

Zweite transdisziplinäre Konferenz zum Thema „Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“

Kooperative Störungsdiagnose durch Bediener und Assistenzsystem für Verarbeitungsanlagen

L. Oehm, T. Müller, Dr. R. Müller, Dr. J. Ziegler, Prof. J.-P. Majschak, Prof. L. Urbas
Technische Universität Dresden
01062 Dresden

lukas.oehm@tu-dresden.de, tobias.mueller1@tu-dresden.de, romy.mueller@tu-dresden.de,
jens.ziegler@tu-dresden.de, jens-peter.majschak@tu-dresden.de, leon.urbas@tu-dresden.de

A. Schult

Fraunhofer IVV, Außenstelle für Verarbeitungsmaschinen
und Verpackungstechnik Dresden
Heidelberger Straße 20, 01189 Dresden
andre.schult@ivv-dresden.fraunhofer.de

Kurzzusammenfassung

Das Betriebsverhalten von Verarbeitungsanlagen ist geprägt von häufig auftretenden Störungen, die von Bedienern manuell beseitigt werden müssen und deren Arbeitsaufgabe dominieren. Technische Systeme zur Bedienerunterstützung sind für diese Anlagen bisher nicht etabliert. Davon ausgehend wird ein Modell für die kooperative Störungsdiagnose durch Bediener und Assistenzsystem vorgestellt. Durch die Kombination von Bedienerwissen und Prozessdaten wird damit eine gemeinsame Zustandsrepräsentation erstellt, die zu einer zielgenauen Fehlererkennung führt und so Bediener bei der Fehlerbeseitigung unterstützt. Als Grundlage für die Entwicklung des Assistenzsystems werden erste Untersuchungen zum Einfluss der Präsentationsform von Lösungsvorschlägen auf die Lösungszeit, die Fehlerraten und die Häufigkeit des Heranziehens von Zusatzinformationen präsentiert.

Abstract

„Assistance system for cooperative fault diagnosis for processing plants“

The performance of processing plants is characterized by frequent disturbances that must be removed manually by the operator. Technical systems for operator support for these plants have not yet been established. Thus, a model for cooperative fault diagnosis by operator and assistance system is presented. By combining operator knowledge and process data a common ground is established, which leads to a targeted case detection and supports operators in troubleshooting. For the development of the assistance system first studies on the influence of the form of presentation of proposed solutions on solution time, error rates and the request of supplementary information are presented.

Keywords: Assistenzsystem, Bedienerassistenz, Erfahrungswissen, fallbasiertes Schließen

1 Einleitung

Bei Verarbeitungsanlagen handelt es sich um verkettete Hochleistungsmaschinen zum Herstellen und Verpacken von Massenbedarfsgütern wie Lebensmitteln, Pharmazeutika oder

Getränken [1]. Die verarbeitende Industrie stellt extrem hohe Anforderungen an Ausbringung, Sicherheit und Effizienz dieser Anlagen. Trotz hohem Automatisierungsgrad ist das Betriebsverhalten dieser Anlagen geprägt von Störungen, welche eine manuelle Beseitigung erfordern und das Tätigkeitsprofil der Anlagenbediener dominieren. Effektivitätsanalysen an Verarbeitungsanlagen ergaben, dass im Durchschnitt etwa nach 4,5 min eine Störung im Produktionsprozess auftritt, die zum Stillstand der Anlage führt [2]. 70 % der aufgetretenen Störungen konnten in weniger als zwei Minuten Dauer behoben werden und werden daher als Mikrostörungen bezeichnet. Ein Anteil an ungeplanten Anlagenstillständen von ca. 35 % ist somit nicht unüblich, senkt jedoch gemeinsam mit geplanten Stillstandszeiten von 20 % für Umrüsten und Reinigung den Zeitanteil, in dem qualitätsgerechte Produkte erzeugt werden, auf etwa 45 %. Einerseits führt dies zu direkten finanziellen Verlusten für den Verarbeitungsbetrieb und zu einem Verlust der bereits an das Produkt gebundenen Ressourcen. Andererseits geraten die Bediener in diesen Störungssituationen angesichts einer zunehmenden Zahl an gleichzeitig oder hochfrequent anfallenden Informationen aus der eigenen Prozessbeobachtung und aus Meldungen des Automatisierungssystems zunehmend unter Stress [3]. Oftmals ist draus resultierend eine effektive Maschinenbedienung nicht mehr möglich, da für die Fehleridentifikation, -diagnose und -behebung die Komplexität der Anlagen zu hoch und die zur Verfügung stehende Zeit zu kurz ist.

