Praxisbeispiele umweltschutzorientierter Produktionsleitstände

- Konzepte, Methoden und Umsetzungen

Dr. A. Tuma
St. Franke

INCOTEC
Gesellschaft für Innovation, Consulting und Technologietransfer mbH,
Fahrenheitstraße 1
28359 Bremen

Inhalt

1 Einleitung

Zur Umsetzung eines integrierten Umweltschutzes ist es von herausragender Bedeutung, Stoff- und Energieströme so zu steuern bzw. aufeinander abzustimmen, daß unter Berücksichtigung von technischen Rahmenparametern vor- und nachgeschalteter Produktionsstufen zur Verfügung stehende Ressourcen möglichst effizient genutzt und durch den Produktionsprozeß entstehende Emissionen aller Art, soweit dies technisch möglich ist, vermieden bzw. vermindert werden [Haasis 1996, Tuma 1994, Wagner 1997]. Diese Zielsetzung korrespondiert mit einer auch die Wettbewerbsposition stärkenden Umsetzung von Ansätzen einer nachhaltigen Entwicklung in Unternehmen.

In derzeit eingesetzten Produktionsleitständen werden i. allg. nur betriebswirtschaftliche Zielsetzungen berücksichtigt [Stadtler/Wilhelm/Becker 1995]. Notwendig erscheint daher eine Entwicklung umweltschutzorientierter Produktionsleitstände [Tuma/Haasis/Rentz 1996]. Aufgaben solcher Systeme sind insbesondere die Terminierung der Produktionsaufträge, die Auswahl der einzusetzenden Produktionsverfahren sowie die Festlegung der Betriebsweise der einzelnen Aggregate unter Berücksichtigung betriebswirtschaftlicher und umweltschutzorientierter Kriterien. Aus bisherigen Erfahrungen in Pilotprojekten zeigt sich, daß die Integration umweltschutzorientierter Zielsetzungen (z. B. Schaffung von Stoffkreisläufen, Steigerung des Aufarbeitungspotentials, Reduktion von Abwasserfrachten, Abfallmengen und Emissionen) nicht notwendigerweise zu höheren Kosten oder einer weniger effizienten Produktion führen muß [Franke/Tuma/Haasis 1998, Tuma 1994]. Etwa im Bereich der Oberflächenbeschichtung kann der Einsatz umweltschutzorientierter Produktionsleitstände durch die Verminderung des Ressourceneinsatzes sowie der Abwasser- und Abfallmengen zu einer deutlichen Reduktion der Kosten führen [Haasis 1996]. Dies gewährleistet eine entsprechende Akzeptanz beim Nutzer und stellt eine Voraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung eines integrierten Umweltschutzes dar.

Die Anwendung umweltschutzorientierter Produktionsleitstände wird an zwei Beispielen aus der Fertigungsindustrie bzw. der Prozeßindustrie dargestellt. Hierbei handelt es sich um die Daimler-Benz Aerospace Airbus GmbH in Bremen sowie um ein Unternehmen aus dem Bereich der Textilveredelung in Augsburg.

2 Beispielhafte Anwendung eines umweltschutzorientierten Produktionsleitstandes in der Fertigungsindustrie

2.1 Aufgabenstellung

Exemplarisch wird der Einsatz eines umweltschutzorientierten Produktionsleitstandes im Bereich der Oberflächenbeschichtung metallischer Werkstoffe dargestellt. Der skizzierte Produktionsleitstand wird im Rahmen des vom BMBF unter dem Förderkennzeichen 01 RK 9602 geförderten Verbundvorhabens OPUS (Organisationsmodelle und Informationssysteme für den produktionsintegrierten Umweltschutz) entwickelt und bei der Daimler-Benz Aerospace Airbus GmbH in Bremen eingesetzt. Das betrachtete Produktionssystem (siehe Abbildung 1) besteht aus einer Galvanik, einer Lackiererei sowie einer Anlage zur Behandlung der Abwasserfrachten (Entgiftungs- und Neutralisationsanlage). Vor der Galvanisierung werden in einem Kommissionierbereich die einzelnen Werkstücke, die sich u. a. in Form und Größe unterscheiden, zu Losen zusammengestellt und auf einem Werkstückträger angebracht. Im Anschluß an die Galvanisierung werden die Werkstückträger entkommissioniert und die Werkstücke vor der Lackiererei zu neuen Losen zusammengefaßt. Hierbei werden die Werkstücke den beiden zur Verfügung stehenden Lackiersystemen (Lackierautomat, manuelle Lackierkabine) zugeordnet. Die Galvanik besteht aus einem Bereich zur Bearbeitung von Aluminiumwerkstücken und einem weiteren Bereich zur Behandlung von Stahl-, Edelstahl- und Titanwerkstücken, in denen jeweils unterschiedliche Beschichtungsverfahren eingesetzt werden. In beiden Bereichen der Galvanik fallen sowohl saure als auch alkalische Abwasserfrachten an, die in der Entgiftungs- und Neutralisationsanlage (ENA) behandelt werden.

