

Mobile Messeinrichtungen zur Prozessdiagnose in Stückgutförderanlagen

***Dipl.-Ing. Jörg Monecke, Dipl.-Wirtsch.-Ing. Robert Schulz, M. Sc.,
Prof. Dr.-Ing. Hartmut Zadek***

*Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Institut für Logistik und Materialflusstechnik
Lehrstuhl für Logistik*

Abstract: Ein wesentlicher logistischer Aspekt der Produktqualität ist die Prozessqualität, für die anerkannte Verfahren zur lückenlosen Messung und Dokumentation fehlen. Eine Möglichkeit bieten Messungen von Bewegungsvorgängen und mechanischen Beanspruchungen auf die Stückgüter durch mitfahrende Beobachter. Für die Beurteilung der Prozessqualität und die Prozessdiagnose sind orts- und ursachenbezogene Datenauswertungen erforderlich. Mit einem solchen Verfahren können Hersteller und Betreiber von Förderanlagen die Produkt- und Prozessqualität dokumentieren und Hinweise für zustandsbasierte Instandhaltungen der Anlagen erhalten.

Die modular aufgebauten Messeinrichtungen erlauben eine problemlose Anpassung der Sensorik an das Einsatzszenario des Anlagenbetreibers. Die Sensoren erfassen zeit- und ortsbezogen z. B. Beschleunigungen, Neigungen, Temperaturen und feste oder lose Rollen. Die Spannungsversorgung ist an die erforderliche Einsatzdauer anpassbar. Durch das Erkennen konstruktiver Merkmale der Förder Elemente ist eine räumliche Zuordnung der Messsignale auch in schwer zugänglichen und komplexen Stückgutfördersystemen möglich. Die Messdaten können zur Echtzeitdarstellung über WLAN übertragen werden, bei komplexen Anlagen kommen mitfahrende Datenlogger zum Einsatz. Zur Interpretation der Signale werden Datenanalysesysteme eingesetzt.

1 Prozessqualität und ihre Erfassung

Hauptziel des Qualitätsmanagements ist letztlich die Erfüllung von Kundenanforderungen. Die Kunden verlangen Produkte mit Merkmalen, die ihre Erfordernisse und Erwartungen erfüllen [ISO00a]. In dem Grad, in dem ein Kunde seine Anforderungen erfüllt sieht, ist er mit dem Produkt (und dem Produzenten) zufrieden. Beim Produzenten konzentriert sich das Augenmerk des Qualitätsmanagements hauptsächlich auf die Prozesse beginnend mit der Ermittlung der Kundenanforderungen und setzt sich fort über die Konstruktion, Fertigung und Montage bis hin zur Auslieferung [ISO00b] in dem Bewusstsein, dass die Prozessqualität die Produktqualität maßgeblich bestimmt. Bei den Stückgut-Förderanlagen erstreckt sich das Qualitätsmanagement der Hersteller sowohl auf die einzelnen Komponenten als auch auf die gesamte auf der Baustelle montierte Förderanlage. Bei der Übergabe/Übernahme wird die Abnahme gewöhnlich an Hand einer Funktionserprobung vorgenommen. Dabei werden in der Regel die einzelnen mechanischen, motorischen, elektrischen und elektronischen Funktionen und ihr Zusammenwirken im Hinblick auf die Funktions- und Leistungserfüllung betrachtet. Letztere kann durch Zeit- und Geschwindigkeitsmessungen oder durch die Zählung der Durchsatzintensität geprüft werden. Allerdings wird damit noch keine lückenlose Dokumentation der bei der Montage auf der Baustelle letztlich eingerichteten Funktions- und Wirkungsqualität der Förderanlage erreicht, u. a. weil hierfür bisher geeignete Messverfahren und –mittel fehlen.

2 Konzept der mobilen Messeinrichtung

Für die Prozessdiagnose ist die ortsbezogene Kenntnis des Auftretens bestimmter Wirkungen von Interesse. Nach dem Ortsbezug lassen sich Ereignisse in folgende Kategorien einteilen:

- Auftreten an einem einzelnen Ort (z. B. seitlicher Stoß) und
- Auftreten innerhalb eines geometrischen Bereichs (z. B. seitliches Anlegen beim Ausrichten des Gutes oder an Führungen).

Außerdem ist auch die Veränderung von Merkmalen an bestimmten Orten im Laufe der Zeit interessant (z. B. schleichender Leistungsabfall).

Die Ereignisse können aus den mechanischen Wirkungen von Stetigförderern abgeleitet werden, die sich in planmäßige Belastungen und Störgrößen unterteilen lassen, wie in Tabelle 1 an Beispielen gezeigt.

