

# Firmendarstellung



**Datenanalyse   Systemanalyse   Automation**

SEI system engineering GmbH ilmenau  
Werner-von-Siemens-Straße 4  
D-98693 Ilmenau  
Tel. 03677 841663  
Fax 03677 844318

[www.sei-gmbh.de](http://www.sei-gmbh.de)



## Firma

Die system engineering GmbH ilmenau ist ein Unternehmen, das 1993 als universitätsnahe Einrichtung gegründet wurde. Sie verfolgt in enger Kooperation mit der Technischen Universität Ilmenau folgende Hauptziele:

- Übernahme und Beschäftigung von jungen, talentierten Nachwuchswissenschaftlern, die auf Grund ihrer Tätigkeit über umfangreiche Projekterfahrungen verfügen und den Umgang mit modernster Technik beherrschen,
- Wahrnehmung von Überleitungsaufgaben universitärer Forschungsergebnisse in neue Produkte und Verfahren,
- Entwicklung innovativer Produkte, Verfahren und Dienstleistungen zur Datenanalyse, Systemanalyse und Automation.

Die *system engineering GmbH ilmenau* beschäftigt gegenwärtig 8 Mitarbeiter, wovon 3 mit einer abgeschlossenen Hochschulausbildung im Bereich Forschung und Entwicklung tätig sind.

## 1 Unsere Leistungen

Die Bezeichnung system engineering steht für Gesamtlösungen in den Bereichen **Automatisierungs-/Systemtechnik** und **Softwareentwicklung**. Ob komplexe Produktionsprozesse, moderne verfahrenstechnische Prozesse, Betriebsabläufe in Unternehmen oder Umweltprozesse, überall ist der Systemcharakter wiederzufinden. Diese allgemeine, theoretisch fundierte Herangehensweise bildet die Grundlage unserer Tätigkeit. Ausgehend von einer **detaillierten Problemanalyse**, die in enger Kooperation mit dem Kunden erfolgt, entsteht eine **Systembeschreibung** in Form von Modellen als Grundlage der angestrebten Problemlösung. Die Art und Weise der Beschreibung hängt dabei wesentlich von der Aufgabenstellung und den Systemeigenschaften ab. Lineares oder nichtlineares Verhalten, statische Probleme oder extrem dynamische Vorgänge, mathematisch beschreibbares oder empirisch vorliegendes Prozeßwissen werden genauso berücksichtigt wie die unterschiedlichen Anwendungsbereiche in **Diagnose, Überwachung, Steuerung oder Vorhersage**.

Um quantifizierbare Aussagen über das Prozeßverhalten zu gewinnen, ist in der Regel eine umfangreiche **Prozeßdatenerfassung** unumgänglich. Die Bereitstellung und Installation der erforderlichen Meßtechnik gehört ebenso zu unseren Leistungen wie die Versuchsdurchführung und -auswertung mit leistungsfähigen Methoden der **Daten- und Prozeßanalyse**.

Damit aus den Entwicklungsergebnissen ein einsatzfähiges Produkt entsteht, spielt die **Implementierung** der Algorithmen in ein nutzerfreundliches und zuverlässig arbeitendes Gerät bzw. Softwareprodukt oder die Integration in eine bestehende Anlage eine wesentliche Rolle. Unser Leistungsspektrum umfaßt die Programmentwicklung für SPS- und PC-Technik in Verbindung mit einer **kundenspezifischen Prozeßvisualisierung, Dialogführung und Datenverwaltung, mit Möglichkeiten der Datenfernübertragung** und anderen Dienstleistungsfunktionen.

Der effektive Umgang mit neu entwickelten Produkten erfordert eine fachgerechte Anleitung der Nutzer. Unter Berücksichtigung der verfahrensspezifischen Kenntnisse und Arbeitsbedingungen unserer Kunden führen wir die **Produkteinführung und Schulung** in Form von Seminaren und Praktika vor Ort durch. Ein wichtiger Grundsatz unserer Arbeit ist die Absicherung einer langfristigen und individuellen **Kundenbetreuung**, die sowohl die Produktweiterentwicklung als auch den Vor-Ort-Service beinhaltet.

## 2 Projekte und Partner

Die Spezifik unseres Unternehmens besteht in seiner Einordnung in die Bereiche Systemanalyse, Prozessautomatisierung und Softwareentwicklung. Damit können auf einer fundierten theoretischen Grundlage einer Systembeschreibung individuelle Automatisierungslösungen entwickelt werden. Die verfügbaren Softwarewerkzeuge und –technologien sorgen für eine effiziente Realisierung der entwickelten Konzepte. Auf Grund der immens steigenden Informations- und Datenmengen ist gerade der Bedarf an Datenbankanwendungen kontinuierlich angewachsen.

Zu unseren Kunden und Projektpartnern zählen u.a.:

- Fraunhofer Institut für Informations- und Datenverarbeitung Karlsruhe IITB,
- Fraunhofer Anwendungszentrum für Automatisierungs- und Systemtechnik Ilmenau AST,
- BIOSTERIL GmbH & Co.KG , Ritschenhausen
- Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie, Jena
- Thüringer Energie AG, Erfurt
- Institut für physikalische Hochtechnologie Jena IPHT,
- TU Ilmenau/ Institut für Automatisierungs- und Systemtechnik,
- Verband Naturpark Thüringer Wald, Friedrichshöhe
- Fremdenverkehrsverband Thüringer Wald, Suhl
- Stadtwerke und Regionalversorger,
- diverse mittelständische Unternehmen.

## 3 Leistungsübersicht

### Aufgabengebiete

- Prozeß- und Datenanalyse,
- Prozessmodellierung,
- Steuerungsentwurf,
- Prozeßdatenerfassung, -visualisierung, -überwachung, -steuerung (SCADA).

### Projektbearbeitung mit

- Schaltschrankbau (Einzelfertigung und Kleinserie),
- Installation (Sensorik,Aktorik,Steuerung,Feldbussysteme),
- Inbetriebnahmen,
- SPS-Programmierung (Siemens, Möller, Mitsubishi, WAGO, ...),
- Anwendungssoftware (PC, IPC),
- Datenbankanbindung (Access, Oracle),
- Systembetreuung.

### Verfügbare Werkzeuge

- Matalab/Simulink,
- Labview,
- ibaLogic, ibaPDA
- Siemens Step5, Step7, Protool, WinAC, CodeSys, Mitsubishi Developer,
- C/C++,
- Access, Oracle,
- WSCad.

# Veröffentlichungen Projekte Produkte

Software

Automatisierung

Messtechnik

Multimedia

Datenbanken



# Fuzzy-Regelung der Keramisierung von Klärschlamm-Mischgranulaten in Hochtemperatur-Wirbelschicht-Anlagen

Nicolai, S. , Koch, M. ,

SEI system engineering GmbH Ilmenau, W.-v.-Siemens-Str.4, 98693 Ilmenau

Eichhorn, M. ,

TU Ilmenau, Institut für Automatisierungs- und Systemtechnik, 98684 Ilmenau, PF 10 0565

Richter, M.

VTI Thüringer Verfahrenstechnisches Institut für Umwelt und Energie e.V., 07302 Saalfeld,

Wittmannsgereuther Str. 101

## 1. Kurzfassung

Ziel der vorgestellten Forschungsarbeit, die in Zusammenarbeit des VTI Thüringer Verfahrenstechnischen Instituts für Umwelt und Energie e.V. mit der TU Ilmenau, Fachgebiet Systemanalyse erfolgt, war die Realisierung einer auf dem Fuzzy-Konzept basierenden Regelung des Keramisierungsprozesses von Klärschlamm-Mischgranulaten in einer Hochtemperatur-Wirbelschicht-Anlage. Der Einsatz des gebrannten Granulates als Leichtzuschlagstoff in der Bauindustrie und die damit zu erfüllenden Qualitätsmerkmale setzten die genaue Einhaltung definierter Prozessbedingungen voraus. Diese beziehen sich im besonderen auf die Einhaltung eines sehr engen Temperaturbandes im Hochtemperaturbereich. Das Wirbelschichtverfahren ist dabei durch eine große Anzahl von Eingangs- und Ausgangsgrößen und deren Verkopplungen untereinander charakterisiert.

Es soll im vorliegenden Bericht die allgemeine Herangehensweise bei der Lösung dieser Problemstellung erläutert und anschließend die erzielten Ergebnisse vorgestellt werden. Die praktischen Untersuchungen wurden an der Versuchsanlage des VTI Thüringer Verfahrenstechnisches Institut Saalfeld durchgeführt.

## 2. Zielstellung

In vielen Bereichen der Industrie sowie im kommunalen Sektor fallen Schlämme bzw. Stäube an. Durch die Klärschlammverordnung [1] und durch die Einführung der TA Siedlungsabfall [2] sowie durch Akzeptanzprobleme werden die Ausbringung auf landwirtschaftlich genutzte Flächen sowie die Deponierung als Entsorgungsmöglichkeit drastisch beschnitten. Nach [2] ist ab dem 1.Juni 2005 eine Deponierung von Klärschlamm gesetzlich verboten, sofern die organische Masse einen Gewichtsanteil von 5% überschreitet.

Die Entsorgung dieser Abfälle kann auf verschiedene Weise. Im VTI Thüringer Verfahrenstechnischen Institut Saalfeld e.V. wird Klärschlamm aus kommunalen Kläranlagen in einer Hochtemperatur-Wirbelschicht-Anlage (Bild 1) bei Temperaturen von 1050-1100 °C derart gebrannt, dass das entstehende Endprodukt keine organischen Bestandteile mehr besitzt und anorganische Stoffe durch die Keramisierung fest eingebunden werden. Bei optimaler Temperaturführung in einem engen Toleranzband, welches von unzureichender Keramisierung auf der einen und beginnendem Schmelzen auf der anderen Seite begrenzt wird, kann ein Endprodukt gewonnen werden, welches als hochwertiger Leichtzuschlagstoff in der Bauindustrie eingesetzt werden kann.

Der Prozess ist charakterisiert durch eine Vielzahl von Eingangs- und Ausgangsgrößen, deren Verkopplungen sowie starken Störungen. Diese Störungen sind zum einen auf die ungleichmäßige Zusammensetzung des Ausgangsgranulates in Bezug auf Feuchte und Heizwert und zum anderen auf die Natur eines Wirbelschichtprozesses in diesen Temperaturbereichen zurückzuführen.

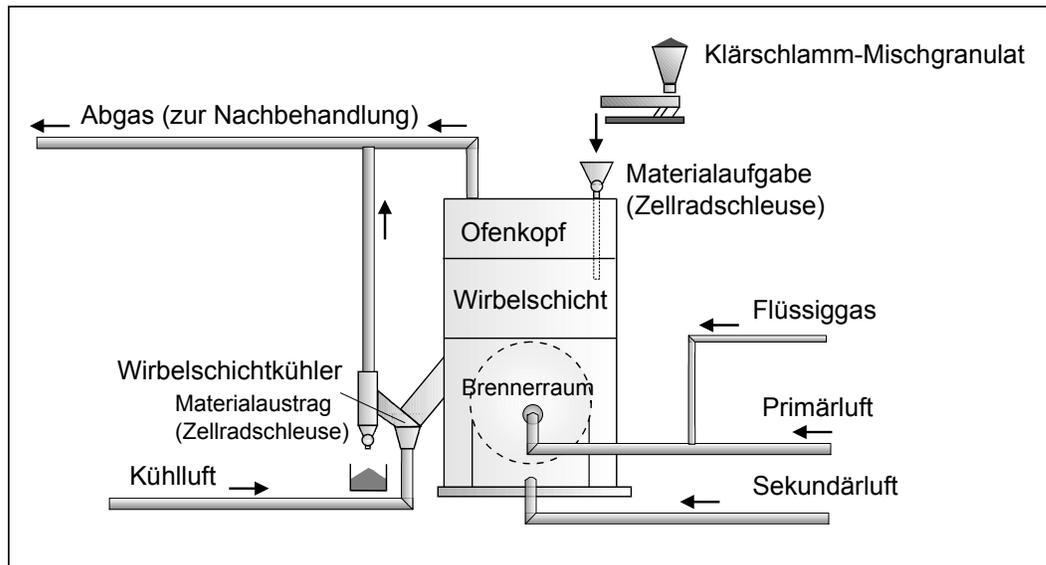


Bild 1 Verfahrensschema der Hochtemperatur-Wirbelschicht-Anlage

Der Einsatz einer Regelung auf Grundlage des Fuzzy-Konzeptes ist dabei auf Grund folgender Eigenschaften des Prozesses gerechtfertigt :

- hohe Komplexität des Prozesses in Bezug auf die Anzahl der Eingangs-, Zustands- und Ausgangsgrößen,
- notwendige Einhaltung sehr enger Toleranzbänder der Prozessgrößen,
- nichtlineares Prozessverhalten,
- starke Störungen,
- unzureichende Modellierbarkeit des Prozesses,
- Extremsituationen nur mit Expertenwissen beherrschbar.