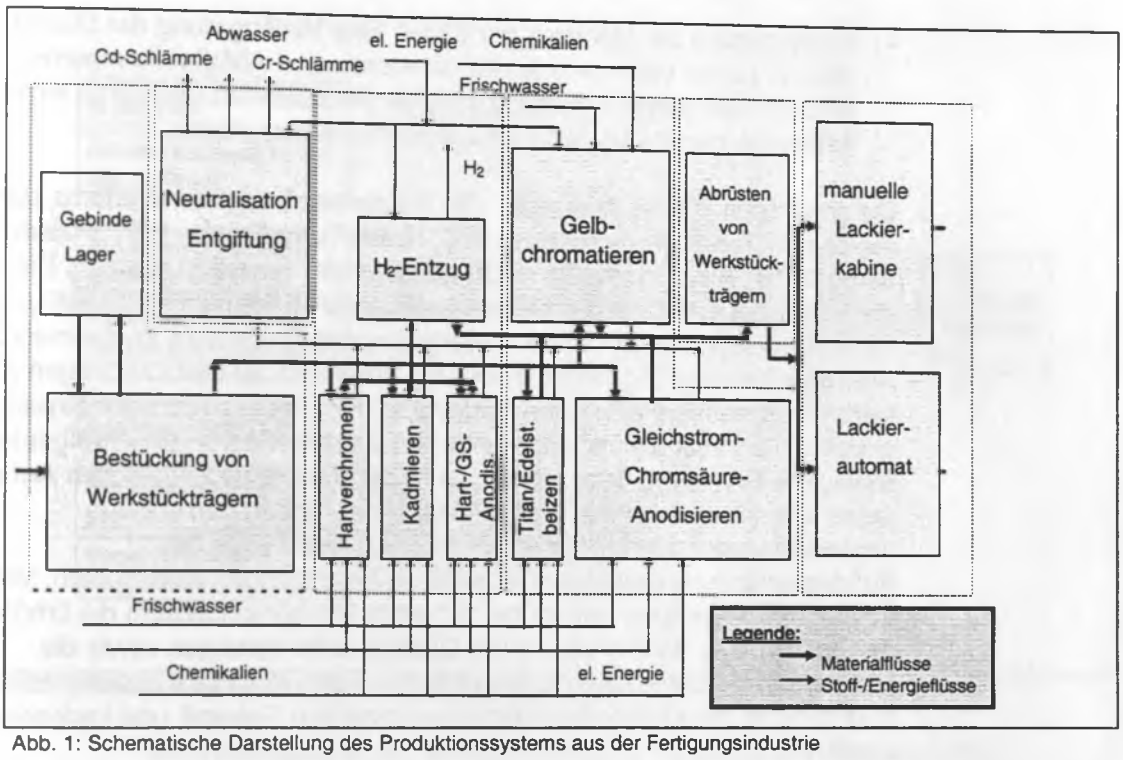

Abb. 1: Schematische Darstellung des Produktionssystems aus der Fertigungsindustrie

Eine Systemanalyse dieses Produktionssystems ergibt folgende Ansatzpunkte für einen umweltschutzorientierten Produktionsleitstand:

- Reduktion des Energiebedarfs durch Deaktivierung redundanter Bäder: Die verschiedenen Verfahren der Aluminium-Galvanik nutzen teilweise die gleichen Vorbehandlungsverfahren (z. B. geheizte alkalische Entfettungsbäder sowie saure Beizbäder). Diese werden für jedes Beschichtungsverfahren getrennt vorgehalten. Aufgrund der vergleichsweise kurzen Prozeßzeiten im Bereich der Werkstückvorbehandlung laufen diese Bäder häufig in heißer Redundanz. Durch eine gemeinsame Nutzung dieser Bäder kann der Energiebedarf des Produktionssystems signifikant reduziert werden. Dies kann jedoch zu einer Engpaßsituation in der Galvanik führen, die durch entsprechende Produktionssteuerungsmaßnahmen entschärft werden muß.

- Verminderung des Einsatzes von Fremdchemikalien zur Neutralisation: Durch eine entsprechende Abstimmung der sauren und alkalischen Abwasserfrachten der einzelnen Bäder kann der Einsatz von Fremdchemikalien (z. B. HCl) in der ENA reduziert werden.

- Reduktion von Umrüstemissionen: Durch eine ungünstige Reihenfolge der Aufträge in der Lackiererei kann es zu vermeidbaren Farbwechseln und damit verbundenen Lösemittelemissionen aufgrund von Umrüstvorgängen kommen.

- Verlängerung der Standzeit der Bäder: Eine Verlängerung der Standzeit mit dem Ziel einer Verringerung des Abwasser- und Abfallaufkommens erfordert die Berücksichtigung variabler Prozeßzeiten und damit eine Fahrweise bei sich im Zeitverlauf ändernden Intensitäten.

Die genannten Problemstellungen des skizzierten Produktionssystems können mit dem in [Franke/Tuma/Haasis 1998, Haasis/Tuma/Franke 1997, Haasis 1998] dargestellten Modell eines Produktionsleitstandes adressiert werden. Die Reduktion des Energiebedarfs bzw. des Bedarfs an Fremdchemikalien und Lösemitteln läßt sich durch eine Erweiterung des Zielsystems im Rahmen der Auftragseinlastung (Aggregatebelegung) umsetzen. Zu berücksichtigen ist hierbei insbesondere eine hohe Auslastung der Engpaßbäder (gemeinsam genutzte Vorbehandlungsbäder), eine lackierartorientierte Reihenfolgeplanung sowie eine Einlastung der Aufträge, die einen möglichst zeitgleichen Anfall saurer und alkalischer Abwässer gewährleistet. Neben den umweltschutzorientierten Zielsetzungen sind im Rahmen der Auftragseinlastung betriebswirtschaftliche Zielsetzungen zu beachten. Von besonderer Bedeutung sind im betrachteten Produktionssystem die Erhöhung der Termintreue, die Einhaltung der Qualitätsanforderungen sowie die Erhöhung des Durchsatzes der bearbeiteten Teile. In diesem Zusammenhang ist insbesondere die Kapazitätsabstimmung zwischen Galvanik und Lackiererei zu beachten.

2.2 Lösungsverfahren und Ergebnisse

Methodisch können in diesem Zusammenhang sowohl optimierende Verfahren (z. B. Dynamische Optimierung, Branch&Bound-Verfahren) als auch Heuristiken (z. B. Prioritätsregelverfahren, wissensbasierte Ansätze, Methoden des Maschinellen Lernens) verwandt werden. Eine optimale Planung der Aggregatebelegung läßt sich i. allg. für praktische Problemstellungen nicht durchführen. Daher werden in der industriellen Praxis überwiegend heuristische Planungsverfahren, und hier insbesondere Prioritätsregelverfahren eingesetzt (vgl. [Stadtler/Wilhelm/Becker 1995, Glaser/Geiger/Rohde 1992]). Aufgrund der Anforderungen realer Produktionssysteme (multikriterielle Zielfunktion, Anzahl und Art verfahrenstechnischer Restriktionen) sowie aufgrund des Umfangs und der Struktur des zur Verfügung stehenden Produktionswissens (z. B. unscharfes, implizites Wissen) sind jedoch auch konventionelle Prioritätsregelverfahren unseres Erachtens kaum anwendbar. Je nach Struktur des verfügbaren Produktionswissens empfiehlt sich daher eine Verwendung von wissensbasierten Ansätzen oder Methoden des Maschinellen Lernens (z. B. Neuronale Netze). Abbildung 2 zeigt die Struktur eines regelbasierten Systems zur Auftragseinlastung für das dargestellte Produktionssystem.