Die mechanischen Wirkungen der Förderer bewirken die Positions- und Lageänderung des Transportobjekts und führen zu einem typischen Verlauf in den Beschleunigungswerten. Konkrete Beispiele mechanischer Wirkungen und der daraus erkennbaren Ereignisse, die für die Prozessdiagnose interessant sind, sind in den Tabellen 2 und 3 dargestellt.

Tabelle 1: Mechanische Wirkungen von Stetigförderern

Fördererelement	Planmäßige Belastungen	Störgrößen
Geradförderer	evtl. Beschleunigung oder Verzögerung	Höhenversatz
Schräggrollenförderer	Seitenberührung	
Wippe, Höhenänderungen	Abkippen am Übergangspunkt	
Kurvenförderer	Fliehkräfte	Verdrehung durch Anecken

Um Orte für die Lokalisierung von Ereignissen mit dem Konzept des „mitfahrenden Beobachters“ zu ermitteln, bieten sich z. B.

- konstruktive Merkmale von Förderern,
- Übergänge zwischen Förderern oder
- speziell an der Anlage angebrachte Markierungen

an, die zeitgleich mit den Zustandsdaten (z. B. Beschleunigungen) detektiert werden.

In einer anschließenden Auswertung wird je nach Art des aufgezeichneten Merkmals und der Gestalt der Anlage eine Anzahl diskreter Orte ermittelt, die für die räumliche Zuordnung der auftretenden Ereignisse genutzt werden können. Voraussetzung für die Zuordnung ist, dass die genauen Koordinaten der konstruktiven Gestalt, z. B. aus einem CAD-Layout der Anlage bekannt sind.

Die mobile Messeinrichtung liefert neben der Zeit zwei Gruppen von Messdaten: solche, die für die Ortsbestimmung und solche, die für die mechanischen Wirkungen maßgebend sind und speziell ausgewertet werden müssen.

3 Technische Umsetzung

Die mobile Messeinrichtung (Bild 1) ist aus modularen Komponenten aufgebaut. Sie ist in einem standardisierten Transportbehälter integriert und lässt sich problemlos an verschiedene Einsatzszenarien anpassen und in Behälter anderer Abmessungen einsetzen. So wurde die mobile Messeinrichtung schon in eine Transportwanne eines Versandhauses, Behälter für Multishuttles und offene Trays für die Fluggepäckbeförderung integriert. Auf dem Behälter (Bild 1) befindet sich der WLAN-Accesspoint zur drahtlosen Echtzeit-Datenübertragung. Im Inneren befinden sich die verschiedenen Sensoren für das zeit- und ortsbezogene Messen und Erfassen z. B. von:

- konstruktiven Merkmalen der Förderanlage,
- Beschleunigungen,
- Neigungen,
- Temperaturen und
- festen oder losen Rollen.



Bild 1: Mobile Messeinrichtung mit WLAN-Übertragung auf Schrägrollenförderer

Eine zentrale Spannungsversorgung ist an die erforderliche Einsatzdauer anpassbar. Der Ladezustand kann über eine Online-Rückmeldung überwacht werden. Das Messdatenerfassungssystem ist mit 16 analogen Eingangskanälen und einer Summenabtastrate von 25 kHz ausgelegt, für mobile Einsätze geeignet und überträgt die Messdaten online und drahtlos über eine verschlüsselte WLAN-Verbindung an den Messdatenserver, der die Messwerte aufzeichnet (Bild 2). Ein Hardwaremodul zur Anpassung der Sensorik ergänzt die modularen Komponenten. Alternativ zur WLAN-Verbindung ist auch der Einsatz von Datenloggern möglich, sofern die Echtzeitdarstellung der Messwerte nicht im Vordergrund steht (Bild 3).

