ist die Störungsursache und ihre Klassifikation durch die Diagnose bekannt, können entsprechende Rückschlüsse auf die Konstruktion gewonnen werden.

Eine Möglichkeit des Rückschlusses ist die systematische Schwachstellenbekämpfung, die sämtliche zweckmäßigen, zielorientierten Maßnahmen und Aktivitäten enthält, die

- der Ermittlung und Verifizierung technischer, schadensbedingter Schwachstellen und der Erkundung ihrer Ursache,
- und - soweit technisch möglich sowie wirtschaftlich vertretbar - der Beseitigung der Schwachstellen

dienen. In zahlreichen Literaturquellen wird vorgeschlagen (z.B. [MEXIS90]), zunächst alle Möglichkeiten:

- einer konstruktiven Änderung,
 - einer Änderung der Betriebsweise oder der Instandhaltungstechnologie
- mit den Zielen, das schwachstellenbestimmte Schadensgeschehen
- zu verhüten oder zu vermindern,

- Schadenseintritte schneller zu erkennen und mit geringerem Aufwand effektiver instand zu halten,

zu untersuchen, gegenseitig zu bewerten und die günstigste Lösung oder Lösungskombination auszuwählen.

Kurze Entwicklungszyklen bei zunehmend komplexeren technischen Systemen machen eine auf die langfristig gespeicherten Daten gestützte Simulation im Bereich der Projektierung und Konstruktion zu einem unverzichtbaren Werkzeug. In Verbindung mit Überlegungen über geeignete Systemgrenzen und zulässige Systemvereinfachung kann Systemverhalten unter Betriebsbedingungen, d.h. das Betriebsverhalten, durch Simulation bereits in der Entwurfsphase einer Anlage abgeschätzt und alternative Konstruktionen können in Hinblick auf beanspruchungs- oder regelungsgünstigstes Verhalten beurteilt werden [FISCH81]. So lassen sich Entwicklungszeiten reduzieren und schneller qualitativ hochwertige Ergebnisse erreichen.

Im Bereich Instandhaltung/Service kann die Simulation ebenfalls sehr erfolgreich angewendet werden. Animierte Betriebsanleitungen, Simulatoren und Anwendung des dreidimensionalen Raums sind die modernen Tendenzen bei der Einführung der Simulation für Servicezwecke.

Eine Auswertung des Anlagen- bzw. Bauteilzustandes wird zur Zeit durch zahlreiche Simulationswerkzeuge und -Methoden unterstützt. Die Finite-Elemente-Methode (FEM) ist das am häufigsten eingesetzte numerische Verfahren zur Berechnung komplexer Konstruktionen im Maschinenbau, im Apparatebau, in der Fahrzeugtechnik sowie in der Luft- und Raumfahrt. Der Einsatz der Finite-Elemente-Methode erfolgt nicht nur für Standardprobleme der Festigkeitsberechnung und der Schwingungsanalyse sondern auch für Spezialaufgaben wie z.B. der Bruch- und Kontaktmechanik sowie bei plastischen Verformungen. Für die rationelle Bearbeitung der Problemstellungen werden häufig kommerzielle Softwarepakete verwendet, wie z.B. SABER [SABER] in der Simulation sowie I-DEAS und ProE [PTC] zur Erstellung von 3D-CAD-Modellen.

Auf dieser Weise stellt die Organisation des Informationsrückflusses, rechtzeitige Beschaffung der Information und die Informationsbereitstellung für andere Abteilungen des Herstellerunternehmens eine der wichtigsten organisatorischen Aufgaben des Systemingenieurs dar.

Der gesamte Prozess der technischen Analyse und der Informationsbereitstellung kann durch die Einbeziehung von allen Anlageninformationen und Ereignissen sowie einen organisierten Informationsaustausch während der Betriebszeit erleichtert werden. Aber die typischen Verhältnisse im Unternehmens-Informationsaustausch sind auch zu berücksichtigen. Dazu sind Worte eines Service-Verantwortlichen [PFEI99]: *"Die Information läuft im Moment einfach noch auf persönlicher Schiene. Wenn ein Motor einmal kaputt geht, gut, dann ist das halt passiert. Wenn der gleiche Motor ein zweites oder drittes Mal*

kaputt geht, dann klingeln bei uns die Alarmglocken: Mensch, da stimmt was nicht. Und dann findet da einfach diese Rückkoppelung statt, dass man dann spricht mit der Entwicklung, mit der Konstruktion. Da läuft schon viel auch auf persönlicher Ebene, was ich aber auch nicht schlecht finde. Ich wollte nicht mit Kollegen nur noch online kommunizieren".

Um die Problematik der internen und externen Kommunikation zu erläutern und die Machbarkeit zu zeigen, ist im weiteren das Berufsfeld des Systemingenieurs in der Rolle des Kommunikationspartners zu analysieren.

5.2.3 Systemingenieur als Partner für den Kunden/ Betreiber

Ein anderes Arbeitsfeld des Systemingenieurs ist die Teilnahme in der Zusammenarbeit mit Kunden und Betreiber der hergestellten Anlagen. Der Systemingenieur ist der Ansprechpartner für die Klärung der sowohl technischen als auch organisatorischen Problemstellungen, er ist eine "Schnittstelle" des Unternehmens zum Kunden und muss entsprechend des Standes der Technik hinsichtlich der Kommunikationsmöglichkeiten unterstützt werden.

Synergien zwischen dem Errichter und dem Betreiber können nur im Rahmen einer Zusammenarbeit wachsen. Die Vorteile dieser Zusammenarbeit sind:

- Errichter und Betreiber kennen Anlagenzustand,
- Betreiber bedient sich der Kompetenz des Errichters,
- Konzentration der technischen Vorbereitung, Materials (Verschleiß- und Ersatzteile) und Equipment,
- Direkter Zusammenhang des Serviceaufwandes mit der Leistung des Betreibers aus dem Kerngeschäft mit Senkung der spezifischen Kosten.

Grundsätzliche Maßnahmen zur Unterstützung des Betreibers sind sogenannte *Remote Inspection* ohne Unterbrechung des Produktionsablaufes und *Remote Control*.

Remote Inspection

- Unterstützung der Strategie zur zustandsorientierten Instandhaltung durch Überwachung und Diagnose. Fehlerfrüherkennung und Ermittlung von Fehlerursachen dienen dazu, Schädigungen zu erkennen und Betreiber zu informieren, um Folgeschäden zu vermeiden.
- Durch die geeignete Aufarbeitung der gesammelten Prozessdaten in Verknüpfung mit dem Herstellerwissen können Informationen zum Zustand ausgewählter Anlagenbauteile gewonnen und Entscheidungshilfen für die Planung von Instandhaltungsmaßnahmen beim Betreiber generiert werden (Erstellen von Zustandsberichten mit Instandsetzungsempfehlungen).
- Das Hersteller-Teleservice-System kann automatisch Fehler- und Alarmmeldungen erzeugen, um auf sich ankündigende Anlagenschäden hin-

zuweisen. Durch die Herstellerspezialisten werden dann Problemlösungen erarbeitet und falls nötig Serviceeinsätze vorbereitet.

- Nach Schadensfällen kann durch Diagnosen und Bewertungen durch die Herstellerspezialisten zur Ursachenbestimmung beigetragen werden, um eine Wiederholung des Schadens zu vermeiden.
- Bei der Änderung von Einsatzbedingungen wird auf Basis der gesammelten Daten eine Empfehlung für eine neue optimale Fahrweise der Anlage erstellt.

Remote Control / Remote Repair

- Innerhalb kürzester Zeit kann ein Herstellerspezialist mit Kenntnis des aktuellen Anlagenzustandes zur Unterstützung von Entscheidungen herangezogen werden.
- Durch den direkten Zugriff auf die Steuerung können Programmänderungen und Updates problemlos von Herstellerspezialisten eingespielt werden.

Verschiedene Arten von Kennwerten können einen schnellen und zuverlässigen Überblick über den Betrieb der Anlage geben. Je nach Auswahl der Kennwerte lassen sich viele wichtige Informationen über eine Anlage sammeln, ohne dass große Datenmengen übermittelt werden müssen. Werden diese Kenngrößen in einer geeigneten Datenhaltung für einen bestimmten Zeitraum vorgehalten, so reicht ein wöchentlicher Transfer der Daten ins Büro, um einen übersichtlich und ausreichend detaillierten Bericht zu erstellen.

Soweit es nicht um Routine-Messungen handelt, sollte eine analoge Echtzeitdarstellung der gemessenen Zeitfunktion auf einem Bildschirm (als *quick-look*) genutzt werden, um die ordnungsgemäße Signalaufnahme sicherzustellen und besondere Ereignisse im Messsignal erkennen zu können. Viele Messgeräte ermöglichen das zwar, jedoch muss man beachten, dass meist nicht das analoge Eingangssignal, sondern das bereits digitalisierte (und damit z.B. aufgrund einer zu geringen Abtastrate) veränderte Signal dargestellt ist.

Neben den Kennwerten ist eine ereignisorientierte Meldung von Störungen oder Alarmüberschreitungen sinnvoll. Die Alarmwerte müssen an jede Anlage individuell angepasst werden. Dies entspricht dem Wunsch vieler Betreiber und Hersteller von Anlagen nach einem Berichtswesen, das ohne viel Aufwand klar und deutlich Auskunft über den Zustand einer Anlage nach dem Ampelprinzip gibt: "*Rot = Hauptalarm*", "*Gelb = Voralarm*", "*Grün = OK*".

Alle Interaktionen (oder Wissenstransfer) zwischen dem Betreuten und dem Betreuer (SI) lassen sich zur Zeit als kooperatives Arbeiten nennen. Kooperatives Arbeiten fasst die Mechanismen zur Unterstützung einer örtlich verteilten Zusammenarbeit zusammen. Mitte der achtziger Jahre wurde dazu der Begriff *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)* [TEKO] geprägt und kann heute als allgemein anerkannt gelten.

Um z.B. Fehlerursachen zu finden, muss oft ein Dialog mit den Bedienern geführt werden, vor allem um Bedienfehler als Ursache zu diagnostizieren oder sicher ausschließen zu können. Dazu können in einem Teleservice-Konzept folgende Techniken Einsatz finden, um eine umfangreiche Unterstützung des Betreibers von der Seite des Herstellerunternehmens zu gewährleisten:

- als *Chatboxen* werden herkömmliche textbasierte Diskussionskanäle bezeichnet, deren Aktualisierung über einen zeichenorientierten Datenstrom erfolgt,
- *Whiteboards* können zur gemeinsamen Bearbeitung einer Datei, eines Dokuments oder Fensterinhaltes benutzt werden. So können bestimmte Bereiche eines Bildes oder Textes hervorgehoben oder markiert werden, um einen bestimmten Punkt zu deuten [MENE97],
- beim *application-sharing* arbeiten beide Partner gemeinsam an einem Datensatz, während jeder die Aktivitäten des anderen beobachten kann und die Möglichkeit hat, Schreibrechte anzufordern, um selbst aktiv zu werden,
- *Fernsteuerung* mit Hilfe der Rechnerübernahme ist ideal zum Zweck der Fernbetreuung. In diesem Fall benutzt der Anwender die Kompetenz vom Dienstleistungsanbieter,
- *e-mail-Dienste* sind eine weitverbreitete Methode, verschiedenste Informationen schnell auszutauschen,
- *Telekonferenzen*, Multimedia-Konferenzen ([UNI-M], [MS-NETM]) müssen ihren Ereignischarakter verlieren, um im Tagesgeschäft wirkungsvoll eingesetzt zu werden [BRA98].

Seit Anfang 1995 setzt sich wegen der geringen Kosten eine neue Möglichkeit des Fernservices per Telefon - Echtzeit-Telephonie über das Internet (*Voice over IP*, *VoIP*) durch. Grundsätzlich gibt es drei Arten der Internet-Telephonie:

- mit Mikrofon, Soundkarte und Telephonie-Software ausgestattete PCs, die direkt über das Internet miteinander kommunizieren,
- Verbindung vom mit dem Internet verbundenen PC zu dem über das öffentliche Telefonnetz verbundenen herkömmlichen Telefon,
- Verbindung zwischen zwei herkömmlichen Telefonen, die über ein öffentliches Telefon mit Internet verbunden sind.

Im Fall einer Teleservice-Anwendung muss die Internet-Telephonie als bequeme und preiswerte Möglichkeit der Fernhilfe bei der Inbetriebnahme und Störfallbeseitigung betrachtet werden.

Ausgehend vom Konzept des Teleservice, Hersteller und Betreiber der Technik in verschiedenen Ländern zu verbinden, erscheint als wichtiges Teleservice-Aufgabenfeld auch die Kommunikation zwischen unterschiedlichen Sprachräumen, Ländern und Kulturen. Es können Schwierigkeiten bei der internationalen Verständigung über ein technisches Problem entstehen: "*Wie kann der*

Maschinenbediener in China mit seinem Schulenglisch einem Techniker in Deutschland, der ebenfalls Schulenglisch spricht, eine exakte Schadensbeschreibung mitteilen?" [COM98].

Um derartige Verständigungsprobleme zu überwinden, setzt man auf die Darstellung und Symptombeschreibung in Form von Schadensbildern [WEW98]. Im Vergleich zu Fehlerbeschreibungen per Telefon und Fax vermittelt die bildgestützte Diagnose ein sehr viel umfassenderes Bild der Situation vor Ort und hilft durch genauere Informationen die richtigen Entscheidungen für das weitere Vorgehen zu treffen. Auch in diesem Kontext gilt das Motto: *"Ein Bild sagt nun einmal mehr als 1000 Worte"*.

Neben den Darstellungen von verschiedenen Betriebsparametern und Dokumenten in Form von Texten, Grafiken und Tabellen erhält zunehmend die Verwendung der Bewegtbilder bei der Videodiagnose (kurze Videosequenzen oder ununterbrochene Videoreihe bei permanenter Videoüberwachung) Bedeutung.

Der *Mensch-Faktor* ist neben den Techniken auch zu berücksichtigen. Das ist bei Serviceleistungen z.B. über Telefon von besonderer Bedeutung: Der Systemingenieur muss in der Lage sein, *"einen Kunden am Telefon anhand ihrer eigenen konkreten Vorstellung der Maschine und der jeweiligen Gegebenheiten sozusagen "an die Hand" zu nehmen und an die neuralgischen Punkte zu führen"* [PFEI99]. Eine Aussage aus den Fallstudien: *"Der Innendienst muss sich das Ganze im Kopf eben immer wieder vorstellen. Der Kunde ruft an, sagt seinen Namen, sagt manchmal lediglich: Die Maschine ist blau und das und das funktioniert nicht. Das ist die Praxis. (...) Der Innendienst muss sich das ja alles bildlich vorstellen. Das ist mit Sicherheit irgendwo nicht einfach. Der muss dem Kunden sagen: "Da hinten da mal wieder das prüfen". Das muss er sich ja alles immer wieder eben vorstellen."* Da das abzudeckende Spektrum meist eine ganze Palette verschiedener Maschinen inklusive Peripherien wie z.B. Materialzufuhreinrichtungen u.ä. umfasst, müssen insbesondere Serviceingenieure im Bereich bildliche Vorstellungskraft Erhebliches leisten und zudem von einem Hotlineanruf zum nächsten schnell umschalten können.

Für die Anwendung der oben genannten Unterstützungsmöglichkeiten durch die moderne Kommunikationstechnik ist gleichzeitig ein ausgebildetes Personal an der Seite des Betreibers notwendig, um die Vorteile der Kommunikation voll auszunutzen.

Die Darstellung der Information erfolgt üblicherweise auf einer Benutzeroberfläche. Für die Gestaltung von anspruchsvollen fach- und anwendungsspezifischen Benutzeroberflächen müssen folgende Anforderungen berücksichtigt werden:

- wählbare Informationstiefe, Detaillierungsgrad sowie effektive Navigation,
- Skalierbarkeit, Darstellung mit der Möglichkeit von Detailvergrößerungen,

- einfach bedienbare und projektierbare Ton-/Videowiedergabe, Animation,
- Vollständigkeit der Inhalte muss gewährleistet sein, mit der Möglichkeit über Stichworte oder Icons ist zu planen, an vollständige und detaillierte Inhalte oder Referenzen zu gelangen.

Ein Schritt im Wirkungskreis von Multimedia beim Ferndiagnose- und Überwachungssystem kann eine einfache Aktion oder auch ein aufwendiges Projekt sein. So kann beispielsweise die Aufbereitung multimedialen Materials im einfachsten Fall die Erfassung und Aufbereitung von Prozessdaten und deren Integration in einfache selbsterstellte Grafiken sein. Wesentlich aufwendiger werden die Arbeiten, wenn hochwertige, rechenintensive 3D-Animationen oder Szenen der virtuellen Realität statt einfacher Grafiken verwendet werden. Kaum abschätzbar wird der Aufwand, wenn Film- und Tonaufnahme mit hohem künstlerischen und technischen Anspruch angewendet werden [MENE97].

Die Telekooperationstechnik kann jedoch persönliche Treffen und den herkömmlichen Informationsaustausch nicht ersetzen. Sie bietet jedoch in vielen Fällen eine leistungsfähige und kostengünstige Alternative zu zeit- und kostenintensiven Arbeitstreffen und Reisen. Zudem eröffnet das gemeinsame und gleichzeitige Arbeiten z.B. an Dokumenten völlig neue Wege hinsichtlich der Transparenz, der Zugänglichkeit und des Austausches von Fachwissen.

5.3 Wirtschaftliche Aspekte

Die Anwendung eines Teleservice-Systems wird sich nur durchsetzen, wenn Wirtschaftlichkeit erreicht wird. Den teilweise erheblichen zusätzlichen Kosten für Messtechnik und Auswertung stehen dabei mögliche Kosteneinsparungen in der Maschineninstandhaltung, durch Minderung von Ausschuss und Nacharbeit, durch Vermeidung von Unfällen und schweren Maschinenstörungen sowie durch die Erhöhung der technischen Anlagenverfügbarkeit gegenüber.

Als strategische Hauptargumente für die Einführung von Teleservice wird oft vor allem Kostenersparnis gepaart mit Erhöhung der Kundenzufriedenheit genannt, gleichzeitig werden bis zu sechzigprozentige Einsparpotentiale bei den Reisekosten der Servicetechniker in Aussicht gestellt [RiZi99].

Zweck der Reise ist die Besprechung von Routineproblemen, Detailänderungen an Konstruktionsunterlagen, Abstimmung von Problemstellungen. Strategische Besprechungen und Geschäftsabschlüsse werden auf absehbare Zeit nicht durch den Einsatz von Multimedia-Kommunikationstechnik substituierbar.

Die kritische Anzahl substituierbarer Dienstreisen ist erreicht, wenn die Gesamtkosten für Überwachungstechnik und Schaffung organisatorischer Strukturen gleich den Gesamtkosten für substituierbare Reisen in einem bestimmten Zeitabschnitt sind. Die Kosteneinsparung wird als Differenz von Reisekosten und Kosten für Organisation des Teleservice-Dienstes ermittelt. In der Arbeit von BRAHMANN [BRA98] werden die Kosten für Multimediakommunikation und

Reisen ermittelt, ab welcher kritischen Anzahl substituierbarer Dienstreisen pro Jahr sich die Investition in Multimediakommunikationstechnik rentiert.

Eine weitere betriebswirtschaftlich wesentliche Größe ist die Amortisationsdauer einer Investition. Im Falle des Einsatzes von Überwachungs- und Kommunikationstechnik ist die Amortisationsdauer von der Häufigkeit des Einsatzes und der Entfernung der Gesprächspartner abhängig.

Diese Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit von Multimedia-Kommunikationstechnik sind an die Einführung von Teleservice-Strategie komplett übertragbar, weil die Problemstellungen vergleichbar sind und die Problemerkennung und mögliche Lösung auch aus der Ferne stattfinden.

5.4 Soziale Fragestellungen

Ist die Möglichkeit des Herstellers, Teleservice, eine Fernunterstützung oder eine Ferndiagnose durchzuführen, ein Verkaufsargument für den Betreiber? Möchte der Betreiber eine intelligente Anlage selbst im Einsatz haben? Was bieten Hersteller der Technik an? Grundsätzliche Meinungen und Vorstellungen in sind erster Näherung im **Bild 5-5** dargestellt.

In der Literatur herrscht zur Zeit die Meinung vor, dass die noch 1996 gestellte Frage, ob Teleservice lediglich "nice to have" ist oder sich zum strategischen Wettbewerbsvorteil entwickelt (VDMA 1996), eindeutig entschieden ist. "Wann sollten Unternehmen mit dem Teleservice beginnen? Fangt jetzt damit an! Entwerft für Euer Unternehmen ein Ziel, das Ihr mittelfristig erreichen wollt!" - sagen die Experten. "Es ist falsch, wenn Firmen angesichts der rasanten Neuerungen erst einmal abwarten" [COM].

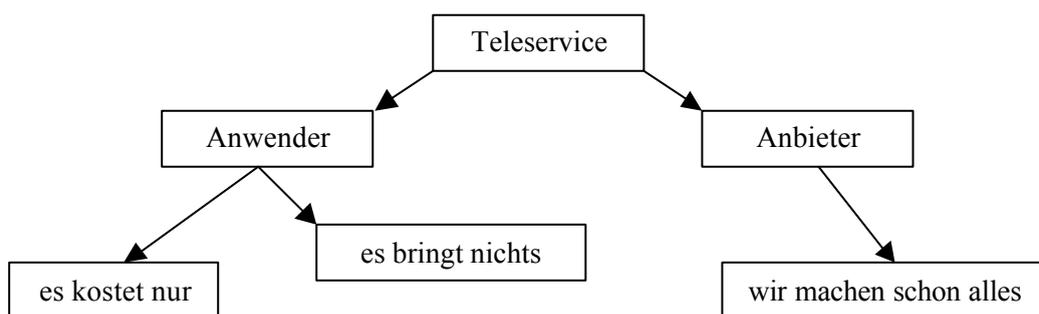


Bild 5-5: Teleservice im Zusammenspiel der Meinungen

Im Mittelpunkt von Forschungsprojekten und Praxisberichten zum Thema Teleservice stehen meist technische, vertragsrechtliche oder ökonomische Aspekte. Der Faktor "Mensch" sowie Fragen der Arbeitsorganisation und Qualifikation spielen dabei überwiegend eine untergeordnete Rolle. Der

traditionell hohe Anteil von Erfahrungswissen wird innerhalb von Service-tätigkeit bei der Umsetzung auf Teleservice nicht berücksichtigt.

Zu dieser Problematik werden im Beitrag von SABINE PFEIFFER [PFEI99] erste Ergebnisse und Widersprüche der Interviews aus arbeitssoziologischer Sicht bezüglich strategischer Entscheidungshintergründe, Marketingaspekten und der Fremdheit von Informationstechnologien, die in der ersten Jahreshälfte 1999 mit Teleservice-Verantwortlichen bei namhaften deutschen Werkzeugmaschinenherstellern geführt wurden, dargestellt. Nach der Betrachtung der Anzahl von teleservicebezogenen Forschungsberichten (Fachzeitschriften, Internet, Pressemitteilungen) in verschiedenen Bereichen der Industrie stellte PFEIFFER fast sofort fest, dass Teleservice eine weitverbreitete und kompetent genutzte Technologie sein könnte, von der sowohl Maschinenhersteller als auch deren Kunden im Service-Alltag profitieren.

Firmenpräsentationen oder firmeneigenes Werbematerial, in dem Teleservice eine hervorstechende Rolle spielt, ist bei allen für den Beitrag [PFEI99] befragten Unternehmen durchweg vorhanden. In den durchgeführten Interviews zeigt sich beim Blick hinter die Kulissen ein deutlich anderes und zunächst unerwartetes Bild. *"Wir machen einen sanften Einstieg in Teleservice, wir haben also nicht von jetzt auf nachher 300 Maschinen mit Teleservice stehen und werden überrannt mit Teleservice-Anfragen. Wir machen das jetzt vielleicht bei 30 Maschinen in einem Jahr und setzen auch auf die sanfte Welle in Pilotprojekten, um da einfach mal Erfahrungen zu sammeln."* So die Aussage in einem Unternehmen, das bereits offensiv für Teleservice Marketing betreibt.

Geht es um eine Euphorie der Teleservice-Strategie? Die Fakten der tatsächlichen Verbreitung sind [HUHA97]: 1995 wird Teleservice von 24 % befragter Unternehmen in der industriellen Produktion und zu 30 % im Bereich Metallbearbeitungsmaschinen genutzt. Von den insgesamt 1305 Befragten halten zum Befragungszeitpunkt jedoch 66 % einen Einsatz von Teleservice nicht für sinnvoll und 18 % haben keine Ausbau-Absichten, lediglich 16 % planen den Ersteinsatz oder haben Ausbauabsichten.

Es ist auch zu sehen, dass derzeit noch eine starke Diskrepanz zwischen Marketing und reeller Umsetzung von Teleservice besteht. Eine weitere Beobachtung von PFEIFFER, die sich aufgrund des Interviewverhaltens zu verschiedenen Themenbereichen aufdrängt, ist eine tendenzielle Überforderung in der strategischen Nutzung und Integration sowie in der Abschätzung der Potentiale und neuartigen Möglichkeiten von IuK-Technologien. Selbst da, wo sie in anderen Bereichen des Unternehmens systematisch benutzt und strategisch eingesetzt werden (z.B. Internetauftritt, e-commerce), fehlt es oft an einer Übertragung auf produktionsnahe Verwendungsmöglichkeiten.