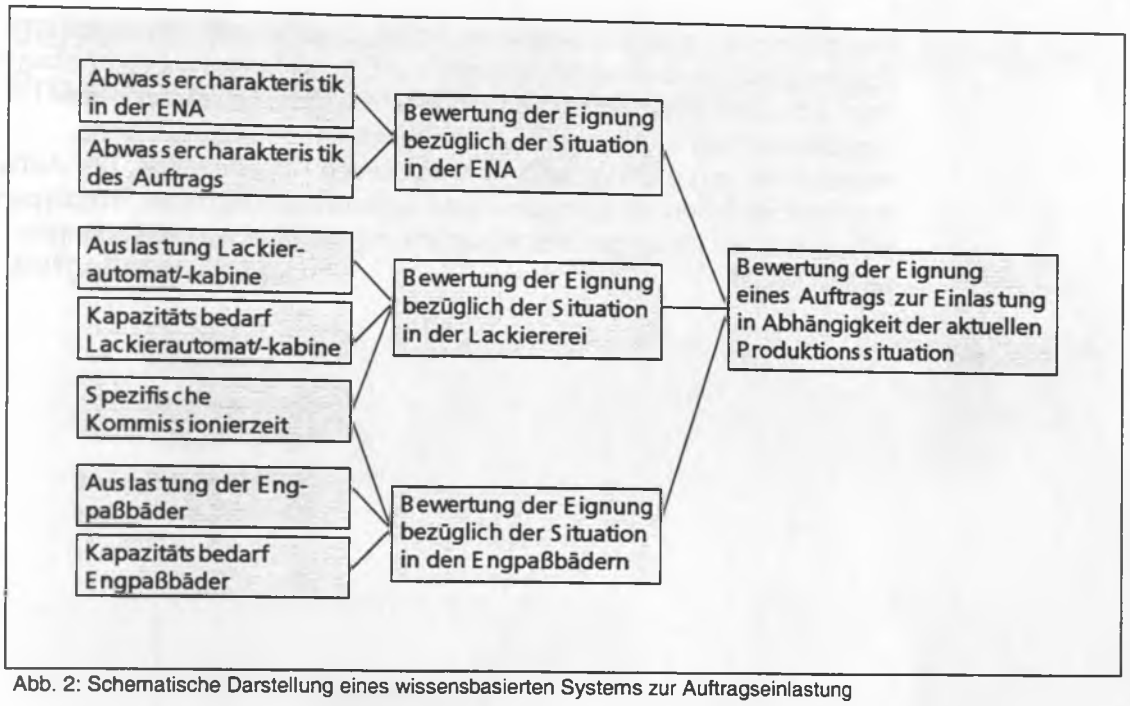

Abb. 2: Schematische Darstellung eines wissensbasierten Systems zur Auftragseinlastung

Die Verlängerung der Standzeit einzelner Bäder kann im Rahmen einer umweltschutzorientierten Intensitätssteuerung angegangen werden. Die hierzu notwendigen Voraussetzungen zur Ermittlung der Prozeßzeiten galvanischer Bäder erfordert eine Analyse des Badzustandes (z. B. Beizrate). Dieser hängt insbesondere von der Konzentration der Inhaltsstoffe (z. B. Kupferkonzentration, H2SO4-Konzentration) sowie weiterer badspezifischer Parameter ab. Da es zwischen diesen Daten und dem Badzustand i. allg. keinen expliziten funktionalen Zusammenhang gibt, empfiehlt sich hier der Einsatz von Mustererkennungsverfahren. Ein entsprechender Ansatz auf der Basis eines Neuronalen Netzes wurde an der Technischen Universität Dresden im Rahmen eines BMBF-Verbundvorhabens zur Schließung von Stoffkreisläufen von galvanotechnischen Prozeßstufen (BMBF-Vorhaben 01ZH915A/8) entwickelt (vgl. [Hauser et al. 1995]). In diesem Bereich besteht jedoch noch erheblicher Forschungsbedarf.