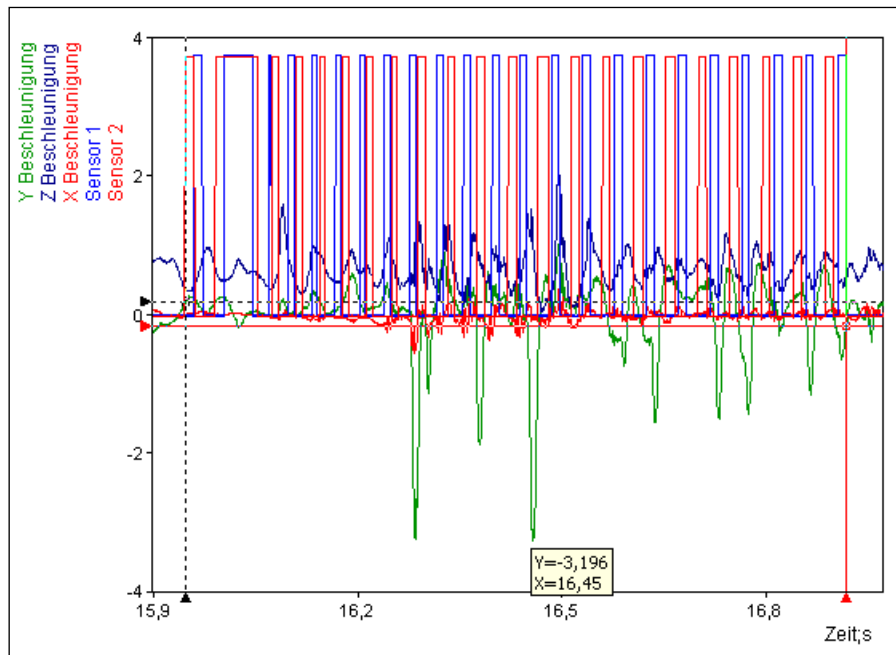


Bild 2: Belastungen auf Schrägrollenförderer (Cursor links: Beginn; rechts: Ende)

4 Orts- und Lagebestimmung

Für die ursachenorientierte Messung ist die Positions- und Lagebestimmung der mobilen Messeinrichtung auf der Fördereinrichtung von Bedeutung, um die Messwerte dem Messort zuordnen zu können (siehe [MZ05] und [MH05]). Das Lokalisierungsproblem kann in der Regel nicht dadurch gelöst werden, dass bei bekannter Geschwindigkeit aus der Bewegungszeit auf den zurückgelegten Weg und damit auf den Messort geschlossen wird, weil im normalen Betriebsfall auf den Stückgutförderern auch Stauungen und Wartezeiten im Bewegungsablauf auftreten können. Die Tabellen 2 und 3 stellen die Messorte der Förderer und die zugehörigen Ausschnitte realer Messungen als Signalfolgen dar.

Alle Förderer (Geradrollenförderer, Schrägrollenförderer, Kegelrollenförderer, Gurtförderer, Kurvenförderer, Riemenförderer, Kettenförderer, Plattenförderer und Seitenpositionierer) sowie Baugruppen zur Änderung des Transportwegs (Weichen, Wippen, Drehausschleuser, Pusher) sind durch typische konstruktive Merkmale gekennzeichnet, die zur Ortsbestimmung genutzt werden können. Die Transportobjekte passieren, unter- oder überqueren während des Förderprozesses die typischen Konstruktionsbaugruppen der Förderer. Mit speziellen Sensoren der mobilen Messeinrichtung können bestimmte konstruktiv vorhandene Merkmale der Förderer berührungslos und verschleißfrei erfasst werden. Im einfachsten Fall detektieren die Sensoren beim Bewegen oder Verfahren des Transportobjekts die metallischen Baugruppen, wie Rollen, Rahmen, Abdeckungen, Abzweigungen und Weichen direkt oder auch durch nichtmetallische Stoffe hindurch, wie z. B. bei Gurtförderern. Für jeden Förderer liefern die Sensoren typische Signalfolgen. In der Tabelle 2 ist im ersten Fall die typische Signalfolge von Gurtförderern in Form realer Messdaten dargestellt. Die beiden Sensoren mit binärem Ausgang detektieren im Boden der Mess-

einrichtung Antriebs- und Umlenkrollen von Gurtförderern durch den Gurt hindurch. Auch Übergänge zwischen einzelnen Förderern sind auf diese Weise durch entsprechende Signalfolgen eindeutig charakterisiert (s. Fall 2 und 3 der Tabelle 2).

Beim Höhenversatz zwischen Gurtförderern zeigt die Belastung in der Z-Achse ein markantes Signalbild. Beim Erreichen der unteren Förderebene einer geneigten Strecke ohne Übergangsbogen (Fall 3 der Tabelle 2) tritt zusätzlich eine Verzögerung in der Bewegungsrichtung X auf. Durch die Anordnung mehrerer Sensoren und die vergleichende Auswertung der Signalfolgen lässt sich auch der Winkel einer Schrägstellung der Messeinrichtung im Vergleich zum Förderer ermitteln (s. Fall 1 der Tabelle 3 und Bild 2). Auch die Detektionstiefen der verwendeten Sensoren liefern typische Signalfolgen für Fördererelemente. Bei der Verwendung von Kegelrollen in Kurvenförderern werden die einzelnen Rollen im inneren Radius erkannt und im äußeren Bereich, bedingt durch die dickere Ummantelung, nicht detektiert (s. Fall 3 der Tabelle 3). Auf diese Weise liefern die Messungen typische Charakteristiken für die verschiedenen Förderer und ihre Einbausituation, die ausgewertet und auch sicher interpretiert werden können.