Auch auf der Kundenseite zeigt sich ein ähnliches Manko, zumindest das, was klassische Klientel der Serviceabteilungen von Maschinenherstellern betrifft, seien dies nun bei größeren Kunden Instandhaltungsabteilungen oder bei

kleineren Unternehmen der Maschinenführer oder gar der Chef selbst: *"Viele unserer Kunden sind eben klassische Automatendreher, die haben noch nicht viel am Hut mit Internet und ISDN und was weiß ich. Das interessiert die irgendwie nicht. Die wollen ihre Teile produzieren und das war's"*.

Besonders auffällig stellt sich in den von PFEIFFER geführten Interviews bei den Fragen zum bereits vorhandenen bzw. geplanten Funktionalitätsumfang des Teleservice das Unvermögen dar, diese konkret zu benennen. Eine exemplarische Interviewpassage: *"Was ich mir darunter vorstelle oder was unser Ziel ist, mit Teleservice im Störfall eben schnellstmöglich zu reagieren. Egal in welcher Form auch immer, eben halt noch schneller entsprechende Maßnahmen einzuleiten."* Selbst bei gezielten Nachfragen zu potentiellen Funktionalitäten wie Monitoring, Logdatenspeicher, Fernparametrierung u.ä. kann nur ein Interviewpartner konkretere Angaben machen. Diese Beobachtung untermauert nicht nur die These der tendenziellen Fremdartigkeit von IuK-gestützten Technologien, sondern bestätigt vor allem eine ihrer Auswirkungen: die meisten Interviewpartner schildern, dass sie von sich aus keine Forderungen an Teleservice-Funktionalitäten z.B. an ihre Steuerungshersteller richten. Verbreitet ist ein Abwarten dessen, was von dieser Seite kommt und allenfalls ein passives Adaptieren.

Zu konstatieren war von PFEIFFER auch, wie bei vielen Einführungsphasen von neuen Technologien beim Thema Teleservice das Problem im Sinne von: Will der Kunde oder soll er wollen? Einerseits wird der Druck des Marktes an letzter Stelle von insgesamt neun Motivationsgründen zum Teleservice-Einsatz genannt, andererseits wird versucht, diesen Druck erst zu erzeugen. So antwortet ein Befragter auf die Frage des Marktdrucks: *"50:50, von außen, vom Kunden. Aber auch von uns, um damit wieder im Marketing was machen zu können."*

In vielen Interviewpassagen fanden sich Einschätzungen, die zeigen, dass die Kunden Teleservice als Bedürfnis nicht nur noch nicht klar formulieren (können), sondern teilweise erst noch in den Stand versetzt werden müssen, aus technologischer Sicht teleservicefähig zu werden. Ob nun aufgrund von Informationsmangel, fehlendem technischen Stand oder nicht ausreichendem Vorstellungsvermögen über die Potentiale neuer Technologien - offensichtlich wird von Kundenseite ein Bedarf an Teleservice bislang nicht offensiv formuliert. *"Auch beim Einsatz von Teleservice bleibt der Mensch weiterhin die zentrale und wichtigste Figur der Servicekette"* [HUHA97].

Wie die oben dargestellte Situation zeigt, ist es immer wichtig, bei der Schaffung und der Einführung der Teleservice-Strategie nicht nur ausschließlich die technische Seite des Projektes zu diskutieren, sondern auch die Fragen der Kundenakzeptanz und menschlicher Verhältnisse einzubeziehen.

5.5 Rechtliche Aspekte

Die organisatorische Integration umfasst die Einbindung der Teleservice-Komponenten in die Ablauforganisation des Unternehmens unter Beachtung auch rechtlicher Rahmenbedingungen. Es ist auf die Einhaltung gesetzlicher Regelungen, wie das Bundesdatenschutzgesetz (BDSG) und das Informations- und Kommunikationsdienstgesetz (IuKDG), zu achten. Ziel des IuDKG Gesetzes [IuKDG96] ist es, im Rahmen der Bundeskompetenzen eine verlässliche Grundlage für die Gestaltung der sich dynamisch entwickelnden Angebote im Bereich der Informations- und Kommunikationsdienste zu bieten und einen Ausgleich zwischen freiem Wettbewerb, berechtigten Nutzerbedürfnissen und öffentlichen Ordnungsinteressen herbeizuführen.

Die Anwendung bestimmter technischer Verfahren wird im Gesetz bewusst nicht vorgeschrieben, die gesetzlichen Regelungen beschränken sich auf Rahmenvorgaben, damit die verschiedenen technischen Verfahren zur Anwendung kommen und damit im Wettbewerb untereinander auf den Prüfstand gestellt werden können.

Im Rahmen der Einsatzvorbereitung von Teleservice-Projekten ist insbesondere bei komplexen geplanten Maßnahmen die Zusammenarbeit mit internen und externen Rechtsexperten erforderlich. Dies gilt insbesondere für die Vertragsgestaltung. Der Teleservice-Vertrag unterscheidet sich von anderen Serviceverträgen durch die Intensität der Betreuung (siehe auch 5.1.3 *Teleservice-Leistungsarten*) und die sich aus der Datenübertragung ergebenden Risiken [VDMA2].

Kernstück des Teleservice-Vertrages ist eine präzise Leistungsbeschreibung. Die mittels Teleservice erbrachten Leistungen müssen detailliert aufgeführt werden. Dabei ist zwischen erfolgsbezogenen Leistungen (hier übernimmt das Serviceunternehmen die Garantie für den Erfolg) und nicht erfolgsbezogenen Leistungen (hier bemüht sich das Serviceunternehmen, ohne für den Erfolg eintreten zu wollen) zu unterscheiden.

Zweites Kernstück des Teleservice-Vertrages sind die Leistungsmodalitäten. Hierzu zählen Definition und Rechtsfolgenfestlegung von "*Reaktionszeiten*", "*Initialisierungsmodi*" und "*Dokumentation*". In diesem Zusammenhang ist auch auf die Mitwirkungspflichten des Kunden einzugehen.

Neben der Leistungsbeschreibung spielen beim Teleservice der Datenschutz und die Prozesssicherheit eine große Rolle [BSI]. Wichtig sind auch Randbereiche zu regeln, wie z.B. die Kosten der Datenübertragung. Auch hierzu gibt es vertragliche Regelungen, die dem Kunden die Befürchtung nehmen, dass das Serviceunternehmen die im Rahmen des Teleservice gewonnenen Erkenntnisse für andere als die vorgesehenen Zwecke verwendet.

Der Punkt Vergütung hängt sehr stark von den Leistungsinhalten ab. In der Regel sieht der Teleservice-Vertrag einen Grundpreis für die Vorhaltung des Service

vor sowie diverse Aufschläge. Im Hinblick auf den Kooperationscharakter eines Teleservice-Vertrages spielen die Regelungen zur Kündigung und Vertragsanpassung eine große Rolle. Hierbei ist auch zu klären, wie getätigte Investitionen (z.B. dem Kunden zur Verfügung gestellte technische Einrichtungen für den Teleservice) im Falle einer vorzeitigen Beendigung des Vertrages abzurechnen sind.

Aus der Vielzahl von rechtlichen Problemstellungen bei der Entwicklung einer Teleservice-Lösung wurden nur einige genannt. Im Rahmen der Einführung ist insbesondere bei komplexeren Kooperationsprojekten die Zusammenarbeit mit internen und externen Rechtsexperten erforderlich.

6 Zusammenfassung und Ausblick

In der Dissertation werden die Grundlagen für die Einführung der Teleservice-Strategie im Rahmen eines Pilotprojektes für den Einsatz einer spezifischen Fernüberwachungs- und Fernwartungs-Technologie eines Maschinenbauunternehmens für die Förderanlagen in einem Schüttgut-Materialflusssystem einer Kraftwerksbekohlungsanlage erarbeitet.

Was ist in der Arbeit neu? Der modernen Entwicklung folgend, werden in der Arbeit die Möglichkeiten der Fernüberwachung im Rahmen der Teleservice-Strategie abgeschätzt und analysiert. Es wird untersucht, wie die Zustände von fördertechnischen Geräten aus der Ferne überwacht und unter Verwendung von multimediebasierten Verfahren in der gesamten notwendigen Organisationsstruktur bewertet werden können sowie die Iteration zur Optimierung der Konstruktion realisiert werden kann. Um diese Aufgaben zu lösen, werden in der Arbeit Methoden und Vorgehensweisen aus dem Bereich des Maschinenbaus und Instandhaltungsmanagements sowie moderner Kommunikation in ein einheitliches System gebunden.

Die Arbeit zeigt die Potentiale der Teleservice-Strategie am Beispiel der ausgewählten Anlagen. Diese Potentiale können in weiteren Forschungsarbeiten auf andere Maschinen und Anlagensysteme durch die Konzipierung der sowohl technischen als auch organisatorischen Zielstellungen und Vertiefung des Wissens übertragen werden.

Die Mängel in relevanten Informationen von den Geräten, Unvollkommenheit und Vielseitigkeit der Kommunikationsmöglichkeiten, Ungenauigkeit der Prognosen und Widersprüchlichkeit von Theorien haben deutlich gezeigt, dass auf dem Gebiet der möglichen Anwendung der neuen Teleservice-Strategie noch viel Arbeit geleistet werden muss.

Die Schwerpunkte der Arbeit wurden auf technische und organisatorische Fragen gelegt. Zukünftige Fragestellungen und Entwicklungsaufgaben sind ebenfalls so zu gliedern.

Der Messwertkette folgend, sind als technische Aufgabenstellungen zu nennen:

- Weiterentwicklung der Sensorik - robust, zuverlässig, mit der Funktionen einer intelligenten Datenreduktion, Vorauswertung und Merkmalsbildung.
- Schnelle Datenwege sind notwendige Bedingung für eine erfolgreiche Einführung von Teleservice. Bei neuen Techniken, die die Übertragungsgeschwindigkeiten der vorhandenen Leitungen erhöht, ist Deutschland

führend [BMWI]. ADSL, Glasfaser- und Satellitenverbindungen, photonische Netze, UMTS als Funkstandard, Internet via Fernseekabelmodem, Internet über die Stromleitung sind die Stichwörter im Bereich der Datenkommunikation. Die Methoden gelten als vielversprechend und müssen hinsichtlich der Anwendbarkeit immer im Auge behalten werden.

- Zustandswissenserhöhung - durch die Sammlung der Erfahrung, Speicherung, Kombinierung und gezielte Anwendung der anlagenspezifischen Datensätze und Messwerte aus den verschiedenen Projekten muss aus dem „Datenfriedhof“ eine nutzbare Quelle wertvoller Informationen entstehen.

Die Einbeziehung der Methoden und Spezialwissen der Zulieferindustrie spielt für die Überwachung und Diagnose im Anlagenbau eine wichtige Rolle, da die meisten Hersteller komplexer Anlagen einen sehr hohen Anteil an Zulieferteilen haben. Die Nutzung spezifischer Zustandserfassungslösungen der Zulieferer (Verschleißüberwachung an Trommelbremsen, Schwingungsüberwachung an Getrieben usw.) und deren Einbindung in die vorgestellte Teleservice-Lösung muss in jedem Teleservice-Projekt berücksichtigt und angewendet werden, um dadurch maßgeblich auf Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen einzuwirken.

Die Weiterführung der Untersuchungen auf dem Gebiet der Fehlerfrühdiagnose und Zustandsüberwachung im Bereich des Maschinenbaus ist notwendig, weil über den Verlauf der Abnutzung einzelner Maschinenkomponenten bis zur Schadensgrenze und deren Einfluss auf den noch verfügbaren Restabnutzungsvorrat der gesamten Anlage bisher theoretisch und praktisch zu wenig bekannt ist.

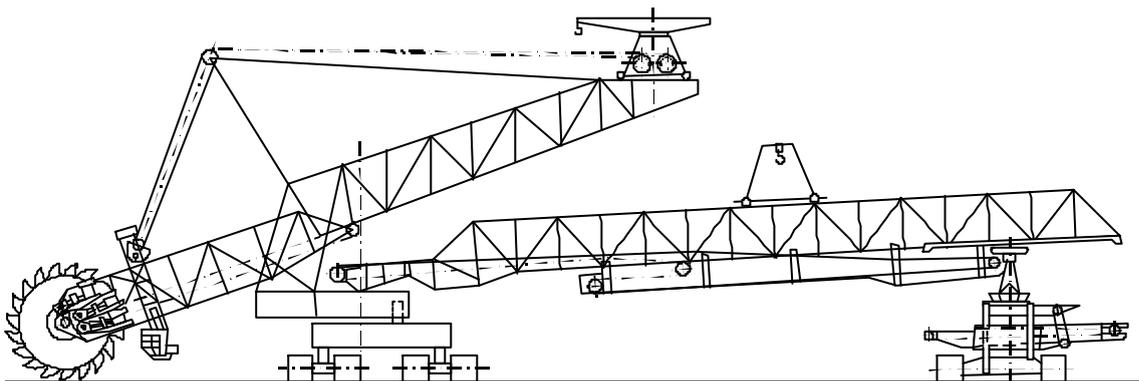


Bild 6-1: Schaufelradbagger [SCHE87]

Die Möglichkeit der Verlängerung der Bauteilbetriebsdauer anhand der aktuellen Zustandsbilder kann besonders im Bereich der Instandhaltung der Großgeräte für die Gewinnungsmaterialflusssysteme einbezogen werden. Die Instandhaltungskosten werden beispielweise bei großen Eimerkettenbaggern in starkem Maße (60-70 %) von den Kosten für die Graborgane (Getriebe, Wellen mit Lager, Turas, Eimerkette, Rollen, Verschleißschienen) beeinflusst.

Deshalb ist die Möglichkeit der Betriebszeitverlängerung von Verschleißteilen mittels Überwachung und Durchführung von entsprechenden Maßnahmen ein wesentlicher Beitrag zum Kosteneinsparen. Gerade im Tagebau ist eine frühzeitige Schadensdetektion von größter Wichtigkeit, da normalerweise z.B. nur ein Schaufelradbagger für die Materialförderung eingesetzt wird [DURS86], [RASP73]. Schäden am Antrieb oder Getriebe des Schaufelrades führen in der Regel zu einem Totalausfall der Maschine (**Bild 6-1**) und damit zum Stillstand des Abbauprozesses.

Als Aufgabe der Übertragung der dargestellten Konzepte zur Fernüberwachung und Diagnose von Baugruppen für weitere Anlagen ist die Definition zusätzlicher relevanter bauteil- und baugruppenspezifischer Diagnosesignale und deren Einbindung in die Unternehmensstrategie zu sehen. Neben der umfangreichen Diskussion um das Thema Teleservice muss hier aber erwähnt werden, dass eine solche Strategie nicht jedem Gerät oder Anlagenkomplex zugeordnet werden kann. Teleservice wird sich nur durchsetzen, wenn Wirtschaftlichkeit erreicht wird.

Der Oberbegriff in den organisatorischen Entwicklungsrichtungen mit dem Ziel der Einbeziehung von Teleservice-Strategien und -Ergebnissen in die unternehmerischen Prozesse ist die „systematische Entwicklung von Dienstleistungen“.

„Ausbildung und Forschung in den Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaften sind auch heute noch auf die Fragestellungen der Industrie ausgerichtet und stellen damit eine entscheidende Basis für intelligente Güterproduktion dar. Bezogen auf Dienstleistungen stecken wir diesbezüglich noch in den Kinderschuhen“ [MAGER01].

Stichworte der Untersuchungsgebiete sind:

- Service-Engineering - beschäftigt sich mit der systematischen Entwicklung und Gestaltung von Dienstleistungen unter Verwendung geeigneter ingenieurwissenschaftlicher Methoden, Vorgehensweisen und Werkzeuge. Die Grundlage des Konzeptes wurde mit dem Erarbeiten eines System-Ingenieur-Berufsfeldes in Unternehmen des Anlagenbaus geschaffen. Weitere Forschungsarbeiten in den Richtungen: Profit, Verkauf und Vermarktung von Dienstleistungen, Kundenbindung durch die lebenslange Betreuung von Anlagen sind notwendig.
- Benchmarking - der qualitative und quantitative Vergleich von Produkten und Prozessen durch Modellierung und standardisierte Darstellung.
- Service-Qualität und Service-Design zum Erzielen eines innovativen, gesellschaftlich sinnvollen, kundenorientierten und gut gestalteten Service.
- Service-Organisation - Wandel vom re-aktiven zum aktiven Service, der auf genauer Beobachtung der Maschinen im Feld und der Analyse der Serviceeinsätze (Teleservice) basiert. Der Übergang vom produktorientierten

Service-Anbieter zum globalen Lösungsanbieter beinhaltet auch eine Vielzahl von neuen Dienstleistungen.

- Service-Innovation: Leistungsinnovationen, Prozessinnovationen, Potentialinnovationen.

Zur Einbindung der obengenannten Schwerpunkte in die Unternehmensstrukturen werden zahlreiche Untersuchungen und Forschungsprojekte sowohl in der Industrie als auch in den Forschungsorganisationen durchgeführt, z.B [SI-NET]. Die Unterstützung und gesamte Organisation leistet das Bundesministerium für Bildung und Forschung [BMBF].

Die nicht gegebenen Antworten auf gestellte Fragen zu dem dargestellten Vorhaben können in diesem Sinne als Denkanstoß für weitergehende Forschungen in der Zukunft angesehen werden, die als Mosaiksteine für andere Untersuchungen mit dem Ziel der Schaffung einer kompletten, kundenorientierten perfekten technischen Lösung dienen.

Literaturverzeichnis

- [ARTEM] <http://www.artem.de> - Artem GmbH, Industrielle Funklösungen.
- [ASUG] <http://www.asug.de> – ASUG Getriebetechnik System- & Komponentenbau GmbH.
- [AUTEM] <http://www.autem.de> – SPS-Analyser, Störungsdiagnose, Datenregistrierung und Anlagenoptimierung für SPS-Systeme.
- [AXIS] <http://www.axis.com> - Peripheriegeräte für die Netzwerke.
- [BARW97] Barwinek, R.: Analyse und Wälzlagerdiagnosen unter praxisnahen Einsatzbedingungen. Fortschr.-Ber. VDI Reihe 1 Nr. 284. VDI Verlag, Düsseldorf, 1997.
- [BAST95] Bastin, A.: Beitrag zur telematikunterstützten, zustandsorientierten Instandhaltung von Eisenbahnwaggons. Fortsch.-Ber. VDI-Reihe 12 Nr. 257. Düsseldorf, VDI-Verlag, 1995.
- [BÄHR00] Bähr, T.: Moderne Austragssysteme für Bunker und Silos bei schwierigen Fördergütern. The 13th Autumn Seminar on Fundamental Problems of Mine Transport. Wroclaw, 13-15 September 2000.
- [BIERM98] Taschenbuch der Messtechnik/ Hrsg.: Jörg Hoffmann. Autoren: Jürgen Biermann; München, Wien: Fachbuchverlag Leipzig im Carl-Hanser-Verlag, 1998, ISBN 3-446-18834-7.
- [BIN] <http://www.bintec.de> – technische Kommunikationslösung für die Gestaltung eines Service-Netzes von der Firma Bintec.
- [BIZ] <http://www.biz-talk.org> – BIZTalk Initiative, PRO*FILE von PROCAD GmbH & Co. KG, Produktdaten- und Dokumenten-Management-System.
- [BMBF] <http://www.bmbf.de/> – Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF).
- [BMWI] Chance Zukunft, Neue Technologien, Zukunft braucht Innovationen. Informationsbroschüre, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Mai 2000.
- [BÖTT98] Böttcher, M.: Dimensionierung der Kettenantriebe von Kratzerförderern. Diplomarbeit. IFSL, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 1998.
- [BRA98] Brahmman, M.: Tele-Engineering: Beschleunigte und qualifizierte Entwicklung und Fertigung gegossener Bauteile unter Nutzung von Multimedia-Kommunikationstechnik. Dissertation, Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, 1998, ISBN 3-8265-4300-9.

- [BRIN95] Brinker, A.: Beitrag zur EDV-gestützten, zustandsorientierten Instandhaltung. Dortmund, III., graph. Darst., 1995, ISBN 3-929443-38-4.
- [BSI] <http://www.bsi.de> – Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik.
- [BUCK73] Buck, G.: Probleme bei der Berechnung von Fahrzeuggetrieben mit Lastkollektiven. Getriebetagung 1973, Methodik bei der Auswahl und Konstruktion von Getrieben, Kinematik, Dynamik, Lebensdauer. Vorträge der VDI-Tagung Essen 1973, VDI-Verlag, Düsseldorf, ISBN 3-1809-0195-0.
- [BUX92] Buxbaum, O.: Betriebsfestigkeit, sichere und wirtschaftliche Bemessung schwingbruchgefährdeter Bauteile. Düsseldorf 1992, ISBN 3-514-00437-4.
- [CCOPY] <http://www.compaq.com/services/carboncopy> – CarbonCopy, Remote Access Software.
- [CIES68] Ciesielski, R.: Behandlung einiger Probleme der Abraumverkipfung durch Absetzer. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1968, ISBN DM-Ost 19.60.
- [COLDF] <http://www.allaire.com> – Macromedia ColdFusion - Datenbankabfragemöglichkeiten durch HTTP.
- [COM] "Teleservice via Internet im Kommen". In: *Computerwoche*, Nr. 16 vom 17.04.98; IT im Maschinenbau, Seite 61-62.
- [COM2] "Die Stärken des Mittelstands auch online ausspielen. Teleservice birgt neue Chancen für Schwellenländer". In: *Computerwoche*, Nr. 16 vom 17.04.1998, IT im Maschinenbau, Seite 58-60.
- [COT] ContiTechnik Transportband-Dienst: Fördergurte, Berechnungen. Hannover, 2. Überarbeitete Auflage 1985.
- [CZICH92] Czichos, H.: Tribologie-Handbuch: Reibung und Verschleiß. Systemanalyse; Prüftechnik, Werkstoffe und Konstruktions-Elemente. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg, 1992, ISBN 3-528-06354-8.
- [DAFU] <http://www.dafu.de/rechts-firmen1.html> – Liste von Firmen, die Produkte oder Dienstleistungen aus dem Bereich Datenfunk anbieten.
- [DAH94] Dahlke, H.; Handbuch Wälzlagertechnik, Bauarten, Gestaltung, Betrieb. Hrsg: Koyo Deutschland GmbH, 1994, ISBN 3-528-06572-9.
- [DURS86] Durst, W.: Schaufelradbagger. TransTech Publications, 1986, ISBN 0-87849-057-4.
- [EISB79] Eisbrecher, H.-D.: Beitrag zur lebensdauerorientierten Gestaltung und Dimensionierung von Antrieben, dargestellt am Beispiel einer Kugelmühle. TU Clausthal, Dissertation, 1979.
- [EMG] <http://www.emg-eltma.de> – EMG-ELTMA Hebezeuge Oschersleben GmbH.

- [ENOVIA] <http://www.enovia.com> – CAD-Viewer.
- [EPO] <http://www.european-patent-office.org/espacenet/> – European Patent Organisation, Patent Research.
- [EPO99] <http://www.european-patent-office.org/> – European Patent Organisation.
- [FAG89] Kugellager, Rollenlager, Nadellager. FAG Wälzlager, Katalog, 1989.
- [FÄHN90] Fähnrich, K.-P.: Ein wissensbasiertes System zur ausfallbedingten Diagnose von CNC-Maschinen durch den Maschinenbediener. Dissertation, TH Stuttgart 1990.
- [FAM] <http://www.fam.de> – FAM - Förderanlagen Magdeburg.
- [FAM-BV] FAM-Berechnungsvorschrift: Auslegung der Leistung für Kratzerkettenantriebe bei Abbaukratzern.
- [FAMOS] http://w4.siemens.de/anp/d/foa/anp/products/s8_1.htm – FAMOS - Ermüdungsüberwachung zum Nachweis von Ermüdungsreserven.
- [FATHI92] Fathi-Torbaghan, Madjid; Beitrag zum Einsatz von wissensbasierten Systemen zur Anlagendiagnose. Fortschr.-Ber. VDI Reihe 10 Nr. 198, Düsseldorf, 1992.
- [FEMII92] FEM Section II: Grundlagen zur Berechnung verfahrbarer Stetigförderer für Schüttgut, 1992.
- [FHG1] http://www-et.bocholt.fh-gelsenkirchen.de/~juen/ak_tele/ak_tele1.html – Fachbereich Elektrotechnik Bocholt, Arbeitskreis Teleservice, FH-Gelsenkirchen.
- [FHG2] <http://193.175.175.187:4001/> – Teleservice Solaranlage: Projekt Fachhochschule Gelsenkirchen.
- [FHG3] http://www-et.bocholt.fh-gelsenkirchen.de/~juen/ak_tele/ak_tele3.html – Fachbereich Elektrotechnik Bocholt, FH-Gelsenkirchen, Diplom-Arbeitsbörse.
- [FHG4] http://www-et.bocholt.fh-gelsenkirchen.de/~juen/ak_tele/ak_tele4.html – Fachbereich Elektrotechnik Bocholt, FH-Gelsenkirchen, weitere Links zum Thema "Teleservice".
- [FISCH01] Fischer, A.: Innovation im Service durch aktive Vermarktung von Dienstleistungen. 4. Dienstleistungstagung des BMBF Innovationen – Forschungsergebnisse – Best Practices, 16.-17. Oktober 2001, Bonn.
- [FISCH81] Fischer, W.: Experimentelle und theoretische Systemanalyse als Grundlage für lebensdauerorientierte Bauteildimensionierung. Dargestellt am Beispiel einer Warmbreitband-Trommelschere. Dissertation, 1981.
- [FLEN] <http://www.esat-cm.de> – Flender ESAT GmbH.