Der auf den skizzierte Methoden beruhende Produktionsleitstand befindet sich zur Zeit in der Erprobungsphase im Werk Bremen der Daimler-Benz Aerospace Airbus GmbH. Vorbehaltlich des weiteren Verlaufs der Evaluationsphase ergibt eine erste Einschätzung folgende zu erwartende Ergebnisse. Durch eine Reduzierung redundanter Vorbehandlungsbäder erscheint eine Reduktion des Energiebedarfs in der Vorbehandlungsstufe der Aluminium-Galvanik um bis zu 50% möglich. Bezogen auf die in der ENA zu neutralisierenden Abwässer wird im Rahmen einer Verknüpfung von produktions- und prozeßintegrierten Umweltschutzmaßnahmen ein Schritt in Richtung einer abwasserfreien Galvanik vorgenommen. Durch eine entsprechende Reihenfolgeplanung in der Lackiererei erscheint eine Reduzierung der Lösemittelemissionen um 50% möglich. Bezüglich der Verlängerung der Standzeit der Bäder kann zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch keine Aussage getroffen werden. Kritisch ist

hier insbesondere die Einhaltung der hohen Qualitätsanforderungen im Flugzeugbau. Der personelle Aufwand zur Entwicklung des beschriebenen Produktionsleitstandes einschließlich Systemanalyse, Erstellung eines Simulationsmodells, Akquisition des relevanten Produktionswissens, Implementierung und Evaluation beträgt sieben Personenjahre. Der Aufwand für eine Installation des Leitstandes auf Basis des entwickelten Prototypen läßt sich gemäß der bisherigen Betriebserfahrungen mit einem Personenjahr veranschlagen.

3 Beispielhafte Anwendung eines umweltschutzorientierten Produktionsleitstandes in der Prozeßindustrie

3.1 Aufgabenstellung

Ein weiteres Beispiel einer umweltschutzorientierten Auftragseinlastung aus der Prozeßindustrie wird anhand eines exemplarischen Produktionssystems (vgl. Abbildung 3) aus der Textilindustrie dargestellt (vgl. hierzu auch [Tuma 1994, Tuma/Haasis/Rentz 1996]). Hierbei handelt es sich um eine Färberei mit vorgelagertem Kesselhaus und Wasserkraftwerk.