5 Interpretation der Daten

Bei großen Förderanlagen hat sich bisher das abschnittsweise Aufzeichnen von positionsbezogenen Beanspruchungsprofilen bewährt. Die über die WLAN-Übertragungsstrecke oder einen Datenlogger aufgezeichneten Sensorsignale (Bild 3) werden über Standardprogramme visualisiert und interpretiert.

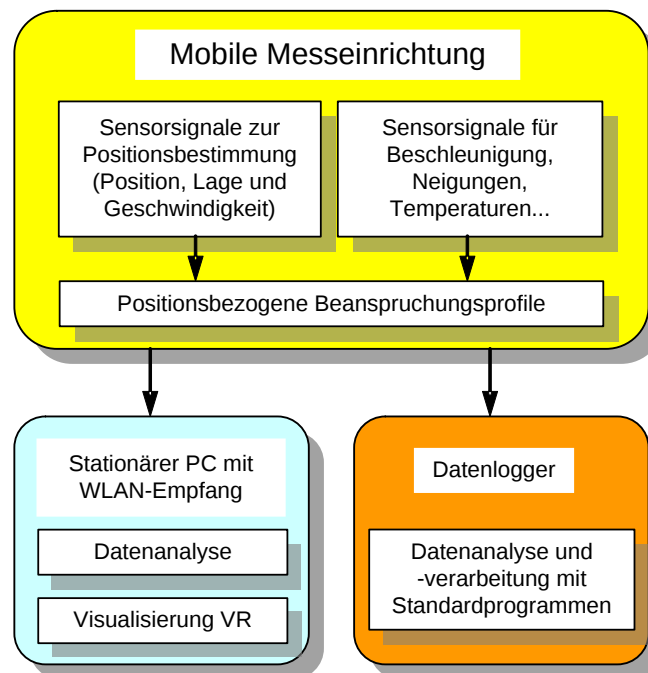


Bild 3: Aufbau und Funktionen der mobilen Messeinrichtung

Tabelle 2: Signalfolgen bei Gurtförderern (Bilder: Quelle tarakos)