- [FREU92] Freund, H.: Konstruktionselemente/ von Hermann Freund, – Mannheim, Leipzig, Wien, Zürich: BI –Wiss. –Verlag. Bd. 2: Lager, Kupplungen, Getriebe, 1992, ISBN 3-540-62300-0.
- [FRONTP] <http://www.frontpages-web-hosting.net/frontpage.web.tool.htm> – Microsoft FrontPage.
- [GERO99] Geropp, B.: Komplexe Zustandsbilder durch komplexe Diagnosesysteme, Potentiale und Grenzen gängiger Meß- und Diagnoseverfahren in der zustandsbezogenen Instandhaltung. DKIN Tagung, November 1999.
- [GFS] <http://www.gfs-ac.de> – DIAdem[®] von GFS GmbH & Co. KG.
- [GLEBE01] Glebe, M.: Zur Auslegung von Förderbandtrommeln unter besonderer Berücksichtigung selbsttragender Mantelsegmente. Dissertation, Universität Hannover, 2001.
- [GNIL82] Gnilke, W.: Lebensdauerberechnung der Maschinenelemente. Berlin: Verl. Technik, 1982.
- [HA189] Haibach, E.: Betriebsfestigkeit: Verfahren und Daten zur Bauteilberechnung. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1989, ISBN 3-18-400828-2.
- [HAR93] Hartig, S.: Rechnergestützte Ablauf- und Kapazitätsplanung in der Instandhaltung mittels Netzstrukturen. Dissertation, Technische Universität Magdeburg, 1993.
- [HAUP90] Hauptmann, P.: Sensoren – Prinzipien und Anwendungen. Carl Hanser Verlag; München, Wien, 1990, ISBN 3-446-16073-6.
- [HEIN82] Heinisch, D.: Experimentelle Systemanalyse eines Planetengetriebes unter besonderer Berücksichtigung der Lebensdauer der Getrieberäder. Dissertation, TU Clausthal, 1982.
- [HENS89] Hensen, F.: Frühfehler- und Schadenszustandsermittlung in Eigen diagnose. Diplomarbeit, Technische Universität Magdeburg, 1989.
- [HUHA97] Hudetz, W; Harnischfeger, M.: Teleservice einführen und nutzen. Ein Leitfaden für Maschinen und komponentenhersteller und deren Kunden. Frankfurt: Maschinenbau Verlag, 1997.
- [IAI] http://www.iai.fzk.de/pft/pftd34/pftd34_tele.html – Teleservice als wichtige Komponente einer Unternehmensstrategie im Kundenservice, Leitstudie Teleservice.
- [IAI99] <http://www.iai.fzk.de/pft/pftd3.htm> – Strategien für die Produktion im 21. Jahrhundert; Rahmenkonzept Produktion 2000.
- [IAI-STR] http://www.iai.fzk.de/pft/pftd34/pftd34_stragus.htm – STRAGUS.
- [IAI-TES] http://www.iai.fzk.de/pft/pftd34/pftd34_tesma.htm – TESMA.
- [IFF] <http://www.iff.fhg.de> – Fraunhofergesellschaft Magdeburg.

- [IFF2] http://www.iff.fhg.de/iff/ism/projects/diagnost/diagnt_d.htm – Fraunhofergesellschaft IFF Magdeburg
- [IFF-FHG] http://www1.iff.fhg.de/ism/projekts/tele/tele_d.htm – Fraunhofer-Institut IFF; Abt. ISM; Produkt: Teleservice und Serviceleistungsmanagement.
- [IID] http://www.iid.de/bah/BAH_zusammenfassung.html – Deutschland im internationalen Vergleich, Durchbruch Multimedia.
- [IID-4] <http://www.iid.de/informationen/vdmamemo/index.html> – Anwendung der Informationstechnik in der Produktion, Kapitel 4: Ferndiagnose und –wartung.
- [IID97] <http://www.iid.de/informationen/teleserviceSuE/teleservice1.html> – Schmidt, Uwe [1997]: Teleservice - Stand und Entwicklungsansätze.
- [IMC] <http://www.imc-berlin.de> – imc Meßsysteme GmbH Berlin.
- [INT-V] <http://www.interest.de/online/tkglossar/Teleservice.html> – Interest Verlag; Profi-Know-how für Informationstechnologie und Telekommunikation: Teleservice.
- [I-TEC] <http://www.InfraTec.de> – InfraTec GmbH, Infrarot-Thermografie-systeme.
- [IUKDG96] <http://www.kanzlei.de/> – Gesetz des Bundes zur Regelung der Rahmenbedingungen für Informations- und Kommunikationsdienste. Stand: 11.12.1996.
- [JAVA] <http://www.jamba.com> – Java-Applets.
- [JÜNE00] Jünemann, R., Schmidt, T.: Materialflusssysteme: systemtechnische Grundlagen. 2 Auflage, Springer 2000, ISBN 3-540-65076-8.
- [KAUSH01] Kauschke, P.: Verschleißlebensdauererhöhung von Buchsenförderketten durch tribotechnische Optimierung. Dissertation, Universität Dortmund, 2001.
- [KDK082] Kragelski I., Dobycin M., Kombatov V.: Grundlagen der Berechnung von Reibung und Verschleiß. VEB Verlag Technik, Berlin, 1982.
- [KIEPE] <http://www.KIEPE-ELEKTRIK.com> – KIEPE ELEKTRIK.
- [KILL97] Killat, D.: Störgrößenelementminimierende Sensorsignalverarbeitung. Fortschr.-Berl. VDI-Reihe 9, Nr. 265, Düsseldorf: VDI Verlag 1997, ISBN 3-18-326509-5.
- [KOLE95] Kolerus, J.: Zustandsüberwachung von Maschinen. Renningen-Malmsheim, Expert-Verl., 1995, ISBN 3-8169-1168-4.
- [KOLE00] Kolerus, J.: Zustandsüberwachung von Maschinen. Renningen-Malmsheim, Expert-Verl., 2000, ISBN 3-8169-1721-6.
- [LAUBAG] <http://www.laubag.de> – Lausitzer Braunkohle AG (LAUBAG).

- [LAUB00] "Schnell, zuverlässig und qualitätsgerecht". In *LAUBAG Report*; Nr. 5, Jahrgang 11, Mai 2000, Seite 7.
- [LINKS-T2] <http://www.info.uibk.ac.at/c/c6/c603/links/telemlit.htm> – Literaturlauswahl zum Themenbereich Medien-Kommunikation, Telematik und interdisziplinäre Medienforschung.
- [LIU91] Liu, J.: Beitrag zur Verbesserung der Dauerfestigkeitsberechnung bei mehrachsiger Beanspruchung. Dissertation, TU Crausthal 1991.
- [MAGER01] Mager, B.: Vom Produkt zum Service. Forschungsprojekt „Reserch goes Public“. 2001, ISBN 3-00-008611-0.
- [MAN] http://www.wolffkran.de/index_d_nf.html – MAN Service weltweit.
- [MART78] Martin, H.: Förder- und Lagertechnik. 1.- Aufl. - Braunschweig: Vieweg, 1978, ISBN 3-528-04066-1.
- [MCC] McCarthy, J.: What Future Shall We Make? Teleservice; <http://www-formal.stanford.edu/jmc/future/teleserve.html>.
- [MENE97] Menevedis, Z.: Konfigurierbares, multimediales Fernbetreuungs-System für rechnergesteuerte Fertigungseinrichtungen. Dissertation, Technische Universität Berlin, 1997, ISBN 3-8167-5171-7.
- [MELT00] Meltzer, G.: Einführung in die Technische Diagnostik. Studienanleitung, Institut für Energiemaschinen, Technische Universität Dresden, 2000.
- [MEXIS90] Maxis N.D.: Handbuch Schwachstellenanalyse. Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1990.
- [MODR79] Modricker, K.: Beitrag zur Lebensdauerabschätzung von Groß-Getrieberädern durch Auswertung von Schadensfällen. TU Clausthal, Dissertation, 1979.
- [MS] <http://www.microsoft.com> – Microsoft Corporation.
- [MSERV] <http://www.maschinenbau-service.de> – e-Industrial Services, Internetbasierte Mehrwertdienste für Produktionssysteme.
- [MS-IE] <http://www.microsoft.com/ie/> – Internet Explorer.
- [MS-NetM] <http://www.microsoft.com/windows/netmeeting/> – Microsoft Netmeeting.
- [NETC00] "Remote Control schont Schuhsohlen". In: *Network Computing*; Nr. 5, 23. Februar 2000, Seite 68.
- [NETS] <http://www.netscape.com/netscape/index.htm> – Netscape.
- [NiFU00] Nicklaus, E.; Fuß, H.-P.: "Online-Asset Management". In: *atp-Automatisierungstechnische Praxis*; 42 (2000), Heft 5, Seite 30-39.
- [N.N.76] Beiträge zur Lebensdauerberechnung der Maschinenelemente. Autoren-Kollektiv, Leipzig, 1976.

- [N.N.89] Förder- und Transporttechniken in Bergbau: neue Wege und Entwicklungen. Tagung Düsseldorf, 24. - 25. Mai 1989: Conveying and transportation technologies in mining/ Düsseldorf: VDI-Verl., 1989, ISBN 3-18-090754-1.
- [N.N.99] Handbuch der Mess- und Automatisierungstechnik/ Hrsg.: Hans-Jürgen Gevatter, Berlin: Springer 1999, ISBN 3-540-59135-4.
- [N.N.00] "Errichtung eines Kohle-, Misch- und Stapelplatzes für Rohrbraunkohle". In *Schüttgut*, 6 (2000) Nr. 3, Juli/September 2000, Seite 304, ISSN 0946-7939.
- [NOACK00] Noack, A.: "Zustandsorientierte Instandhaltung an Tagebau-Geräten". In: VDI-Berichte Nr. 1554, Seite 553, 2000.
- [NZZ99] http://www.nzz.ch/online/01_nzz_aktuell/sonderbeilagen/orbit99/orbit990921rudin.htm – "Der Satellit als Alternative", In: *Neue Züricher Zeitung*, 21. September 1999.
- [PAJER79] Pajer, G.: Tagebaugroßgeräte und Universalbagger. 2., bearbeitete Auflage: VEB Verlag Technik, Berlin, 1979.
- [PAJER88] Pajer, G.: Stetigförderer/ von G. Pajer; H. Kuhnt; F. Kuhnt. – 5. Stark bearb. Aufl. - Berlin: Verl. Technik, 1988, ISBN 3-341-00452-1.
- [PAY99-6] <http://www.payer.de/cmcs/cmcs06.htm> – Payer, M.: Computervermittelte Kommunikation. Kapitel 6: Schichtübergreifendes; Fassung vom 9. Juni 1999.
- [PAY99-7] <http://www.payer.de/cmcs/cmcs07.htm> – Payer, M.: Computervermittelte Kommunikation. Kapitel 7: OSI-1: Physical Layer - Bitübertragungsschicht; Fassung vom 9. Juni 1999.
- [PBN99] Petrich F., Niemz R.: „Prozesstechnik und Kommunikations-Infrastruktur in den Tagebauen der LAUBAG“. In: *Braunkohle Surface Mining*, Nr. 3 Mai/ Juni, Senftenberg, 1999.
- [PC-ANW] <http://www.symantec.com/pcanywhere/index.htm> – Remote Control Software: pcAnywhere.
- [PETER99] Petermann, L.: Die Gestaltung von Lagerplatzkonzepten für Schüttgüter - Tendenzen und Erkenntnisse. Fachtagung Schüttguttechnik `99: Entwicklungsstand und Innovation, 23. und 24. September 1999, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.
- [PFEIF98] Pfeifer, H.: Fördertechnik: Konstruktion und Berechnung / Heinz Pfeifer; Gerald Kabisch; Hans Lautner.- 7. Verb. Aufl.- Vieweg, 1998, ISBN 3-528-64061-8.
- [PFEI99] Pfeiffer, S.: Die andere Perspektive: Teleservice im Blick der Arbeitssoziologie. Vortrag auf der VDI-VDE/GMA-Fachtagung "Industrielle Automation und Internet/ Intranet-Technologie", 8./9. November 1999 in Langen/ Hessen. http://www.Sabine-pfeiffer.de/link-Dokumente/FP_GMA.html.
- [PGP] <http://www.pgp.com> – PGP: Pretty Good Privacy.

- [PLH+96] Peck, M.; Hermes, P.; Leopold, N.; Hirschmann, J.; Wieland, J.: Service-Support-System S3-BaWü für den Maschinenbau in Baden-Württemberg. Abschlußbericht im Auftrag des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg, Stuttgart, 1996. <http://www.maschinenbau-service.de/teleservice/docs/asb/abschlussber.html>.
- [PRIN] <http://www.process-informatik.de> – SPS-Fernwartung von Process - Informatik Entwicklungsgesellschaft mbH.
- [PRITZ00] Pritzkow, C.; Hanel, W.: "Früherkennung von Lager- und Zahnrad-Schäden in Walzwerken". In: *Antriebstechnik*, Nr. 8: August 2000, Seite 45.
- [PRUF] <http://www.pruftechnik.com> – Prüftechnik AG.
- [PTC] <http://www.ptc.com/products/proe> – Pro/Engineer 2001.
- [RAD95] Radaj, D.: Ermüdungsfestigkeit, Grundlagen für Leichtbau, Maschinen- und Stahlbau. Springer, 1995, ISBN 0-387-58348-3.
- [RASP73] Rasper, L.: Der Schaufelradbagger als Gewinnungsgerät; Trans Tech Publications, 1973, ISBN 3-87849-008-6.
- [REIT79] Reitor, G.: Fördertechnik: Hebezeuge, Stetigförderer, Lagertechnik/ von Georg. P. Reitor. - München, Wien: Hanser, 1979, ISBN 3-446-122338.
- [REITZ00] Reitz, K.: Schwingungsdiagnose im praktischen Einsatz. DKIN Tagung, 2000.
- [RICH99] Richter, K.: "Internetkommunikation zwischen Ingenieuren". In: *Mitteldeutsche Mitteilungen*, Seite 10-13, IV/99.
- [RiZi99] Richter, K.; Ziems, D.: "Internetunterstützung für Planung, Betrieb und Wartung fördertechnischen Anlagen". In: *Mitteldeutsche Mitteilungen*, Seite 10-13, IV/99.
- [RÜT97] Rüttgers, J.: "Weltweite Kundenbetreuung durch Teleservice - Deutsche Unternehmen an der Spitze"; In: *Pressemitteilung: Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie*; Bonn 01.07.1997.
- [RWE] <http://www.rwe-powerline.de> – RWE Powerline GmbH.
- [RWTH] <http://www.ibh.rwth-aachen.de> – Institut für Bergwerks- und Hüttenmaschinenkunde RWTH Aachen.
- [SABER] <http://www.analogy.com/Products/simulation/simulation.htm> – SABER.
- [SAP] <http://www.sap.de> – SAP AG.
- [SAP96] SAP-R-3-Einführung/ CDI [Hrsg.]. - Haar bei München: Markt und Technik, Buch- und Software-Verlag, 1996, ISBN 3-8272-5096-X.
- [SCHE87] Scheffler, M.: Grundlagen der Fördertechnik. VEB Verlag Technik, Berlin, 7. stark bearbeitete Auflage, 1987, ISBN 3-341-00256-1.

- [SCHE94] Scheffler, M.: Grundlagen der Fördertechnik – Elemente und Triebwerke. Braunschweig; Wiesbaden: Vieweg, 1994, ISBN 3-528-06558-3.
- [SCHI78] Schirmer, D.: Untersuchung des Grabwiderstandes an Entspeicherungskratzern. Dissertation, TH "Otto-von-Guericke" Magdeburg, 1978.
- [SCHN85] Schneider-Fresenius, W.: Technische Fehlerfrühdiagnose-Einrichtungen: Stand der Technik und neuartige Einsatzmöglichkeiten in der Maschinenindustrie. München, Wien: Oldenbourg, 1985, ISBN 3-486-29711-2.
- [SCHO83] Schott, G.: Ermüdungsfestigkeit, Lebensdauerberechnung für Kollektiv- und Zufallsbeanspruchungen. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1983.
- [SERVICE] Wanderausstellung: Service - ein Produkt, Forschungsprojekt „Reserch goes Public“. 2001, ISBN 3-00-008611-0.
- [SI-NET] <http://www.service-engineering.net> - Service Engineering Community.
- [SICH-I] <http://www.sicherheit-im-internet.de> – Sicherheit im Internet.
- [SIMO99] Simon, L.: Moderne Maschinendokumentation als Mittel optimaler unternehmensinterner Kommunikation und individueller Kunden-Information. VDI Berichte Nr. 1498, 1999.
- [SKET] <http://www.sket.de> – SKET Walzwerkstechnik GmbH Magdeburg
- [SKYDSL] <http://www.linux-matrix.de/thoughts6.shtml> – Erfahrungsbericht SkyDSL.
- [STF88] Sturm A.; Förster R.: Maschinen- und Anlagediagnostik für die zustandsbezogene Instandhaltung. Berlin: Verl. Technik, 1988, ISBN 3-341-00622-2.
- [STF90] Sturm A. / Förster R.: Maschinen- und Anlagediagnostik für die zustandsbezogene Instandhaltung. Stuttgart: Teubner, 1990, ISBN 3-519-06333-6.
- [STRATO] <http://www.strato.de/skydsl> – STRATO Medien AG.
- [STRÖ00] Strölin, J.: "Dokumente per Mausklick". In: *Windows Produktiv: Das Magazin für Entscheider in der Fertigungs- und Prozessindustrie/Engineering*; März/April 2000, Seite 39.
- [STRÖ93] Ströbel, G.: Integrierte Überwachung und Diagnose am Beispiel flexibel automatisierter, komplexer Montage- und Prüfaufgaben. Dissertation, Bremen, 1993.
- [TEKO] <http://www.telekooperation.de> – Forum Telekooperation, Technische Universität München.
- [TELEC] <http://www.lps.ruhr-uni-bochum.de/telec/>, <http://fifserver.iai.fzk.de/pft/> – TELEEC.

- [TESMA] <http://www.aps.rwth-aachen.de/tesma/teleservice.html>
TESMA Official Page.
- [THWA96] Thorenz, H.-J.; Warmann, K.: "Schüttgut - Transportieren, Lagern, Mischen". Tagung Köln: Schüttgut fördern und lagern; 23. Mai 1996; Düsseldorf, VDI-Verl., 1996, ISBN 3-18-091262-6.
- [THUM92] Thum, H.: Verschleißteile und Lebensdauer/ Heinz Thum, Berlin: Verl. Technik, 1992, ISBN 3-341-00929-9.
- [TICHY] Tichy, U.: Maßnahmen zur Sicherung einer Fernwartung. Orientierungshilfen der Datenschutzbeauftragten,
<http://www.schwaben.de/home/tichy/dsbfernw.html>.
- [UNI-H] <http://www.iq.uni-hannover.de/vorlesung/am/inhalt.htm>
Vorlesungsscript, Institut für Qualitätssicherung, Instandhaltung maschineller Anlagen, 2000.
- [UNI-M] <http://comserv.urz.uni-magdeburg.de/priv/urzl/knocke/public/Lehrgang00.htm> – Video-Conferencing, Uni-Lehrgang 2000.
- [UNI-R] <http://www.tec.informatik.uni-rostock.de/wimi/Multimedia-Konzept-MV-2.html> – Multimedia-Konzept Mecklenburg-Vorpommern: Analysen, Trends und Perspektiven, 1997.
- [VDMA] <http://www.vdma.org> – Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.
- [VDMA2] <http://www.vdma.org/deutsch/teleservice/> – Teleservice im Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.
- [W3] <http://www.w3.org/XML/> – XML.
- [WERN94] Werner, G.: Praxishandbuch Instandhaltung: rationaler Einsatz neuer Instandhaltungstechniken. 1995.
- [WEW98] Westkämper, E.; Wieland, J.: Bewegtbilder aus der Ferne zur Instandhaltung. Unterstützende Videodiagnose durch den Maschinenhersteller, 1998, <http://www.maschinenbau-service.de/teleservice/main/public/wt/videodiagnose.html>
- [WIEL97] Wieland J.: Service als Produkt. In "Maschinenbau-Nachrichten" 12/97, Fraunhofer-Institut für Automatisierung und Produktionstechnik, Stuttgart.
- [WORK99] Workshop der Automatisierungstechnik: Zukunftsaspekte, Industrie-PCs, Kommunikationsschnittstellen, Bussysteme, Automatisieren unter Windows, Ferndiagnose, Sensortechnik, SPS-Programmierung nach 1131-3, Simulation, Sicherheitsaspekte. Poing: Franzis, 1999, ISBN 3-7723-5564-1.
- [YDSL] http://dir.yahoo.com/Computers_and_Internet/Communications_and_Networking/Digital_Subscriber_Line_DSL_/ – DSL-Technologie.

- [YMOD] http://www.yahoo.de/Handel_und_Wirtschaft/Firmen/Computer/Hardware/Peripheriegeraete/Modems/ – Modems.
- [YISDN] http://www.yahoo.de/Computer_und_Internet/Kommunikation_und_Netzwerke/ISDN/ – ISDN.
- [YVIR] http://www.yahoo.com/Computers_and_Internet/Security_and_Encryption/Viruses/ – Viren.
- [ZEDAS] <http://www.pcsoft.de/dt/produkte/zedas/index.htm> – ZEDAS: Zustandserfassung-, Diagnose- und Archivierungssystem.
- [ZEDAS-M] http://www.pcsoft.de/dt/produkte/zedas/zedas_m/index.htm – ZEDAS-M: Das modellbasierte Diagnosesystem.

PATENTE

- /ERI94/ Patent Number: EP0630144: Erich, Anton; Device for providing services in a communication network; Publication date: 1994-12-21, Applicant: SIEMENS AG [DE].
- /SIEM/ Patent N°19540671 SIEMENS: Ferndiagnosevorrichtung und Verfahren zur Ferndiagnose für Spannungsversorgungs-Einrichtungen eines elektrotechnischen Gerätes.
- /SIEM/ Patent N°19547789 SIEMENS: Anordnung zur Ferndiagnose, insbesondere von Industrieanlagen.
- /P920/ Patent N°9207115 Kostengünstige telefonische Fernüberwachung von Geräten und Anlagen.
- /BGM+98/ Patent DE 197 13 583 A1: Busse, W.; Günter, E.; Meuser, P.; Moeck, E.: Verfahren und System zur Bestimmung der Lebensdauerressourcen einer Maschine insbesondere einer Windkraftanlage in der Betriebsführung zur optimalen Nutzung in der Betriebszeit; Deutsches Patentamt; 1998.

NORMEN

- [DIN636] DIN 636 Teil 2: Linear-Wälzlager; Dynamische und statische Tragzahlen, 1993.
- [DIN8165] DIN 8165 Förderketten mit Vollbolzen, 1992.
- [DIN8167] DIN 8167 Förderketten mit Vollbolzen für Stetigförderer, 1986.
- [DIN10816] DIN ISO 10816 Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messung an nicht rotierenden Teilen.
- [DIN15020] DIN 15020 Grundsätze für Seiltriebe, Blatt 2: Überwachung im Gebrauch, 1974.
- [DIN15201] DIN 15201 Stetigförderer, 1994.