Verarbeitungsanlagen bedienerlos zu betreiben ist aufgrund mangelnder oder nicht möglicher sensorischer Erfassung aller notwendigen Material- und Prozesseigenschaften aktuell und in absehbarer Zukunft nicht realistisch. Vielmehr wird die Komplexität der Anlagen weiter steigen, insbesondere durch Anforderungen der Industrie 4.0 hinsichtlich kleiner Losgrößen, damit einhergehender kürzerer Produktionszeiten, mehr Produktwechsel und nicht zuletzt einer höheren Komplexität der Produkte. Die Beherrschbarkeit der maschinellen Prozesse durch den Bediener ist jedoch gerade wegen ihrer inhärenten Unberechenbarkeiten begrenzt [4]. Für die Bedienerqualifikation bedeutet dies einen steigenden Bedarf an Überblickswissen im Produktionsprozess [5]. Allerdings besteht insbesondere in der Lebensmittelindustrie ein Widerspruch zwischen dem Anspruch an Bedienerqualifikation und –erfahrung und den tatsächlich zur Verfügung stehenden häufig kurzfristig angelegten Saisonkräften.

Zur Erhöhung der Effektivität der Anlagen durch Reduktion geplanter Stillstandszeiten sowie zur Steigerung der Arbeitssicherheit wird durch die Maschinenhersteller das Maschinen- und Anlagendesign stetig weiterentwickelt [6]. Den Bedienern hingegen werden in der Lebensmittel- und Pharmaindustrie bisher kaum unterstützende Werkzeuge zur Anlagenbedienung und Prozesssteuerung an die Hand gegeben. Sind Assistenzsysteme zur Bedienerunterstützung in der Montage oder in der Instandhaltung in anderer Branchen bereits Stand der Technik, so fehlen entsprechende Werkzeuge in der Verarbeitungsindustrie [7]. Das Ziel muss es daher sein, adaptive, lernende Assistenzsysteme zur Bedienerunterstützung für Verarbeitungsanlagen zu entwickeln und in der Branche zu etablieren [8].

2 Assistenz in Verarbeitungsprozessen

Ausgehend von der geschilderten Branchenspezifik ist Unterstützung des Bedienpersonals beim Betrieb von Verarbeitungsanlagen wie folgt denkbar:

- Behebung von Störungen im Anlagenbetrieb durch das Anbieten von Lösungsvarianten (Hinweise auf Fehlerursachen und Hilfestellung bei der Fehlerlokalisierung)
- Unterstützung bei der Steuerung der Anlage durch strukturierte Darstellungen relevanter Prozessparameter und Indikatoren zur Überschreitungen von Grenzwerten (z.B. bei Anzeichen für drohenden Produktivitätsverlust)
- Der Bedienerqualifikation entsprechende Informationsstrukturierung und Prozessveranschaulichung
- Qualifikation und Weiterbildung des Bedieners während des Bedienprozesses in geeigneten Szenarien und Bediensituationen.

Der überwiegende Teil der auftretenden Störungen ist in der Theorie nicht vorhersehbar und findet daher weder bei der Maschinen- und Anlagenentwicklung noch in Betriebsanleitungen oder Bedienschulungen Berücksichtigung. Im Produktionsbetrieb spielt bei der Maschinenbedienung und der Störungsdiagnose und -beseitigung somit das Erfahrungswissen der Bediener eine zentrale Rolle. Die Weitergabe dieses spezifischen Wissens zu Maschinenparametern zum optimalen Anlagenbetrieb oder zu Störungsursachen und -lösungen zwischen verschiedenen Bereichen findet nur unzureichend statt. Besonders im Schichtbetrieb tritt oftmals Informationsverlust beim Schichtwechsel auf. Zudem geht den Unternehmen das oft langwierig akkumulierte Wissen aufgrund des demografischen Wandels, der Bedienerfluktuation infolge von Saisonarbeit und anderen Einflüssen verloren. Entsprechend groß ist der Bedarf für Lösungen, die Bedienerwissen langfristig verfügbar machen.

Das ideale Assistenzsystem in Verarbeitungsanlagen bietet daher neben der kognitiven, qualifikationsabhängigen Bedienerunterstützung die Möglichkeit der Erfassung und des Transfers von Erfahrungswissen der Bediener. Neben dem unmittelbaren Nutzen für die Bediener, den Verarbeitungsprozess gezielter steuern und Störungen schneller und nachhaltiger beseitigen zu können, bietet es die Möglichkeit des bereichsübergreifenden Wissenstransfers. So erhalten Instandhalter durch die Auswertung der in den vorangegangenen Schichten aufgetretenen Störungen Hinweise auf notwendige Wartungen oder Reparaturen. Es ist zudem denkbar, die mit der Zeit akkumulierten Störungen und deren Beseitigungsstrategie in die Ausbildung und Einarbeitung neuer Maschinenbediener einfließen zu lassen. Der unternehmensübergreifende Wissensaustausch zwischen Konstrukteuren des Maschinenbauunternehmens und den Maschinenbedienern des Anlagenbetreibers ist ebenfalls denkbar und wünschenswert. So könnten etwa im Produktionsbetrieb häufig auftretende Störungen und das Wissen über deren Beseitigung schon bei der Entwicklung und Auslegung der nächsten Maschinengeneration Berücksichtigung finden.