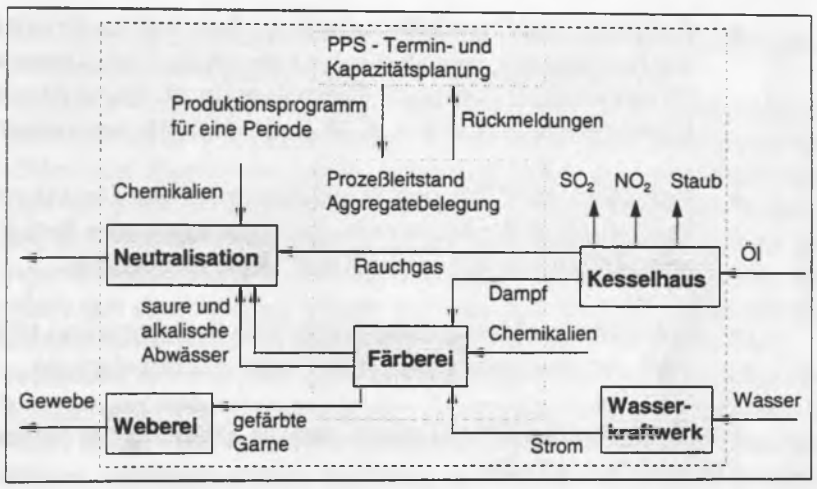

Abb. 3: Darstellung eines Produktionssystems aus der Textilindustrie

Die Färberei umfaßt zwei Produktionsstufen, den Färbeprozeß sowie das „Trocknen" der gefärbten Garne. Für die Produktion werden u.a. Dampf/Heißwasser und Strom benötigt. Diese Ressourcen werden von zwei Kraftwerken zur Verfügung gestellt. Die im Rauchgas des Kraftwerkes enthaltenen Substanzen CO2 und SO2 werden in einer nachgeschalteten Abwasseraufbereitungsanlage zur Neutralisation der alkalischen Abwässer der Färberei verwandt. Die Speichermöglichkeiten von Dampf/Heißwasser sowie das Fassungsvermögen des Abwasserbeckens vor dem Begasungsturm sind begrenzt. Die Kapazitäten der Ver- bzw. Entsorgungseinrichtungen verhalten sich dynamisch und sind eine Funktion exogener Einflußfaktoren (z. B. der Smoglage oder des Wasserpegels im Zufluß des Wasserkraftwerks). Umweltschutzorientierte und betriebswirtschaftliche Zielsetzungen sind hierbei etwa:

- Steigerung der Produktionsmengen: Ziel ist es, durch eine entsprechende Abstimmung der Produktion auf sich im Zeitverlauf ändernde Ressourcenangebote die Ausbringungsmenge des Produktionssystems zu erhöhen. Dies führt auch zu einer:

- Effizienteren Nutzung des verfügbaren Energieangebots: Eine effiziente Abstimmung von Energieangebot und -nachfrage führt zu einem erhöhten Nutzungsgrad der eingesetzten Energie und ermöglicht so eine Steigerung der Produktionsmenge bei Ressourcenknappheit.

- Reduktion der Abwärmeverluste: Durch eine verbesserte Ausnutzung des Dampf-/Heißwasserangebotes werden Abwärmeverluste vermindert.

- Steigerung der Effizienz der Neutralisationsanlage: Die Steigerung des durch die Nutzung der Rauchgase des Kesselhauses neutralisierten Anteils der Färbereiabwässer führt zu einer:

- Reduktion des Chemikalieneinsatzes: Bei einer ungenügenden Abstimmung des Rauchgasvolumenstroms und der alkalischen Abwasserfrachten der Färberei müssen temporär überschüssige alkalische Abwässer mittels Fremdchemikalien, wie z. B. HCl oder H2SO4, neutralisiert werden.

- Reduktion von CO2- und SO2-Emissionen: Der Einsatz von Rauchgas zur Neutralisation der Färbereiabwässer impliziert eine Reduktion von CO2- und SO2-Emissionen in der Abluft des Kesselhauses.

- Reduktion problematischer Salze: Eine Reduktion von HCl oder H2SO4 impliziert eine geringere Chlorid- bzw. Sulfatbelastung.

Eine Systemanalyse hat ergeben, daß die Erfüllung der Zielsetzungen insbesondere von der

- zeitlichen Zuordnung der potentiell zu bearbeitenden Aufträge auf die Aggregate und der

- Auswahl potentiell einsetzbarer Produktionsverfahren zum Färben der Partien

abhängen.

3.2 Lösungsverfahren und Ergebnisse

Methodisch wurden diese zur Arbeitsveranlassung gehörenden Aufgaben auf der Basis von fuzzyfizierten Expertensystemen, Neuronalen Netzen und Neuro-Fuzzy-Ansätzen (siehe Abbildung 4) modelliert. Eine ausführliche Darstellung findet sich etwa in [Tuma 1994].