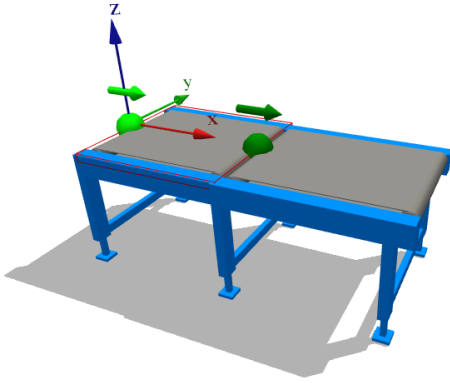
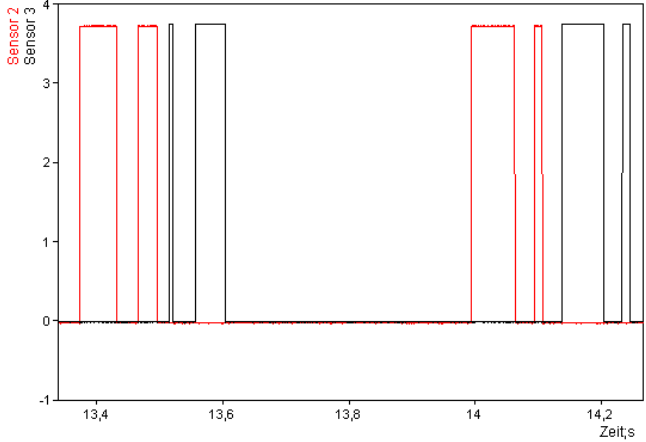
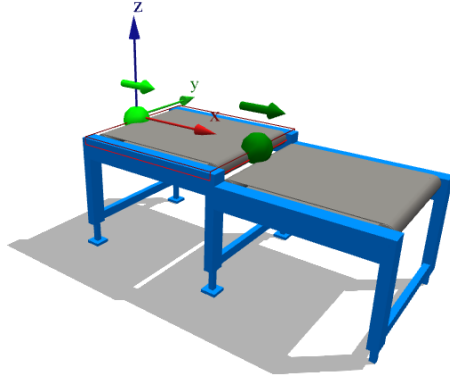
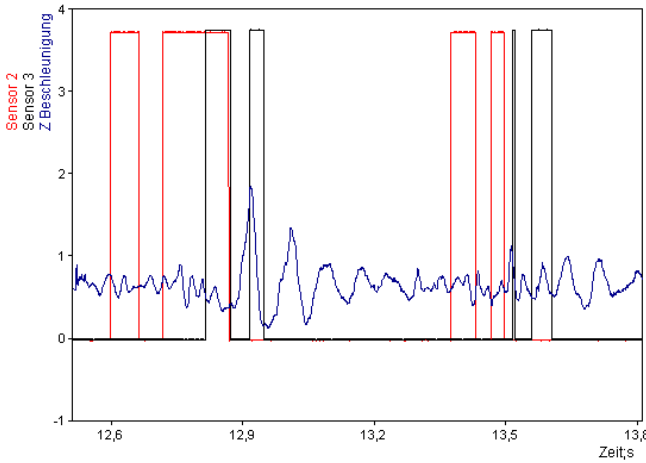
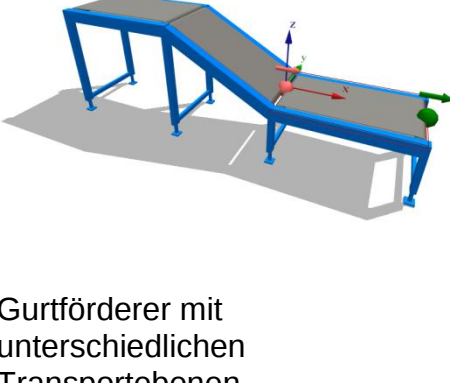
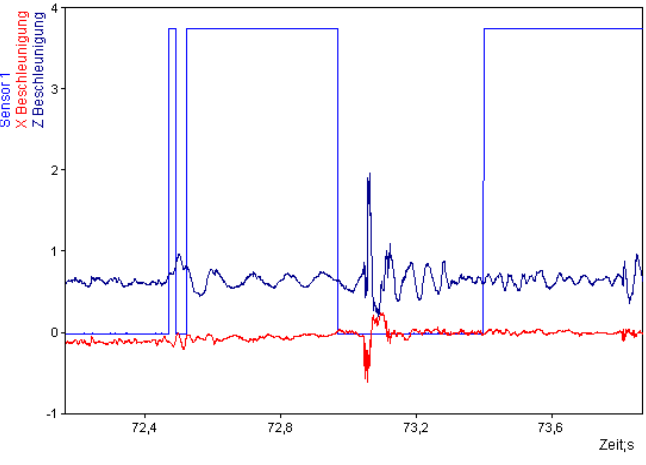
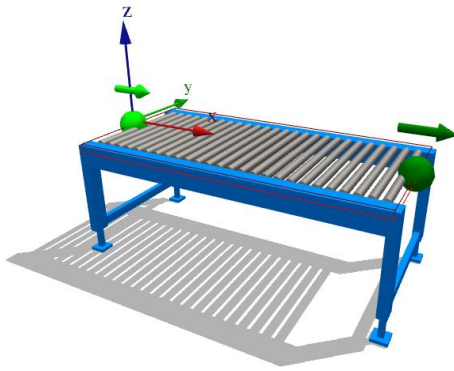
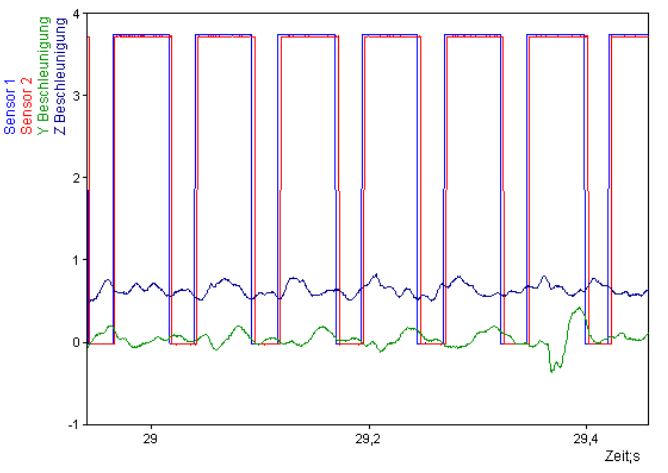
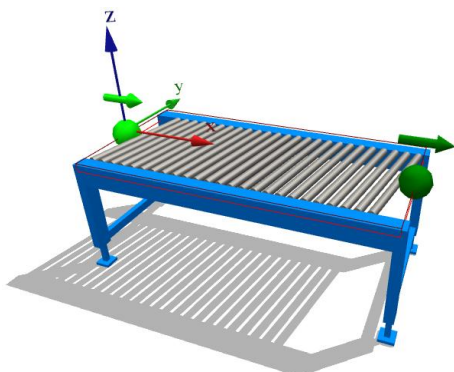
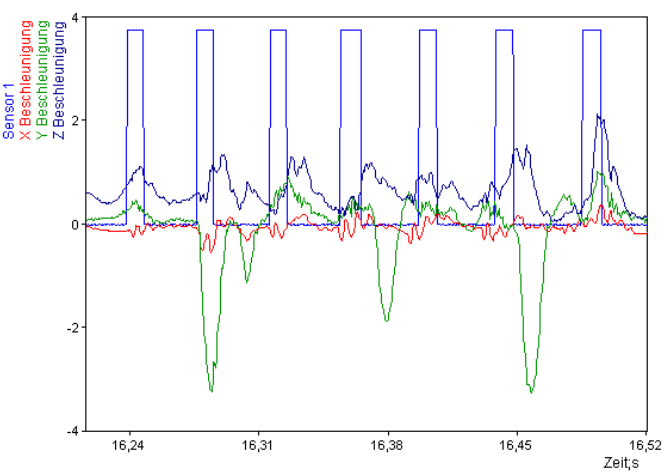
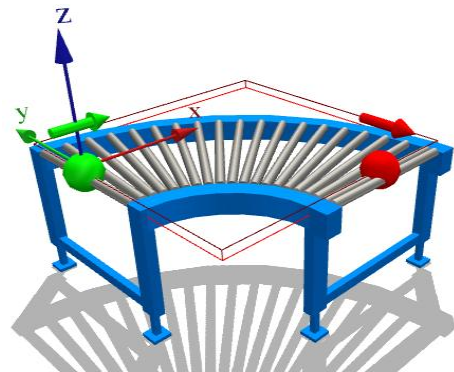
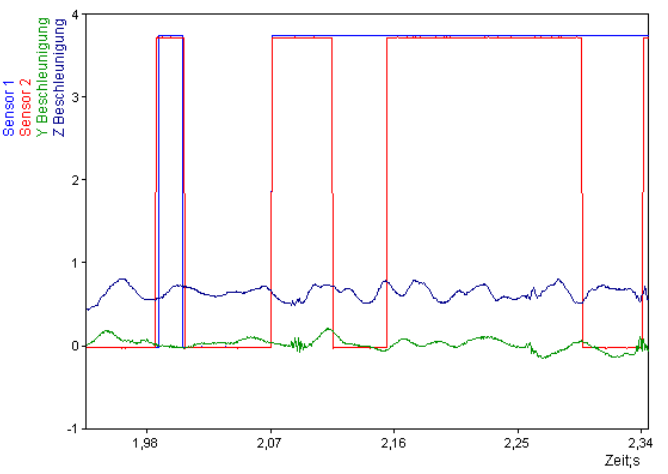
 Gurtförderer	
 Gurtförderer mit Höhenversatz	
 Gurtförderer mit unterschiedlichen Transportebenen	