3 Kooperative Störungsdiagnose für Verarbeitungsanlagen

3.1 Modell der Kooperation von Mensch und Assistenzsystem

Die Funktion der Fehleridentifikation und -behebung wurde durch den transdisziplinären Arbeitskreis „Assistenzsysteme stationärer Arbeitsmaschinen“ der Technischen Universität Dresden, u.a. bestehend aus den Professuren Verarbeitungsmaschinen/ Verarbeitungstechnik, Ingenieurpsychologie und angewandte Kognitionsforschung sowie Prozessleittechnik, als erster Schritt zur Entwicklung eines Assistenzsystems für Verarbeitungsanlagen

herausgegriffen und auf Basis fallbasierter Assistenzsysteme konzeptioniert. Fallbasierte Assistenzsysteme (*case-based reasoning (CBR)* [9]) speichern nutzergenerierte Information über Störungen (z.B. Symptome und Maßnahmen) und verwenden diese, um in ähnlichen Situationen Empfehlungen abzuleiten [10]. Problematisch ist dabei, dass Bediener die Fallbeschreibung selbst eingeben, wodurch rekurrierende Situationen algorithmisch kaum identifizierbar sind. Obwohl sich Situationen durch musterbasierte Algorithmen automatisiert beschreiben und wiedererkennen lassen, bleiben anlagengenerierte (Prozess-)Daten zur Anreicherung der Fallbeschreibung bisher ungenutzt und finden bei der Fehleridentifikation kaum Berücksichtigung. Durch die Kombination von Bedienerwissen (Erfahrungswissen und Beobachtung) und Prozessdaten (Anlagenzustand) kann eine gemeinsame Lagerepräsentation herausgebildet werden, die zu einer zielgenauen Fallerkennung führt. Dazu soll ein lernendes, dialogfähiges Assistenzsystem zum fallbasierten Schließen für die kooperative Störungsdiagnose nach dem in Abb. 3.1 dargestellten Modell entwickelt werden.

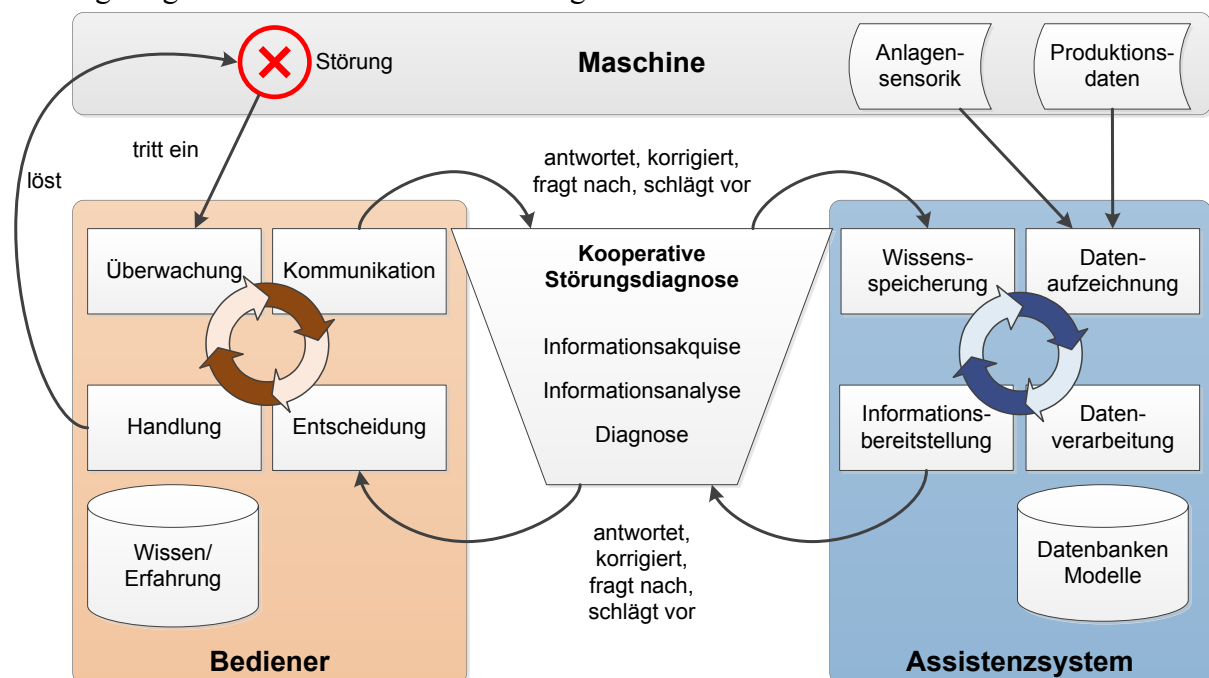


Abb. 3.1: Modell der kooperativen Störungsdiagnose durch Bediener und Assistenzsystem für Verarbeitungsanlagen.