### 3. Modellierung

Als Entwurfskonzept für die Fuzzy-Regelung wird das Konzept von SOFCO (Strategie of Optimal Fuzzy COntrol Design) verwendet [5], [6], [7]. Als wesentliche Entwurfsschritte dieser ingenieurtechnisch fundierten Vorgehensweise sind zu realisieren:

1. Festlegung der Optimierungskriterien der Steuerung / Regelung
2. Entwurf der Steuerungsstruktur
3. Erstellung von Grobmodellen für das statische und dynamische Verhalten
4. Optimaler modellgestützter Entwurf der Fuzzy Regelung
5. Implementierung und Feintuning der Fuzzy Regelung.

Die exakte Modellierung eines solch komplexen Prozesses mit Hilfe der theoretischen Prozessanalyse ist sehr schwierig [8]. Eine Vereinfachung hinsichtlich der Strukturierung in Teilprozesse und die Vernachlässigung von weniger bedeutenden Wechselwirkungen ermöglicht es dennoch, ein Grobmodell für den Prozess zu erstellen, mit dessen Hilfe der Steuerungsentwurf realisiert werden kann.

Eine Möglichkeit der Unterteilung in Einzelprozesse bieten die an den Prozess zu stellenden Kriterien:

- Qualität des Endprodukts,
- energieoptimale Führung des Prozesses,
- Einhaltung der vorgeschriebenen Abgaswerte,
- Einhaltung der notwendigen Betriebsbedingungen zum Betrieb der Anlage.

Es ergeben sich dadurch drei wesentliche Teilprozesse, die jeweils eine Ausgangsgröße besitzen (Bild 2). Es sind dies:

### **Teilprozess 1: Wirbelschichttemperatur**

Für die Qualität des Endprodukts sind dessen physikalische und chemische Eigenschaften, wie die Festigkeit und die Eluierbarkeit ausschlaggebend. Da diese Kennwerte nicht unmittelbar während des Prozesses ermittelt werden können, wird die Temperatur im Reaktorraum als Maß für die Güte des gebrannten Granulats herangezogen. Gleichzeitig wird die vom Brenner gelieferte Temperatur unter Rost einbezogen, um somit eine Minimierung der Flüssiggasmenge bei Maximierung des Massestroms des Mischgranulates zu erreichen.

### **Teilprozess 2: Sauerstoffgehalt im Abgas**

Die energieoptimale Führung des Prozesses und der vollständige Ausbrand in der Wirbelschicht bei Maximierung der Aufgabemenge des Mischgranulates sind über die Prozessgröße "Sauerstoffgehalt im Abgas" zu erreichen. Gleichzeitig sollen über den Sauerstoffgehalt im Abgas und die Wirbelschichttemperatur Aussagen über die Schadstoffemission direkt nach dem Reaktorraum und vor der Abgasbehandlung gemacht werden.

### **Teilprozess 3: Druck in Wirbelschicht**

Die Arbeitsweise des Flüssiggasbrenners der HTA setzt Strömungsverhältnisse über der Wirbelschicht voraus, die einen kontinuierlichen Abtransport des Abgases aus dem Reaktorraum gewährleisten.

Die für den Reglerentwurf benötigten Teilmodelle wurden durch die Realisierung optimaler Versuchspläne in den verschiedenen Arbeitspunkten gewonnen. Die Arbeitspunkte sind von den jeweiligen Materialeigenschaften wie Korngröße und Brennwert abhängig. Auf Grundlage der in den ersten Versuchen ermittelten Übergangszeiten der Ausgangsgrößen der einzelnen Modelle wurden drei Versuchspläne für die einzelnen Teilmodelle erarbeitet. Die Vorgehensweise soll am Beispiel des Temperaturmodells dargestellt werden :

Der Versuchsplan für das Modell Wirbelschichttemperatur besitzt die Eingangsgrößen :

- |                             |                            |
|-----------------------------|----------------------------|
| – Massestrom Klärschlamm    | Übergangszeit : ca. 10 min |
| – Volumenstrom Flüssiggas   | Übergangszeit : ca. 20 min |
| – Volumenstrom Sekundärluft | Übergangszeit : ca. 15 min |

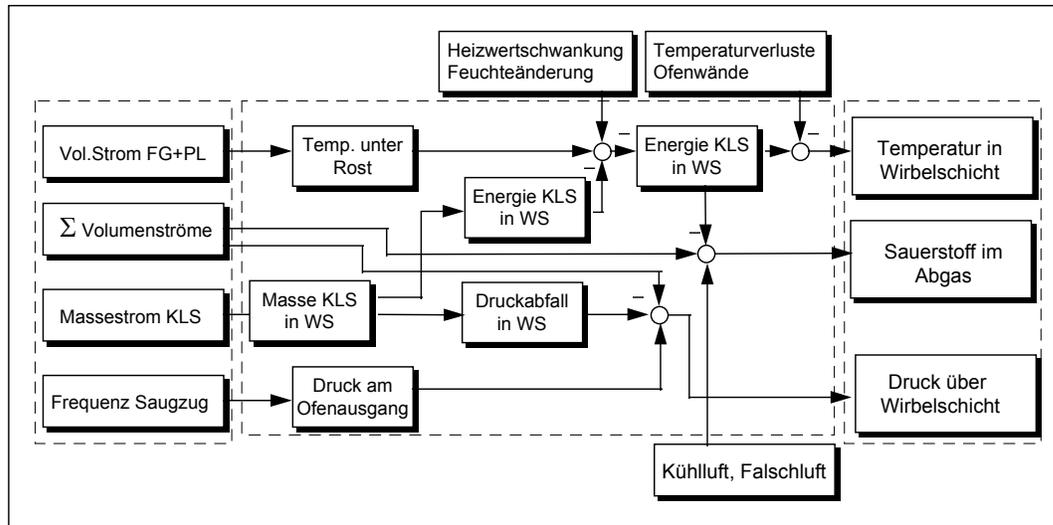


Bild 2 Struktur des Gesamtprozesses

bei einer Abtastzeit  $T_a = 2$  min. Die Testsignale des Versuchsplanes sind in Bild 3 dargestellt. Ausgehend von den durchgeführten Versuchsplänen wurde die Modellierung des dynamischen linearen Verhaltens im jeweiligen Arbeitspunkt realisiert. Als Modellstruktur wurde das Differenzgleichungsmodell (ARX-Modell) verwendet.

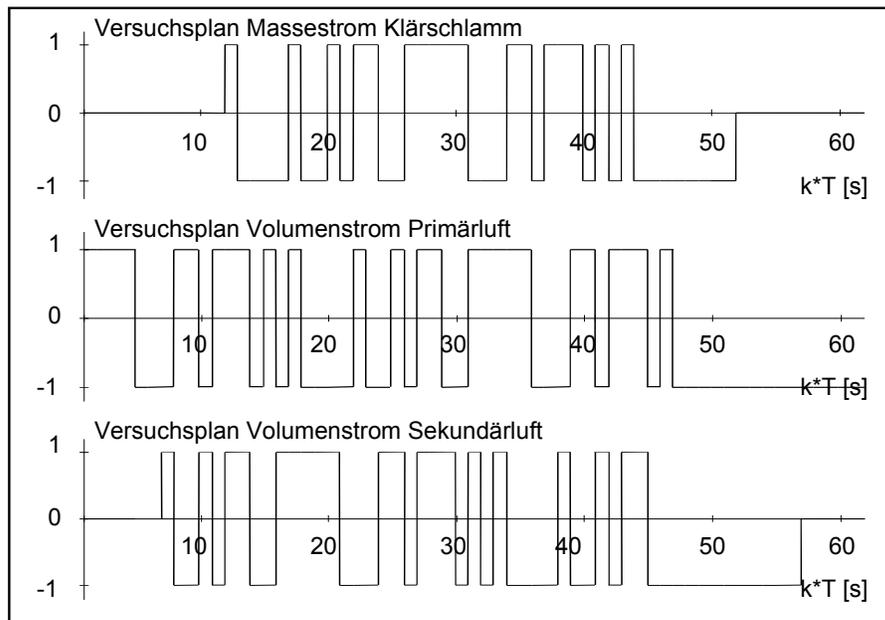


Bild 3 Testsignale des Versuchsplanes für das Wirbelschichttemperaturmodell

#### 4. Entwurf der Fuzzy-Regelung

Der Reglerentwurf auf Grundlage der geschätzten Ein- / Ausgangsmodelle des Prozesses wurde mit Hilfe der an der TU Ilmenau, Fachgebiet Systemanalyse entwickelten "Fuzzy Control Design Toolbox für Matlab®" [6] vorgenommen.

Die Gesamtstruktur der entworfenen Regelung zeigt Bild 4. Ein übergeordneter Sollwertgeber hat die Aufgabe, in Abhängigkeit von der Korngröße des verwendeten Materials, die Initialisierungswerte sowie die unteren und oberen Stellgrößenbeschränkungen der einzelnen Fuzzy-Regler vorzugeben. Die Fuzzy-Regler übernehmen die Sollwertvorgabe für die in der untersten Ebene implementierten Basisregler der einzelnen Eingangsgrößen des Prozesses. Diese sind als konventionelle PID- bzw. Dreipunkt-Schrittregler realisiert.

Es ergeben sich nach Bild 4 drei Teilregelungen:

- Temperatur in der Wirbelschicht
- Sauerstoffgehalt im Abgas
- Druck über der Wirbelschicht.

Da Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Prozessgrößen vorliegen, müssen zur Vermeidung von Rückkopplungen zwischen den Regelkreisen Entkopplungsglieder in die Reglerstruktur eingefügt werden. Auf nähere Erläuterungen zu diesen Entkopplungsgliedern soll an dieser Stelle verzichtet werden. Die aufgezeigte Regelungsstruktur zeigt den ungestörten Betriebsfall.

Zur Absicherung der einzelnen Betriebsweisen sind Komponenten für:

- Anfahrregime
  - Betriebsstörung
  - Betriebsfall
  - Abfahrregime
- notwendig.

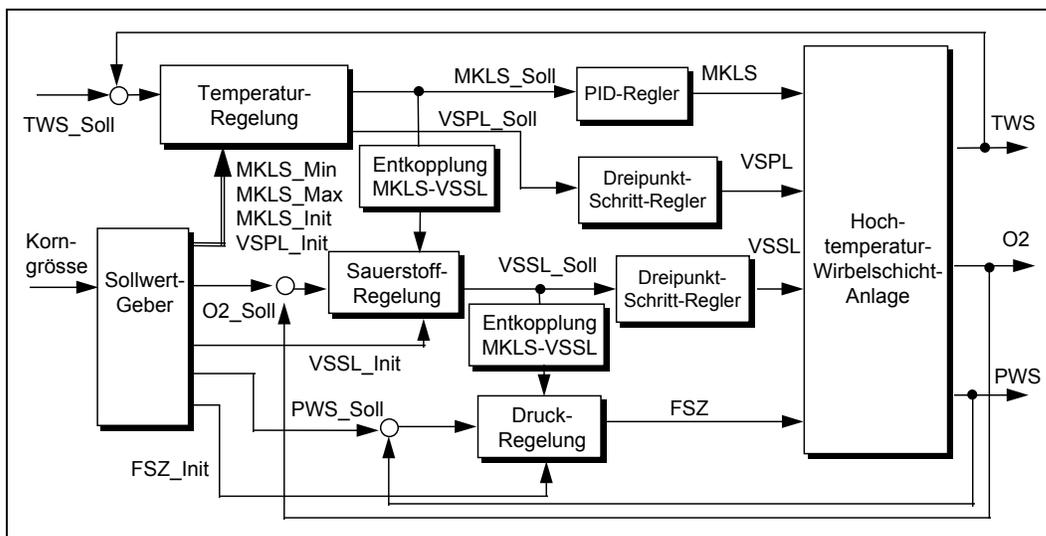


Bild 4 Gesamtstruktur der Regelung

Es musste somit eine hybride Struktur der Steuerung und Regelung für die Erfüllung aller Betriebsarten mit besonderer Beachtung der Umschaltung zwischen den einzelnen Aufgaben erstellt werden. Während um den Arbeitspunkt im Betriebsfall lineares statisches und dynamisches Verhalten angenommen werden kann, besitzt das System im gesamten Arbeitsbereich aufgrund

- der Prozesseigenschaften,
  - der zahlreichen Einflussgrößen und deren Kopplungen sowie
  - den unterschiedlichen Steuerungszielen in den einzelnen Prozessphasen
- einen extrem nichtlinearen Charakter. Das Fuzzy-Konzept bietet mit seiner flexiblen Systemgestaltung die Möglichkeit einer optimalen Anpassung an die zu lösenden

Teilaufgaben. Damit kann auf der Grundlage eines einheitlichen Konzeptes eine homogene Steuerung realisiert werden.