Tabelle 3: Signalfolgen bei Rollenförderern (Bilder: Quelle tarakos)

 Rollenförderer	
 Schrägrollenförderer	
 Kegelrollenförderer	

In Bild 2 kennzeichnet der linke Cursor (markierte Zeitmarke) den Beginn des Schrägrollenförderers und bei ca. 17 Sekunden ist das Förderelement passiert (rechter Cursor). Die Phasenverschiebung zwischen den Sensoren 1 und 2 ist typisch für diesen Förderer. Beschleunigungen mit Werten von ca. 3 g treten in der Y-Achse beim Erreichen des Seitenpositionierers auf. Die Beschleunigungen in Z-Richtung werden durch die einzelnen Rollen verursacht. Die Interpretation der Messreihen kann auch automatisiert werden, indem überschrittene Maximalwerte, die vom Anwender einzustellen sind, in einem Suchlauf gefunden und markiert werden (s. Bild 2: die Y-Beschleunigung beträgt bei 16,45 s ca. -3,2 g).

Eine ortsbezogene Zuordnung der Messdaten ist mit Datenanalysesystemen möglich. Mit diesen Systemen werden allgemeine Strukturen in Daten (Signalfolgen, Zeitreihen und Matrizen) gefunden und das Strukturwissen kann zur Auswertung genutzt werden (s. [Zim95] und [NKK94]).