Im Fall einer auftretenden Störung im Produktionsprozess der Verarbeitungsanlage erfragt das Assistenzsystem schrittweise das Wissen des Bedieners und kombiniert es mit dem sensortechnisch erfassten Anlagenzustand. Anhand vergangener Störszenarien leitet das Assistenzsystem durch Auswertung von charakteristischen Sensorschaltmustern der internen Anlagensensorik einen ersten Diagnosevorschlag ab. Dem Bediener wird dieser Vorschlag zur Prüfung angezeigt und kann durch zusätzliches Wissen zur technischen Störung ergänzt oder ggf. korrigiert werden. Mit den neuen Informationen wird der Diagnosevorschlag durch das Assistenzsystem konkretisiert und dem Bediener erneut zur Prüfung angezeigt. Der Informationsgehalt wird im Verlauf des Dialoges immer spezifischer und mündet in einer der Situation entsprechenden Störungsdiagnose. Über die Zeit lernt das Assistenzsystem aus den

Dialog-Episoden, setzt sie in Bezug zum Anlagenzustand und entwickelt seine Fähigkeit zum Erkennen und Kommunizieren möglicher Störungsursachen kontinuierlich weiter.

Die Umsetzung des Lösungsvorschlages erfolgt ausschließlich durch den Bediener. Das Assistenzsystem greift während des gesamten Dialogverlaufs nicht in den Verarbeitungsprozess ein. Ein Zugriff auf die Anlagensteuerung ist lediglich zum Auslesen der Sensordaten erforderlich. Die Interaktion mit dem Assistenzsystem erfolgt über verschiedene Endgeräte. Auch die Einbindung von Datenbrillen zur Informationsvisualisierung oder die Berücksichtigung von Spracheingaben über Headsets ist denkbar, wobei deren Eignung von den spezifischen Gegebenheiten wie zum Beispiel der Geräuschkulisse in den Produktionshallen abhängig ist.

Das skizzierte Modell erfordert die Kombination von dialogbasierten Assistenzsystemen, fallbasiertem Schließen in semantischen Informationsräumen und der (automatisierten) Mustererkennung in Prozessdatensätzen. Die Verbindung dieser drei Bereiche ist derzeit jedoch weder erforscht noch in einer Applikation umgesetzt. Wesentliche Herausforderungen und Fragestellungen werden daher aktuell im Arbeitskreis „Assistenzsysteme für stationäre Arbeitsmaschinen“ untersucht. Soll der Mensch in einem dialogbasierten System als entscheidungsfähiger Kooperationspartner verstanden werden, so erfordert die Gestaltung des Assistenzsystems fundiertes Wissen darüber, wie Bediener automatisierte Entscheidungshilfen nutzen. Daher fokussieren erste Untersuchungen auf die Auswirkungen der Gestaltung des Assistenzsystems auf das Entscheidungsverhalten von Bedienern.

3.2 Erste Ergebnisse zum fallbasierten Schließen

Das zu entwickelnde Assistenzsystem zur kooperativen Störungsdiagnose an Verarbeitungsmaschinen nach Abbildung 3.1 soll dem Bediener in seinen Entscheidungen unterstützen, indem es ihn auf eine große Basis an Erfahrungswissen zurückzugreifen lässt. Besonders bei sehr zuverlässigen automatisierten Systemen besteht jedoch immer die Gefahr, dass sich Bediener zu stark auf das System verlassen und damit auch unangemessene Vorschläge unkritisch übernehmen. Dieses Problem tritt besonders dann auf, wenn die Systeme selbständig Entscheidungen treffen oder Lösungsvorschläge unterbreiten, anstatt zum Beispiel nur Information zu präsentieren [11]. In der Literatur wird diese Tendenz als *automation bias* bezeichnet [12]. Auch bei fallbasierten Assistenzsystemen liegt die zentrale Herausforderung für den Nutzer in einer kritischen Evaluation der Lösungsvorschläge [9]. Dennoch ist bisher unklar, inwiefern Befunde zu den Bedingungen und Konsequenzen eines übersteigerten Vertrauens in Entscheidungsunterstützungssysteme (für eine Übersicht siehe [13]) auf das Verhalten bei der Nutzung fallbasierter Assistenzsysteme übertragen werden können. Würden Bediener aufhören, die Vorschläge eines Assistenzsystems zu überprüfen, wenn sie in der Vergangenheit gelernt haben, dass das System stets gute Lösungen liefert? Welche Gestaltungsmerkmale erhöhen das Risiko für ein derartiges Verhalten?