Die Umsetzung des Fuzzy-Konzepts beim Reglerentwurf soll nachfolgend am Beispiel der Temperaturregelung beschrieben werden. Da die Temperatur in der Wirbelschicht das Resultat der durch den Flüssiggasbrenner erzeugten Temperatur und der bei der Verbrennung der organischen Bestandteile des Klärschlammes freigesetzten Wärmemenge ist, wurde die Temperaturregelung aus zwei, die relevanten Prozessgrößen beeinflussenden Teilreglern aufgebaut (Bild 5).

Die Stufe 1 regelt den Massestrom Klärschlamm in Abhängigkeit von der Temperatur in der Wirbelschicht. Auf Grund der dynamischen Eigenschaften dieses Teilprozesses kommt ihr die Aufgabe zu, kurzfristige Änderungen der Temperatur in der Wirbelschicht auszuregeln.

Als Eingangsgrößen der Stufe 1 wurden die Größen:

- Regelabweichung Temperatur in Wirbelschicht ETWS  
(5 Terme: SNEG, NEG, Z, POS, SPOS)
- Änderung der Regelabweichung Temperatur in Wirbelschicht DTWS  
(5 Terme: SNEG, NEG, Z, POS, SPOS)

und als Ausgangsgröße die

- Änderung Massestrom Klärschlamm DMKLS  
(5 Terme: SNEG, NEG, Z, POS, SPOS)

gewählt. Es wurde ein vollständiges Regelwerk mit 25 Regeln erstellt.

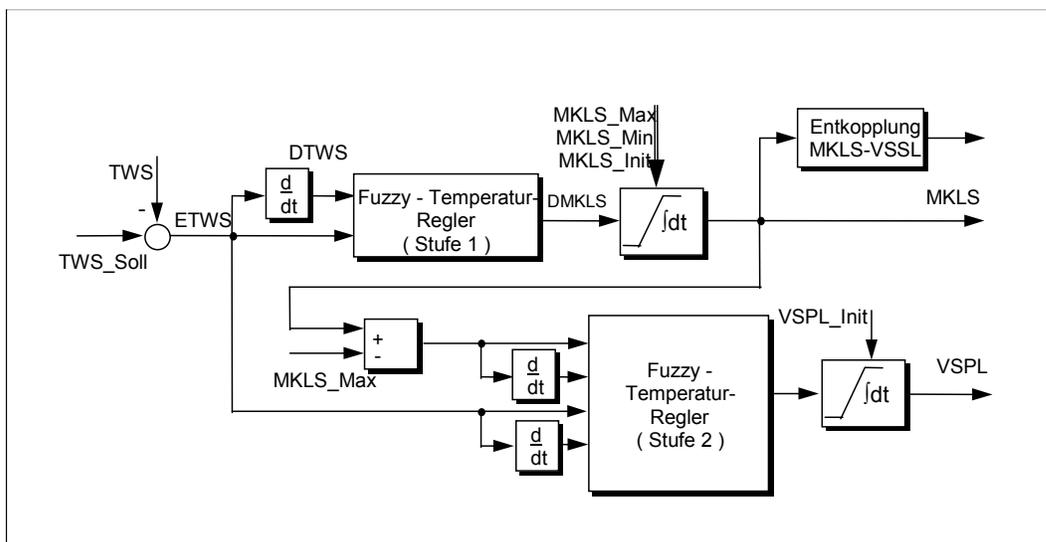


Bild 5 Struktur der Temperaturregelung

Die Stufe 2 der Temperaturregelung beeinflusst die Flüssiggasmenge in Abhängigkeit von der Temperatur in der Wirbelschicht unter Berücksichtigung des momentanen Massestrom Klärschlamm. Diese Regelung hat zwei grundlegende Aufgaben. Zum einen soll sie die einzusetzende Flüssiggasmenge mit dem Ziel ihrer Minimierung an den jeweiligen thermischen Zustand der Hochtemperatur-Wirbelschicht-Anlage anpassen und zum zweiten sollen größere, durch den Massestrom Klärschlamm nicht mehr auszugleichende Abweichungen der Wirbelschichttemperatur längerfristig korrigiert werden.

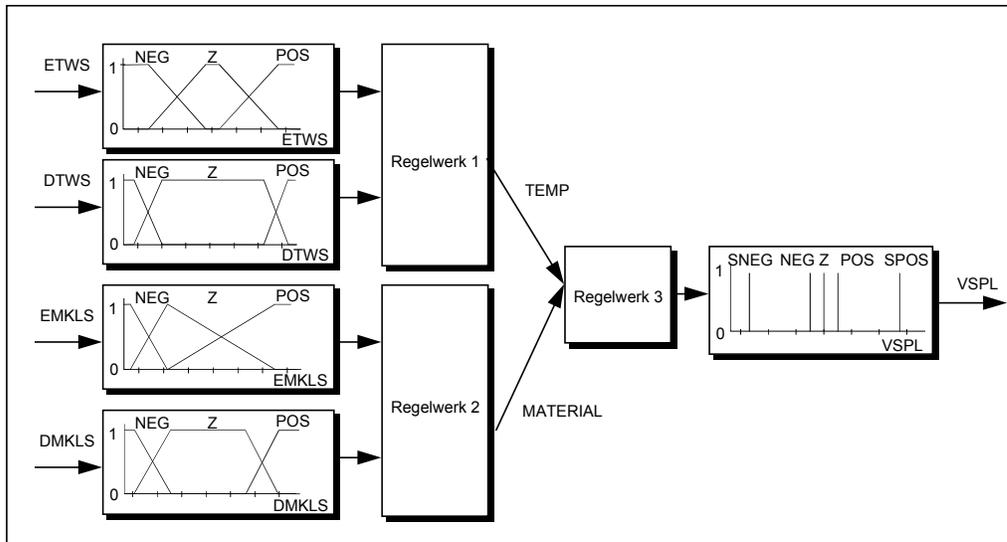


Bild 6 Fuzzy-Temperatur-Regler (Stufe 2)

Das Fuzzy-Regelwerk der Stufe 2 (Bild 6) besteht dabei aus zwei Ebenen. Die Eingangsgrößen Regelabweichung Temperatur in Wirbelschicht ETWS und deren Änderung DTWS mit jeweils 3 Termen werden über das Regelwerk 1 zur Fuzzy-Variablen TEMP verknüpft. Gleiches erfolgt mit den in 3 Termen ausgeprägten Eingangsgrößen EMKLS und DMKLS über das Regelwerk 2 zur Fuzzy-Variablen MATERIAL. EMKLS stellt dabei die Differenz des Istwertes des Massestromes Klärschlamm und seines angestrebten Maximalwertes und DMKLS die Änderung dessen dar. Die so erhaltenen Variablen werden schließlich über das Regelwerk 3 zur Ausgangsgröße DVSP mit 5 Termen verknüpft.

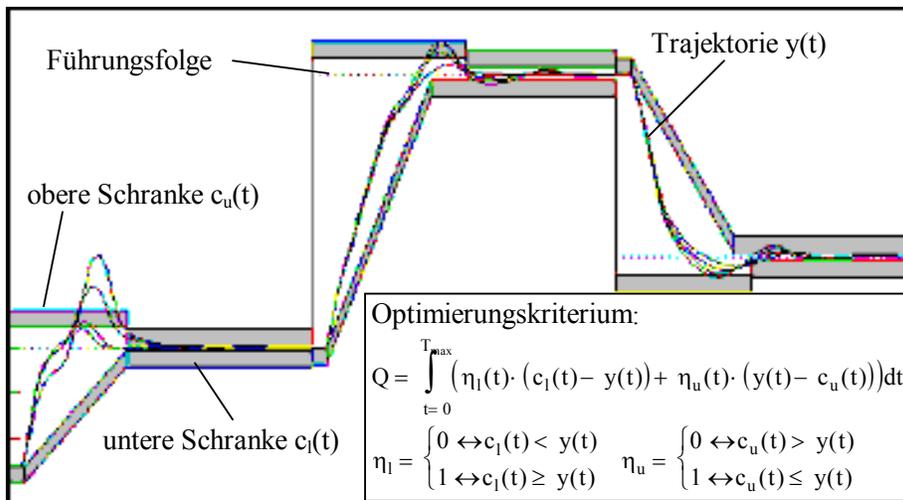


Bild 7 Schrankenkriterium zur Optimierung

Die Optimierung der entworfenen Fuzzy-Regler erfolgte mit der Fuzzy-Design-Control-Toolbox für MATLAB<sup>®</sup>. Bei der Erstellung der Optimierungskriterien wurde das Schrankenkriterium (Bild 7) verwendet. Als Optimierungsverfahrens wurden Evolutionsstrategien eingesetzt.

Das nichtlineare Reglerkennfeld der Stufe 2 der Temperaturregelung als Ausschnitt in einem speziellen Arbeitspunkt für lediglich zwei von vier Eingangsgrößen stellt Bild 8 dar.

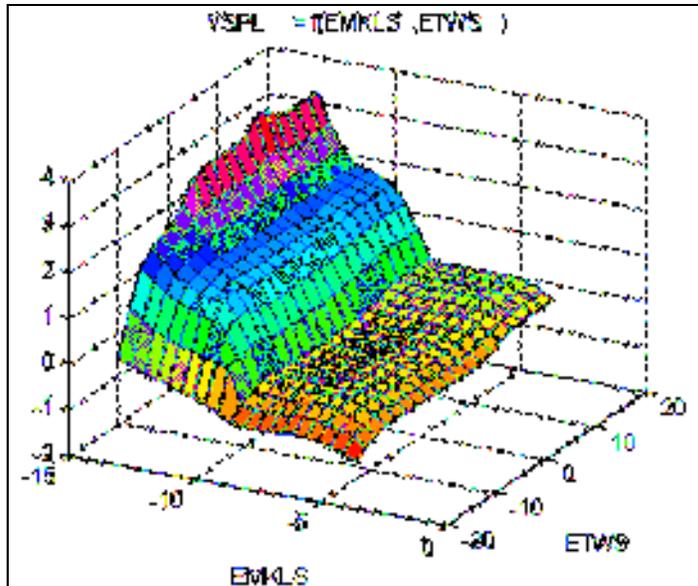


Bild 8 Kennfeld des Fuzzy-Temperaturreglers (Stufe 2)

## 5. Ergebnisse

Die erreichten Ergebnisse konnten den gestellten Erwartungen entsprechen. Es wurde bei den durchgeführten Versuchsreihen, abgesehen von anlagenbedingten Schwankungen in der Anfahrphase, der Sollwert der Wirbelschichttemperatur mit einer Toleranz von  $\pm 5$  °C eingehalten. Die Wirkungsweise der Temperaturregelung und das Zusammenspiel der beiden Stufen zeigt die Bild 9 am Beispiel des Ausgleichvorganges in der Anfahrphase der Anlage. Die Initialwerte des Volumenstromes Flüssiggas wurden dabei bewusst zu hoch gewählt um den Ausgleichvorgang zwischen den Prozessgrößen Massestrom Klärschlamm und dem Volumenstrom Flüssiggas zu verdeutlichen.