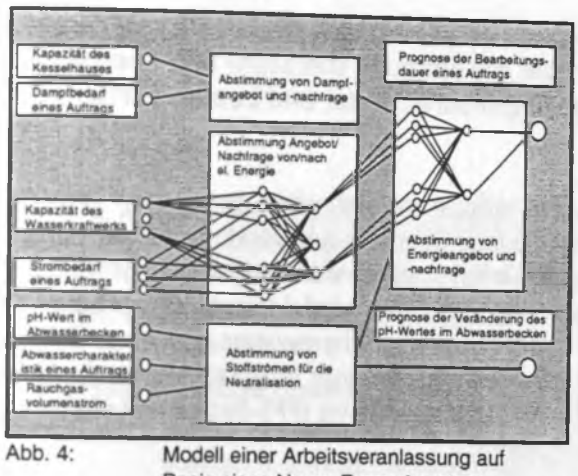

Abb. 4: Modell einer Arbeitsveranlassung auf Basis eines Neuro-Fuzzy-Ansatzes

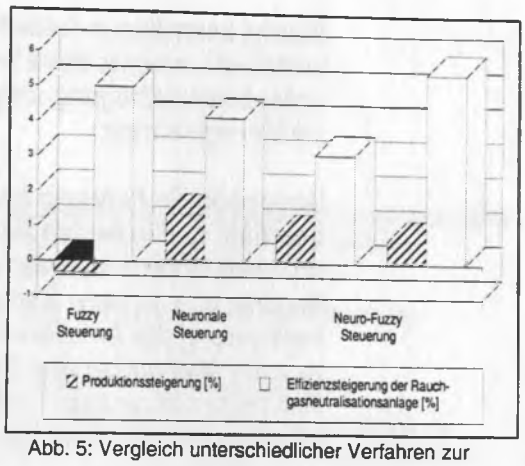

Abb. 5: Vergleich unterschiedlicher Verfahren zur Arbeitsveranlassung

In Abbildung 5 werden die eingesetzten Methoden hinsichtlich der Ziele „Produktionssteigerung" bzw. „Effizienzsteigerung der Rauchgasneutralisationsanlage" verglichen. Hierbei ist zunächst zu bemerken, daß regelbasierte Ansätze bezüglich des betriebswirtschaftlichen Kriteriums schlechtere Ergebnisse zeigen, jedoch bezüglich des umweltschutzorientierten Ziels vorteilhafter sind. Der Grund hierfür liegt offensichtlich in der Tatsache, daß sich Problemstellungen im umweltschutzorientierten Bereich auf ingenieurwissenschaftliche Fragestellungen zurückführen lassen. Hierfür liegt relativ gut strukturiertes Wissen vor, das sich vergleichsweise leicht in Regeln transformieren läßt. Im Gegensatz dazu läßt sich hinsichtlich des betriebswirtschaftlichen Zielkriteriums nur schwierig ein Regelsystem zur Realisierung einer entsprechenden Auftragsveranlassung ableiten. In derartigen Fällen ist der Einsatz von Mustererkennungsverfahren, wie etwa Neuronalen Netzen, vielversprechend. Eine Möglichkeit, die Vorteile der genannten Verfahren zu kombinieren bieten sogenannte hybride Ansätze (Neuro-Fuzzy). Dieses Vorgehen verbindet die Fähigkeit von Experten, ein konsistentes Modell für eine begrenzte Planungs- oder Steuerungsaufgabe zu entwickeln, mit den Möglichkeiten von Methoden des Maschinellen Lernens, implizites Wissen auszuwerten. Bei der Erstellung solcher Systeme empfiehlt sich folgende Vorgehensweise:

- In einem ersten Schritt werden die Gewichtungsfaktoren der einzelnen Fuzzy-Regeln maschinell auf der Basis der Lerndaten des Neuronalen Netzes vorjustiert (Abbildung 5, Balken 5 bzw. 6).

- In einem zweiten Schritt werden die Regelgewichtungen, für die ein konsistentes Modell besteht (z. B. Steuerung der Stoffströme für die Neutralisationsanlage), manuell nachjustiert (Abbildung 5, Balken 7 bzw. 8).

Dies ist besonders in Gebieten mit unterschiedlich strukuriertem Wissen vorteilhaft, welches etwa bei der Abstimmung von Stoff- und Energieflüssen unter Berücksichtigung umweltschutzorientierter und betriebswirtschaftlicher Zielkriterien auftritt.

Der personelle Aufwand ist vergleichbar mit den oben genannten Werten. Zu beachten sind in beiden Anwendungsfällen die notwendigen organisatorischen und technischen Umstellungen. So führt die Einführung der vorgestellten Systeme u. a. zu einer Verlagerung von Tätigkeitsfeldern (z. B. partielle Verlagerung des Anforderungsprofils eines Färbemeisters von einer dispositiven zu einer überwachenden Tätigkeit) sowie zu einer Integration verschiedener Planungs-, Steuerungs- und Informationssysteme (PPS-Systeme, Leitstände und Einzelsteuerungen von Aggregaten).