In einer experimentellen Studie wurde untersucht, ob die Präsentationsform der Lösungsvorschläge in einem fallbasierten Assistenzsystem dazu beiträgt, dass Bediener Lösungen übernehmen, ohne sie kritisch zu prüfen. Die Annahme bestand darin, dass eine salient präsentierte positive Bewertung von Fällen (ähnlich 5 Sterne bei Online-Versandhändlern) dazu führen würde, dass Bediener sie eher auswählen und weniger Zeit und Aufwand in eine sorgfältige Analyse der Situation investieren. Dies sollte in einer effizienteren

Aufgabenbearbeitung resultieren, wenn der positiv bewertete Fall auch tatsächlich eine geeignete Lösung für das aktuelle Problem darstellt. Im Gegensatz dazu sollte ein vorschnelles Annehmen zu Fehldiagnosen führen, wenn der positiv bewertete Fall ungeeignet ist, zum Beispiel weil er aus einer Situation stammt, die mit der aktuellen Problemsituation nicht vergleichbar ist. Es wurde also angenommen, dass saliente Bewertungen ein zweischneidiges Schwert sind, weil sie zu Effizienzsteigerung in Standardsituationen führen, aber Kosten in Ausnahmesituationen erzeugen, die eine sorgfältige Situationsanalyse erfordern.

Um diese Hypothese zu prüfen, führten 40 studentische Versuchspersonen Aufgaben zur Störungsdiagnose an einer Kartontiefziehmaschine durch (Abb. 3.2 a). Zur Herstellung von Bechern aus Karton (Abb. 3.2 b) wird ein ebener Kartonzuschnitt in einer mittels eines Ziehstempels in eine Ziehbüchse gezogen. Dabei legt sich das eingezogene Material in Falten, welche im Ziehspalt zwischen Ziehbüchse und Ziehstempel verpresst werden. Der Prozess hängt von zahlreichen Einflussparametern ab und bietet eine Vielzahl von Fehlermöglichkeiten und Fehlerbildern (Abb. 3.2 c-e), die für einen unerfahrenen Bediener ohne Assistenzsystem oftmals nicht eindeutig identifizierbar sind.



Abb. 3.2: a) Kartontiefziehversuchsstand und
b) einwandfreie sowie c) - e) fehlerhafte Ziehteile

In zehn aufeinanderfolgenden Durchgängen wurde den Versuchspersonen ein fehlerhaftes Ziehteil präsentiert. Ihre Aufgabe bestand darin, eine geeignete Maßnahme zur Behebung der Störung auszuwählen. Dazu wurden ihnen durch ein prototypisches fallbasiertes Assistenzsystem jeweils fünf verschiedene Fälle angeboten und sie wurden instruiert, dass diese Fälle Lösungen repräsentierten, die andere Bediener für ähnliche Fehlerbilder angewendet hätten (Abb. 3.3). Jeder Fall setzte sich zusammen aus einer Beschreibung der Situation, einer Lösung und einer Bewertung dieser Lösung, die angeblich durch den früheren Bediener

vorgenommen worden war [14]. Die kritische experimentelle Manipulation bestand darin, dass die Bewertung für die Hälfte der Versuchspersonen grafisch präsentiert wurde und damit sehr salient und direkt wahrnehmbar war (Abb. 3.3), wohingegen die andere Hälfte der Versuchspersonen verbale Bewertung der Lösungsqualität erhielten. Es wurde untersucht, wie sich dieser Unterschied in der Präsentationsform auf das Verhalten der Versuchspersonen in Standardsituationen und in Situationen mit Kontraindikation auswirkte, wobei in letzteren ein anderer als der bestbewertete Fall zur korrekten Lösung führte.