-
- [DIN22101] DIN 22101 Gurtförderer für Schüttgüter, Grundlagen für die Berechnung und Auslegung, 1982.
- [DIN25424] DIN 25424 Fehlerbaumanalyse: Methode und Bildzeichen, 1981.
- [DIN25448] DIN 25448 Ausfalleffektanalyse, 1980.
- [DIN31051] DIN 31051 Instandhaltung, Begriffe und Maßnahmen, 1985.
- [DIN40041] DIN 40041 Zuverlässigkeit; Begriffe, 1990.
- [DIN45667] DIN 45667 Klassierverfahren für das Erfassen regelloser Schwingungen, 1969.
- [VDI-B11231] VDI Berichte Nr. 1231 VDI-Gesellschaft Werkstofftechnik: Bauteilschäden, Verschleiß und Verschleißschutz: Tagung Würzburg, 19./20. Okt. 1995/ Düsseldorf. ISBN 3-18-091231-6
- [VDI-B1463] VDI Berichte Nr. 1463 Langzeit- und Fernüberwachung von Bauwerken. P. Anderegg, R. Broennimann, M. Stahl, Duebendorf/CH; 1999.
- [VDI 2059] VDI-Richtlinie 2059: Wellenschwingungen.
- [VDI 2151] VDI-Richtlinie 2151: Betriebsfaktoren für die Auslegung von Zahnradgetrieben.
- [VDI 2246] VDI-Richtlinie 2246: Blatt 2: Konstruieren instandhaltungsgerechter technischer Erzeugnisse.
- [VDI 2335] VDI-Richtlinie 2335: Übersichtsblätter Stetigförderer, Kratzerförderer.
- [VDI 2381] VDI-Richtlinie 2381: Prüfung von Krananlagen; Merkblatt für Sachverständige.
- [VDI 2382] VDI-Richtlinie 2382: Instandsetzung von Krananlagen.
- [VDI 2411] VDI-Richtlinie 2411: Begriffe und Erläuterungen im Förderwesen.
- [VDI 2485] VDI-Richtlinie 2485: Planmäßige Instandhaltung von Krananlagen.
- [VDI 2888] VDI-Richtlinie 2888: Zustandsorientierte Instandhaltung.
- [VDI 3607] VDI-Richtlinie 3607: Bandförderer für Schüttgut, Überwachungseinrichtungen.
- [VDI 3822] VDI-Richtlinie 3822: Blatt 1; Schadensanalyse, Grundlagen, Begriffe und Definitionen, Ablauf einer Schadensanalyse.
- [VDI 3841] VDI-Richtlinie 3841: Schwingungsüberwachung von Maschinen mit rotierenden Massen; Erforderliche Messungen.
- [VDI 3972] VDI-Richtlinie 3972: Verfahren und Geräte zum Räumen von Mischanlagen.
-

Verwendete Formelzeichen

Lateinische Buchstaben

Symbol	Benennung der Größe	Einheit
a	Schwingbeschleunigung	m/s^2
\hat{a}	Spitzenwert der Schwingbeschleunigung	m/s^2
\tilde{a}	Effektivwert der Schwingbeschleunigung	m/s^2
b	Span- bzw. Grabbreite	m
c	Kohäsion für losen Zustand	N/mm^2
c_I	Kohäsion für verfestigten Zustand	N/mm^2
d	Kugeldurchmesser	mm
d_u	Durchmesser der Umlenkscheibe	mm
d_z	Zapfendurchmesser der Spannscheibe	mm
d_{zK}	Durchmesser des Kettenbolzens	mm
f_A	Schadenfrequenz am Außenring	Hz
f_I	Schadenfrequenz am Innenring	Hz
f_K	Schadenfrequenz am Käfig	Hz
f_S	Überrollfrequenz	Hz
f_W	Schadenfrequenz am Wälzkörper	Hz
g	Fallbeschleunigung	$9,81 \text{ m/s}^2$
Dh	Höhendifferenz	m
k_l	spezifischer Widerstand, bezogen auf 1 mm schneidende Messerlänge	N/mm
k_A	in auf 1 mm^2 Spanquerschnittsfläche bezogener spezifischer Grabwiderstand	N/mm^2
k_{auf}	Auflockerungsfaktor	-
k_f	Füllfaktor	-
k_M	empirischer Faktor zur Berücksichtigung der Zähnezah der Schaufel	-

k_Z	empirischer Faktor der Berücksichtigung des Mittelwertes des Grabwiderstandes und der Geschwindigkeit der Schaufel	-
l	schneidende Messerlänge	m
l_A	Schaufelabstand	m
n_S	gesamte Zahl der Schaufel am Untertrum	Stück
n_{SH}	Zahl der grabenden Schaufel im Einsatz auf der Länge der Haldenseite L_{HS}	-
n_Z	Zähnezahl der Schaufel	-
n_W	Anzahl der Walzkörper	-
o	Index Obertrum	-
q_E	Metereingenlast der Kette	kN/m
q_F	Metereigenlast der Schaufelfüllung	kN/m
q_K	Metereigenlast eines Kettenstrangs	kN/m
t_1	Maximale Grabtiefe	m
t_2	Mittlere Grabtiefe	m
t_S	Zeit einer Schaufelbewegung im Untertrum	sec
u	Index Untertrum	-
v_A	Absolutgeschwindigkeit	m/s
v_F	Fahrgeschwindigkeit	m/min
v_K	Kettengeschwindigkeit	m/s
v_Z	Zahngeschwindigkeit	m/s
x	Schüttungszahl	-
A	Spanquerschnittsfläche	m ²
AA	Ausleger-Achsabstand	mm
AAA	Achsabstand Auslegeraufhängung	mm
AAT	Achsabstand Trog	mm
D	Durchmesser	m
F_1	Kettenzug im Untertrum an der Auflaufstelle des Antriebstruras	kN
F_2	Kettenzug im Obertrum an der Ablaufstelle des Antriebstruras	kN
F_B	Bruchkraft der Kratzerkette	kN
F_{Gr}	Grabwiderstand allgemein	kN
$F_{Gr.ti}$	auf eine Kratzerschaufel bezogener tangentialer Grabwiderstand	kN

$F_{Gr.t,ges}$	gesamter mittlerer tangentialer Grabwiderstand	kN
$F_{Gr.n}$	normale Komponente des Grabwiderstandes allgemein	kN
$F_{Gr.t}$	tangentiale Komponente des Grabwiderstandes allgemein	kN
F_h	Hubwiderstände der Kette mit bzw. ohne Füllung	kN
$F_{K,max}$	maximale Kettenzugkraft	kN
F_p	Pulsierender Beschleunigungswiderstand	kN
F_r	Reibungswiderstand	kN
F_{SE}	Eigenlast einer Schaufel	kN
F_u	Umlenkwiderstand	kN
F_U	Umfangskraft	kN
F_V	Verschiebewiderstand	kN
F_{V_k}	Kettenvorspannkraft	kN
H_B	Haldenfußbreite	m
H_S	Länge der Haldenseite	m
I	Stromstärke	A
L_{HB}	Haldenfußbreite	m
L_{HS}	Haldenseite	m
M_a	Masse des Auslegers	kg
M_{Ke}	Masse der Kette für einen Strang	kg
M_{Sm}	Masse der Schaufel pro Meter	kg
N_w	Drehzahl der Welle	Umdr/min
P_A	effektive Arbeitsleistung (nach Kapitel 4.1.1)	kW
P_B	Leistung durch Gutbeschleunigung (nach Kapitel 4.3.1)	kW
P_F	effektive Arbeitsleistung	kW
P_{Gr}	Grableistung	kW
P_{Hub}	effektive Hubleistung	kW
P_K	Kettenantriebmotorleistung	kW
P_L	effektive Leerlaufleistung	kW
P_R	Leistung durch Reibungsverluste	kW
$\overline{P_R}$	Leerlaufleistung pro Meter Auslegerlänge	kW
P_V	Verschiebeleistung	kW
Q_{max}	größter Volumenstrom, aufgelockert	m ³ /h
Q_t	Massenstrom	t/h

S	Sicherheitsfaktor	-
S_B	Schaufelbreite	m
U	Spannung	V
V	Verfügbarkeit	-
V_n	Abbauvolumen	m ³
V_S	Abbauvolumen nach einer Schaufelbewegung	m ³
X	Fahrweg des Absetzers beim Aufschütten	m
Y	Versetzung des Absetzerauslegers quer zur Halde	m

Griechische Buchstaben

Symbol	Benennung der Größe	Einheit
α_1	Haldenschüttwinkel	Grad (°)
α_2	Winkel des Troges	Grad (°)
β	Neigungswinkel des Auslegers	Grad (°)
β_1	Berührungswinkel	Grad (°)
β_2	Winkel der Schrägstellung des Zahnes	Grad (°)
δ	Neigungswinkel der Bruchscholle	Grad (°)
ϵ	Winkel der Eingrenzung der horizontalen Ausdehnung der Bruchscholle an der Oberfläche des Salzblockes	Grad (°)
h_T	Gesamtwirkungsgrad des Turasantriebes	-
j	innerer Reibungswinkel für losen Zustand	Grad (°)
j_1	innerer Reibungswinkel für verfestigten Zustand	Grad (°)
m_F	Reibwert für Fördergutreibung	-
m_K	Reibwert Kette - Schiene	-
m_U	Reibwert Umlenkrollen und Kettengelenke	-
m_Z	Zapfenreibungswert	-
m_{ZK}	Gleitreibungsbeiwert des Kettenbolzens	-
p	Zahl p	3,1416
r	Schüttdichte	t/m ³

Schriftliche Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Insbesondere habe ich nicht die Hilfe einer kommerziellen Promotionsberatung in Anspruch genommen. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen.

Die Arbeit wurde bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form als Dissertation eingereicht und ist als Ganzes auch noch nicht veröffentlicht.

Magdeburg, 28.11.01

Sergiy Kaverynskyy

Anhang

Anhang I: Instandhaltung und Teleservice

- Tabelle I-1:** Anbieter und Anwender von multimedialen Fernservice-Diensten in der Produktionstechnik
- Tabelle I-2:** Teleservice-Aktivitäten
- Tabelle I-3:** Liste der Firmen, die Datenerfassung-, Visualisierungs-, Auswertungssoftware und Maschinendiagnose anbieten
- Tabelle I-4:** Firmen und Softwareprodukte zum Instandhaltungsprozess
- Tabelle I-5:** Einteilung von Sensoren nach der Messgröße und dem Messprinzip
- Tabelle I-6:** Datenübertragungsmethodenvergleich
- Bild I-1:** Eignung von Messgrößen zur Fehlerfrüherkennung
- Bild I-2:** Überwachungs- und Diagnosephilosophie nach ISO/CD 13379

Anhang II: Technische Diagnostik des Schüttgut-Materialflusssystemes

- Tabelle II-1:** Absetzer 04 EAD 02 - Technische Daten
- Tabelle II-2:** Portalkratzer 04 EAF 02 - Technische Daten
- Tabelle II-3:** Kohle-, Misch- und Stapelplatz - Technische Daten
- Tabelle II-4:** Störungen Gurtbandförderer (laut Hersteller) und Hinweise zur Störungsbeseitigung
- Tabelle II-5:** Entwurf einer Richtlinie für die Überwachung des Gurtfördererbetriebes
- Tabelle II-6:** Entwurf einer Richtlinie für die Überwachung des Kratzerbetriebes
- Tabelle II-7:** Entwurf einer Richtlinie für die Überwachung des Absetzerbetriebes
- Bild II-1:** Bandwaage-Messwerte im Halden-Abbauprozess (in t/h, 01.03.01 im Zeitraum 14:00 - 14:27)
- Bild II-2:** Visualisierung der Positionsänderung des Absetzers, 24-h-Darstellung
- Bild II-3:** Lagerplatzgeometrie, schematische Darstellung
- Bild II-4:** Änderung des Absetzer-Auslegerhub- und -Schwenkwinkels während der Aufschüttung (Wochendarstellung)
- Bild II-5:** Stromaufnahme eines Bandmotors des Absetzers

- Bild II-6:** Visualisierung der Positionsänderung des Kratzers, 48-h-Darstellung
- Bild II-7:** Änderung des Kratzerausleger-Hubwinkels (Wochendarstellung)
- Bild II-8:** Visualisierung der Kettenantriebsstromwerte
- Bild II-9:** Schwingungserregung durch Überrollen von Ermüdungsschaden [MELT01]
- Bild II-10:** Diagnosemerkmale zur monovariaten Bewertung des Wälzlagerzustandes [MELT01]
- Bild II-11:** Havarieanalyse, Zusammenstellung der Parameter, Klärung der Situation
- Bild II-12:** Havarieanalyse, Zusammenstellung der Parameter, Minutenbereich
- Bild II-13:** Verfolgung der Messverläufe zum Havariezeitpunkt
- Bild II-14:** Störungsursache – Start im falschen Betriebsmodus
- Bild II-15:** Störungssuche, Tag vorher

Anhang III: Teleservice-Projekt

- Bild III-1:** Datenkommunikationsschema Kraftwerk-Magdeburg
- Bild III-2:** Datenbank, Hauptmenü
- Bild III-3:** Datenbank, Wochenbericht Portalkratzer
- Bild III-4:** Datenbank, Wochenbericht Absetzer

Anhang IV: Auslegungsalgorithmen des Kratzerkettenantriebes

- Tabelle IV-1:** Auslegung der Leistung für Kettenantriebe bei Abbaukratzern, Hersteller-Methode
- Tabelle IV-2:** Auslegung der Kratzerkettenantriebe aufgrund der Schüttgutkennwerte nach D. Schirmer [Schi78]
- Tabelle IV-3:** Überarbeitete Tagebautechnik-Methode der Auslegung der Kettenantriebe für den Tiefschnitt
- Tabelle IV-4:** Stromaufnahme des Kettenmotors in Abhängigkeit vom Auslegerwinkel
- Bild IV-1:** Projektierte Portal-, Halbportal- und Seitenkratzer für Urea
- Bild IV-2:** Projektierte Portal-, Halbportal- und Seitenkratzer für Kohle
- Bild IV-3:** Projektierte Portal-, Halbportal- und Seitenkratzer für Gips

Tabelle I-1: Anbieter und Anwender von multimedialen Fernservice-Diensten in der Produktionstechnik [Mene97]

Anwendung	Funktionalität	Schnittstellen / Kommunikation	Dienstangebot
Werkzeugmaschinen	Ferndiagnosesysteme, Fernwartung	Videounterstützte Fernwartung und Fernsteuerung über PC-ISDN beim Betreiber.	Service für eigene Produkte
Maschinenbau, Rollendruckmaschinen	Fehlerbeseitigung, Software-Updates, Dokumententransfer, Überwachen beim Umrüsten	DFÜ vom Leitrechner (UNIX), Videokommunikation (mit Speziallösung MFKS: Multifunktionales Kommunikationssystem), 6 ISDN-Kanäle	Service für eigene Produkte, Speziallösungen für Großkunde
Maschinenbau, Papierverarbeitungs- Maschinen	Ferndiagnose, Fernunterstützung, Ersatzteilidentifikation, Beratung	Datenerfassungs- und Diagnose-PC mit Multimedia-Dokumenten, DFÜ von Einzelbildern (Scanner) und Daten zur Servicezentrale	Weltweiter Service, für eigene Produkte
Maschinenbau, Umformtechnik	Bedienerunterstützung, -schulung, Fernanzeige von Dokumenten, Ersatzteilkatalogen	Multimedia-Arbeitsplatz (UNIX-Workstation, Scanner, CSCW, Video-Konferenzen)	Service für eigene Großraumtransferpresse
Automobilbau, Entwicklungsabteilung	Unterstützung zur Produktentwicklung	Telecomputing zur 3D-Crashanimation (-simulation) auf Computer	Zusammenarbeit mit dem Rechenzentrum der TU Berlin
Flugzeughersteller	Wartung und IH von Flugzeugen, Erfassung und Bearbeitung von Befunden, Zugriff auf technische Dokumentation	MM-IH-System mit Zugriff auf Bediener-, Inbetriebnahme- und Wartungshandbücher, UNIX-Workstation, PC mit TCP/IP Ethernet, ISDN oder ATM	Weltweiter Service (Servicezentrale-Flughäfen) für eigene Flugzeuge
Anlagenbau, Zementwerk	Unterstützung vor Ort bei Projektierung, Montage, Inbetriebnahme, Fernwartung	PC-Videokonferenzen-System (Media-Kit), Standardschnittstellen	Weltweiter Service für eigene Anlagen (z.B. Malaysia)
Instandhaltung von Anlagen	Modulares Diagnose- und Instandhaltungssystem	Mobile sprach- und rechnergesteuerte Bedienerführung, Online-Unterstützung des Instandhalters vor Ort von der Servicezentrale	Engineering- und Serviceunternehmen

Tabelle I-2: Teleservice-Aktivitäten

Projekt/ Aktivität	Inhalt	Beteiligte Projektpartner/ Inhalt	siehe auch
Allegro Software Development Corporation	Liste der Firmen, die Ihre Geräte mit Web-Browsern bedienen		http://www.ultranet.com/~rompager/Innovators.html
BMBF	Leitfaden für Maschinen- und Komponentenhersteller und deren Kunden, der kleinere und mittlere Unternehmen bei der Einführung von Teleservice unterstützt	BMBF, Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (FhG-ISI) in Karlsruhe, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH	http://www.isi.fhg.de/pr/pres1997/pres9707.htm
Initiative	Initiative Informationsgesellschaft Deutschland	Ein Serviceangebot des Bundesministerium für Bildung und Forschung	http://www.iid.de/
Fraunhofer IPK	Projekte mit CNC-Technik		http://www.ar.ipk.fhg.de/STT/projects/projects.html
Maschinenbau-Service	Publikationen zum Thema Teleservice		http://www.maschinenbau-service.de/ts/publik/publikationen.html
OKTEL	Offener komponentenbasierter Teleservice am Beispiel von Textilmaschinen, 01.04.98 - 01.03.00	6 Unternehmen aus den Bereichen Maschinen- und Anlagenbau, Elektrotechnik, 1 Forschungsinstitut	http://www.oktel.de
Paradoxien	Paradoxien im Teleservice, eine nicht technische Abhandlung, die zum Nachdenken anregt		http://www.Sabine-pfeiffer.de/link-Dokumente/FP_GMA.html
Forschungszentrum Karlsruhe GmbH	Liste der Teleservice-Projekten im Rahmen des Konzeptes "Produktion 2000"		http://fifserver.iai.fzk.de/pft/
S3-BaWü	Service Support System für den Maschinenbau	3 Unternehmen	http://www.teleservice.iao.fhg.de
Service-Initiative	Service-Initiative Maschinenbau in Baden-Württemberg	Instituten und Maschinenbau-Firmen der Region	http://www.maschinenbau-service.de/
Solaranlage	Teleservice-Solalanlage	Fachhochschule Gelsenkirchen	http://193.175.175.187:4001/
STRAGUS	Strategien zur Unterstützung von Inbetriebnahme und Service komplexer Anlagen für Produktion und Dienstleistungen	Beteiligte Projektpartner: 7 Unternehmen + 1 Hochschule	http://www.aditec.rwth-aachen/Projekte/STRAGUS/STRAGUS.htm
Studie	Teleservice für die Produktion	Potentiale und Umsetzungshilfen	http://www.iai.fzk.de/pft/pftd8_best_186.htm
TeSMA	Teleservice für Maschinen und Anlagen	7 Unternehmen aus den Bereichen Baumaschinen (mobile Maschinen), Anlagenbau und Systemgeschäft, 1 Hochschule	http://www.iai.fzk.de/pft/pftd34/pftd34_tsma.htm
TELeC	Teleservice für Baustellenmontage und Kundenbetrieb	Unternehmen aus den Bereichen Maschinenbau, Anlagenbau und Systemgeschäft, 3	http://www.lps.ruhr-uni-bochum.de/telec/
University of Toronto, Materials and Manufacturing Ontario (MMO)	Condition-Based Maintenance Website	Industrial Maintenance, Quality Control	http://www.me.utoronto.ca/labs/cbm
VDMA	Informationsserver des VDMA	Teleservice für die industrielle Produktion	http://www.vdma.org/deutsch/teleservice/

Tabelle I-3: Liste der Firmen, die Datenerfassungs-, Visualisierungs-, Auswertungssoftware und Maschinendiagnose anbieten

Firma/Organisation	Produkt	Schlüsselwörter	Anwendungsgebiet	siehe auch
Algo Vision Systems GmbH	Dienstleistung	Bewegtbildübertragung, Fehlerquelleerfassung	Maschinenbau, Chemische Industrie, Distance learning	http://www.algovision.de
AMS Gesellschaft für angewandte Mess- und Systemtechnik mbH	jBEAM™	Messen, Analyse, Visualisierung mit Java-Applets	Messtechnik	http://www.AMSonline.de
BMT Bosch Ingenieurbüro	BMT/M3, C.E.M	zeitgerechte Instandhaltung	Maschinenbau, Luftfahrzeuge mit Kolbenriebwerken	http://home.t-online.de/home/Dieter.Bosch/
Danaos Management Consultants Ltd.	Monitoring system	condition based maintenance		http://www.danaos.gr/demos/monitor.html
DATALOG Systeme zur Messwerterfassung GmbH & Co. KG	DASYLab	Messwerterfassung	Messtechnik, Automatisierungstechnik	http://www.datalog-kg.de
DDC Maschinendiagnose, Meß- & Sensortechnik GmbH	Dienstleister	Maschinendiagnose, Messwerterfassung	Antriebstechnik	http://www.ddc-rostock.de/wir/wir_ueber_uns.html
DMT GmbH	Dienstleistung	Maintenance Technologies	kundenspezifische Lösungen	http://www.dmt.de
Dr. Burkhard Welzel	Dienstleistung	Telearbeit/Telekooperation	kundenspezifische Lösungen	http://www.tsw.de/
Deltalogic GmbH	ACCON-TeleControl	Fernwartung, Automatisierung	Fernwartung von SPS-Systemen	http://www.deltalogic.de/d/index.htm
DYNAMiX Ingenieurdienstleistungen und Technologien GmbH	Dienstleister	Schwingungsmessungen, Strukturanalyse	Beispiel: Windkraftanlagen	http://www.dynamix.de/
FER/ SYMACON Elektronik+Automation GmbH	Telematik, Teleservice und Teleengineering	Ferüberwachung, Ferndiagnose, Fernsteuerung	Fertigungs-, Montageanlagen, Deponien, Transpottechnik	http://www.fer.de/aktuell/09-99-1-1.html
Flender Esat	ESAT-InterMac	Schwingungsdiagnose	Condition Monitoring via Internet	http://www.esat-cm.de/
GfM Gesellschaft für Maschinendiagnose	Dienstleister	Maschinendiagnose aller Art	Maschinenbau	http://www.maschinendiagnose.de/
GFS GmbH & Co. KG	DIAdem	Messen, Visualisierung, Auswertung	Produktionstechnik	http://www.gfs-ac.de
IMC GmbH	FAMOS	Visualisierung, Auswertung, Analyse	universal einsetzbar	http://www.imc-berlin.de
Mitsubishi International GMBH	RASS	embedded web server	Maschinensteuerung über Internet	info.iec@mitsubishi-international-iss.de
PC-SOFT GmbH	ZEDAS	Erfassung, Datenarchivierung, Trendanalyse, Alarmierung	universal einsetzbar	http://www.pcsoft.de
ProCom Systemhaus und Ingenieurunternehmen GmbH	VANESSA	Notfallerkennung, Steuerung, Störungsanalyse von Anlagen	Anlagen jeder Art	http://www.procom.de/
IBH RWTH Aachen	DIAMIS	Lager- und Getriebediagnose	Diagnosessystem für Maschinen im Strebbereich	http://www.ibh.rwth-aachen.de
SINUS Messtechnik GmbH	dBTRAIT	Lärm-Meßtechnik, Datenerfassung, Datenauswertung	Maschinen-Diagnose	http://www.messpunkt.de/
wwl internet AG		Erfassen, Beobachten, Steuern, Protokollieren per Internet		www.flowchief.com , www.wwl.de

Tabelle I-4: Firmen und Softwareprodukten zum Instandhaltungsprozess

Firma	Produkt	Beschreibung	siehe auch
CIP Eckel GmbH	netC4	Softwaremodule zur Verwaltung der betriebswirtschaftlichen Kernprozesse	http://www.netag.de/indexuni.html
Datastream Systems GmbH & Co KG	MP2, MP5	Instandhaltungssoftware	http://www.dstm.co.uk/german/
Ergonomie-Netzwerk	BOF	Instandhaltungsstrategien, Optimierung von Instandhaltungsmaßnahmen	http://www.ergonetz.de/maintenance/
Frontec Deutschland GmbH	APIPRO	Softwaresysteme für Instandhaltung und Warenwirtschaft	http://www.frontec.de
Gamed Gesellschaft für angewandte Mathematik und EDV mbH	IPC	Planung, Steuerung und Durchführung der Instandhaltung	
INNOSOFT GmbH	INNOSOFT	Software für die Auftragsleitstelle und das Servicemanagement	http://www.innosoft-do.de
PC-SOFT GmbH	ZEDAS-i	Planung, Steuerung und Durchführung der Instandhaltung	http://www.pcsoft.de
Piepenbrock Serviceleistungen GmbH u. Co. KG	IDAS	Instandhaltungs-Daten-Analyse-System	http://www.kunswork.de/idas
PROCAD GmH & Co. KG	PRO*FILE	Instandhaltungsplanung	http://www.biz-talk.org
SAP AG	SAP/R3	System und Anwendungen für die Datenverarbeitung	http://www.sap-ag.de
Siemens AG	WebCC	Leittechnik via Internet	http://www.siemens.de
WBI GmbH Wissenschaftlich-Technisches Büro für Instandhaltung	ELBEBUCH	Elektronisches Betriebshandbuch für den Betrieb von Maschinen, Anlagen und Gebäuden, Dokumentenverwaltungssystem, Instandhaltungsplanung, Arbeitsvorbereitung, Fehlersuche	
WinPeak Software GmbH		Unterstützt des gesamten Vertriebsprozesses, Kundendienst, Servicebereich	http://www.winpeak-software.com
C.E.B.Höchst Computer Engineering Beteiligungsgesellschaft	MAINSAYER	Software-Paket zur Planung, Durchführungsunterstützung und Kontrolle von Wartungs- und Instandhaltungsprozessen	http://www.ceb-hoechst.de/
VA TECH Anlagenservice Deutschland GmbH		Instandhaltung und Service von Maschinenkomponenten und technischen Anlagen	http://www.anlagenerhaltung.de/navframe.htm

Tabelle I-5: Einteilung von Sensoren nach der Messgröße und dem Messprinzip

Grundgröße	Messgröße
Mechanische Größen an Festkörpern	Länge, Höhe, Breite, Winkel, Absand, Dicke, Durchmesser, Form, Spannung, Torsion, Dehnung, Härte, Dichte, Drehmoment, Druck, Masse, (Gewichts)-Kraft, Schwingung, Weg, Geschwindigkeit, Beschleunigung
Mechanische Größe an Flüssigkeiten und Gasen	Dichte, Druck, Viskosität, Volumen, Strömungsgeschwindigkeit, Durchfluss
Thermische Größe	Temperatur, Wärmeleitung, Wärmestrahlung
Akustische Größen	Schalldruck, Schallgeschwindigkeit, Intensität, Schallfrequenz
Elektrische Größen	Strom, Spannung, Leistung, Induktivität, Kapazität, Widerstand, Frequenz, Phase
Magnetische Größen	Induktion, Ort, Orientierung, Permeabilität
Optische Größen	Wellenlänge, Farbe, Intensität, Polarisation, Reflexion, Absorption
Kernstrahlung	Strahlungsenergie, Ionisationsgrad
Chemische Größen	Feuchtigkeit, Konzentration, pH-Wert, Reaktionsgeschwindigkeit