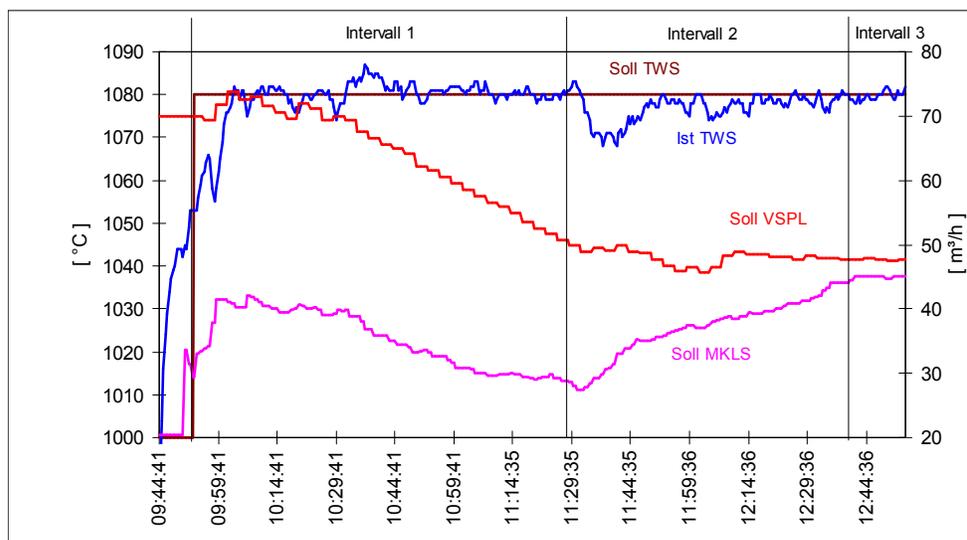


Bild 9 Verlauf einer Anfahrphase des Prozesses

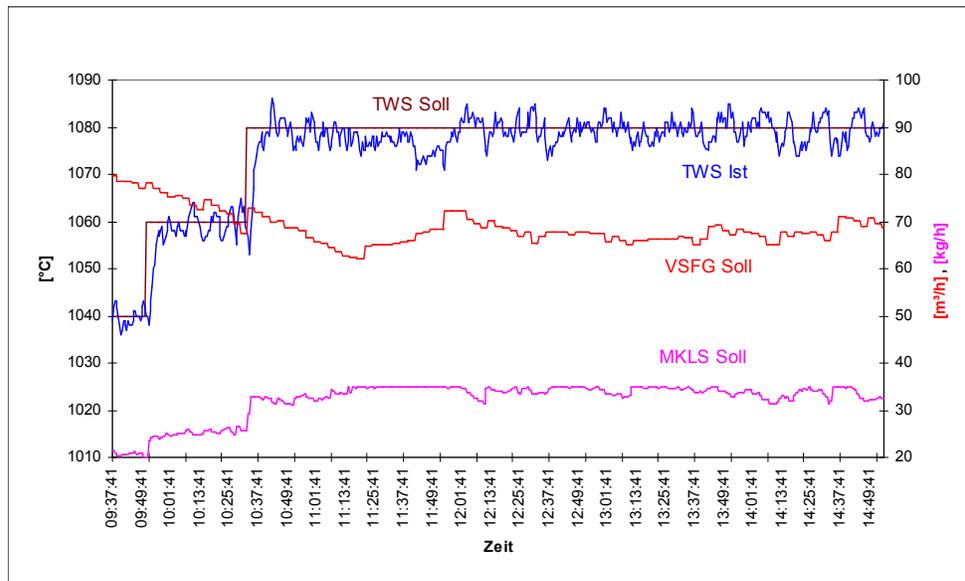


Bild 10 Verlauf der Temperatur in der Wirbelschicht

Nach Beenden der Aufheizphase wird der Sollwert der Temperatur in der Wirbelschicht (Soll TWS) eingestellt. Die Stufe 1 des Temperaturreglers gleicht die entstandene Regelabweichung der Temperatur durch Erhöhung des Massestromes Klärschlamm (Soll MKLS) relativ kurzfristig aus. Dabei stellt sich ein Soll MKLS ein, welcher sich wesentlich unter dem, in Nähe des Maximalwertes liegenden, angestrebten Bereich befindet. Daraufhin reduziert die Stufe 2 des Temperaturreglers im Intervall 1 langsam den Volumenstrom Flüssiggas (Soll VSPL). Die Verringerung der Flüssiggasmenge hat eine schrittweise Verringerung von Temperatur in der Wirbelschicht zur Folge, die aber auf Grund der unterschiedlichen dynamischen Eigenschaften der beiden Teilprozesse ständig von der Stufe 1 der Temperaturregelung ausgeglichen wird. Der Massestrom Klärschlamm steigt demnach kontinuierlich an (Intervall 2). Dieser Ausgleichsvorgang wird mit Erreichen des angestrebten Bereiches des Massestrom Klärschlamm beendet. Der so erreichte Zustand des Prozesses ist gekennzeichnet durch einen maximierten Massestrom Klärschlamm bei gleichzeitig minimierten Volumenstrom Flüssiggas.

## 6. Ausblick

Der Einsatz der hier vorgestellte Lösung ist bislang an spezielle Eigenschaften des Ausgangsmaterials geknüpft. Diese sind die stoffliche Zusammensetzung und der daraus resultierend Heizwert des Ausgangsgranulates. Dieser wird für die vorliegende Regelungsstrategie als relativ hoch angenommen. Ein wesentlich geringerer Heizwert würde den Effekt der Energiefreisetzung bei der Keramisierung des Mischgranulates verhindern. Ein möglicher nächster Schritt bei der Bearbeitung dieser Problematik ist die Untersuchung des Prozesses unter Einsatz völlig anderer Ausgangsmaterialien.

Da die beschriebene Hochtemperatur-Wirbelschicht-Anlage eine relative kleine Versuchsanlage darstellt, sind Überlegungen zur Übertragung der gewonnen Lösungen auf größere Industrieanlagen notwendig.

Die Umsetzung von Fuzzy-Regelungen für ähnlich geartete verfahrenstechnische insbesondere thermische und Verbrennungsprozesse[10] zeigt die Notwendigkeit eines

allgemeinen Entwurfskonzeptes für hybride Mehrgrößenregelungen. Dabei sollten Möglichkeiten zum wissensbasierten Entwurf hierarchischer Regelungsstrukturen bestehend aus Basisreglern, Entkopplungsgliedern, koordinierenden Steuerungen und Prozeßführungskomponenten auf Grundlage des Fuzzy-Konzeptes betrachtet und umgesetzt werden.

Außerdem wurde deutlich, dass die Beherrschung komplexer verfahrenstechnischer Prozesse aufgrund zeitvarianter Prozessparameter (Anlagenverschleiß, Verschmutzung, Umgebungsbedingungen) den Entwurf robuster bzw. adaptiver Steuerungen erfordert. Die aus der Regelungstechnik bekannten parametrischen Prozessmodelle, Adaptionstrategien und Optimierungskriterien sind hinsichtlich ihrer Anwendung beim Fuzzy System-Entwurf zu untersuchen und weiterzuentwickeln.

## 7. Literaturverzeichnis

- [1] Klärschlammverordnung vom 15.April 1992 BGBl.I, S. 912
- [2] Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Siedlungsabfall) vom 14. Mai 1993 BAnz. vom 29.05.1993, S.4967, mit Beilagen
- [3] Knopf, U.; Striegel, H.: Entwicklung einer Anlage zur Herstellung von Zuschlagstoffen, vorrangig Leichtzuschlagstoffen für die Bauindustrie aus Abfallstoffen. Abschlussbericht des VTI Thüringer Verfahrenstechnischen Instituts für Umwelt und Energie e.V. Projekt Nr. 172/93. Saalfeld. 1994
- [4] Knopf, U.; Richter, M.; Nicolai, S.: Fuzzy-gesteuerter Keramisierungsprozeß von Mischgranulat in einer Hochtemperatur-Wirbelschicht-Anlage. Zwischenbericht zum Projekt Nr. 465/95 des VTI Thüringer Verfahrenstechnischen Instituts für Umwelt und Energie e.V. , März 1996
- [5] Kuhn, Th.; Wernstedt, J.: SOFCON - Eine Strategie zum optimalen Entwurf von Fuzzy-Regelungen. at 42 (1994) H. 3 S. 91-99
- [6] Eichhorn, M.; Kuhn, T.; Wernstedt, J.: Die Fuzzy Control Design Toolbox für MATLAB®, Programmdokumentation, TU Ilmenau, 1995
- [7] Koch, M.; Kuhn, Th.; Wernstedt, J.: Fuzzy Control: optimale Nachbildung und Entwurf optimaler Entscheidungen. -München;Wien: Oldenburg Verlag, 1996
- [8] Görner , K.; Technische Verbrennungssysteme. Grundlagen, Modellbildung, Simulation. Springer-Verlag Berlin, 1991.
- [9] Nicolai, S.; Richter, M.; Eichhorn, M.; Anwendung der Fuzzy-Logic zur Regelung der Keramisierung von Klärschlamm-Mischgranulat in einer Hochtemperatur-Wirbelschicht-Anlage, Symposium Anwendungen Fuzzy- Technologien und Neuronale Netze, Tagungsband, Erlangen 19.-21. Juni 1996
- [10] Koch, M.; Wernstedt, J.; Schmand, H.; Fuzzy Leistungssteuerungen einer Unterschubfeuerungsanlage. Forschungsbericht Nr. 0295 5. Workshop "Fuzzy Control" des GMA-UA 1.4.2 am 16./17.11.1995 Dortmund Berichtsband.
- [11] Nicolai, S.; Eichhorn, M.; Wernstedt, J.; Anwendung der Fuzzy-Logic zur Regelung der Keramisierung von Klärschlamm-Mischgranulat in einer Hochtemperatur-Wirbelschicht-Anlage. Forschungsbericht Nr. 0596 6. Workshop "Fuzzy Control" des GMA-UA 1.4.2 am 9./10.10.1996 Dortmund Berichtsband.
- [12] Nicolai, S.; Eichhorn, M.; Wernstedt, J.; Anwendung der Fuzzy-Logic zur Regelung der Keramisierung von Klärschlamm-Mischgranulat in einer Hochtemperatur-Wirbelschicht-Anlage. Tagung "Intelligente Methoden in der Automatisierungstechnik" TU Otto v. Guericke Magdeburg. 20./ 21. 03. 97. Magdeburg

# Frühwarn- und Katastrophenmanagementsystem zum Hochwasserschutz für die Gemeinde Breitung

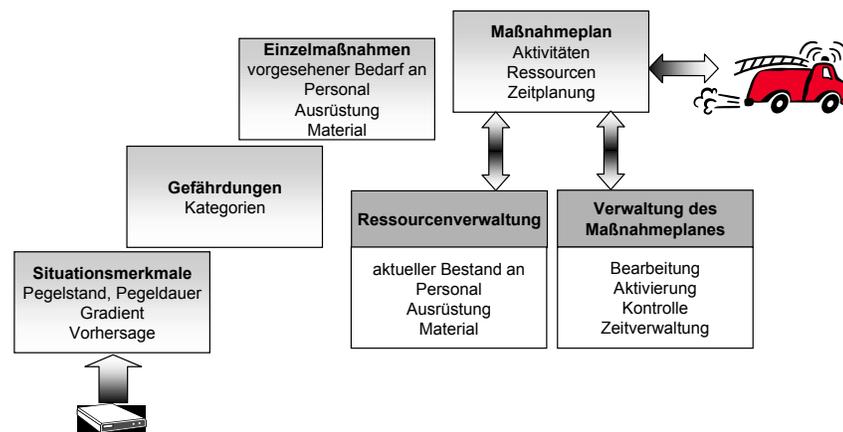
Dr.-Ing. Mario Koch, Dipl.-Ing. Ralf Marquardt  
SEI GmbH Ilmenau, W.-v.-Siemens-Str.4, 98693 Ilmenau  
Peter Schmidt  
Gemeindeverwaltung Breitung, Rathausstr.14, 98597 Breitung

## 1 Zielstellung

Die Hochwasserereignisse der letzten Jahre haben die Problematik des Hochwasserschutzes zunehmend in den Blickpunkt der Öffentlichkeit gerückt. Dabei wurde deutlich, daß insbesondere durch die Eingriffe des Menschen in den natürlichen Abfluß und durch die Veränderung der Flußgebiete ein enormes Gefährdungspotential entstanden ist. Um einen langfristigen und zuverlässigen Hochwasserschutz zu gewährleisten, ist ein komplexes System von Schutzmaßnahmen erforderlich. Mit der "Aufgabenstellung für ein integriertes Hochwasserschutzkonzept für die Werra in Thüringen" wurde durch das Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt ein entsprechendes Arbeitsprogramm für das Gebiet der Werra erarbeitet.

Neben der Erhaltung der natürlichen Schutzzonen und der Errichtung technischer Schutzeinrichtungen wird bereits hier auf die Bedeutung von modellgestützten Vorhersagesystemen verwiesen. Das Frühwarn- und Katastrophenmanagementsystem hat die Aufgabe, die Vorhersage, Ressourcen- und Einsatzplanung sowie die Dokumentation von Hochwasserereignissen in weitgehend automatisierter Form zu unterstützen.

Das System gewährleistet einen durchgängigen Informationsfluss von der Datenerfassung (Pegelmessstellen, Niederschlagsmessungen), über die Entscheidungsträger bis zu den Einsatzkräften vor Ort.



Der damit erreichbare Zeit- und Informationsgewinn

Abbildung 1 Informationsverarbeitung bei der Hochwasserabwehr

kann bei der Hochwasserbekämpfung Gefährdungen vorbeugen bzw. die rechtzeitige und sichere Entscheidungsfindung unterstützen. Das System unterstützt in erster Linie die Verantwortlichen und Einsatzkräfte vor Ort, die in Situationen extremer Belastung sichere und schnelle Entscheidungen treffen müssen.

## 2 Projektpartner

Das Frühwarn- und Katastrophenmanagementsystem zum Hochwasserschutz entstand unter Leitung der SEI system engineering GmbH ilmenau in enger Zusammenarbeit mit der TU Ilmenau, der Gemeinde Breitungen, dem Staatlichen Umweltamt Suhl und dem Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt.

Das Institut für Automatisierungs- und Systemtechnik der TU Ilmenau arbeitet seit vielen Jahren auf den Gebieten der Modellierung von Flussgebieten, der Wassermengenvorhersage sowie der Steuerung von Mengen- und Qualitätsparametern bei der Talsperrenbewirtschaftung. Mit der Forschungstätigkeit entstand einerseits ein umfangreiches System von Einzugsgebiets- und Flusslaufmodellen der Werra, andererseits erfolgte die Entwicklung von Steuerstrategien für Talsperren und Rückhaltebecken.

An dem Pilotprojekt ist die Gemeinde Breitungen als Anwendungspartner für den Aufbau und die Erprobung des Beratungssystems aktiv vertreten. Durch die enge Zusammenarbeit wurde sichergestellt, daß die kommunalen Interessen und Erfahrungen sowie die Forderungen der Einsatzkräfte unmittelbar berücksichtigt werden konnten.