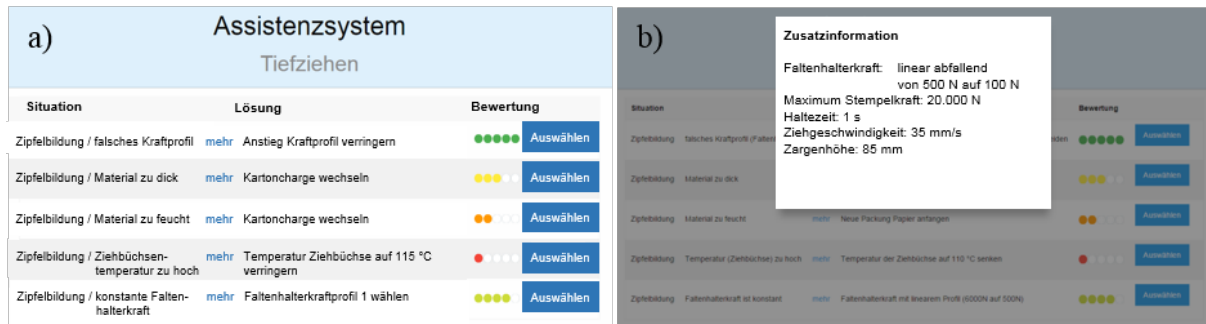


Abb. 3.3: Prototypisches fallbasiertes Assistenzsystem mit Situationsbeschreibung, Lösung und Bewertung für fünf Fälle zum Fehlerbild „Zipfelbildung“ (links) sowie zusätzliche Information zu den Maschinenparametern für einen der Fälle (rechts).

Vor dem Experiment durchliefen die Versuchspersonen eine etwa 40-minütige Instruktion, in der sie mit der Funktionsweise der Maschine vertraut gemacht wurden. Während des Experimentes beobachteten die Versuchspersonen in jedem von zehn Durchgängen die Herstellung eines fehlerhaften Ziehteils, wobei ihnen nachfolgend der Fehler vom Versuchsleiter benannt wurde. Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin, diesen Fehler in das Assistentensystem einzugeben und aus den daraufhin präsentierten fünf Fällen eine Lösung auszuwählen. Da jeder im Experiment erzeugte Fehler genau eine eindeutige Ursache besaß, war in jedem Durchgang nur einer der fünf Lösungsvorschläge (Fälle) korrekt. Zusätzlich zum Assistentensystem stand den Versuchspersonen der Kontrollbildschirm der Maschine zur Verfügung, auf dem die aktuell eingestellten Maschinenparameter abgelesen werden konnten. Zur Lösungsfindung konnte für jeden im Assistentensystem präsentierten Fall zusätzliche Information über die damals eingestellten Maschinenparameter angefordert werden. Somit war es möglich zu überprüfen, inwiefern die aktuelle Situation mit der Fallbeschreibung übereinstimmte und ob die Lösung demnach übertragbar war. In acht der zehn Durchgänge war die Lösung korrekt, die im Assistentensystem mit der höchsten Bewertung (5 Punkte) gekennzeichnet war. In Durchgang 6 und 9 dagegen musste eine weniger gut bewertete Lösung ausgewählt werden (4 Punkte), weil eine Abweichung in den Maschinenparametern die Übertragung der bestbewerteten Lösung verbot. In Abhängigkeit von Präsentationsform (grafisch, verbal) und Situation (Standard, Kontraindikation) wurden die Lösungsgeschwindigkeiten, die Fehlerraten, die Häufigkeit des Hinzuziehens von zusätzlicher Information zur Situationsanalyse, die Strategien zur Problemlösung und die subjektiven Bewertungen des Assistentensystems analysiert.

Entgegen der Hypothesen konnte kein Unterschied der Präsentationsform von Fallbewertungen gefunden werden (für eine Übersicht der Mittelwerte und statistischen Kennzahlen siehe Tab. 3.1). Grafische Bewertungen führten also nicht dazu, dass die Versuchspersonen schneller eine

Lösung auswählten, deren Anwendbarkeit in der aktuellen Situation weniger kritisch prüften und damit in Situationen mit Kontraindikationen inkorrekte Lösungen auswählten.

Tab. 3.1: Übersicht der Untersuchungsergebnisse zum Einfluss der Präsentation der Bewertungen auf die Lösungszeiten, die Fehlerrate und das Heranziehen von Zusatzinformationen

| Abhängige Variable | Unabhängige Variable | Statistische Analyse | Faktorstufen | Mittelwert |
|-------------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------|------------|
| Lösungszeit pro Durchgang | Präsentation | $F < 1, p > .7$ | Grafisch: | 75.3 s |
| | Situation | $F(1,38) = 9.12, p = .004$ | Verbal: | 72.8 s |
| | Präsentation x Situation | $F < 1, p > .9$ | Standard: | 79.3 s |
| Fehlerrate | Präsentation | $F < 1, p > .6$ | Kontraindikation: | 68.8 s |
| | Situation | $F(1,38) = 2.71, p = .108$ | Grafisch: | 14.4 % |
| | Präsentation x Situation | $F(1,38) = 1.30, p = .262$ | Verbal: | 16.3 % |
| Häufigkeit Zusatz-information | Präsentation | $t(38) = .18, p = .861$ | Standard: | 19.4 % |
| | | | Kontraindikation: | 11.3 % |
| | | | Grafisch: | 15.0 x |
| | | | Verbal: | 14.4 x |

Allerdings ergaben die Befunde eines post-experimentellen Interviews, dass sich die Versuchspersonen deutlich in ihren Strategien bei der Verwendung des Assistenzsystems unterschieden und diese Unterschiede durchaus mit der Lösungszeit und Lösungsqualität zusammenhängen.