Messprinzip	Anwendung
Akustisch	Körperschallanalyse
Ultraschallakustisch	Abstands-, Dickenmesssysteme, Füllstansmessung, Ultraschallspektrometrie zur Partikelgrößenanalyse
Induktiv	Wegaufnehmer, Beschleunigungsaufnehmer, berührungsloser Drehschwingungsaufnehmer, Wirbelstrom-Abstandsaufnehmer
Kapazitiv	Kapazitiver Druck- Kraft- und Beschleunigungsaufnehmer
Magnetostatisch	Hall-Sonde
Piezoelektrisch	Piezoelektrischer Kraft- und Beschleunigungs-Aufnehmer
Optisch	Photometrischer Öl- und Trübungsmelder, Infrarot-Sensor für berührungslose Temperaturmessung
Laseroptisch	Laser-Distanzmesser, Laser-Abstandsmesssystem
Thermoelektrisch	Thermoelement
Widerstand	DMS-Kraftaufnehmer, DMS-Drehmomentaufnehmer, Thermometer

Tabelle I-6: Datenübertragungsmethodenvergleich

Stand: 12.2000

	Analog (Modem)	ISDN	Satellitenterminal (Satellitentelefon)	Inmarsat M	Inmarsat B	Internet		
Reichweite	weltweit	ISDN-Support	weltweit	weltweit	weltweit	weltweit		
Genehmigung	nein	nein	nein	nein	nein	nein		
Bemerkung	Bereitstellung der Leitung durch den Kunden	Bereitstellung der Leitung durch den Kunden	Inmarsat Phone	Feststation, Aktenkoffer-Version		Bereitstellung der Leitung zum Internet durch den Kunden		
	Inland	Inland						
Einrichtungsgebühr, DM	nein	100 DM	6.390 DM	12.000 DM	50.000 DM	50 DM		
Geräte, DM	Modem , 2 Stück 400 DM	Router 1.500 DM	Antenne + Sende- und Empfangseinheit					
Investitionskosten	400 DM	1.600 DM	6.390 DM	12.000 DM	50.000 DM			
Monatlicher Grundgebühr, DM:	25 DM	65 DM	25 DM	23 DM	46 DM	Wähl- Verbindung Standleitung	30 DM 120 DM	
Datenübertragungsrate (Bit/s)	56600 max	64000 max	2400	2400	64000	verbindungsabhängig		
Verbindungskosten DM/Minute	0,09	0,19	4,19	5,65	6,2	0,19		
Übertragungszeit in Minuten für XX Mb:	49,40	43,69	1165,08	1165,08	43,69	nicht abschätzbar		
20								
in Stunden	0,82	0,73	19,42	19,42	0,73			
Kosten in DM für XX Mb	4,45 DM	8,30 DM	4.881,70 DM	6.582,73 DM	270,88 DM			
Y Mal pro Monat								
4	18 DM	33 DM	19.527 DM	26.331 DM	1.084 DM			
Betriebskosten im Jahr	213 DM	398 DM	234.322 DM	315.971 DM	13.002 DM	nicht abschätzbar		
Gesamtkosten (1.Jahr)	613 DM	1.998 DM	240.712 DM	327.971 DM	63.002 DM	nicht abschätzbar		

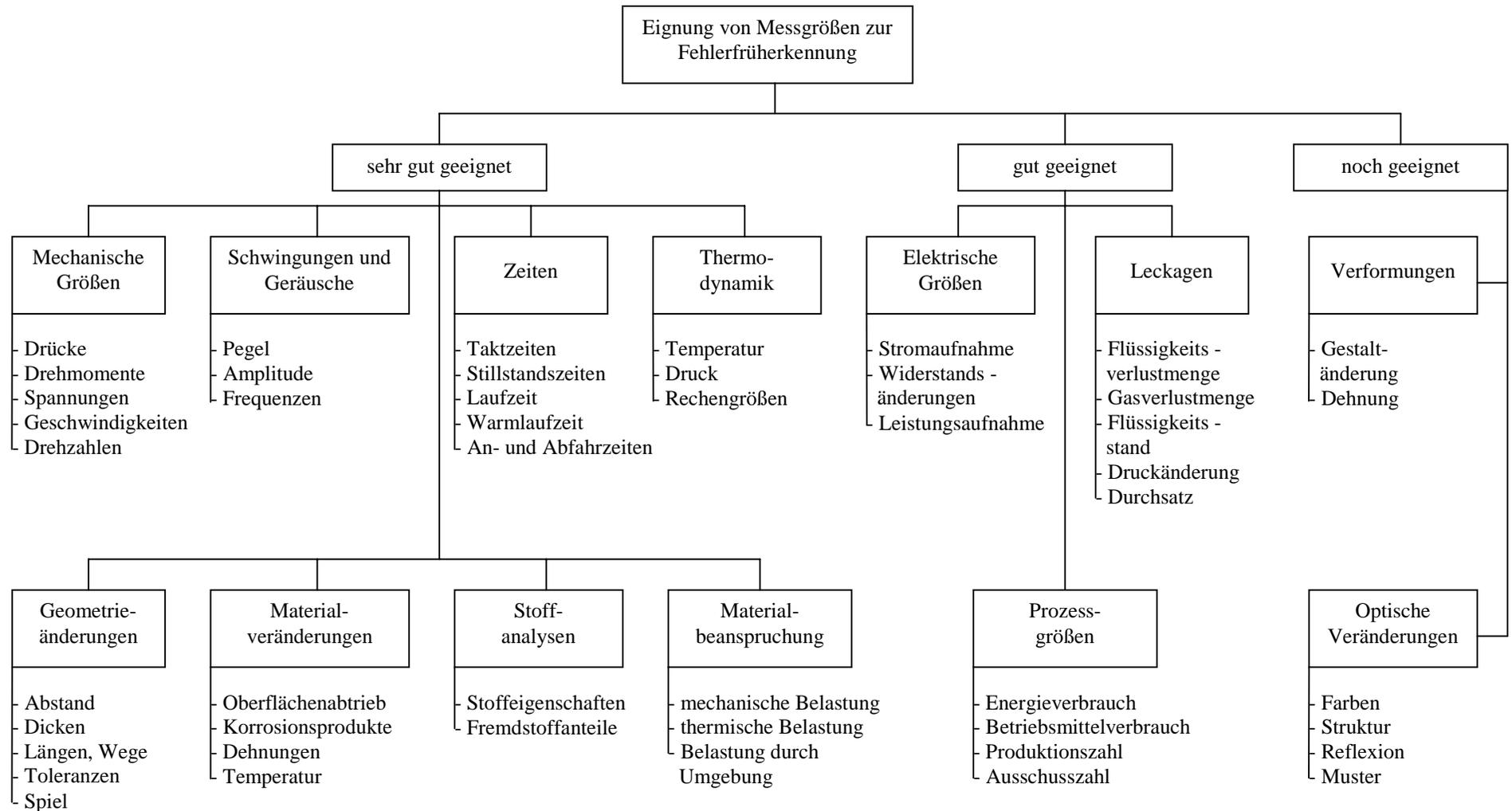


Bild I-1: Eignung von Messgrößen zur Fehlerfrüherkennung [SCHN85]

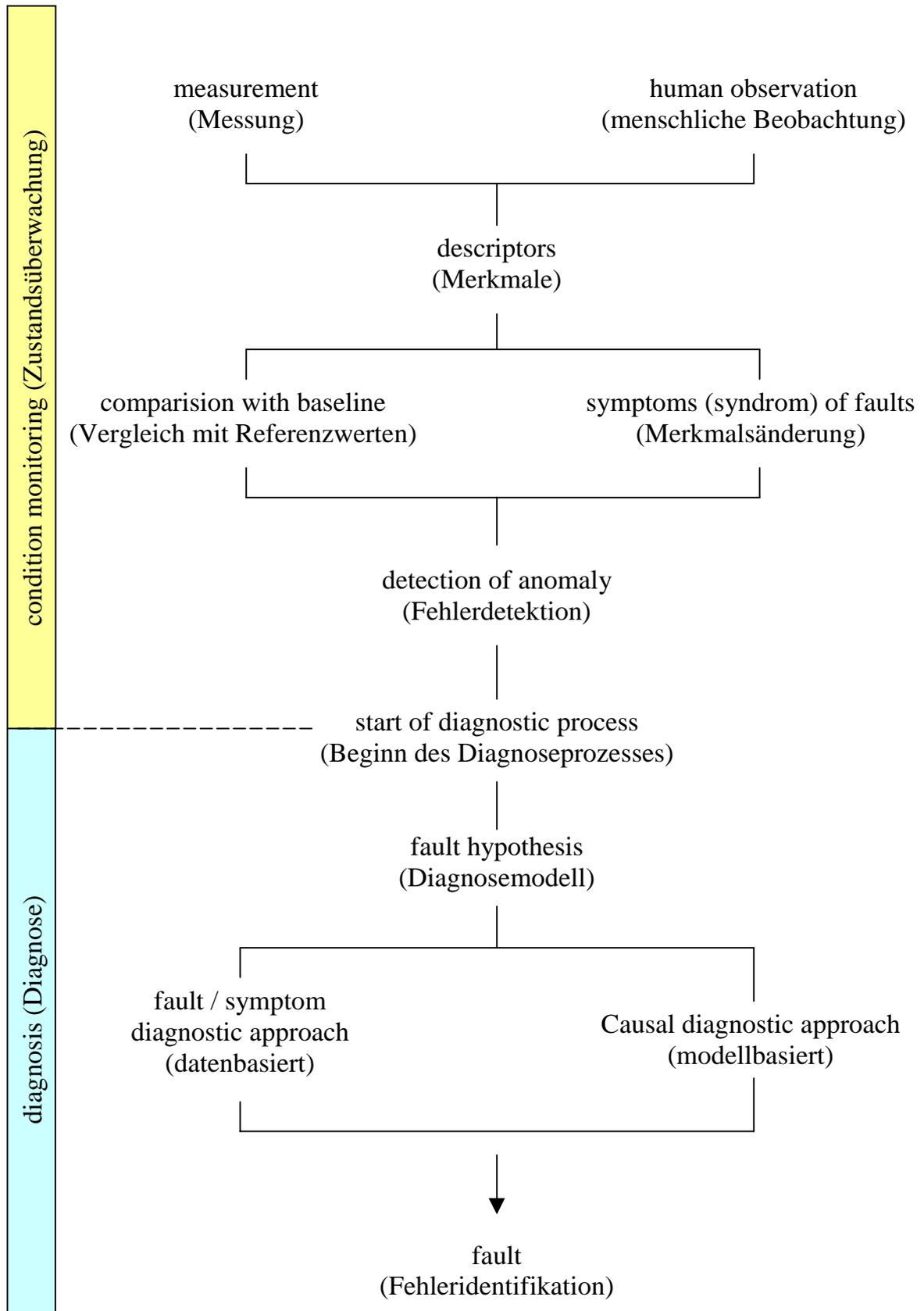


Bild I-2: Überwachungs- und Diagnosephilosophie nach ISO/CD 13379

Tabelle II-1: Absetzer 04 EAD 02 - Technische Daten

	Maximale Förderleistung:	1000 t/h
	Fördergut:	Steinkohle
	Körnung:	0 bis 50 mm
	Schüttgewicht:	0,8 bis 0,85 t/m ³
	Schüttwinkel:	36 bis 40°
Auslegerband		
	Auslegerlänge von Drehmitte:	38,5 m
	Achsabstand:	41 m
	Auslegstellung:	-6 bis +18°
	Abwurfhöhe:	~ 22,7 m
	Gurtbreite:	1.200 mm
	Gurtgeschwindigkeit:	2,82 m/s
	Muldung obere Tragrollen:	35°
	Muldung untere Tragrollen:	10°
	Aufgabebereich:	
	Fahrgeschwindigkeit bei Leerfahrt:	max. 20m/min
	Fahrgeschwindigkeit beim Einstapeln: und Positionieren:	1-2 m/min (frequenzgeregelt)
	Anzahl der Schienenzangen:	2 Stück
	Spurweite (Mitte bis Mitte Schiene)	6100 mm
	Fahrweg:	max. 242 m
Auslegerhubwerk		
	Art des Hubwerkes	Hydraulisch
	Hubgeschwindigkeit	6,1 m/s
Schwenkwerk		
	Schwenkwerkbereich des Auslegers:	115°
	Schwenkgeschwindigkeit:	15 m/min (frequenzgeregelt)
Antriebsleistung		
	Gurtförderer	
	install. Motorleistung	2 x 37 kW = 74 kW
	Fahrwerke	
	install. Motorleistung	12 x 4 kW = 48 kW
	Auslegerhubwerk	
	install. Motorleistung	15 kW
	Schwenkwerk	
	install. Motorleistung	2 x 4,0 kW = 8,0 kW
Gewichte	Ballast	35 t

Tabelle II-2: Portalkrater 04 EAF 02 - Technische Daten

	Maximale Förderleistung:	1000 t/h
	Fördergut:	Steinkohle
	Körnung:	0 bis 50 mm
	Schüttgewicht:	0,8 bis 0,85 t/m ³
	Schüttwinkel:	36 bis 40°
Ausleger		
	Auslegerlänge:	47,9 m
	Auslegstellung:	0 bis 41°
Fahrwerk		
	Fahrgeschwindigkeit bei Leerfahrt:	max. 20m/min
	Fahrgeschwindigkeit bei Lastfahrt:	0,22 bis 3 m/min
	Anzahl der Laufräder Absetzer:	10 Stück
	davon angetrieben:	9 Stück
	Laufraddurchmesser Festseite:	800 mm
	Losseite:	630 mm
	Anzahl der Schienenzangen:	2 Stück
	Spurweite (Mitte bis Mitte Schiene)	56,2 mm
	Fahrweg:	274,2 m
	max. Raddruck vertikal:	~ 45 t
	max. Druck horizontal:	± 30 t
	Fahrschienen:	A 100
Antriebskettenräder		
	Zähnezahl:	13
Kratzerkette		
	Schaufelabmessung:	2.500 x 500
	Kettenteilung:	315 mm
	Kettengeschwindigkeit:	0,7 m/s
Auslegehubwerk		
	Art des Hubwerkes	E-Zug
	Hubgeschwindigkeit (Schnellgang)	0,26 m/s
	Hubgeschwindigkeit (Arbeitsgang)	0,026 m/s
Antriebsleistung		
	Kratzerkette: install. Motorleistung:	2 x 110 kW = 220 kW
	Fahrwerke: install. Motorleistung:	8 x 7,5 kW = 60 kW
	Auslegerhubwerk: install. Motorleistung:	25/2,5 kW
Gewicht	Gesamtgewicht:	ca. 310 t

Tabelle II-3: Kohle-, Misch- und Stapelplatz - Technische Daten

Anzahl der Halden:	2 Stück
Haldenhöhe:	20,7 m
Haldenlänge:	2 x 147 m
Haldenfußbreite:	51 m
Haldenquerschnittsfläche:	547 m ² bei 38° Schüttwinkel
Haldenkapazität:	2 x 57.000 t

Tabelle II-4: Störungen Gurtbandförderer (laut Hersteller) und Hinweise zur Störungsbeseitigung

Lagererwärmung	
	Zu große Fettmenge im Lager (Fett entfernen und nachfüllen laut Schmierplan)
Lagergeräusche und erhöhte Temperaturen an den Lagerstellen: Tragrollenstationen, Gurttrommellager	
	Lagerschaden (Lager austauschen)
Ausfall der gesamten Förderstrecke	
	Spannungsausfall
Schieflauf	
	Unsymmetrische Beschickung
	Anbackungen an Umlenk-, Ablenk-, Spann- oder Antriebstrommeln
	Schief geklebter Gurtstoß
	Schiefstellung der Spanntrommel und/oder der Tragrollenstationen
	Einseitige Abnutzung einer gummierten Gurttrommel
Gurtschäden	
	Zu starker Schieflauf (Schieflauf beseitigen)
	Fremdkörper in Abwurfkästen (Fremdkörper beseitigen)
	Defekte Gurtreiniger (auswechseln, ggf. nachstellen)
Ausfall eines Gurtförderers	
	Überlast
	Antriebsgruppe bzw. Getriebemotor defekt (Austausch vornehmen)
	Umlaufkontrollgerät oder Endschalter defekt (Einstellungen überprüfen ggf. austauschen)
Unruhiger Lauf einer Gurttrommel	
	Unwucht bzw. Rundlauffehler der Trommel (Trommel auswechseln)
	Schäden an den Gurttrommellagern (Gurttrommellager reparieren oder wechseln)
Gurttrommel rutscht	
	Freigängigkeit der Spanntrommel kontrollieren (Gurt nachspannen)

	Gurttrommel verölt (Gurttrommel bzw. Fördergurt reinigen)
	Spannen des Gurtes nicht mehr möglich (Gurt kürzen)
Unruhiger Lauf der Tragrollenstation	
	Unwucht bzw. Rundlauffehler der Tragrollen (Tragrollen wechseln)
	Schweißnahtfehler am Tragrollenboden (Tragrollen wechseln)
Abstreifer reinigen den Gurt nicht mehr	
	Abnutzung oder falsche Einstellung der Abstreiferelemente (Abstreiferelemente nachstellen oder austauschen)

Tabelle II-5: Entwurf einer Richtlinie für die Überwachung des Gurtfördererbetriebes

Anlage	Baugruppe/Bauteile	Zustandsparameter	Zweck, Auswertung, Schlussfolgerung	Messung	Anzahl	KS
Gurtförderer						
	Sicherheitsmeldungen zur Gewährleistung der Funktion					
		Metalldetektormeldung	Metallische Fremdkörper im Schüttgut	Metalldetektor	1	2
		Seilzugnotschaltermeldung	Unfallschutz, Vermeidung von Folgeschaden	Seilzugnotschalter	1	1
	Betriebsmeldungen der Anlage					
		Förderleistung	Sollwertüberwachung	Bandwaage	1	1
	Elektromotor					
		Betriebsdauer	Einsatzdauer im Betrieb	SPS-Wert	1	1
		Wicklungstemperatur	Registrierung der Grenzüberschreitungen	Pt100	1	3
		Motorstrom	Belastung des Motors, Abschaltung bei der Überlastung	SPS-Wert	1	1
		Schwingungen	Lagerzustand	Beschleunigungsaufnehmer	1(2)	3
		Lagertemperatur	Lagerzustand	Pt 100	1	3
	Doppelbacken-Bremse					
		Bremskraft	fälsche Einstellung der Bremsfeder Bremskraft zu gering	DMS-Meßbolzen	2	3
		Temperatur	bei Überschreitung des Grenzwertes: Bremsbeläge überhitzt bei Temperaturunterschieden zwischen beiden Bremsbacken: Bremsbeläge schleifen	Pt100	2	3
		Verschleiß	die Restdicke des Bremsbelages nicht mehr ausreichend, die Bremsbacken müssen gewechselt werden	Kontaktbrücke (Öffnerkontakt)	2	3
		Drehzahl	zulässige Bremsdrehzahl überschritten zulässige Bremszeit überschritten	Impulsgeber		3
		Weg	Reservehub der Bremse zu klein: die Bremse muss nachgestellt werden Bremse gelüftet bzw. geschlossen	Wegsensor	1	3
	Getriebe					
		Schwingungen	Verzahnungszustand (Verschleiß, Zahnausbruch, Zahneingriffsfehler) Lagerzustand (Schaden, Verschleiß)	Beschleunigungsaufnehmer	1(2)	3
		Getriebeöl-Temperatur	Getriebeöltemperatur	Pt100	1	2
		Lagertemperatur	Lagertemperatur	Pt100	1(2)	2
		Ölmenge und Ölstand	Wechsel-Notwendigkeit wegen der Verschmutzung		1	2
	Kupplung					
		Kupplungsschlupf bei Strömungskupplungen	Abschaltung des Antribes		1	3
	Trommel					

Anlage	Baugruppe/Bauteile	Zustandsparameter	Zweck, Auswertung, Schlussfolgerung	Messung	Anzahl	KS
		Trommellagertemperatur	Temperaturüberwachung	Pt 100	2	2
		Lagerschwingungen	Zustandsüberwachung	Beschleunigungsaufnehmer	1 je Lager	3
	Tragrollen					
		Temperatur	vorbeugender Brandschutz	Thermovisionskamera	1	3
		Lagerschwingungen	Zustandsüberwachung	Beschleunigungsaufnehmer	mobil	3
	Gurt des Gurtbandförderers					
		Gurtspannung	Grenzwertüberwachung	Kraftmessdose/ Hydraulik	1	1
		Schieflauf	Vermeidung der Kantenbeschädigungen	Schieflaufschalter		1
		Gurtschlupf durch die Drehzahlerfassung	bei Überschreitung einer zulässigen Drehzahldifferenz ist zu warnen bzw. das Band abzuschalten	Drehgeber	1	1
		Bandlaufwächtermeldung	Überwachung der Laufgeschwindigkeit	Bandlaufwächter		1
		Spannweg	Gurtlängung	Endschalter	1	1

Komplexitätsstufe 1

Standardausrüstung im normalen Fall ohne besonderen Anforderungen zur Betriebsüberwachung

Komplexitätsstufe 2

Standardausrüstung im normalen Fall, zusätzlichen Sensorik für die Überwachung des laufenden Zustandes

Komplexitätsstufe 3

Standardausrüstung im normalen Fall, zusätzliche Sensorik für die Überwachung und umfassende Diagnose des laufenden Zustandes, die Möglichkeit der Trendentwicklungserkennung

Tabelle II-6: Entwurf einer Richtlinie für die Überwachung des Kratzerbetriebes

Anlage	Baugruppe/Bauteile	Zustandsparameter	Zweck, Auswertung, Schlussfolgerung	Messung	Einbauort	Anzahl	KS
Portalkratzer/ Kratzer							
	Sicherheitsmeldungen						
		Sicherheits-Endschaltermeldung	Vermeidung der Folgeschaden	Endschalter, mechanisch	Fahrwerk, Hubwerk		1
		Betätigung von Notschalter	Registrierung der Havariesituationen	Not-Aus Taster, mech	Kratzer		1
Betriebsmeldungen der Anlage							
		Abbauleistung	Sollwertüberwachung	Bandwaage am Auslagerungsband		1	1
Fahrwerk							
		Fahrwerk Schiefelauf	Schiefelauf	Differenz aus 2 Drehgeber, SPS	Fahrwerk Losseite	1	1
		Einschaltdauer	Zeit im Einsatz in Betriebsstunden	SPS		1	1
		Position/Fahrwegmessung	Erfassung des gesamten Anlagen-Fahrweges	Drehgeber, mech	Kratzerausleger/Drehpunkt	2	1
		Begrenzung Fahrende	Erkennung Fahrwegende	Endschalter, mech	Kopfräger Festseite	2	1
		Begrenzung Haldenende	Haldengrenzenerkennung	Endschalter, mech	Kopfräger Festseite		1
		Schaltpunkt Begrenzung Haldenende		Schaltmagnet	Bauseits	2 je Halde	
		Haldenwechsel	Erfassung Haldenwechsel	Endschalter	Kopfräger Festseite	1(2)	1
		Schaltpunkt Erfassung Haldenende		Schaltmagnet	Bauseits	1(2)	1
Hubwerk							
		Einschaltdauer	Zeit im Einsatz in Betriebsstunden	SPS		1	1
		Seilspannung	Spannungszustand (Schlaffkabel, Überlastsicherung)	Kraftmessdose		1	2
		Hubwinkel Ausleger	Erfassung Hubwinkel	absoluter Drehgeber	Kratzerausleger/Drehpunkt	1	1
			Abbau bei min. Auslegerstellung anhalten				
		Hub-, Senkbegrenzung	Erreichen der Grenzposition heben/senken	Endschalter	Kratzerausleger/Drehpunkt	2	1
		Erfassung für Abböschungssteuerung		Ultraschallsonde	Am Hauptausleger	2	1
		Überschüttung Kratzerausleger	Registrierung des Überschüttungszustandes	Ultraschallsonde	Am Hauptausleger	2	1
Kettenantrieb							
		Strom des Kettenmotors	Belastungszustand	SPS		1 je Motor	1
		mechanisches Moment	Überwachung der Kettenzugkraft	DMS		1 je Motor	2
Kratzerkette							
		Umlaufkontrolle Kratzerkette	Schaufelzahlkontrolle	Initiator, ind		1 je Kette	1
		Kettenschmierung	Initiator für Schmierimpulse	Initiator f. Schmierimpulse, ind	über Kette	1 je Kette	2
		Kettenspannung	Überwachung des Sollwertes (Zusammenhang mit der Hubwerkstellung)	durch Spannvorrichtung			2
		Meldung Kette lose	Spannvorrichtung Kette	Endschalter, mech	Spannvorrichtung Kette	1 je Kette	1
		Kettenverschleiß	durch die Kettenverlängerung	Endschalter, mech		1 je Kette	3

Anlage	Baugruppe/Bauteile	Zustandsparameter	Zweck, Auswertung, Schlussfolgerung	Messung	Einbauort	Anzahl	KS
	Hydraulik						
		Zylinderdruck	Überwachung des Sollwertes (im Zusammenhang mit der Auslegerstellung)		Zylinder	1	2
	Zentralschmieranlage						
		Öl-Druck	Überwachung des Sollwertes		Zentralschmieranlage	1	3
		Ölmenge	Überwachung der Ölmenge		Zentralschmieranlage	1	3
	Schienezangen						
		Druck	Erkennung von Leckagen bei dem häufigen Nachpumpen	SPS-Wert	Schienezangen	1	3

Komplexitätsstufe 1 Standardausrüstung im normalen Fall ohne besonderen Anforderungen zur Betriebsüberwachung

Komplexitätsstufe 2 Standardausrüstung im normalen Fall, zusätzliche Sensorik für die Überwachung des laufenden Zustandes

Komplexitätsstufe 3 Standardausrüstung im normalen Fall, zusätzliche Sensorik für die Überwachung und umfassende Diagnose des laufenden Zustandes, die Möglichkeit der Trendentwicklungserkennung