Da der Hochwasserschutz nicht auf die Aktivitäten einer einzelnen Kommune beschränkt werden kann, dient die enge



Abbildung 2 Hochwasser 1994 in der Gemeinde Breitungen

Zusammenarbeit mit dem Staatlichen Umweltamt Suhl einer optimalen Integration des Systems in das Hochwasserschutzkonzept der Werra sowie der Realisierung eines koordinierten Vorgehens aller an der Hochwasserabwehr beteiligten Kräfte. Das Staatliche Umweltamt besitzt darüber hinaus durch sein umfangreiches Messnetz, die Bereitstellung der Hochwasservorhersage und die gezielte Benachrichtigung der Einsatzkräfte in den Rettungsleitstellen eine zentrale Rolle.

## 3 Funktion und Aufbau des Informationssystems

Das Informationssystem beruht auf einer Access-Datenbank, die durch verschiedene Windows-Applikationen zur Realisierung spezieller Teilaufgaben, wie z.B. der Datenübertragung und Datenvisualisierung, ergänzt wird.

Zahlreiche Assistenten unterstützen die gesamte Datenerfassung, den Einsatz im Hochwasserfall sowie die Auswertung. Damit ist das System für alle Aufgaben der Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung von Maßnahmen zur Hochwasserabwehr einsetzbar.

Das Entscheidungshilfesystem integriert modell- und wissensbasierte, d.h. auf Erfahrungen beruhende Komponenten zur Generierung situations-, standort- und ressourcenbezogener Handlungspläne.

Die verfügbaren Dokumentationsmöglichkeiten gestatten die detaillierte und zeitbezogene Darstellung des Hochwasserverlaufs im Bereich der jeweiligen Kommune. Die objektive und vergleichbare Hochwasseranalyse lässt sich sowohl für Ausbildungszwecke als auch im Rahmen der Schadensfeststellung und -regulierung nutzen.

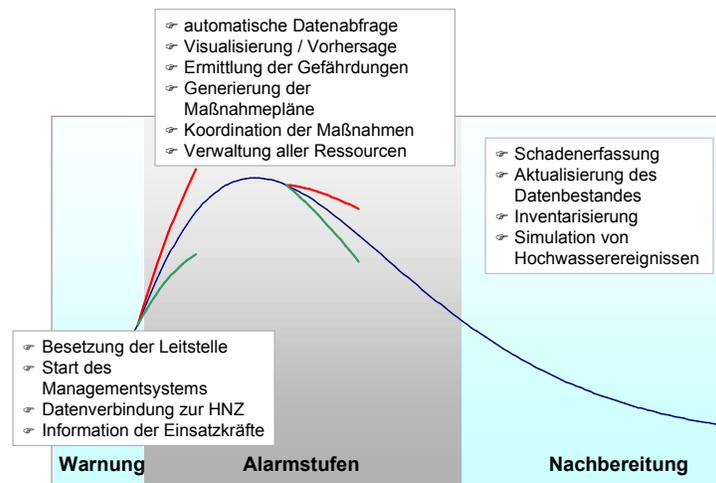


Abbildung 3 Funktionen des Frühwarn- und Katastrophenmanagementsystems

Das Frühwarn- und Katastrophenmanagementsystem zum Hochwasserschutz wurde modular aufgebaut. Es umfasst folgende Komponenten:

### 1. Datenerfassungsmodul

Die Grundlage der Situationsbewertung und der Entscheidungsfindung bilden die verfügbaren Durchfluss- und meteorologischen Daten der oberen Werra bzw. des Werra-Einzugsgebietes. Die effektive Arbeitsweise des Frühwarnsystems erforderte eine automatisierte Form der Datenbereitstellung und -archivierung, um jederzeit den Zugriff auf den erforderlichen Datenbestand zu gewährleisten und unter Echtzeitbedingungen auf die aktuelle Hochwassersituation reagieren zu können.

### 2. Vorhersagemodul

Auf der Grundlage eines Modells für das Einzugsgebiet der Werra entsteht ein Vorhersagemodul für den Pegel Breitungen, der eine Vorhersage von max. 12 h ermöglicht. Die Vorhersage bezieht die Messungen an Vorpegeln sowie das aktuelle und vorhergesagte Niederschlagsverhalten ein.

### 3. Ressourcen-Datenbank

Voraussetzung für die Planung von Maßnahmen ist die ständige Übersicht über die verfügbaren Ressourcen im Einsatzbereich. Neben den Einsatzkräften zählt dazu der Bestand an Geräten, Ausrüstung und Material. Die Ressourcen werden im Rahmen einer Inventur erfasst und während des Hochwassereinsatzes durch das System verwaltet.



Abbildung 4 "Statischer" Datenbankinhalt

#### 4. Gefährungsdatenbank

Ein zielgerichtetes und umfassendes Vorgehen im Hochwasserfall erfordert eine Übersicht über alle hochwassergefährdeten Einrichtungen innerhalb der Kommune. Eine Rangierung hinsichtlich Standorthöhe und Gefährdungsgruppe ist für die Planung der Ressourcen und Einsatzkräfte eine wesentliche Voraussetzung.

#### 5. Maßnahmekatalog

Der Maßnahmenkatalog ordnet den Gefährdungen die auszuführenden Vorbeugungs- und Sicherungsmaßnahmen zu. Der Maßnahmenkatalog enthält darüber hinaus die dazu erforderlichen Ressourcen an Material, Einsatzkräften und Zeit, die gemeinsam mit den ausführenden Maßnahmen als Datenbank hinterlegt werden.

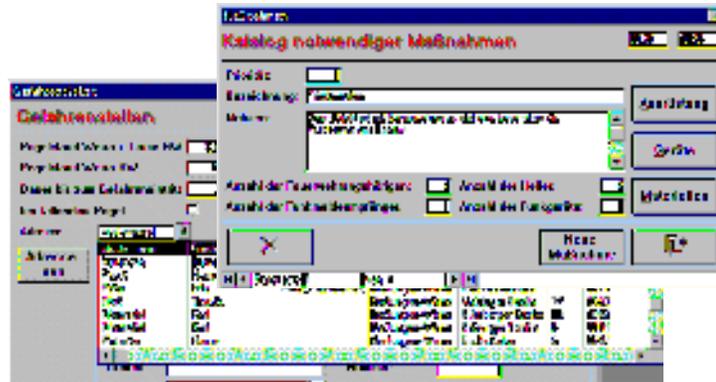


Abbildung 5 Dialoge zur Erfassung der Gefährdungen und zur Maßnahmeplanung

#### 5. Entscheidungshilfemodul

In Abhängigkeit von der konkreten Hochwassersituation und den Vorhersageergebnissen dient dieses Modul sowohl der rechtzeitigen Information der Einsatzkräfte entsprechend dem Hochwasser-Meldesystem als auch der Unterstützung bei der Planung der Einsatzmaßnahmen. Dieses System beinhaltet die Erfahrungen der örtlichen Einsatzkräfte bei der Abwehr zurückliegender Hochwasserereignisse und Methoden der Entscheidungsfindung aufgrund aktueller Informationen. Dazu zählen neben den aktuellen Meß- und Vorhersagedaten in erster Linie auch Informationen bzgl. Führung der Talsperren und Rückhaltebecken sowie durchgeführte und geplante Hochwasserschutzmaßnahmen im Bereich vorliegender Kommunen. Aufgrund dieser Information kann ein koordiniertes Vorgehen zwischen den Kommunen erreicht werden.

Das System generiert einen situationsabhängigen Maßnahmeplan als Entscheidungsvorschlag für den Einsatzleiter.

#### 6. Bedien- und Beobachtungssystem

Eine grafische Benutzeroberfläche gewährleistet die einfache und effektive Bedienung, eine übersichtliche Datendarstellung in der aktuellen Hochwassersituation und eine wirkungsvolle Ausgabe der Entscheidungsvorschläge.

Ein aus Luftbildaufnahmen ermitteltes Höhenprofil bietet die Möglichkeit, eine visuelle Verbindung zwischen Pegelständen und Überschwemmungs- bzw. Gefährdungs-



Abbildung 6 Darstellung des Pegelstandes als Höhenlinie

gebieten herzustellen.

Das System hat darüber hinaus die Aufgabe, die Koordination der Teilmodule vorzunehmen und die Schnittstelle zu externen Datenerfassungs- und -verarbeitungssystemen bereitzustellen. Dazu zählt beispielsweise die grafische Visualisierung der Pegeldata und Vorhersagen.

#### **7. Dokumentationsmodul**

Eine wesentliche Voraussetzung für den Aufbau eines wirksamen Hochwasserschutzes bildet die exakte Dokumentation des Hochwasserverlaufs mit den eingetretenen Ereignissen, entstandenen Schäden und den ausgeführten Handlungen. Durch die Einbindung von Bild-, Film- und Text-Dokumenten kann im Zusammenhang mit den aufgezeichneten Daten eine Gesamtdarstellung der Ereignisse hinterlegt und für unterschiedliche Aufgaben bei der Auswertung genutzt werden. Dazu zählen

- Optimierung des Frühwarn- und Katastrophenmanagementsystems,
- langfristige Ressourcen- und Maßnahmeplanung,
- Schulung von Einsatzkräften,
- Schadensregulierung bei Versicherungsansprüchen usw.

#### **8. Lokales Informations- und Benachrichtigungsnetz**

Der Erfolg von Maßnahmen zum erfolgreichen Hochwasserschutz hängt neben einer optimalen Ressourcenverteilung von der rechtzeitigen Benachrichtigung der Einsatzkräfte und der vor-Ort-Verfügbarkeit wichtiger Situationsdaten ab. Ein lokales Informationsnetz, das die örtliche Hochwasserschutzzentrale mit den Einsatzstäben der FFw, den örtlichen Behörden und den Einwohnern verbindet, kann über Telefon, Fax oder Modem realisiert werden.

### **4 Implementierung und Anwendung**

Ein Standard-PC (ab Pentium II) mit dem Betriebssystem Windows 95 (oder nachfolgende) bildet die Systemvoraussetzung für eine Installation. Zur automatisierten Datenübertragung wird ein Modem oder eine ISDN-Karte benötigt. Drucker und Scanner vervollständigen die komplette Konfiguration.

Das System wurde während der Hochwasserereignisse im Herbst 1998 und im Frühjahr 1999 im Einsatz getestet. Es hat sich gezeigt, dass sowohl die rechtzeitige und exakte Information der Einsatzkräfte und der Bevölkerung als auch der situationsgerechte Personaleinsatz optimal unterstützt wird. Weiterführende Maßnahmen zur Hochwasserabwehr waren nicht erforderlich.

Der modulare Aufbau des Frühwarn- und Katastrophenmanagementsystems gestattet eine individuelle Anpassung der System- und Informationsstruktur an die konkreten Bedingungen des jeweiligen Anwenders. Damit besteht die Möglichkeit, das System auch in anderen Bereichen der Katastrophenabwehr (z.B. Brandbekämpfung, Verkehrs- oder Chemieunfälle) einzusetzen.

Wir bedanken uns bei dem Thüringer Ministerium für Wirtschaft und Infrastruktur für die Unterstützung im Rahmen der Förderung von Pilot- und Demonstrationsvorhaben. Die Projektergebnisse können am installierten System der Gemeinde Breitung allen Interessenten vorgestellt und durch die vor Ort gesammelten Erfahrungen dokumentiert werden können.

*Literatur*

- [1] *Thüringer Verordnung zur Einrichtung des Warn- und Alarmdienstes zum Schutz vor Wassergefahren. (ThürWAWassVO) vom 1. April 1997.* Gesetz- und Verordnungsblatt für den Freistaat Thüringen. Nr. 9, S. 166-167.
- [2] Koch, M.; Marquardt, R.; Kuhn, Th.; Wernstedt, J.: *Einsatz wissensbasierter Methoden zur Talsperrensteuerung in Hochwassersituationen.* 3. Workshop "Fuzzy Control", GMA-UA 1.4.2, Dortmund, 1993.
- [3] Hoffmeyer-Zlotnik, H.-J.; Marquardt, R.; Scharaw, B.; Wernstedt, J. (Technische Universität Ilmenau); Spanknebel, H.-G. (Thüringer Ministerium für Umwelt und Landesplanung Erfurt): *Wassermengenvorhersage und -steuerung im Flußgebiet der Werra.* XLIV. Berg- und Hüttenmännischer Tag, Bergakademie Freiberg, 16. bis 19. Juni 1993.
- [4] Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt: *Aufgabenstellung für ein integriertes Hochwasserschutzkonzept für die Werra in Thüringen (Entwurf).* 28.1.1997.