Bezogen auf eine Abstimmung von Stoff- und Energieströmen im Bereich der Textilveredelung lassen sich abschließend folgende Schlußfolgerungen formulieren:

- Der mit der Entwicklung und Einführung der skizzierten Ansätze verbundene Aufwand bzw. die erforderlichen Umstellungen sind i. allg. nur für größere Produktionssysteme mit einem entsprechenden Abstimmungspotential (z. B. Färbereien mit einer Kapazität von 400 - 500 t Garn oder Fasern pro Monat) empfehlenswert. Bei kleinen bis mittleren Produktionssystemen (z. B. Färbereien mit einer Kapazität von ca. 100 t Garn oder Fasern pro Monat) sind die Abstimmungsmöglichkeiten von Stoff- und Energieströmen per se im Verhältnis zum notwendigen Aufwand eher als zu gering einzuschätzen. Hierzu ist anzumerken, daß neben der Gewährleistung eines vorgegebenen pH-Wert-Bereiches und einer verbesserten Abwärmenutzung mit den skizzierten Verfahren auch die Einleittemperatur der Färbereiabwässer in die Kläranlage nivelliert werden kann. Dies ist insbesondere für größere Färbereien mit einem entsprechenden Abwasseranfall von Bedeutung.

- Berücksichtigt man die mangelnde Konkurrenzfähigkeit kleiner Färbereien, den Erfüllungsbedarf entsprechender Gesetze bzw. Verordnungen (Wasserhaushaltsgesetz, Wärmenutzungsverordnung) sowie den Kostendruck im Bereich der Textilindustrie, ist festzustellen, daß die Entwicklung moderner zukunftsorientierter Steuer- und Regelungssysteme auch in diesem Bereich von existentieller Bedeutung ist und den Einsatz entsprechender Verfahren erfordert.

4 Literatur

Franke, St./Tuma, A./Haasis, H.-D. (1998): Entwicklung umweltschutzorientierter Produktionsleitstände auf Basis eines belastungsorientierten Kaskadenreglers, in: Bullinger, H.-J. et al. (Hrsg.): Betriebliche Umweltinformationssysteme in Produktion und Logistik, S. 153-169, Marburg.

Glaser, H./Geiger, W./Rohde, V. (1992): PPS - Produktionsplanung und -steuerung - Grundlagen - Konzepte - Anwendungen, 2. Aufl., Wiesbaden.

Haasis, H.-D. (1996): Betriebliche Umweltökonomie, Bewerten - Optimieren - Entscheiden, Berlin et al.

Haasis, H.-D./Tuma, A./Franke, St. (1997): Anforderungen an umweltschutzorientierte Produktionsleitstände, in: Bullinger H.-J. (Hrsg.): Anforderungen an Methoden und Systeme für eine umweltorientierte Auftragsabwicklung, S. 129-149, Stuttgart.

Haasis, H.-D. (1998): Umweltorientierte Produktionsplanung und –steuerung (UPPS), in: Wildemann, H. (Hrsg.): Innovationen in der Produktionswirtschaft - Produkte, Prozesse, Planung und Steuerung, München, erscheint 1998.

Hauser et al. (1995): Schließung von Stoffkreisläufen und Automatisierung von galvanotechnischen Prozeßstufen. Schlußbericht BMBF-Vorhaben 01ZH915A/8.

Stadtler, H./Wilhelm, St./Becker, M. (1995): Entwicklung des Einsatzes von Fertigungsleitständen in der Industrie, in: Management & Computer 3(1995)4, S. 253-266.

Tuma, A. (1994): Entwicklung emissionsorientierter Methoden zur Abstimmung von Stoff- und Energieströmen auf der Basis von fuzzyfizierten Expertensystemen, Neuronalen Netzen und Neuro-Fuzzy-Ansätzen - dargestellt am Anwendungsbeispiel der Produktionssteuerung in einer Färberei der Textilindustrie, Frankfurt am Main.

Tuma, A./Haasis, H.-D./Rentz, O. (1996): A Comparison of Fuzzy Expert Systems, Neural Networks and Neuro-Fuzzy-Approaches Controlling Energy and Material Flows, in: Ecological Modelling, 85(1996)1, S. 93-98.

Wagner, G. R. (1997): Betriebswirtschaftliche Umweltökonomie, Stuttgart.