Tabelle II-7: Entwurf einer Richtlinie für die Überwachung des Absetzerbetriebes

Anlage	Baugruppe/Bauteile	Zustandsparameter	Zweck, Auswertung, Schlussfolgerung	Messung	Einbauort	Anzahl	KS
Absetzer							
	Sicherheitsmeldungen						
		Sicherheits-Endschaltermeldung	Vermeidung der Folgeschäden	Endschalter, mechanisch			1
		Betriebs-Endschaltermeldung	Erreichen der Grenzposition	Drehgeber			1
		Notschalter-Betätigung	Registrierung der Havariesituationen	Not-Austaster, Reißleine			1
		Überschüttungszustand	Vermeidung der Überschüttung	Mikrowellenschanke			1
	Betriebsmeldungen der Anlage						
		Förderleistung	Sollwertüberwachung	Bandwaage		1	1
	Fahrwerk						
		Einschaltdauer	Zeit im Einsatz	SPS		1	1
		Position/Fahrwegmessung	Erfassung des gesamten Anlagen-Fahrweges	absoluter Drehgeber		1	1
			Haldengrenzenerkennung				
	Hubwerk						
		Einschaltdauer	Zeit im Einsatz	SPS		1	1
		Hubwinkel Ausleger	Erfassung Hubwinkel	absoluter Drehgeber	Ausleger/Drehpunkt	1	1
		Halde voll	Aufschütten bei max. Stellung anhalten	Seilsonde	Ausleger	2	
		Hub-, Senkbegrenzung	Erreichen der Grenzposition heben/senken	Endschalter	Ausleger/Drehpunkt	2	1
	Schwenkwerk						
		Einschaltdauer	Zeit im Einsatz	SPS		1	1
		Schwenkwinkel Ausleger	Erfassung Schwenkwinkel	absoluter Drehgeber	Ausleger/Drehpunkt	1	1
	Hydraulischer Zylinder						
		Druck des Hubwerkzylinder	Überwachung der Sollwerte			1 je Zylinder	1
	Elemente des eingebauten Gurtbandförderers						
	Gurt des Gurtbandförderers						
		Gurtspannung	Grenzwertüberwachung	Kraftmessdose/ Hydraulik	Spannstation	1	1
		Schieflauf	Vermeidung der Kantenbeschädigungen	Schieflaufschalter			1
		Gurtschlupf durch die Drehzahlerfassung	bei Überschreitung einer zulässigen Drehzahldifferenz ist zu warnen bzw. das Band abzuschalten			1	1
		Bandlaufwächtermeldung	Überwachung der Laufgeschwindigkeit	Bandlaufwächter			1
		Einschaltdauer	Zeit im Einsatz in Betriebsstunden	SPS		1	1
	Trommel						
		Trommellagertemperatur	Temperaturüberwachung	Pt 100		1 je Lager	2

Anlage	Baugruppe/Bauteile	Zustandsparameter	Zweck, Auswertung, Schlussfolgerung	Messung	Einbauort	Anzahl	KS
		Lagerschwingungen	Zustandsüberwachung	Beschleunigungsaufnehmer		1 je Lager	3
	Tragrollen						
		Temperatur	vorbeugender Brandschutz	Thermovisionskamera		1	3
		Lagerschwingungen	Zustandsüberwachung	Beschleunigungsaufnehmer		mobil	3
	Elektromotor						
		Betriebsdauer	Einsatzdauer im Betrieb	SPS-Wert		1	1
		Wicklungstemperatur	Registrierung der Grenzüberschreitungen	Pt100		1	3
		Motorstrom	Belastung des Motors, Abschaltung bei der Überlastung	SPS-Wert		1	1
		Schwingungen	Lagerzustand	Beschleunigungsaufnehmer		1(2)	3
		Lagertemperatur	Lagerzustand	Pt 100		1 je Lager	3

Komplexitätsstufe 1

Standardausrüstung im normalen Fall ohne besonderen Anforderungen zur Betriebsüberwachung

Komplexitätsstufe 2

Standardausrüstung im normalen Fall, zusätzliche Sensorik für die Überwachung des laufenden Zustandes

Komplexitätsstufe 3

Standardausrüstung im normalen Fall, zusätzliche Sensorik für die Überwachung und umfassende Diagnose des laufenden Zustandes, die Möglichkeit der Trendentwicklungserkennung

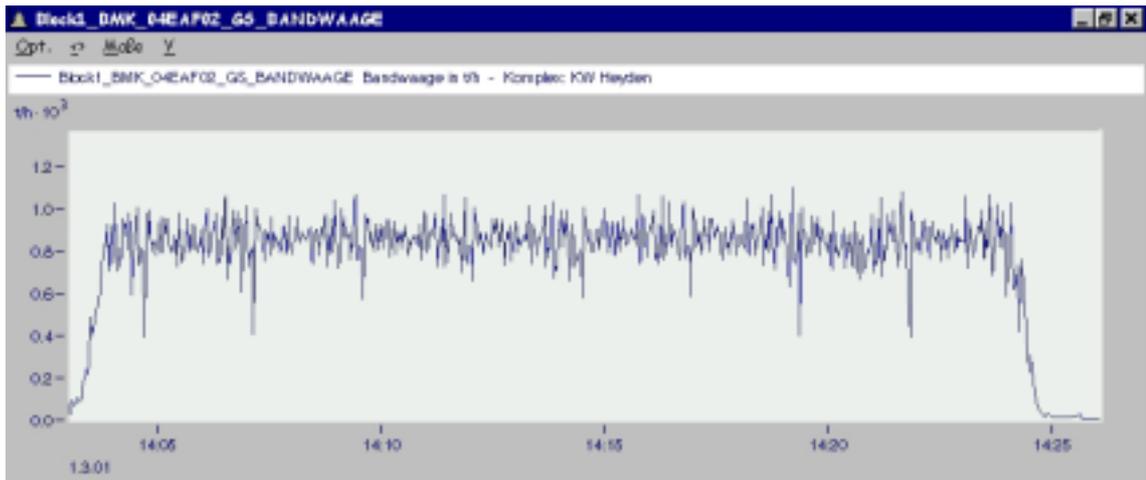


Bild II-1: Bandwaage-Messwerte im Halden-Abbauprozess (t/h , 01.03.01 im Zeitraum 14:00 - 14:27)

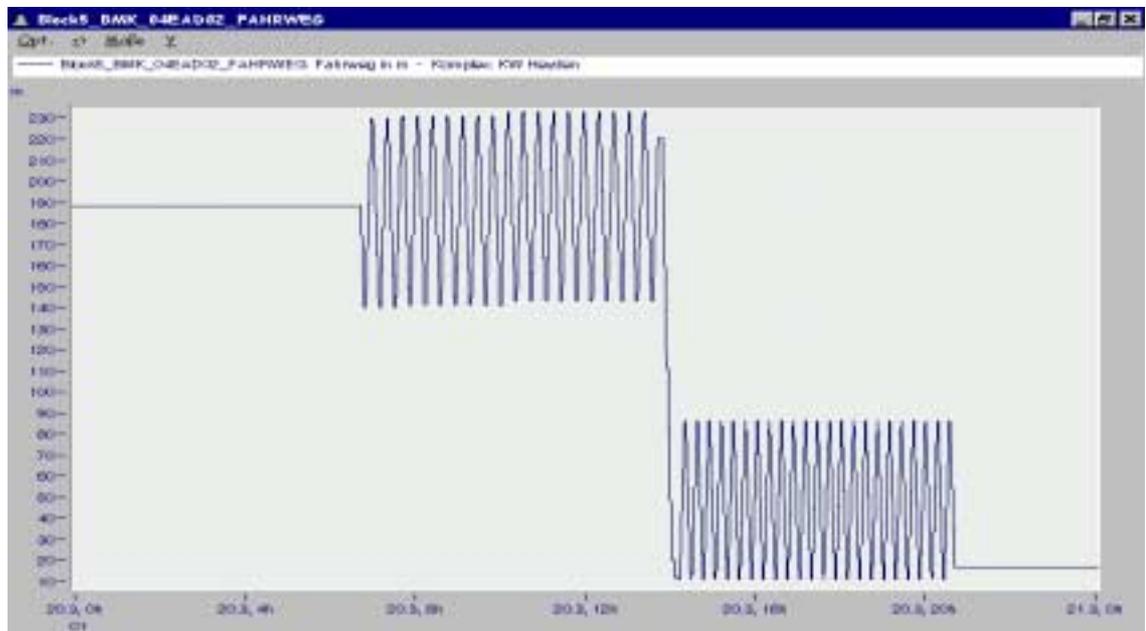


Bild II-2: Visualisierung der Positionsänderung des Absetzers

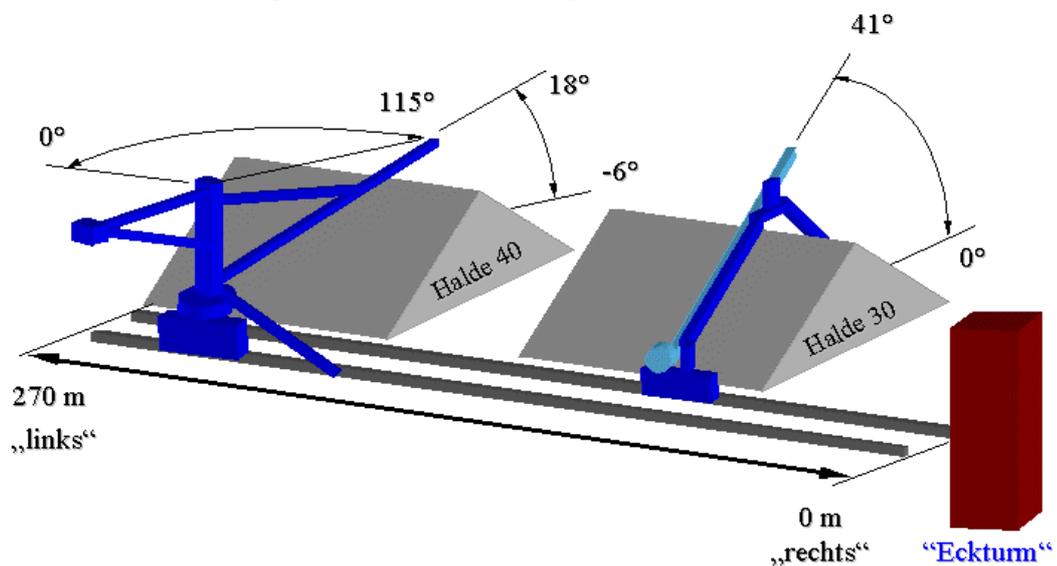


Bild II-3: Lagerplatzgeometrie, schematische Darstellung

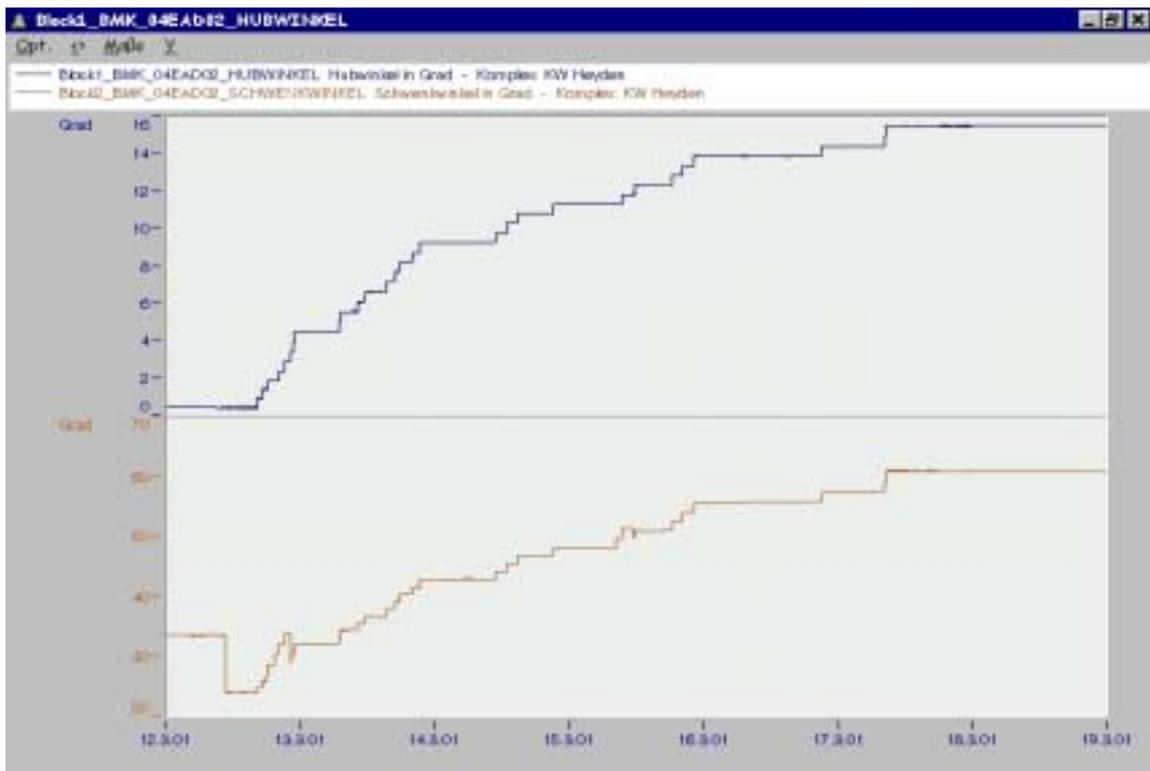


Bild II-4: Änderung des Absetzer-Auslegerhub- und -Schwenkwinkels während der Aufschüttung (Wochendarstellung)

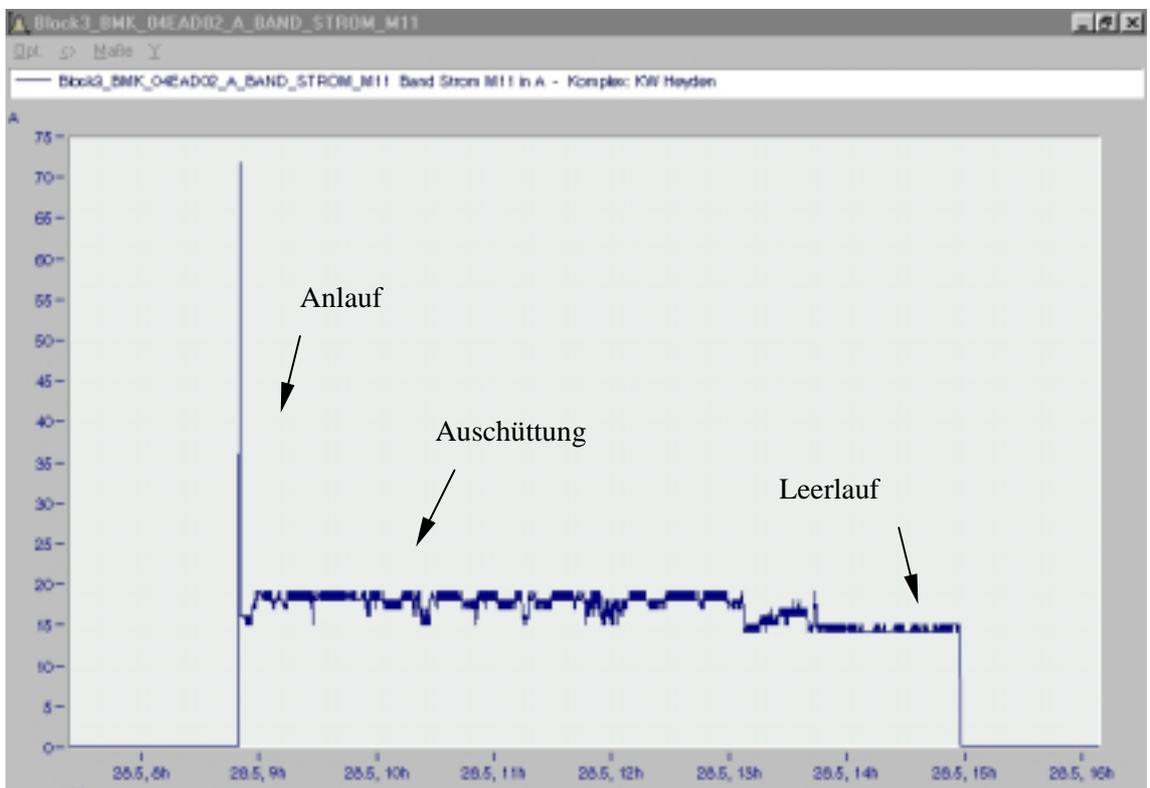


Bild II-5: Stromaufnahme eines Bandmotors des Absetzers

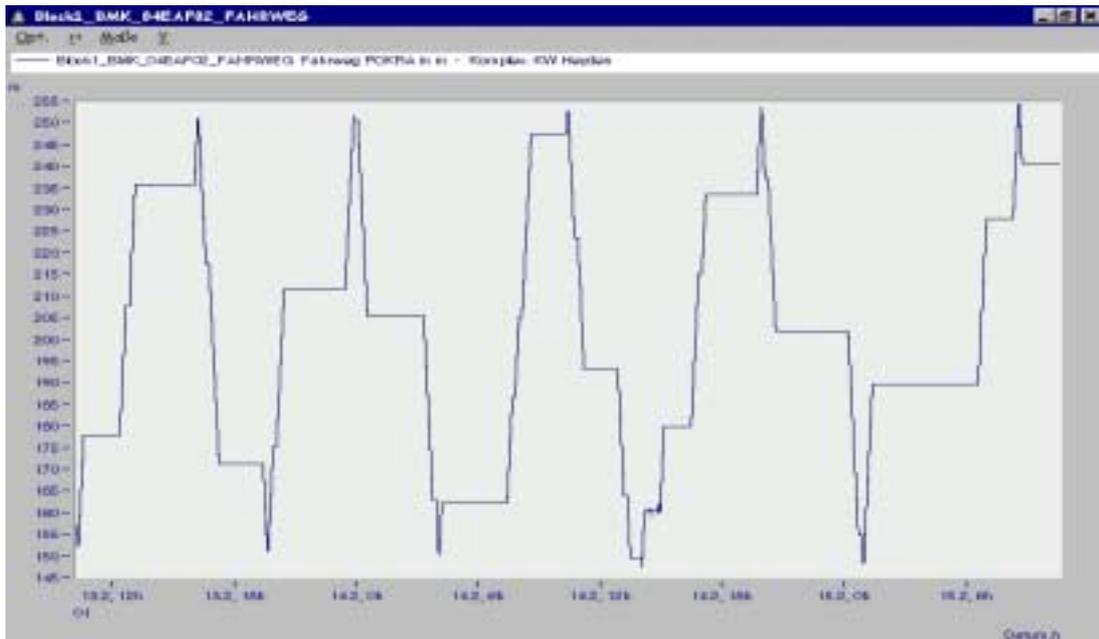


Bild II-6: Visualisierung der Positionsänderung des Kratzers, 48-h-Darstellung

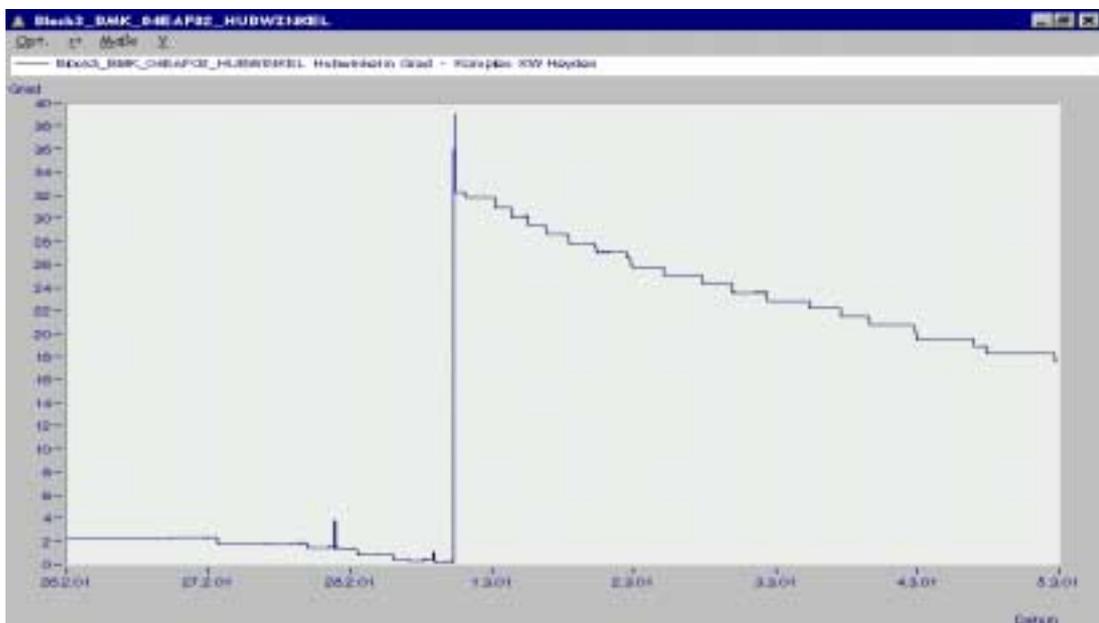


Bild II-7: Änderung des Kratzerausleger-Hubwinkels

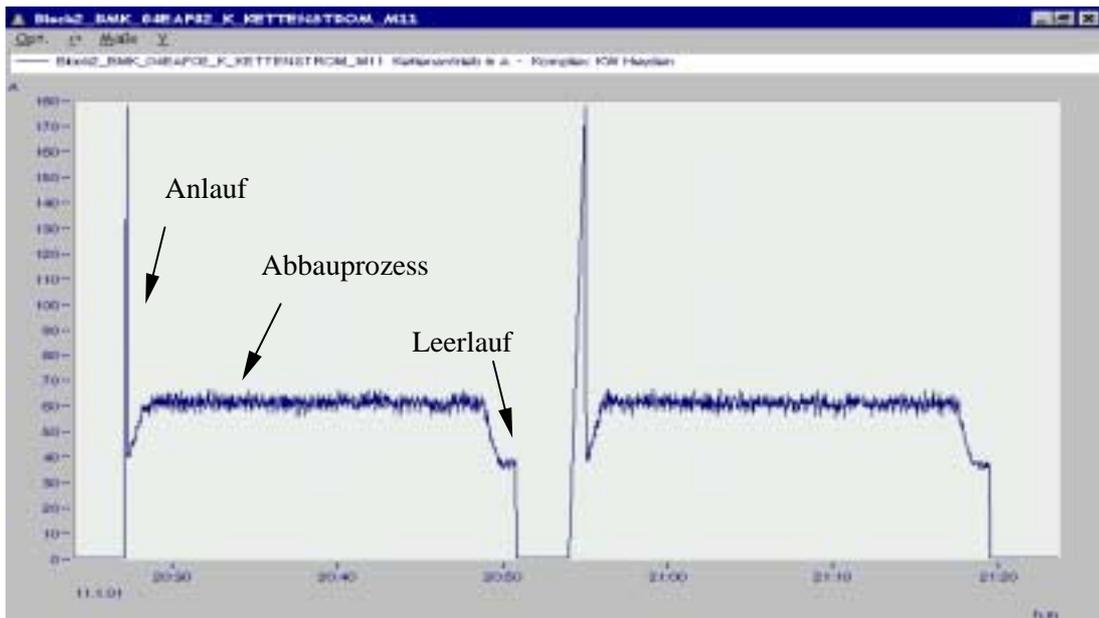
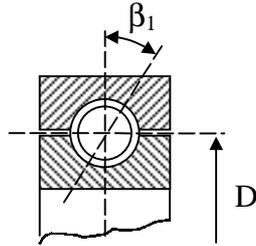
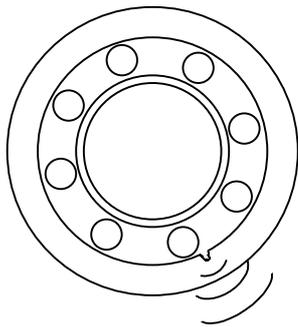


Bild II-8: Kettenantriebstrommessung



- β_1 Berührungswinkel
- d Kugeldurchmesser
- D Rollkreisdurchmesser
- n_w Anzahl der Wälzkörper
- N_w Drehzahl der Welle

Überrollfrequenzen eines Wälzlagers

Schaden am Außenring	$f_A = \frac{n_w \cdot N_w}{2 \cdot 60} \cdot \left(1 - \frac{d}{D} \cdot \cos \beta_1 \right)$
Schaden am Innenring	$f_I = \frac{n_w \cdot N_w}{2 \cdot 60} \cdot \left(1 + \frac{d}{D} \cdot \cos \beta_1 \right)$
Schaden am Wälzkörper	$f_w = \frac{D \cdot N_w}{d \cdot 60} \cdot \left(1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \cdot \cos^2 \beta_1 \right)$
Schaden am Käfig	$f_K = \frac{N_w}{2 \cdot 60} \cdot \left(1 - \frac{d}{D} \cdot \cos \beta_1 \right)$

Praktisches Beispiel für Schadensfrequenzen Kugellager SKF 6211

Dimensionen	Schadensfrequenzen
$D = 77,5 \text{ mm}$	$f_A = N_w/60 * 4,1 = 205 \text{ Hz}$
$d = 14,3 \text{ mm}$	$f_I = N_w/60 * 5,9 = 295 \text{ Hz}$
$n = 10$	$f_w = N_w/60 * 5,2 = 260 \text{ Hz}$
$\beta_1 = 0^\circ$	$f_K = N_w/60 * 0,4 = 20 \text{ Hz}$

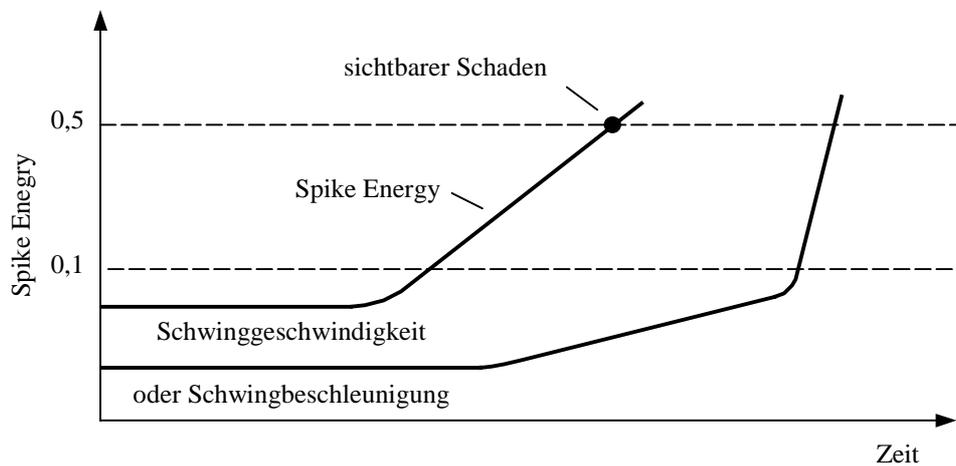
Bild II-9: Schwingungserregung durch Überrollen bei Ermüdungsschäden [MELT00]

<i>Crestfaktor</i>	$C = \frac{\hat{a}}{\bar{a}}$
<i>Kurtosis</i>	$\beta = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} x^4 \cdot p(x) \cdot dx}{\left[\int_{-\infty}^{\infty} x^2 \cdot p(x) \cdot dx \right]^2}$
<i>K-Faktor</i>	$K(t) = \frac{\tilde{a}(0) \cdot \hat{a}(0)}{\tilde{a}(t) \cdot \hat{a}(t)}$

Bewertung:

- $K(t) = 1,0 \dots 0,5$ sehr guter Betriebszustand
- $K(t) = 0,5 \dots 0,02$ eingeschränkter Betriebszustand
- $K(t) < 0,02$ schlechter Betriebszustand, Lagerausfall zu erwarten

- SPM-Wert* Shock Pulse Method von SKF Diagnosesysteme (Schweden)
- Spike-Energy* von IRD Mechanalysis (USA) bzw. REUTLINGER (Deutschland)
- BCU* Bearing Control Unit von SCHENK (Deutschland)



Darstellung des Verlaufes des Effektivwertes der Schwinggeschwindigkeit bzw. Schwingbeschleunigung und des Spike Energy Kennwertes über die Betriebsdauer bei stetig zunehmendem Wälzlagerschaden.