Erstens verfolgten die meisten Versuchspersonen eine von zwei unterscheidbaren Strategien: Entweder begannen sie die Lösungssuche im Assistenzsystem oder nutzten dieses eher zur Bestätigung. Erstere Gruppe betrachtete die vorhandenen Fälle und wählte denjenigen aus, der am besten zur aktuellen Situation passte. Die zweite Gruppe versuchte mithilfe des Kontrollbildschirms zunächst selbständig die Fehlerursache zu finden und griff erst dann auf das Assistenzsystem zu, um zu prüfen, ob die gefundene Ursache als Fall vorhanden war. Die Lösungszeiten in der ersten Gruppe waren mehr als 20 % kürzer ($F(1,36) = 5.71, p = .021$), was darauf hinweist, dass das Assistenzsystem durchaus hilfreich war. Zweitens gab etwa die Hälfte der Personen an, die Bewertungen im Assistenzsystem aktiv zur Lösungsfindung genutzt zu haben, also nur die am besten bewerteten Fälle in Betracht gezogen zu haben. Die Anzahl dieser Personen unterschied sich nicht zwischen den Gruppen mit grafischen und verbalen Bewertungen (13 vs. 10). Allerdings prüften Personen, die angaben sich stärker auf das Assistenzsystem zu verlassen, signifikant seltener das Vorhandensein von zusätzlicher Information ($F(1,36) = 4.18, p = .048$). Dieser Befund legt nahe, dass Bewertungsinformation in einem fallbasierten Assistenzsystem durchaus zu einer weniger gründlichen Analyse der Situation führen kann – auch wenn die im Experiment gewählten Präsentationsformen sich nicht darin unterschieden, wie stark sie ein solches Verhalten begünstigen.

Dennoch wäre es voreilig zu schlussfolgern, dass die Bewertungspräsentation prinzipiell keinen Einfluss auf das Verhalten von Bedienern hat. Eine Anzahl von Eigenschaften der Untersuchung erschwert die Interpretation der Ergebnisse. Zum einen war die Versuchsdauer auf zehn Durchgänge begrenzt und die Versuchspersonen hatten nur eine einzige Aufgabe zu erledigen. Studien zeigen jedoch, dass die Probleme eines unkritischen Verlassens auf automatisierte Systemen vor allem dann auftreten, wenn Bediener bereits über lange Zeit hinweg erlebt haben, dass die Vorschläge des Systems stets korrekt sind, während sie gleichzeitig unter hohem Zeitdruck stehen und mehrere parallele Aufgaben zu erledigen haben (z.B. [15]). Außerdem war im aktuellen Experiment in den Durchgängen mit Kontraindikation der am zweitbesten bewertete Fall korrekt, was insofern problematisch ist, dass einige Versuchspersonen nicht zwischen der besten und zweitbesten Bewertung unterschieden sondern stets beide prüften (und nur die schlechter bewerteten Fälle vernachlässigten). Probleme der experimentellen Aufgabe selbst zeigten sich darin, dass die meisten Durchgänge Fehlerraten von unter 10 % aufwiesen und damit zu leicht waren. Daher wird aktuell eine Nachfolgeuntersuchung vorbereitet, in der einige der eben genannten Faktoren verändert werden. Beispielsweise werden die Versuchspersonen durch eine Doppelaufgabe unter Zeitdruck stehen, in Fällen mit Kontraindikation wird eine deutlich schlechter bewertete Lösung zu wählen sein und die Schwierigkeit der Aufgaben wird erhöht werden. Sollte unter diesen Bedingungen ein Unterschied zwischen grafischen und verbalen Bewertungen zu finden sein, so kann angenommen werden, dass die Präsentationsform von Bewertungen in einem fallbasierten Assistenzsystem beeinflussen kann, wie kritisch sich Personen mit den präsentierten Fällen auseinandersetzen.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieses Beitrags wurde ein Modell zur kooperativen Störungsdiagnose durch Bediener und Assistenzsystem für die Bedienerunterstützung bei der Ursachendetektion und Beseitigung von Störungen im Verarbeitungsprozess vorgestellt. Durch die Kombination von Bedienerwissen und Prozessdaten wird damit eine gemeinsame Lagerepräsentation erstellt, die zu einer zielgenauen Fehlererkennung führt.