# Informations- und Störmanagementsystem für Energieversorgungsunternehmen

Dipl.-Ing. Ralf Marquardt

system engineering GmbH ilmenau, W.-v.-Siemens-Str.4, 98693 Ilmenau

Ing.-Päd. Axel-Rainer Porsch

TEAG Thüringer Energie AG, Schwerborner Str. 30, PF 450, 99009 Erfurt

## 1 Notwendigkeit der Stördatenerfassung

Im Rahmen der Erhöhung der Zuverlässigkeit und Sicherheit der Energieversorgung der Kunden sowie der Kostenreduzierung bei der Unterhaltung und dem Ausbau von Netzen der einzelnen Energieversorgungsunternehmen (EVU) gewinnt die Analyse und Auswertung von Stördaten immer mehr an Bedeutung.

Daher wird unabhängig von eventuell existierenden Netzinformationssystemen (NIS) in den EVU's eine betriebsinterne Erfassung und detaillierte Auswertung des Störgeschehens betrieben.

Einerseits benötigen die in der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (VDEW) organisierten Versorger Programme, welche ihnen die Stördatenerfassung und -auswertung in der von der Vereinigung gewünschten Form ermöglichen, andererseits sind für viele die in diesem Rahmen zusammengestellten Fakten zu allgemein, um aus dem Datenmaterial detaillierte betriebsinterne Entscheidungen abzuleiten. So ist es derzeit bei vielen Unternehmen noch üblich, spezielle Reports, Statistiken und Berichte manuell zu erstellen, um über Fakten als Entscheidungsgrundlage zu verfügen.

Über eine Erfassung der Stördaten in Datenbanken in der vom Unternehmen gewünschten Form und Detailliertheit kann ein über größere Zeiträume auswertbarer Datenpool erzeugt werden, der sowohl zum Nachweis alters- oder herstellerbedingter Ausfälle, als auch zum Erstellen von Langzeitstatistiken nutzbar ist.

Neben dem Aspekt des Ersetzens störanfälliger Betriebsmittel und des Optimierens von Austauschzyklen bietet diese Form der Erfassung die Möglichkeit, beliebige andere Zusammenhänge zu beleuchten.

So ist z.B. besonders in den neuen Bundesländern eine wachsende Anzahl von Störungen auf das unsachgemäße Vorgehen von Bau- und Renovierungsfirmen zurückzuführen. Eine Erfassung der Daten, die außer der Störungsursache den Verursacher berücksichtigt, läßt auch auf diesem Gebiet eine statistische Auswertung zu und kann dazu dienen, Firmen die gehäuft Störungen verursachen zu ermitteln und gezielt anzusprechen.

Ein ebenfalls nicht zu unterschätzender Aspekt liegt in der zügigen und exakten Nachweisbarkeit von Versorgungsunterbrechungen im Falle von Schadensersatzforderungen betroffener Kunden.

## 2 Entstehung des Programms

Nach dem Zusammenschluss der Thüringer Versorgungsunternehmen ENAG, OTEV und SEAG zur TEAG standen die zuständigen Bearbeiter vor dem Problem, mit dem bis dato vorhandenen Erfassungssystem, welches als kompiliertes Pascal-Programm für MS-DOS vorlag, den Anforderungen des entstandenen Großbetriebes nicht mehr gewachsen zu sein.

Zum einen war das System nicht erweiterbar, da sowohl Betriebsmittel- als auch Anlagenlisten als nicht veränderbare Binärdateien integriert waren, zum anderen waren spezielle Fakten, die zum Erstellen von VDEW-gerechten Statistiken erforderlich sind, nicht zur Eingabe vorgesehen.

Als Lösung entstand 1995 der Prototyp des „Informations- und Störmanagementsystems“ in enger Zusammenarbeit der Firma *system engineering GmbH ilmenau* und der TEAG Thüringer Energie AG. Die TEAG setzt dieses System seit Januar 1996 zur effektiven Erfassung und zeitnahen Auswertung von Netzstörungen im elektrischen Leitungsnetz ein.

### 3 Geforderte Funktionen des Prototyps

Die Anforderungen an das Programmsystem lassen sich wie folgt beschreiben:

- ◆ Erfassung von Netzstörungen in Netzen < 1kV,
- ◆ Erfassung von Netzstörungen in Netzen > 1kV,
- ◆ Erfassung von AWE/KU-Vorgängen,
- ◆ menügeführte Eingabe der Störungen,
- ◆ automatische Fehlererkennung,
- ◆ Speicherung der Ergebnisse in einem standardisierten Datenbankformat,
- ◆ Realisierung von Suchfunktionen nach verschiedenen Kriterien,
- ◆ Korrekturfunktion,
- ◆ Erstellung von VDEW-gerechten Statistiken für Netze über 1 kV,
- ◆ Erstellung von betriebsinternen Statistiken für frei definierbare Zeiträume und
- ◆ Möglichkeit des Einbindens zusätzlicher betriebsinterner Funktionen durch den Anwender.

### 4 Realisierung

Der Prototyp wurde als Applikation auf Basis des Datenbanksystems MS ACCESS 2.0 realisiert.

Diese Lösung wurde von allen Beteiligten favorisiert, da die Nutzung von Standardsoftware erhebliche Vorteile bezüglich der Einarbeitung des Nutzerkreises, als auch bei späterer Ergänzung der Funktionen besitzt.

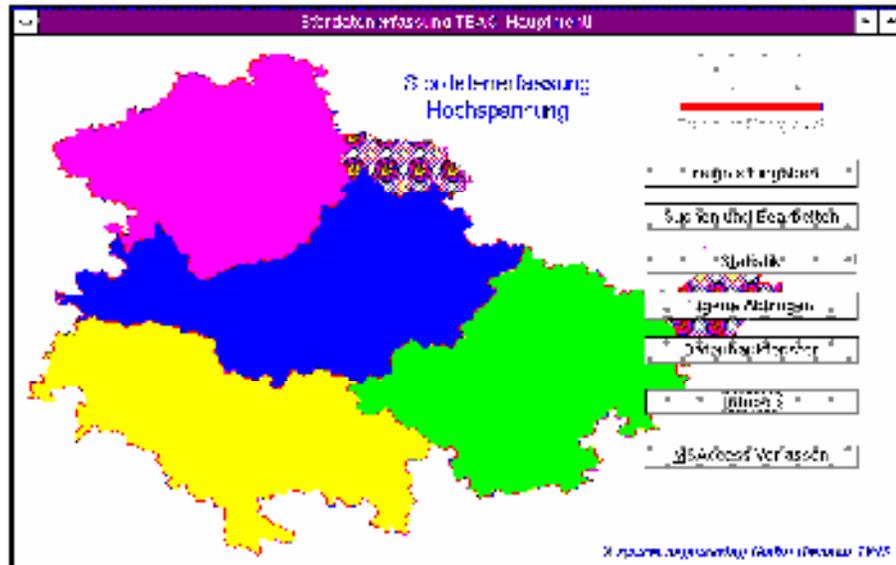


Abbildung 7 Hauptmenü des HS/MS-Programms

ACCESS selbst bietet dem Nutzer

- ◆ eine anwenderfreundliche, leicht handhabbare Standardoberfläche,
- ◆ hohe Sicherheit bei der Verwaltung großer Datenmengen,

- ◆ integrierte Netzwerkfähigkeit,
- ◆ problemlose Kommunikation mit anderen MICROSOFT Programmen über ODBC und DDE (Winword, Excel ) und
- ◆ Möglichkeiten zur eigenen Modifizierung des Systems.

Die oben beschriebenen Programmfunktionen wurden den Wünschen der TEAG entsprechend umgesetzt. Bedingt durch die doch recht unterschiedlich strukturierten Daten der einzelnen Kategorien erfolgt die Erfassung der Störungen getrennt nach den Bereichen Niederspannung (< 1 kV), Mittel- und Hochspannung (> 1 kV) und AWE/KU.

Zur Sicherung des Datenbestandes vor Manipulationen wurde ein Passwortschutz realisiert, der entsprechend der Mitarbeiterhierarchie nur bestimmte Zugriffe gewährt.

Sämtliche Daten werden über Eingabemasken in die Datenbanktabellen eingetragen, deren Aufbau den bei der TEAG genutzten Schadenssofortmeldungsformularen entspricht, so daß der Bearbeiter anhand dieser Unterlagen alle Einträge vornehmen kann. Gleichzeitig übernehmen diese Masken der Eingaben auf sachliche Richtigkeit.



Abbildung 8 Suchfenster mit Pull-Down Menü

So weit es möglich ist, werden Fehlerorte, Betriebsmittel etc. mit Hilfe von Pull-Down-Menüs ausgewählt, die bei Abhängigkeit vom vorher ausgefüllten Feld nur noch eine bestimmte Menge von Wahlmöglichkeiten bieten.

Selbstverständlich erfolgt auch bei Beginn- und Endeangaben eine Kontrolle der Schlüssigkeit. Weiterhin werden dem Nutzer nur die Masken zum ausfüllen angeboten, die für den konkreten Schadensfall zutreffend sind. So müssen z.B. bei Störungen ohne Schaden keine Schadensorte angegeben werden oder bei wetterbedingten Ausfällen keine Verursachernamen.

Diese Art der Fehlervermeidung ist wesentlich einfacher zu realisieren und arbeitet schneller, als eine automatische Fehlererkennung bei Abspeicherung des fertigen Datensatzes.

Falls zu einem späteren Zeitpunkt andere Erkenntnisse zu einem Störungsereignis vorliegen, besteht innerhalb der Datenbanken die Möglichkeit, ebenfalls über Masken Änderungen oder Ergänzungen am Datenbestand vorzunehmen. Der betreffende Datensatz kann über verschiedenen Kriterien (Datum, Nummer, Ort,...) gezielt selektiert werden. Bei Bedarf können die einzelnen Ereignisse als kompletter Bericht gedruckt werden.

Neben der Ausgabe von Störungsereignissen in Berichtsform besteht die Möglichkeit, innerhalb frei wählbarer Zeiträume Statistiken mit verschiedenen Kriterien zu erstellen und in

Berichtsform auszugeben. Weiterhin ist für den Benutzer ein frei zugängliches Makro integriert, über das er per Knopfdruck selbst definierte Berichte oder Abfragen abrufen kann. Eine Besonderheit beim Einsatz des Programms bei der TEAG liegt in der Erfassung der Daten an verschiedenen Orten. Die einzelnen Gebietsdirektionen erfassen ihre Daten und werten diese auch gebietsbezogen aus. Für die Hauptverwaltung existiert eine modifizierte Datenbank, die statt der Eingabe- über eine Importfunktion verfügt. Diese ermöglicht die Erstellung von Statistiken und Berichten für das Gesamtunternehmen. An dieser Stelle erfolgt auch die Erstellung des VDEW-Berichtes, in dem die Störungen im MS- und HS-Bereich zusammengefasst werden. Dieser Bericht kann ausgedruckt und als ASCII-Datei im geforderten Format exportiert werden.

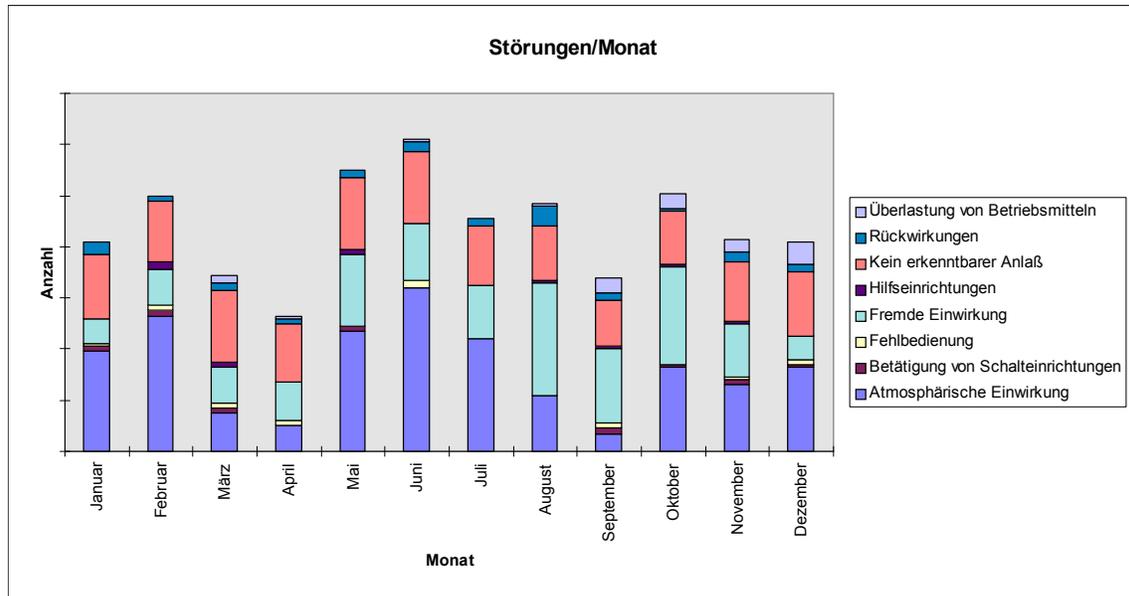


Abbildung 9 Beispieldiagramm

## 5 Anpassung an andere Nutzer bzw. Sparten

Der bei der TEAG im Einsatz befindlichen Prototyp des Programms kann problemlos auf die Anforderungen anderer Nutzer angepasst werden. Am einfachsten und schnellsten ist der Einsatz im Elt-Bereich zu realisieren, da hier lediglich die örtlichen Gegebenheiten und spezifischen Betriebsmittel angepasst werden müssen.