Bild II-10: Diagnosemerkmale zur monovariaten Bewertung des Wälzlagerzustandes [MELT00]

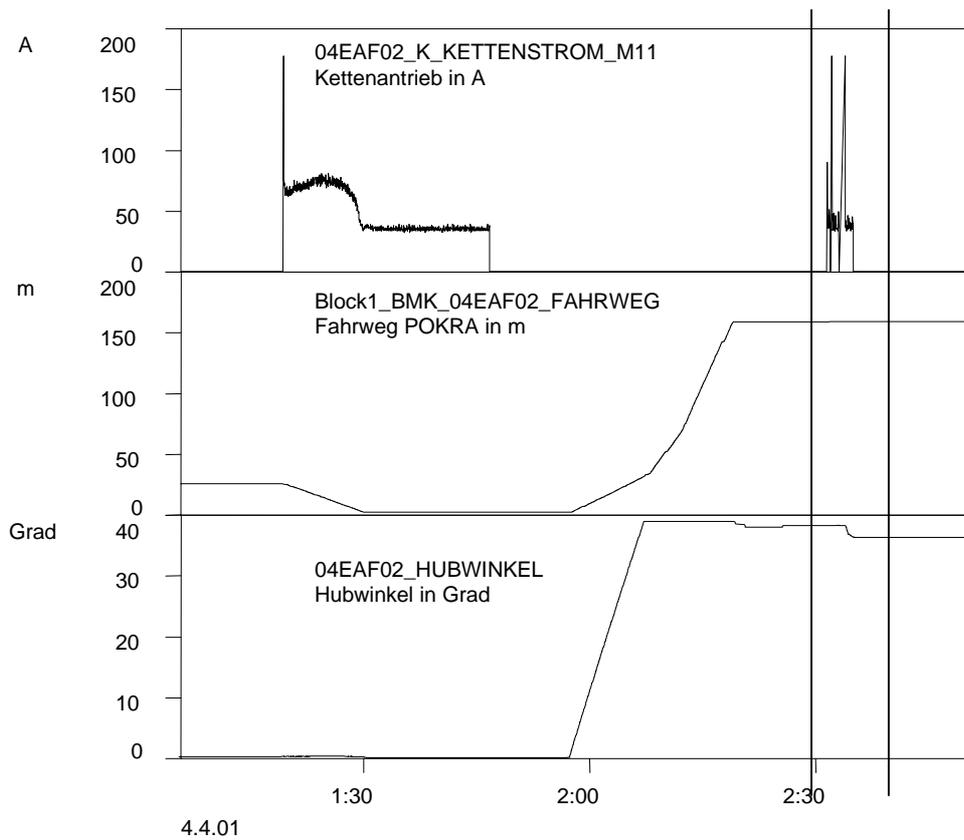


Bild II-11: Havarieanalyse, Zusammenstellung der Parameter, Klärung der Situation

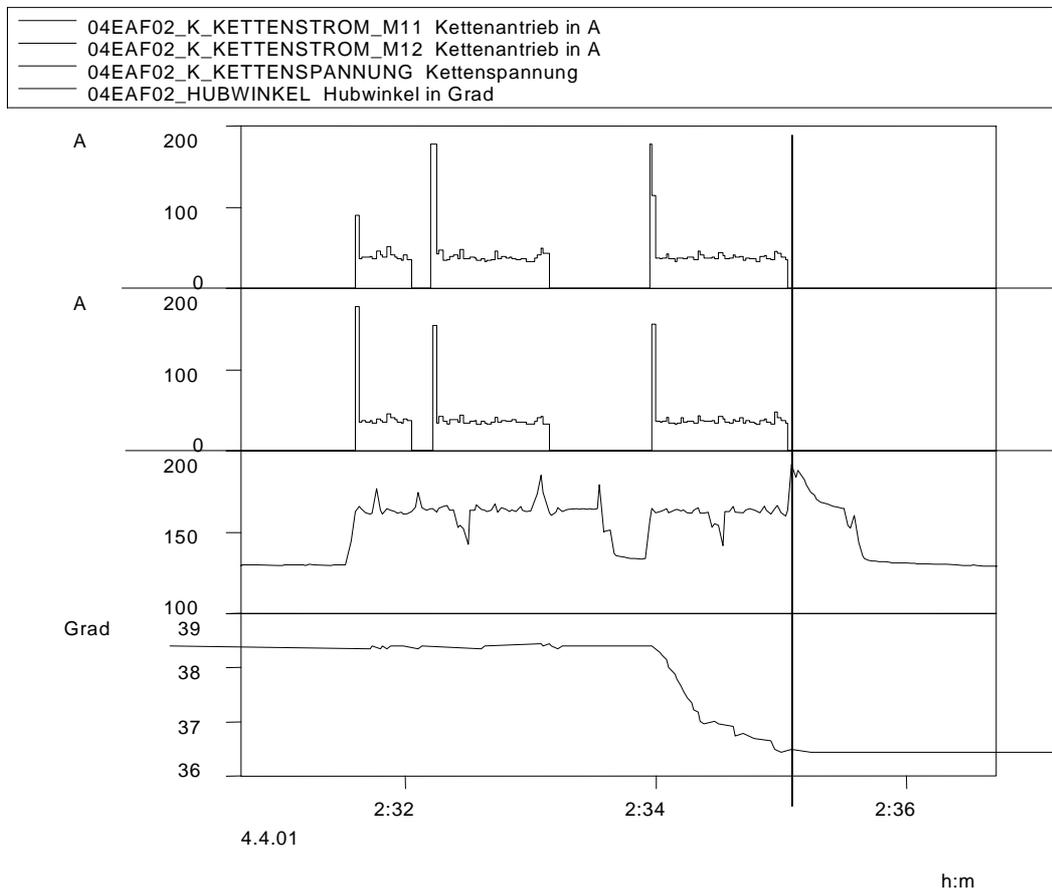


Bild II-12: Havarieanalyse, Zusammenstellung der Parameter, Minutenbereich

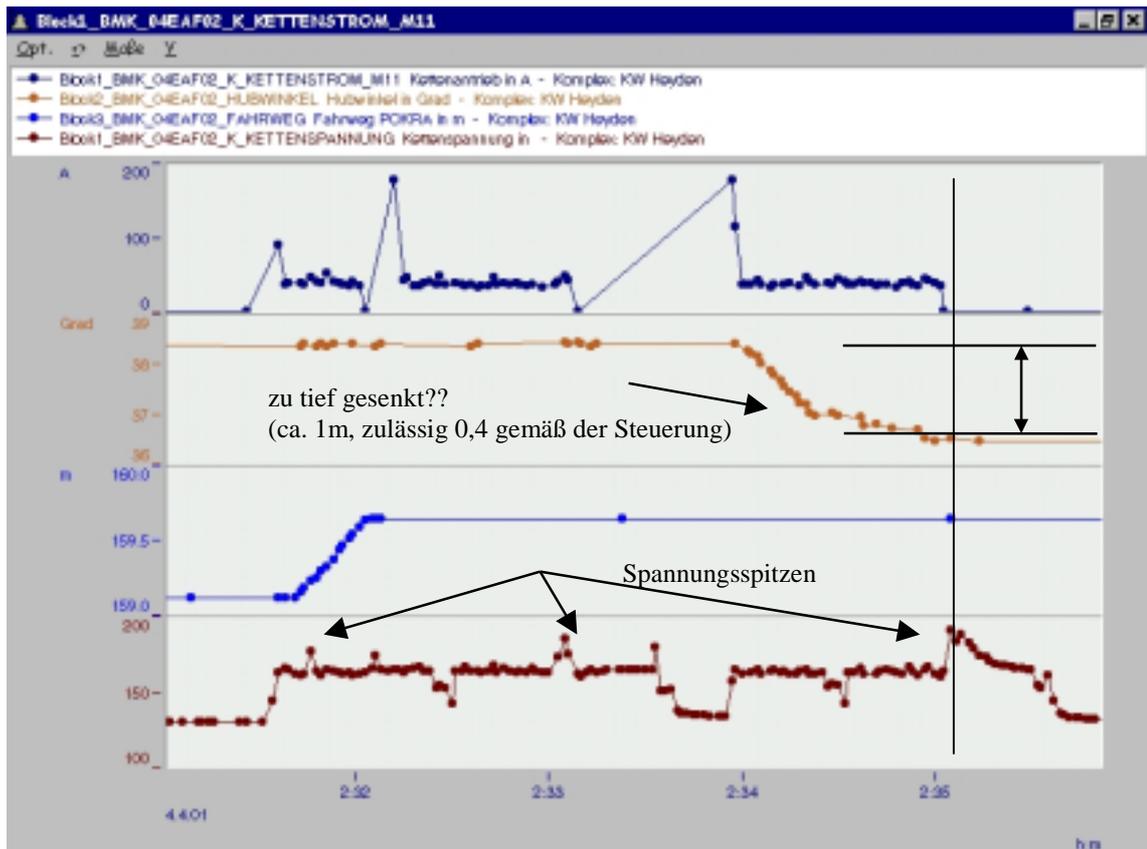


Bild II-13: Verfolgung der Messverläufe zum Havariezeitpunkt

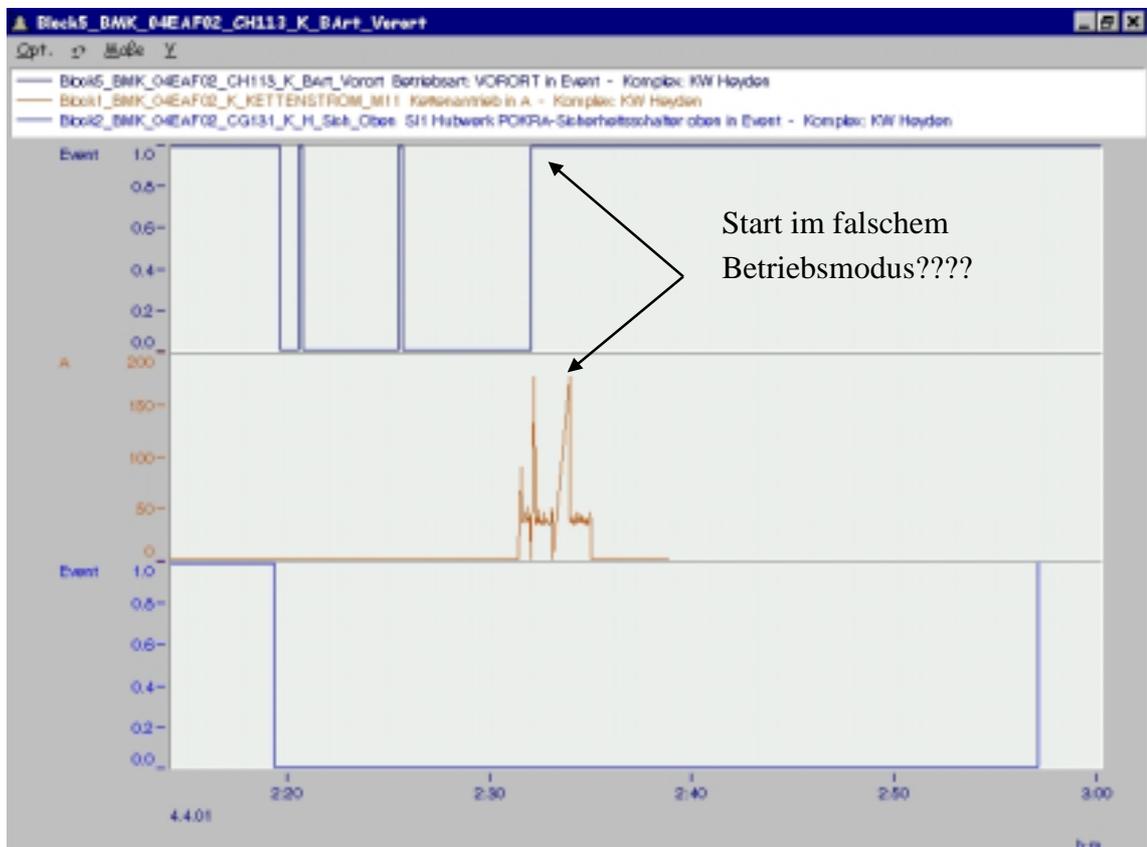


Bild II-14: Störungsursache – Start im falschem Betriebsmodus

Block2_BMK_04EAF02_K_KETTENSTROM_M11 Kettenantrieb in A - Komplex: KW Heyden
Block3_BMK_04EAF02_HUBWINKEL Hubwinkel in Grad - Komplex: KW Heyden

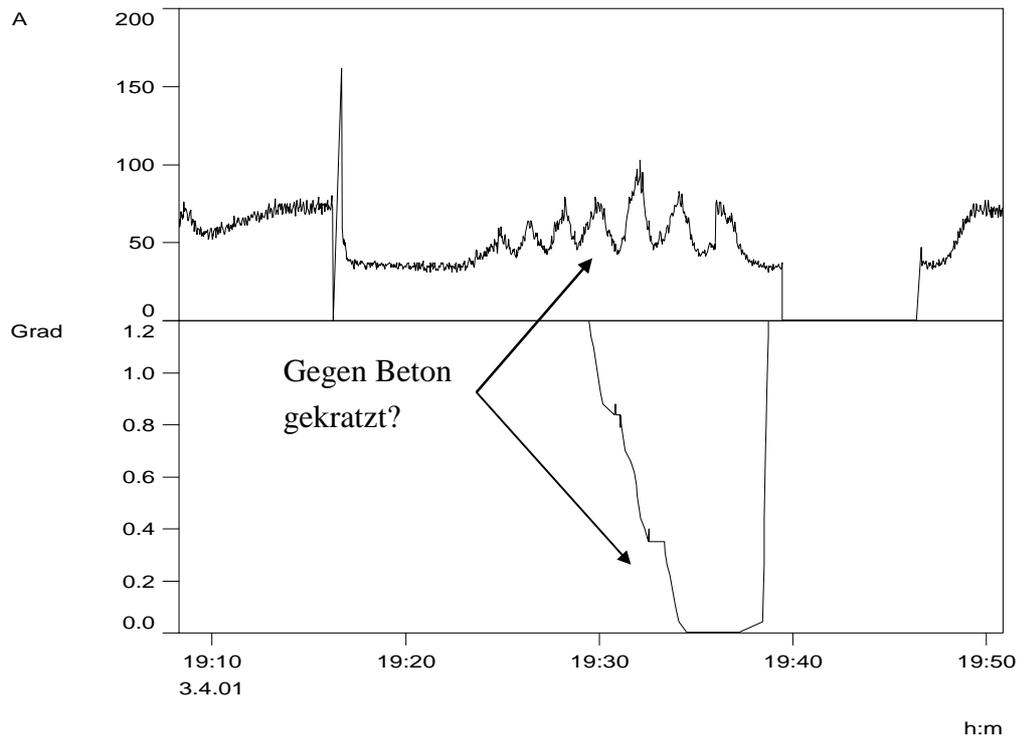


Bild II-15: Störungssuche, Tag vorher.