Datenanalysesysteme, wie z. B. Fuzzy-Clusterungen, sind in der Lage, Signalfolgen (Zeitreihen) mit ihren prägnanten Merkmalen und Verknüpfungen aufzunehmen, zu speichern und Zusammenhänge und Strukturen in ihnen und zwischen ihnen zu erkennen. Definierte Ausgänge eines Datenanalysesystems werden in Abhängigkeit von den eingehenden Signalfolgen aktiviert (Approximation). Die Datenanalysesysteme gewinnen ihre Informationen durch das Erlernen typischer Signalfolgen oder durch die Vorgabe beobachteter Merkmale und Zusammenhänge (Muster). Datenanalysesysteme sind in der Entscheidungsfindung sehr robust und fehlerresistent, da sie sich auf typische und generalisierende Merkmale stützen. Einzelne untypische Abweichungen in Signalfolgen werden unterdrückt oder ignoriert. In Bild 4 ist das Ergebnis der automatischen Interpretation der Signalfolgen in einer Grafik dargestellt.

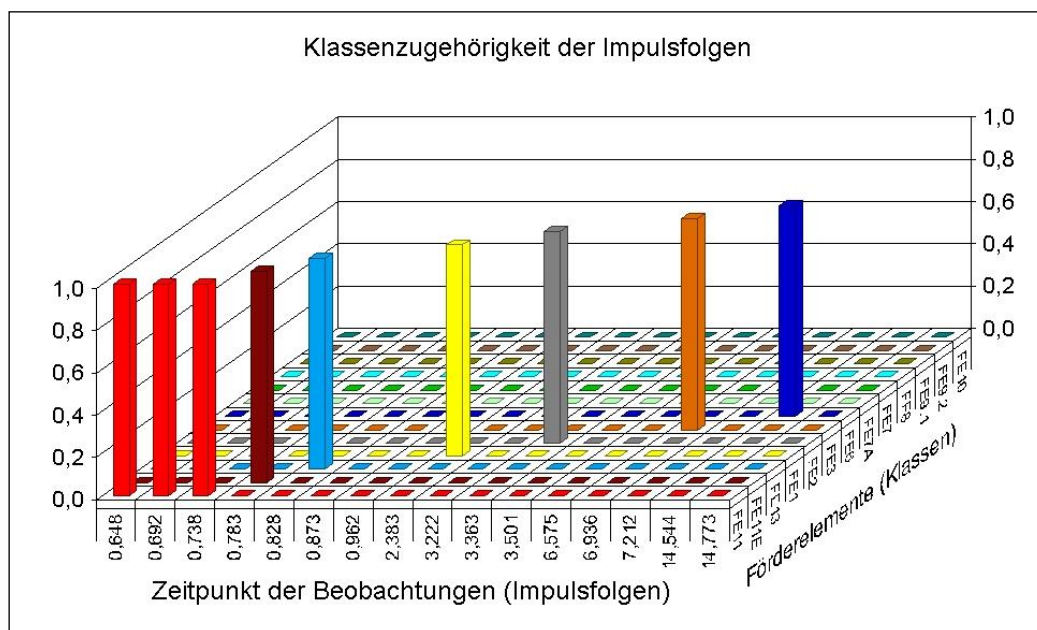


Bild 4: Automatische Zuordnung von Impulsfolgen zu den Förderelementen

Die Höhe der Balken im Diagramm ist ein Maß für den ermittelten Grad der Klassenzugehörigkeit der automatisch interpretierten Signalfolgen. Die Zuordnung der zeitbasierten Messreihen zu den als Klassen definierten Fördererelementen ist somit möglich und stellt einen weiteren Entwicklungsschwerpunkt bei der Interpretation von Messdaten großer Förderanlagen dar.

6 Visualisierung

Aufgrund des Ortsbezugs der Messdaten und einer wünschenswerten Weiterverwendung bereits vorhandener Anlagendaten lag es nahe zu untersuchen, inwieweit die Zuordnung von Ereignissen und Messwerten zu Anlagenteilen durch die Nutzung von CAD-Daten der Anlage unterstützt werden kann. Wichtige Anforderungen an die Visualisierung waren weiterhin eine möglichst geringe Abstraktion vom realen Kontext, die Möglichkeit der Navigation in verschiedenen Detaillierungsstufen von der Anlagengesamtsicht bis hin zu einzelnen Messwerten von Anlagenteilen sowie ein geringer Aufwand zur Erstellung der Visualisierung durch Verwendung parametrierbarer Komponenten.