Selbstverständlich ist es aber auch möglich, Art und Umfang der zu erfassenden und zu speichernden Daten, begonnen bei der Störungsbeschreibung bis hin zum Hersteller des ausgefallenen Bauteiles, vom Endnutzer des Programms zu Beginn der Entwicklung festzulegen und somit ein individuell zugeschnittenes Programm zu erhalten.

Die Art der Stördatenerfassung eignet sich neben dem bereits realisierten Einsatz im Elektrobereich auch für andere Versorgungssparten, so dass Versorger für Elt, Wasser, Gas und Fernwärme gleiche Oberflächen und Programmstrukturen zur Stördatenerfassung nutzen können.

## **6 Ausblick**

Bei dem sich bereits im Einsatz befindlichen System haben sich in der Praxis bereits einige Ansatzpunkte zur Verbesserung bzw. Ergänzung der Funktionen herauskristallisiert, die in spätere Systeme einfließen sollen.

So ist es z.B. notwendig, zur reibungslosen Erstellung von VDEW-Jahresstatistiken eine direkte Kopplung zu den Netzdatenblättern der betrachteten Netze herzustellen. Das erleichtert zum einen die Eingabe, da alle Netzbeschreibungen fest mit der eingegebenen Netznummer verknüpft sind und somit nur einmalig zur Systeminitialisierung eingetragen werden müssen und zum anderen bietet sich die Möglichkeit, die Pflege der Netzdaten ebenfalls über eine komfortable Datenbankoberfläche vorzunehmen.

Zur Verallgemeinerung des Grundgerüsts hinsichtlich der schnelleren Anpassung des Systems an die Bedürfnisse anderer Nutzer muss die Datenbasis hinsichtlich der fest vorgegebenen Störungs-, Betriebsmittel- und Fehlerkategorien in der obersten Objekthierarchie stärker an die VDEW-Vorgaben angepasst werden, da somit eine einfachere Zusammenfassung der Daten zu den geforderten Jahresberichten möglich ist und diese Art der Betrachtung als die gemeinsame Basis der Störungserfassung aller EVU's angesehen werden kann.

Ein weiterer in der Zukunft zu realisierender Punkt ist die Schaffung von Schnittstellen zu vorhandenen oder entstehenden Netzinformationssystemen. Über eine Kopplung der Stördatenbank an die im NIS erfassten Betriebsmittellisten wird ebenfalls der Aufwand zum Eingeben der Störungen erleichtert und es besteht die Möglichkeit, quantitative Angaben zu den Störungen der einzelnen Betriebsmittel im NIS selbst zu speichern.

### **Literaturhinweise**

- [1] VDEW, Anleitung zur systematischen Erfassung von Störungen in Netzen über 1 kV und deren statistische Auswertung, Frankfurt/Main, 1994
- [2] *system engineering GmbH ilmenau*, Benutzerhandbuch Stördatenerfassung, Ilmenau, 1995



## Die Fuzzy Control Design Toolbox für MATLAB®

Mike Eichhorn, Thomas Kuhn, Jürgen Wernstedt Ilmenau

Technische Universität Ilmenau, Institut für Automatisierungs- und Systemtechnik, Postfach 100565, D-98684 Ilmenau

### 1 Kurzfassung

*Die Fuzzy Control Design Toolbox ist ein Entwurfs-, Test-, und Optimierungswerkzeug für Fuzzy Systeme. Durch ihre Einbindung in MATLAB®/SIMULINK® wird dem Anwender ein schneller Zugang bei der Lösung unterschiedlichster automatisierungstechnischer Aufgaben mit Hilfe der Fuzzytechnologie ermöglicht.*

### 2 Ausgangssituation und Zielstellung

Fuzzy Systeme haben in der Regelungstechnik einen festen Platz bei der Lösung von Automatisierungsaufgaben eingenommen. Sie werden hierbei autonom oder in Kombination mit klassischen Regelungskonzepten eingesetzt. Vielfach erfolgt noch der Entwurf solcher Fuzzy Systeme nach Festlegung der Ein- und Ausgangsgrößen und Erstellung des Regelwerkes durch einen iterativen zweistufigen Prozess. In der ersten Phase erstellt der Anwender ein Fuzzy System und testet es im Zusammenspiel mit der Regelstrecke durch eine Simulation oder am realen Prozess. Dieser manuelle Vorgang muss dann solange wiederholt werden, bis eine zufriedenstellende Parameterkombination des Fuzzy Systems gefunden wurde. Bei komplexen Fuzzy Systemen (mehrere Ein- und Ausgänge) existiert jedoch eine erhebliche Menge von Einstellmöglichkeiten, welche das oben beschriebene Vorgehen als äußerst schwierig erscheinen lassen. In diesen Fällen kann nur durch eine Analyse der Wirkung der einzelnen Steuermöglichkeiten auf den Prozess und durch eine systematische Vorgehensweise bei der Parametervariation eine befriedigende Parameterkombination des Fuzzy Systems gefunden werden. Eine weitere Möglichkeit der Parameterbestimmung von Fuzzy Systemen besteht in der numerischen Lösung von entwickelten Einstellregeln und Entwurfsgleichungen. Diese Lösungsvariante beschränkt sich jedoch nur auf spezielle Fuzzy Systeme, welche Bestandteile vorgegebener Regelkreisstrukturen und Regelstrecken sind. Die praktischen Einsatzfälle solcher Verfahren sind dadurch sehr begrenzt.

Das Entwicklungsziel der Fuzzy Control Design Toolbox (FCD Toolbox) bestand deshalb darin, ein Entwurfswerkzeug zur optimalen Anpassung von Fuzzy Systemen (einschließlich konventioneller Regler) an konkrete regelungstechnische Zielstellungen, unabhängig von einzuhaltenden Regelkreisstrukturen und Regelstrecken, bereitzustellen [1], [2], [3]. Dies konnte durch Methoden der Parameteroptimierung in Verbindung mit einer modellgestützten Simulation der Regelkreise unter SIMULINK® [5] erreicht werden. Durch die Einbindung der Nonlinear Control Design Toolbox von MATLAB® [6] bei der Optimierung wurde auf ein bewährtes MATLAB® Produkt zurückgegriffen, welches durch seine grafikorientierte Handhabung das Erstellen komplexer praxisrelevanter Güteforderungen schnell und einfach realisiert. In der FCD Toolbox sind Module enthalten, die eine nahtlose und komfortable Zusammenarbeit mit der NCD Toolbox ermöglichen.

### 3 Funktionsmodule der Toolbox

Die FCD Toolbox kann nach ihren Aufgaben und Einsatzmöglichkeiten in vier Komponenten eingeteilt werden. Dies sind der *Fuzzy-System-Editor*, der *Fuzzy-System-Debugger* sowie das *Simulations- und Optimierungsmodul* (Bild 1). Die einzelnen Funktionsmodule der Komponenten können menügesteuert ausgewählt und grafikorientiert bedient werden. Ein einfaches Zusammenwirken der einzelnen Module innerhalb der Toolbox ermöglicht eine effektive und übersichtliche Arbeitsweise bei der Erstellung und Analyse von Fuzzy Systemen sowie der Simulation und Optimierung von Regelkreisen.

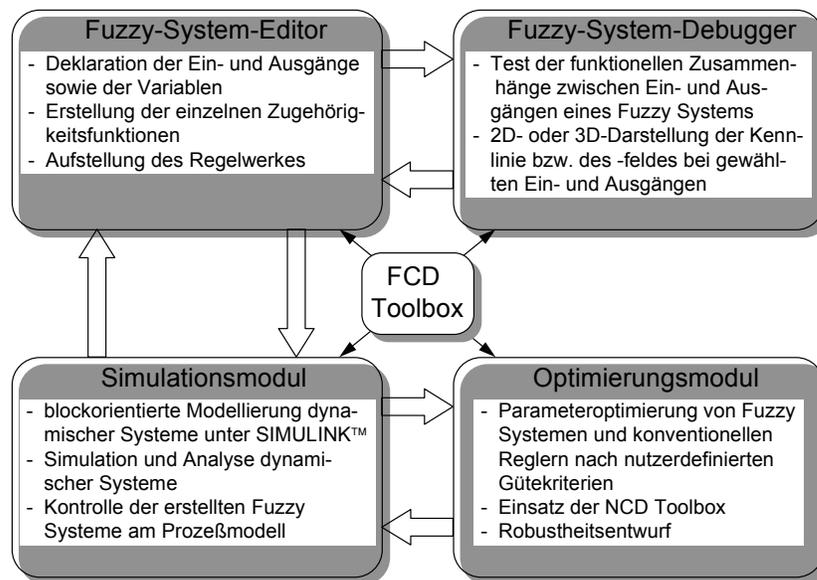


Bild 1 Komponenten der FCD Toolbox

Die Komponenten *Fuzzy-System-Editor* und *Fuzzy-System-Debugger* beinhalten die allgemeinen Entwurfs- und Analysefunktionen, welche an solche standardmäßig in Fuzzytools implementierten Module gestellt werden.

Das *Simulationsmodul* bietet die Möglichkeit der Simulation und Analyse von dynamischen Systemen (Bild 2). Die Systeme können unter SIMULINK® aus der vorhandenen Blockbibliothek (enthält u.a. Fuzzy Systemblöcke und Standardlösungen mit Fuzzy Logic) oder der Standardbibliothek von SIMULINK® zu einem Modell zusammengebaut werden.

Eine Parametrierung von Fuzzy Systemblöcken innerhalb eines Modells ist durch das einfache Zusammenwirken des *Fuzzy-System-Editors* mit dem *Simulationsmodul* leicht möglich. So können entworfene Fuzzy Systeme im Zusammenspiel mit der Regelstrecke getestet und gegebenenfalls modifiziert werden.

Die Aufgaben des *Optimierungsmoduls* sind die Festlegung der zu optimierenden Systeme, die Auswahl des Optimierungsverfahrens, die Erstellung der Gütekriterien unter Verwendung der NCD Toolbox sowie die Festlegung von Betriebspunkten für unsichere Parameter bei einem Robustheitsentwurf. Die zu optimierenden Systeme können neben Fuzzy Systemen auch konventionelle Regler oder in SIMULINK® erstellte Funktionsblöcke sein. Dies

ermöglicht den Einsatz der FCD Toolbox beim Regelungsentwurf als auch bei der Modellierung. Zur Durchführung einer Optimierung ist eine Strukturüberführung des Fuzzy Systems in einen Parametervektor notwendig. Das in der Toolbox verwendete Parametrierungskonzept für Fuzzy Systeme [2], [3] ermöglicht den Aufbau eines minimalen Parametervektors aus der Struktur des Fuzzy Systems bei gleichzeitiger Beibehaltung der funktionellen Zusammenhänge des Systems.

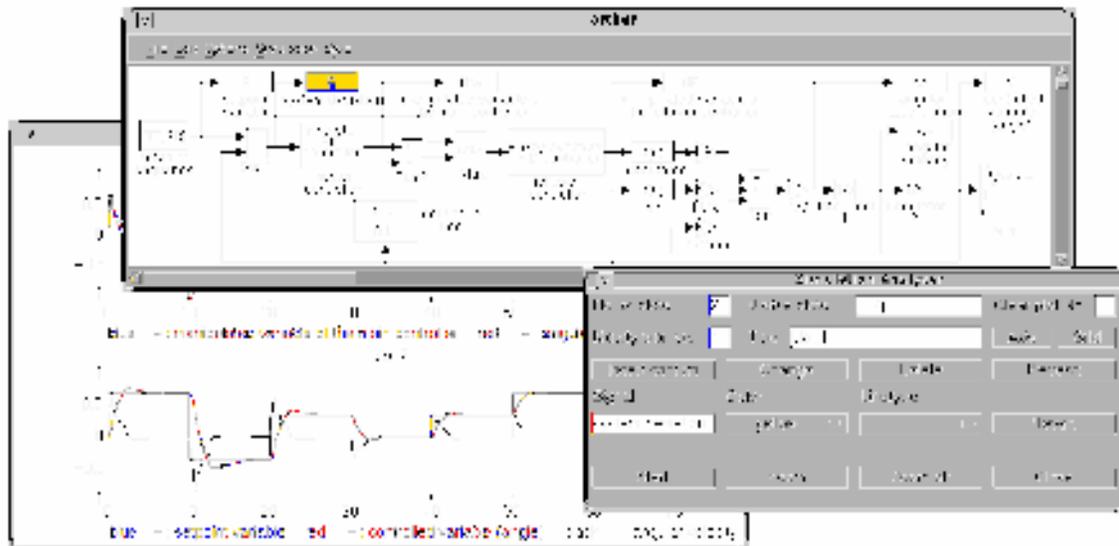


Bild 2 Analyse eines Regelkreises

#### 4 Arbeitsweise

Die FCD Toolbox bietet für die Optimierung mehrere Optimierungsverfahren an. Neben klassischen Verfahren (Simplexverfahren, Gradientenverfahren) stehen dem Anwender auch Evolutionsstrategien zur Verfügung. Die Auswahl des zum Einsatz kommenden Verfahrens hängt von der Komplexität der Optimierungsaufgabe und der Verfahrensweise des Anwenders bei der Optimierung ab. (Es ist möglich, die Optimierung mit einer Evolutionsstrategie zu starten und in der Nähe des Optimums abzubrechen, um mit einem Simplexverfahren das eigentliche Optimum zu bestimmen.)