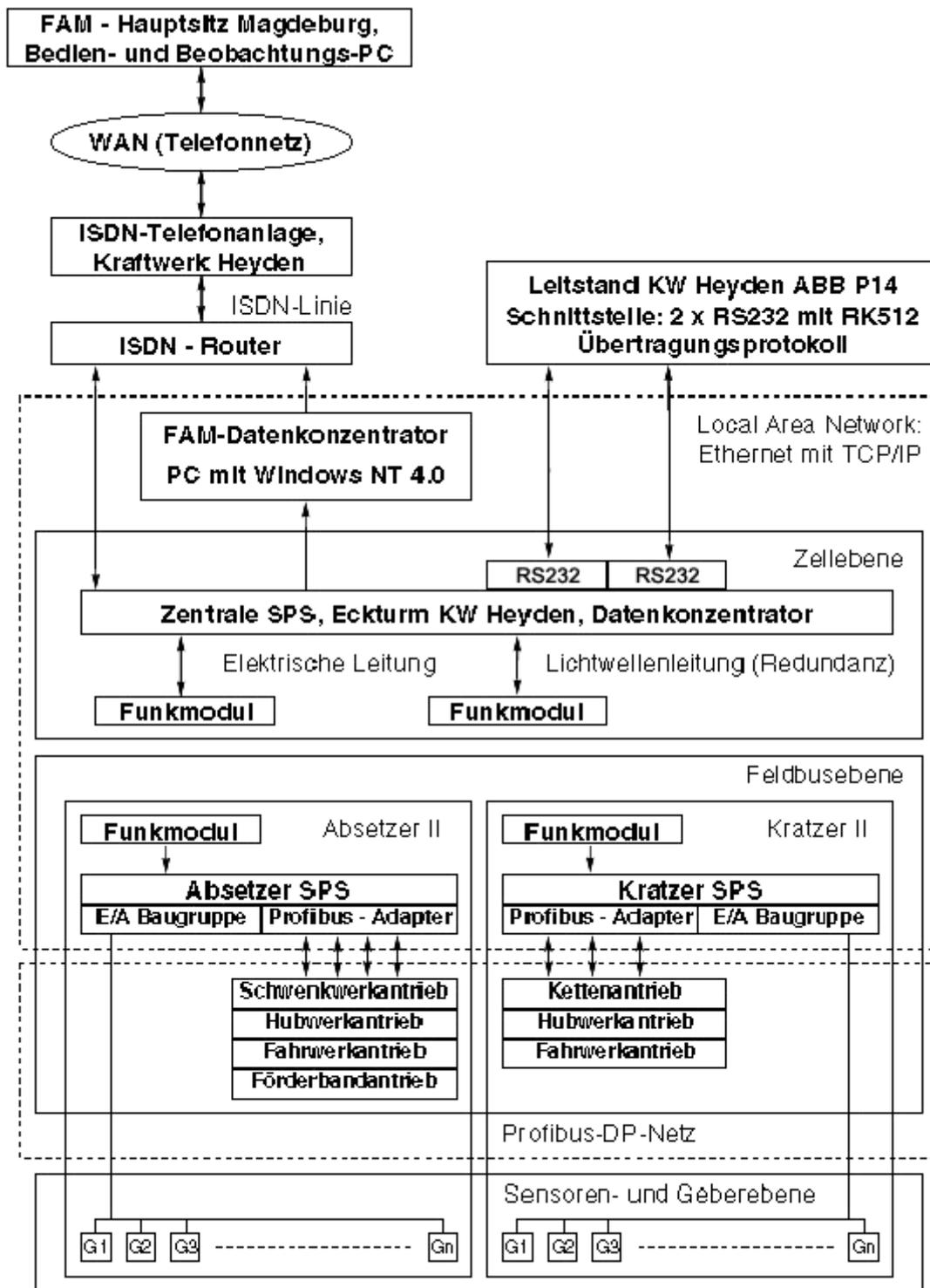


Bild III-1: Datenkommunikationsschema

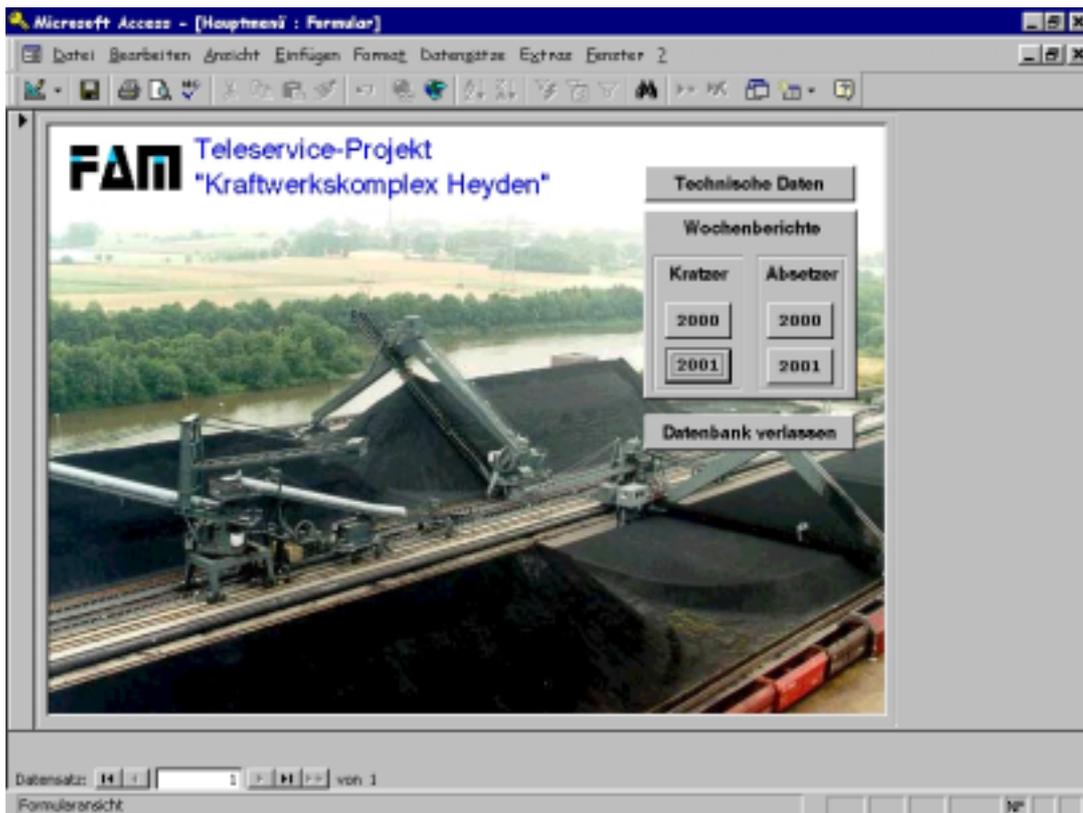


Bild III-2: Datenbank, Hauptmenü

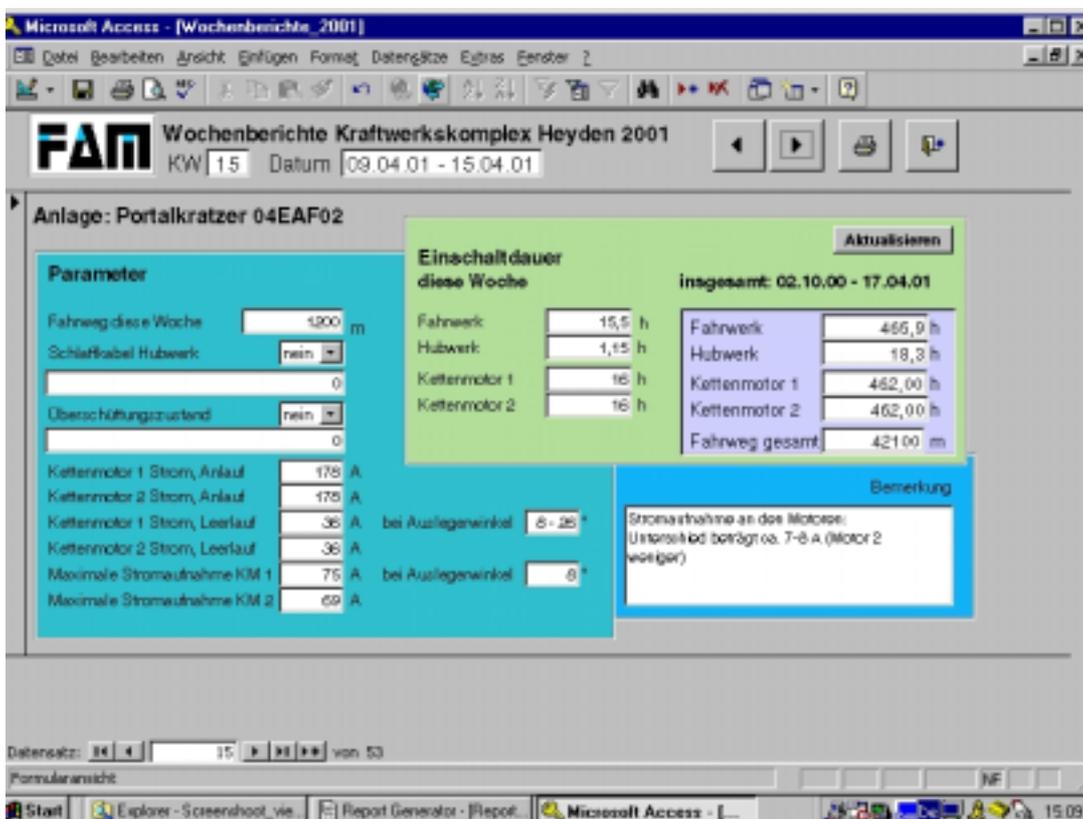


Bild III-3: Datenbank, Wochenbericht Portalkrater

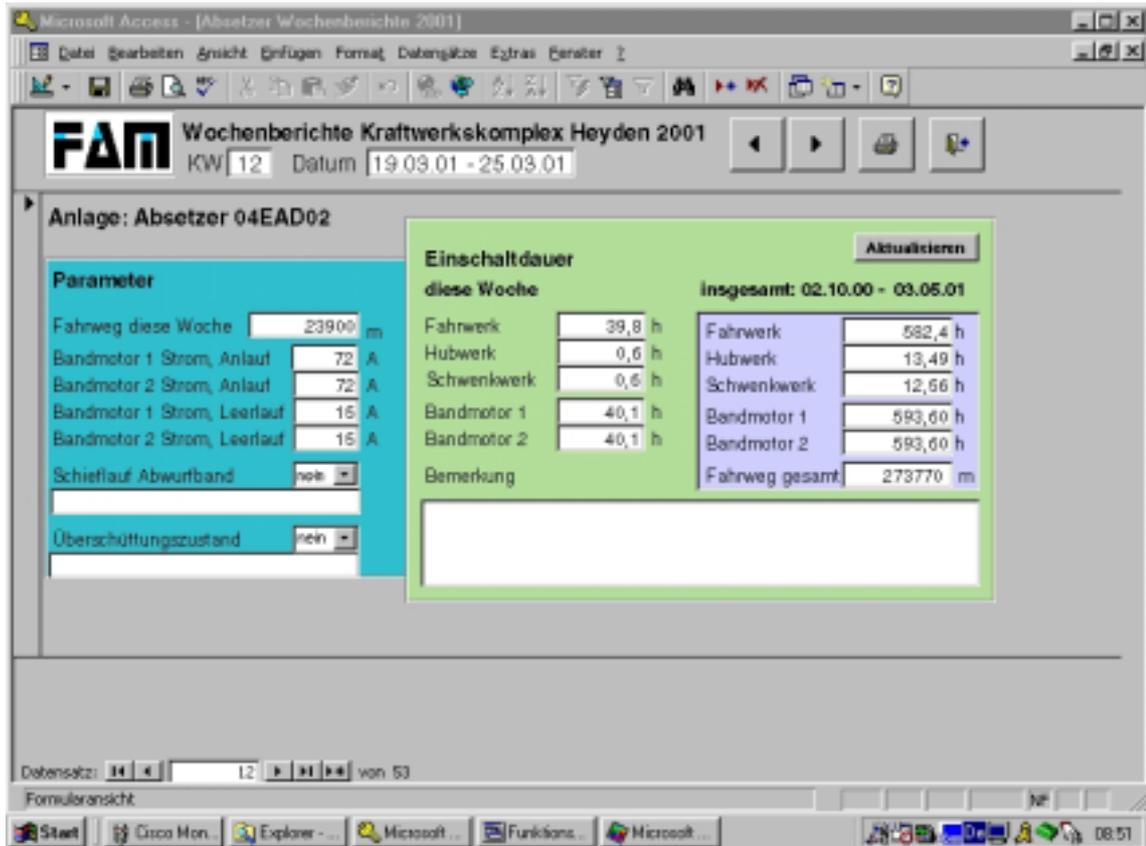


Bild III-4: Datenbank, Wochenbericht Absetzer

Tabelle IV-1: Auslegung der Leistung für Kettenantriebe bei Abbaukratzern

Objekt:	KW Heyden				
Gerät:	Portalkrater 1000t/h				
Eingabewerte:					
Achsabstand	AA	47,9	m	Fördergut:	Kohle
Achsabstand Trog	AAT	5,395	m	Schüttwinkel	45°
Achsabstand Auslegeraufhängungen	AAA	34,5	m	Korngröße	0-3 mm
Rechenteilung	tg	1,26	m		
müK (Reibwert Kette-Schiene)	müK	0,15			
müU (Reibwert Umlenkrolle-Kettengelenk)	müU	0,05			
müF (Reibwert Fördergut)	müF	0,9			
Kettengeschwindigkeit	Vk	0,7	m/s		
Kettenteilung	t	0,315			
Anzahl der Kettenradzähne	zz	13			
Masse der Kette pro m Einzelstr.	mke	92	kg/m		
Masse der Rechen/Stck	mr	150	kg/Stck		
Förderleistung	Qt	1000	t/h		
Winkel des Auslegers nach unten	w1	0	°		
Winkel des Auslegers nach oben	w2	40	°		
Höhe Rechen	H	0,5	m		
Schüttdichte	SD	0,8	t/m³		
Füllungsgrad d. Rechen	fg	0,4			
Winkel des Troges	wtg	35	°		
Wirkungsgrad Getriebe	wgG	0,94			
Wirkungsgrad Kupplung	wgK	0,97			
Berechnung Kratzergeometrie:					
Breite der Rechen	$B = Qt / fg / SD / Vk / H / 3600$				
	B=	2,48	m		
	Bgew=	2,5	m		
Zeit für Kettenvorlauf	$tk = AA / Vk$				
	tk =	68	s		
max. Arbeitgeschwindigkeit	$V_{Ferf} = B_{gew} / tk$				
	V _{Ferf} =	0,037	m/s		
Überdeckung	$EE = V_{Ferf} * AA / Vk / B_{gew}$				
	EE =	1			
Füllungsgrad	$fgv = Qt / SD / Vk / B / H / 3600$				
	fgv =	0,40			
Eintauchtiefe	$h = 2 * fgv * H / EE$				
	h =	0,397			
Kettenlänge	$lg = 2 * AA + zz * t + 2 * AAT$				
	lg =	110,685	m		
Anzahl der Rechen	$Ar = lg / tg$				
	Ar =	87,8452381	Stck		
Masse der Kette (Doppelstrang)	$m_{kd} = 2 * lg * m_{ke}$				
	m _{kd} =	20366,04	kg		
Masse der Rechen gesamt	$m_R = m_r * Ar$				
	m _R =	13176,78571	kg		
Masse der Rechen/m	$m_{rm} = m_r / tg$				
	m _{rm} =	119,05	kg/m		

Effektive Leerlaufleistung	$P_l = (2 \cdot m_{ke} + m_{rm}) \cdot g \cdot 2 \cdot (AA + AAT) \cdot$		
	$m_{üK} \cdot (1 + m_{üU}) \cdot V_k \cdot 1.1 / 1000$		
	P_l =	38,43	kW
Effektive Arbeitsleistung	$P_a = Q_t \cdot g \cdot (AA + AAT) \cdot m_{üF} \cdot (1 + m_{üU}) \cdot 1,1 / 3600$		
	P_a =	150,97	kW
Höhendifferenz	$dh = \sin(\text{wtg}) \cdot AAT$		
	dh =	3,09	kW
Effektive Hubleistung	$P_h = Q_t \cdot g \cdot dh \cdot 1,1 / 3600$		
	P_h =	9,28	kW
Erforderliche Antriebsleistung	$P_{erf} = (P_l + P_a + P_h) / \text{wgG} / \text{wgK}$		
	P_{erf} =	217,89	kW
Motorleistung		P_m =	220 kW
Kettenberechnung			
max. Kettenzugkraft, Doppelstrang	$F_{kd} = P_m / V_k$		
	F_{kd} =	314,29	kN
max. Kettenzugkraft, Einzelstrang	$F_{ke} = F_{kd} \cdot 2/3$		
	F_{ke} =	209,52	kN
rechn. Bruchkraft der Kette		F_b =	1200 kN
Sicherheit der Kette	$S_k = F_b / F_{ke}$		
	S_k =	5,7	> 5 = S _k min.

Tabelle IV-2: Auslegung der Kratzerkettenantriebes aufgrund der Schüttgutkennwerte nach D. Schirmer [Schi78]

Eingangsparameter Anlage und Stoff (Salze)				
Auslegerachsabstand	AA	m	22	
Zähnezahl der Schaufel	nz	(-)	1	
Kohäsion	c	N/mm2	0,49	
Schüttdichte	p	t/m3	1,3	
Grabtiefe max	t	mm	60	
Schaufelabstand	lA	m	0,5	
Winkel der horizontalen Ausdehnung der Bruchscholle	e	Grad	53	
Neigungswinkel der Bruchscholle	delta (b)	Grad	32,5	
grabende Schaufelzahl	nSH	Stück	44	
Kettengeschwindigkeit	vK	m/s	0,75	
Fahrgeschwindigkeit	vF	m/min	4,45	
Winkel der inneren Reibung für lose Salze	fi1	Grad	39	
Erdbeschleunigung	g	m/s2	9,81	
Auflockerungsfaktor	ka	(-)	1,1	
Grablänge = Haldenseite	Hs	m	22	
Füllfaktor	kf	(-)	0,9	
Neigungswinkel des Auslegers nach unten	beta	Grad	10,00	
Leerlaufleistung pro Meter Auslegerlänge	PRmeter	kW/m	0,5	
Grabwiderstand				
empirischer Faktor	kz	(-)	0,996	$k_z = 0,20409 \cdot n_z + 0,79158$
empirischer Faktor	km	(-)	0,630	$k_M = 0,182 \cdot \sqrt{v_z} + 0,472$
Grabwiderstand	FGt.ges	N	28379,03	$F_{Gr.ges} = \frac{1}{3} \cdot k_z \cdot k_M \cdot c \cdot n_{SH} \cdot t^2 \cdot \frac{\tan \varepsilon \cdot (\pi + 2 \cdot \tan \varepsilon)}{2 \cdot \tan^2 \delta \cdot (1 + \tan \varepsilon)^2}$
Verschiebewiderstand				
Grabbreite	b	m	0,05	$b = \frac{v_F \cdot l_A}{60 \cdot v_K}$
Schaufelinhalt	Vg	m3	0,95	$V_g = \frac{1}{3} \cdot t \cdot b \cdot \frac{H_S^2}{l_A} \cdot k_a \cdot k_f$
Verschiebewiderstand	FV	N	11736,75	$F_V = 1000 \cdot g \cdot \rho \cdot V_g \cdot (\sin \beta + \cos \beta \cdot \tan \varphi_1)$
Reibungsleistung				
	PR	kW	11	$P_R = P_{R1} \cdot AA$
Gesamtleistung				
Winkel der Schrägstellung des Zahnes	beta1	Grad	5,65	$\beta_1 = \arctan \frac{v_F}{v_K \cdot 60}$
Gesamtleistung für den Kettenantrieb	PK	kW	50,98	$P_K = \frac{(F_{Gr.ges} \cdot \cos \beta_1 + F_V)}{1000} + P_R$

Tabelle IV-3: Überarbeitete Tagebautechnik-Methode der Auslegung der Kettenantriebe

Eingangsgrößen		Größe	Einheit		
	größtes Fördervolumen, aufgelockert	Q _{max}	m ³ /h		
	Förderleistung	Q _t	t/h		
	Haldenfußbreite	HB	m		
	Schüttwinkel	α _{f1}	°		
	Schüttdichte	p	t/m ³		
	Spezifischer Grabwiderstand	kl	N/mm		
	Schneidende Messerlänge einer Schaufel	l	m		
	Metereigenlast eines Kettenstrangs	q _K	kN/m		
	Eigenlast einer Schaufel	F _{se}	kN		
	Schaufelabstand	l _A	m		
	Achsabstand Ausleger	AA	m		
	Kettengeschwindigkeit	v _K	m/s		
	Durchmesser des Kettenbolzens	d _{zk}	mm		
	Durchmesser der Umlenkscheibe	d _u	mm		
	Durchmesser der Turasse	d _T	m		
	Zapfendurchmesser der Umlenkscheibe	d _Z	m		
	Koeffizient der Zapfenreibung bei Wälzlagerung	μ _z	(-)		
	Gleitreibungsbeiwert des Kettenbolzens	μ _{zk}	(-)	0,25	
	Spezifischer Reibwiderstand der Rollen der Kratzerkette	μ _f	(-)	0,05 - 0,01	
	Koeffizient der Reibung zwischen Kratzerkette und Schiene	μ _k	(-)	0,15	
	Reibwert Fördergut	μ _F	(-)		
	Wirkungsgrad Turasantrieb	w _g		0,9	
Allgemeine Größen					
	Metereigenlast der Kette	q _E	kN/m		$qE = 2 \cdot qK + FSE/lA$
	Metereigenlast der Schaufelfüllung	q _F	kN/m		$qF = Q_{max} \cdot p \cdot g / 3600 / vK = Q_t \cdot g / 3600 / vK$
	Schaufelzahl im Einsatz an der Haldenseite	n _{SH}	Stück		
Benennung der Einzelwiderstände				Einzelwiderstand im Untertrum	Einzelwiderstand im Obertrum
1	Erforderliche Kettenvorspannkraft	FV _k	kN		

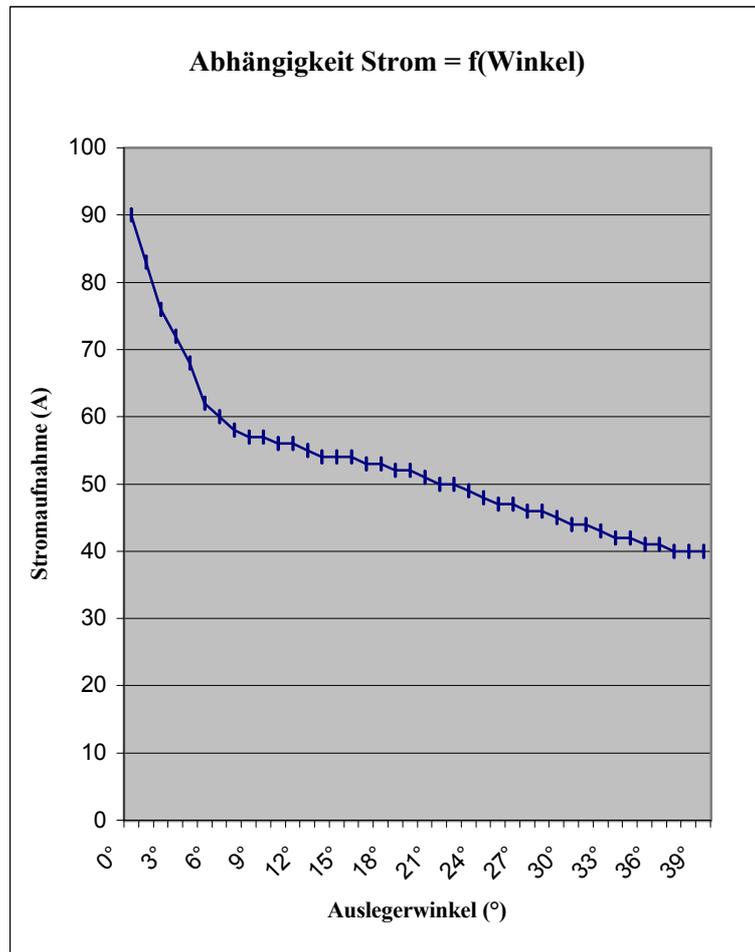
2	Tangentiale Komponente des Gesamtwiderstandes	FGr.t.ges	kN	$F_{Gr.ges} = k_l \cdot n \cdot SH$		(-)	0
3	Hubwiderstände						
3.1	Hubwiderstand der maximalen Schaufelfüllung	FhF	kN	$F_{hF} = q \cdot F \cdot h / 2$		(-)	
3.2	Hubwiderstand der Kratzerkette	FhK	kN	$F_{hK} = q \cdot E \cdot h$		$F_{hK} = q \cdot E \cdot h$	
3.3	Gesamthubwiderstand	Fh	kN	$F_h = F_{hF} + F_{hK}$		$F_h = F_{hK}$	
4	Reibungswiderstände						
4.1	Reibfahrwiderstand der Gelenkrollen	FrG	kN	$F_{rG} = \mu_f \cdot q \cdot E \cdot I_{gro} \cdot 1/2$		$F_{rG} = \mu_f \cdot q \cdot E \cdot I_{gro} \cdot 1/2$	
4.2	Reibungswiderstand in den Kettführungen der Kratzerkette	FrKF	kN	$F_{rKF} = \mu_k \cdot q \cdot E \cdot I_{gro} \cdot 1/2$		$F_{rKF} = \mu_k \cdot q \cdot E \cdot I_{gro} \cdot 1/2$	
4.3	Reibwiderstand der Böschung infolge der Normalkomponente der Eigenlast der maximalen Schaufelfüllung	FrB	kN	$F_{rB} = \mu_f \cdot q \cdot F \cdot I_{gro} \cdot 1/2$		(-)	0
4.4	Reibungswiderstand in den Kettführungen der Kratzerkette infolge der Seitenkomponente des Gesamtgrabwiderstandes	FrS	kN	$F_{rS} = \mu_f \cdot F_{Gr.ges}$		(-)	0
4.5	Gesamttriebungs-widerstand	Fr	kN	$F_r = F_{rG} + F_{rKF} + F_{rB} + F_{rS}$		$F_r = F_{rG} + F_{rKF} + F_{rB} + F_{rS}$	
5	Bescheinigungswiderstand infolge pulsierender Kratzerkettengeschwindigkeit beim Polygonumlauf	Fp	kN	(-)	0	(-)	0
6	Umlenk-widerstände						
6.1	Umlenk-widerstand infolge Kettenknickung in den Auf- und Ablaufpunkten der Antriebstrans	FuT	kN	$F_{uT} = (F_V + F_{Gr.ges} + F_h + F_r + F_p) \cdot \mu_{zk} \cdot dzk / dT$		$F_{uT} = (F_V + F_h - F_r - F_p) \cdot \mu_{zk} \cdot dzk / dT$	
6.2	Umlenk-widerstand infolge Kettenknickung in den Auf- und Ablaufpunkten der Umlenkscheiben	FuU	kN	$F_{uU} = \mu_{zk} \cdot F_V \cdot dzk / dU$		$F_{uU} = \mu_{zk} \cdot F_V \cdot dzk / dU$	
6.3	Umlenk-widerstand infolge Zapfenreibung der Umlenkscheiben	FuZ	kN	$F_{uZ} = \mu_z \cdot F_V \cdot dZ / dU$		$F_{uZ} = \mu_z \cdot F_V \cdot dZ / dU$	
6.4	Gesamtumlenk-widerstand	Fu	kN	$F_{uU} = F_{uT} + F_{uU} + F_{uZ}$		$F_{uO} = F_{uT} + F_{uU} + F_{uZ}$	
7	Kettens-zugkräfte						
7.1	Kettens-zugkraft F1	F1	kN	$F_1 = F_V + F_{Gr.ges} + F_{hu} + F_r + F_p + F_{uU}$			
7.2	Kettens-zugkraft F2	F2	kN	$F_2 = F_V + F_{ho} - F_{ro} - F_{po} - F_{uo}$			
7.3	Erforderliche Umfangskraft	FU	kN	$F_U = F_1 - F_2$			
8	Erforderliche Leistung des Motors	Perf	kW	$Perf = F_U \cdot v_K / w_g$			

Tabelle IV-4: Stromaufnahme des Kettenmotors in Abhängigkeit vom Auslegerwinkel

Portalkratzer 04 EAF 02

Kraftwerk Heyden

Auslegerwinkel (°)	Stromaufnahme (A)
0°	90
1°	83
2°	76
3°	72
4°	68
5°	62
6°	60
7°	58
8°	57
9°	57
10°	56
11°	56
12°	55
13°	54
14°	54
15°	54
16°	53
17°	53
18°	52
19°	52
20°	51
21°	50
22°	50
23°	49
24°	48
25°	47
26°	47
27°	46
28°	46
29°	45
30°	44
31°	44
32°	43
33°	42
34°	42
35°	41
36°	41
37°	40
38°	40
39°	40



Stromaufnahme im Leerlauf im gesamten Winkelbereich
36 A

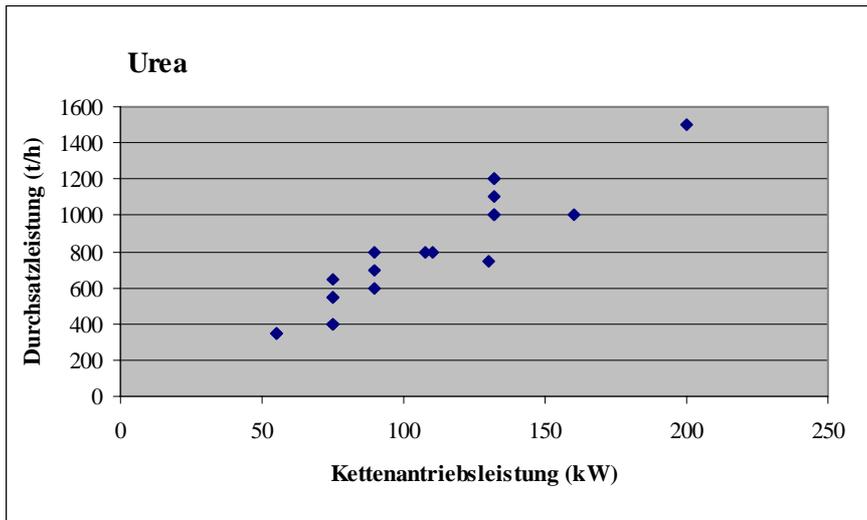


Bild IV-1: Projektierte Portal-, Halbportal- und Seitenkratzer für Urea

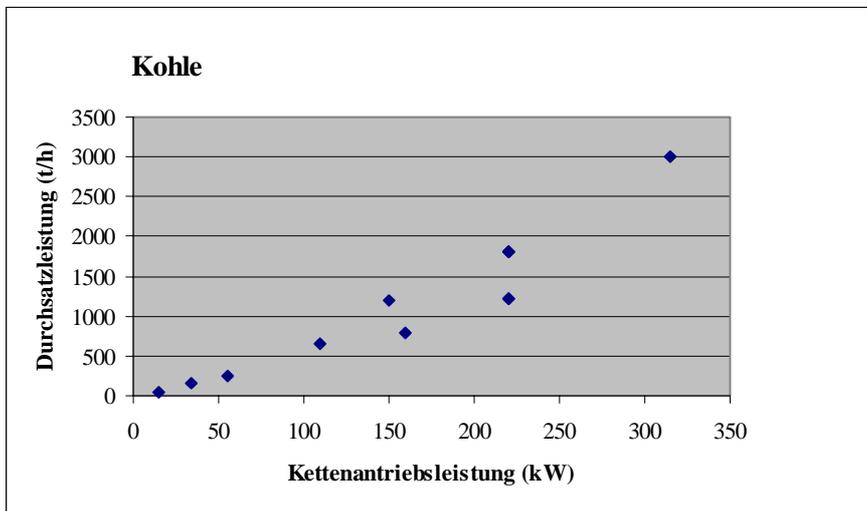


Bild IV-2: Projektierte Portal-, Halbportal- und Seitenkratzer für Kohle

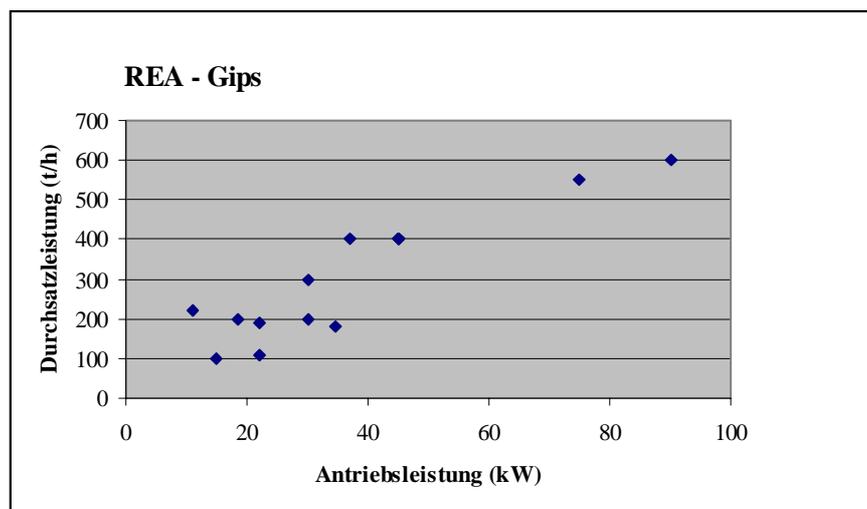


Bild IV-3: Projektierte Portal-, Halbportal- und Seitenkratzer für Gips