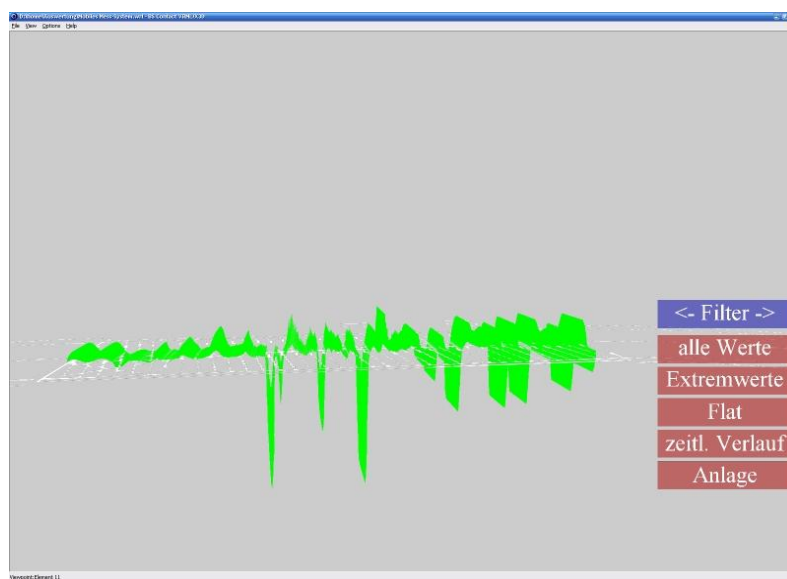


Bild 5: VR-Darstellung der Beschleunigungswerte auf einem Rollenförderer

7 Nutzung zur Prozessdiagnose

Der Einsatz der mobilen Messeinrichtung zur Prozessdiagnose führt zu einer verlässlichen Merkmalerkennung an Stückgutförderanlagen und deren ortsbezogenen Charakterisierung, wie folgt:

- Die Segmentierung der Signalfolgen erfolgt mit Bezug auf die einzelnen Förderer.
- Verschiedenartige Förderer (Rollenförderer, Gurtförderer) liefern typische Signalfolgen der Sensoren.
- Die Signalfolgen eines Förderers sind bei mehreren Umläufen ähnlich, aber nicht vollständig identisch.

- Datenanalysesysteme finden aus großen Datenmengen orts- und zeitbezogene Informationen automatisiert und können sie mit abgespeicherten Mustern vergleichen.
- Eine Wissensbasis zur Mustererkennung von Typenmerkmalen der Förderer und von Fehlerarten wird aufgebaut.
- Eine Abnahme der Klassenzugehörigkeit von Signalfolgen über die Zeit weist auf Veränderungen an der Anlage hin.
- Die Art und der Ort von Veränderungen werden durch die Suche nach Grenzwertüberschreitungen oder direkten Vergleichen der Signalfolgen in einzelnen Förderabschnitten festgestellt.
- Echtzeitdarstellungen ortsbezogener Belastungen und Informationen unterstützen den Bereich Instandsetzung.

Ein periodisches Durchfahren von Stückgutförderanlagen mit der mobilen Messeinrichtung dient dem Erkennen von schleichenden Veränderungen (vorbeugende Instandhaltung) und dem Erkennen von Stellen, an denen umgebaut oder technische Veränderungen vorgenommen wurden.

Literatur

- [ISO00a] EN ISO 9000:2000; Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe. Berlin: Beuth Verlag, 2000.
- [ISO00b] EN ISO 9001:2000; Qualitätsmanagementsysteme - Anforderungen. Beuth Verlag, 2000.
- [MH05] Monecke, J.; Heuschmann, C.: Verfahren zur Auswertung der Signalfolge von Sensoren zur Positions- und Lagebestimmung beim Bewegen von Transportobjekten auf Förderern. Patent 102005025986.3, 2005.
- [MZ05] Monecke, J.; Ziems, D.: Verfahren und Vorrichtung zur Positions- und Lagebestimmung beim Bewegen von Transportobjekten auf Förderern. Patent 102005025984.7, 2005
- [NKK94] Nauk, D., Klawonn, F., Kruse, R.: Neuronale Netze und Fuzzy-Systeme, Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg, 1994.
- [Zim95] Zimmermann, H.-J.: Datenanalyse- Anwendung von DataEngine mit Fuzzytechnologien und Neuronalen Netzen, Düsseldorf: VDI-Verlag, 1995.