Erste Untersuchungen zur Gestaltung des Assistenzsystems in Bezug auf die zugrundeliegende Methode des fallbasierten Schließens wurden durchgeführt. Es wurde untersucht, ob die Präsentationsform von Lösungsvorschlägen die Lösungszeit, die Fehlerraten und die Häufigkeit des Heranziehens von Zusatzinformationen beeinflusst. Entgegen der Hypothesen konnte kein Unterschied der Präsentationsform von Fallbewertungen gefunden werden. Dennoch kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Bewertungspräsentation prinzipiell keinen Einfluss auf das Verhalten von Bedienern hat. Die Auswertung von post-experimentellen Interviews wirft die Vermutung auf, dass die Rahmenbedingungen der Untersuchungen zu praxisfern waren und das Ergebnis beeinflusst haben könnten. Daher werden Nachfolgeuntersuchungen mit praxisnahen Randbedingungen wie Doppelaufgaben sowie komplexeren und damit schwierigeren Fehlerszenarien durchgeführt. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse fließen in die Entwicklung und Erprobung des skizzierten Assistenzsystems zur kooperativen Störungsdiagnose ein.

5 Literatur

- [1] G. Bleisch, J.-P. Majschak, and U. Weiß, *Verpackungstechnische Prozesse. Lebensmittel-, Pharma- und Chemieindustrie*. Hamburg: Behr, 2011.
- [2] A. Schult, E. Beck, and J.-P. Majschak, "Steigerung der Effizienz von Verarbeitungs- und Verpackungsanlagen durch Wirkungsgradanalysen," *Pharma + Food*, vol. 18, pp. 66-68, 2015.
- [3] K. Joiko, B. Illmann, J. Krüger, M. Schmauder, and I. Weinhold, "Mentale Modelle von Bedienern und Konstrukteuren aus Sicht der Fehlervermeidung am Beispiel Verpackungsmaschinen," presented at the VVD 2012. Tagung Verarbeitungsmaschinen und Verpackungstechnik, Dresden, 2012.
- [4] H. Hirsch-Kreinsen, *Wandel von Produktionsarbeit - "Industrie 4.0"*. Dortmund, 2014.
- [5] H. Kagermann, W. Wahlster, and J. Helbig, "Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0," 2013.
- [6] M. Schmauder. (2014). *FuturePack 20 - Perspektivgeneration Endverpackungsmaschinen*. Available: <http://forschungsinfo.tu-dresden.de/detail/forschungsprojekt/13850>
- [7] A. Richter, A.-K. Lang, J. Denner, and M. Wifling, "Industrie 4.0: Der Mensch im Mittelpunkt der Produktion von morgen - Wissensmanagement für mobile Instandhalter bei der ThyssenKrupp Steel Europe AG," presented at the 17. Kongress für Wissensmanagement, Social Collaboration und Industrie 4.0. Smart & Social - Wissensaktivierung im digitalen Zeitalter, Hanau, 2015.
- [8] D. Gorecky, M. Schmitt, and M. Loskyll, "Mensch-Maschine-Interaktion im Industrie 4.0-Zeitalter," in *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung · Technologien · Migration*, T. Bauernhansl, M. ten Hompel, and B. Vogel-Heuser, Eds., ed Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014, pp. 525-542.
- [9] J. L. Kolodner, *Case-based reasoning*, 2. ed. San Mateo: Kaufmann, 1997.
- [10] M. Obst, F. Doherr, and L. Urbas, "Wissensbasiertes Assistenzsystem für modulares Engineering," at - *Automatisierungstechnik Methoden und Anwendungen der Steuerungs-, Regelungs- und Informationstechnik*, vol. 61, pp. 103-108, 2013.
- [11] L. Onnasch, C. D. Wickens, H. Li, and D. Manzey, "Human Performance Consequences of Stages and Levels of Automation. An Integrated Meta-Analysis," *Human Factors*, vol. 56, pp. 476-488, 2014.
- [12] R. Parasuraman and D. H. Manzey, "Complacency and Bias in Human Use of Automation: An Attentional Integration," *Human Factors*, vol. 52, pp. 381-410, 2010.
- [13] H. Atoyan, J. R. Duquet, and J. M. Robert, "Trust in new decision aid systems," presented at the 18th International conference on Association Francophone d'Interaction Homme-Machine, Montreal, 2006.
- [14] C. Gonzalez, J. F. Lerch, and C. Lebiere, "Instance-based learning in dynamic decision making," *Cognitive Science*, vol. 27, pp. 591-635, 2003.
- [15] R. Molly and R. Parasuraman, "Monitoring an Automated System for a Single Failure: Vigilance and Task Complexity Effects," *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, vol. 38, pp. 311-322, 1996.