Bei der Festlegung der Gütekriterien ermöglicht die einfache Zusammenarbeit der FCD Toolbox mit der NCD Toolbox ein effektives und schnelles Erstellen von Schrankenverläufen. Dies wird besonders beim Entwurf eines nichtlinearen Regelkreises deutlich. Hier müssen alle prozessrelevanten Betriebspunkte angefahren und bewertet werden. Dazu wird ein normierter Schrankenverlauf in der NCD Toolbox definiert. Der erzeugte Verlauf wird nun auf den jeweiligen Führungsübergang innerhalb des Simulationszeitraumes, entsprechend des dazugehörigen Zeithorizontes und der Sprunghöhe, durch die FCD Toolbox angepasst. Bild 3 zeigt die so definierten Schranken sowie den Regelgrößenverlauf eines nichtlinearen Regelkreises zu Beginn und nach Beendigung einer Optimierung. Die Regelgrößenverläufe zeigen, daß trotz der Nichtlinearität der Regelstrecke (unterschiedlicher Regelgrößenverlauf innerhalb des Simulationshorizontes zu Beginn der Optimierung) Reglerparameter ermittelt wurden, welche dem geforderten Führungsverhalten gerecht werden.

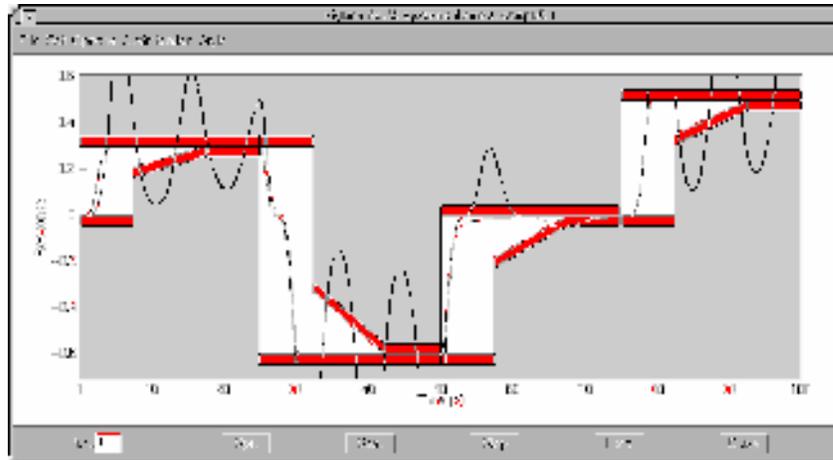


Bild 3 Regelgrößenverlauf zu Beginn und nach Beendigung der Optimierung

### Literatur

- [1]Eichhorn, M. ; Kuhn, T. : Fuzzy Control Design Toolbox. Users Manual, SCIENTIFIC COMPUTERS, München, 1996
- [2]Eichhorn, M. ; Kuhn, T. ; Wernstedt, J. :The Fuzzy Control Design Toolbox for use with MATLAB® and its application for optimum fuzzy control design strategies. WAC'96 Montpellier, Mai 1996, Preprints
- [3]Kuhn, T. ; Wernstedt, J. : SOFCON - Eine Strategie zum optimalen Entwurf von Fuzzyregelungen. Automatisierungstechnik 42 (1994) S 91-99
- [4]Koch, M. ; Kuhn, T. ; Wernstedt, J. : Fuzzy Control ; Optimale Nachbildung und Entwurf optimaler Entscheidungen. München: Oldenbourg Verlag 1996
- [5]SIMULINK, Users Manual, The MathWorks, Inc. 1996
- [6]MATLAB, Users Manual, The MathWorks, Inc. 1996

# Online Meß- und Diagnosesystem für kommunale Kläranlagen

Dr. Ing. Mario Koch, Dr. Ing. Le Tien Dung, Dipl.-Ing. Ralf Marquardt  
system engineering GmbH ilmenau, W.-v.-Siemens-Str.4, 98693 Ilmenau

## 1 Einordnung des Projektes

In Thüringen gibt es zur Zeit mehr als 200 Abwasserbehandlungsanlagen der Größenklassen 1 und 2 (Stand Dezember 1996: 140 Anlagen GK 1; 55 Anlagen GK 2). Die meisten von ihnen arbeiten nach dem Belebungsverfahren mit suspendierter Biomasse, einige sind Anlagen mit Festbett (Tauch- oder Tropfkörper) und alternative Verfahren wie Pflanzenkläranlagen setzen sich nur sehr zögerlich durch.

Allen diesen Anlagen ist gemein, dass sie normalerweise ohne jede kontinuierliche Messtechnik betrieben werden. Vorgeschrieben sind je nach Anlagengröße und Bundesland (s. entsprechende Eigenkontrollverordnungen der Länder) tägliche, wöchentliche oder monatliche Kontrollen betriebswichtiger Parameter. Bei richtiger Auslegung und Wartung der Anlage entsprechend den ATV-Richtlinien erfüllen sie die Vorschriften entsprechend Wasserhaushaltsgesetz, ein mehr an Mess- und Regeltechnik würde nur den Betrieb verteuern. Die Steuerung der Belüftung und der Schlammförderung erfolgt in der Regel durch elektromechanische oder elektronische Schaltuhren mit einer mehr oder weniger großen Zahl frei wählbarer Parameter.

Allerdings zeigt sich, dass eine Reihe solcher Anlagen nicht optimal arbeitet:

- Die Steuerung der Belüftung erfolgt in einem starren Raster (z.B. 30 min AN, 30 min AUS), eine Anpassung an die tatsächliche Belastung erfolgt nicht.
- Die Anlagen werden schlecht oder gar nicht an geänderte Betriebsbedingungen angepasst (Änderung der Anschlusswerte).
- Kleine Anlagen sind generell anfälliger gegenüber starken Belastungsschwankungen.

Es ist davon auszugehen, dass in nächster Zeit weitere Anlagen der Größenklassen 1 gebaut werden:

- Der Bestandsschutz für bestehende rein mechanische Reinigungsanlagen läuft aus, sie müssen ersetzt oder durch eine biologische Stufe ergänzt werden.
- Kleine Siedlungen ohne Anschluss an das Abwassernetz und ohne Abwasserbehandlungsanlage müssen eigene Anlagen errichten.
- Mit dem Neubau von Wohnsiedlungen außerhalb der Großstädte und ohne Anschluss an das Abwassernetz müssen neue Anlagen errichtet werden.

Aus den Erfahrungen der letzten Jahre hat sich gezeigt, dass große Anlagen zur Abwasserreinigung wegen der relativ langen Planungs- und Bauzeiten schlecht an sich ändernde Bedürfnisse angepasst werden können. So sind die kommunalen Anlagen laut einem Bericht des Thüringer Landwirtschaftsministers teilweise nur zu 30% ausgelastet, für gewerbliche Anlagen liegt dieser Wert zwischen 17% (!!!) und 68%. Um die Anlagen voll auszulasten sind Investitionen von mindestens 700 Millionen DM notwendig. Dieses Geld

fließt in den Bau von Sammlern, Kanälen und Pumpanlagen, wobei dann nochmals erhebliche Kosten für deren Betrieb und Unterhaltung in den Folgejahren notwendig werden. Kleine Anlagen in modularer Bauweise lassen sich dagegen viel besser und vor allem mit geringeren Investitionen an die Bedürfnisse anpassen.

## 2 Übersicht Kleine Kläranlagen

### 2.1 Verfahrenstechnik

Da ein Großteil der in Frage kommenden Anlagen als Belebungsanlagen ausgeführt ist, soll vor allem dieser Typ betrachtet werden. Kernstück ist das Belebungsbecken, in welchem Biomasse hauptsächlich in suspendierter Form (Belebtschlamm) vorliegt. Da in der Regel Belebtschlamm schwerer als Wasser ist und somit zu Boden sinken würde, wird zur Aufrechterhaltung einer gleichmäßigen Verteilung des Schlammes ein Rührer o.ä. zur Durchmischung des Wasser-Schlamm-Gemisches benötigt. Da das Verfahren anaerob arbeitet (unter Verbrauch von Sauerstoff), wird ebenfalls ein System zum Eintrag von Luft in das Belebungsbecken benötigt.

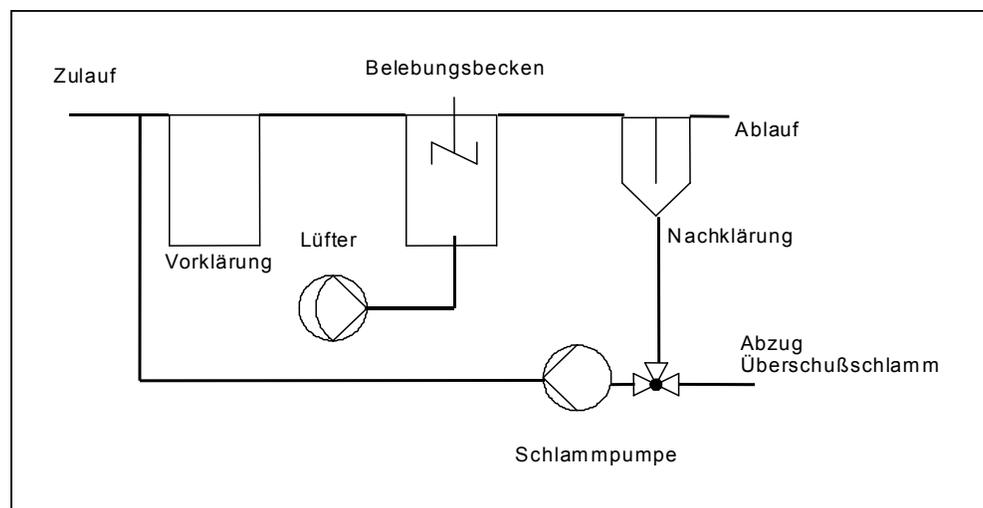


Bild 1: Schematischer Aufbau einer Belebungsanlage

Vorgeschaltet ist eine Vorklärstufe zur Abtrennung von festen Bestandteilen aus dem zulaufenden Abwasser (Rechen, Sandfang, Absetzbecken), die mechanische Vorreinigung. Hinter dem Belebungsbecken befindet sich die Nachklärung. In dieser Stufe wird der Belebtschlamm durch Absetzen vom gereinigten Abwasser getrennt. Der Schlamm wird teilweise wieder für das Verfahren benötigt (Schlammrückführung) und in das Vorklärbecken bzw. direkt in die Belebungsstufe zurückgeführt. Der Rest des anfallenden Belebtschlammes (Überschussschlamm) wird in einem getrennten Schlammstapelbehälter gelagert bzw. bei kleineren Anlagen direkt im Nachklärbecken gespeichert und in Abständen abgepumpt.

## 2.2 MSR-Technik

Die Steuerung solcher Anlagen ist relativ einfach aufgebaut: In der Regel steuert eine 24h-Zeitschaltuhr den Betrieb der Belüftung über eine einfache Ein-/Aussteuerung. Bei sehr einfachen Anlagen wird durch einen Injektor oder ähnliche Einrichtungen beim Betrieb der Belüftung auch die Schlammförderung aus dem Nachklärbecken durchgeführt. Bei anderen Anlagen gibt es eine separate Pumpe für den Rücklaufschlamm, welche dann auch zyklisch eingeschaltet wird. Der Abzug des Überschussschlammes geschieht ebenfalls über eine Schaltuhr bzw. sogar nur manuell durch Betätigung eines Ventils.

Online Messtechnik ist in der Regel nicht vorhanden, da auch nicht vorgeschrieben. Die entsprechenden Auflagen sehen nur die gelegentliche Messung einiger Parameter (pH-Wert, Sauerstoffgehalt, Durchflussmenge, BSB, CSB) im Abstand einiger Tage bis Wochen vor.

Die Abbildung zeigt zwei der möglichen Betriebsarten für eine Steuerung:

Das starre Ein- und Ausschalten eines Antriebs in festen Zeitabständen (hier: 15 Minuten) und das etwas flexiblere Schalten eines Antriebs in einem Raster von 5 Minuten:

	Minute																									
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	
starr																										
flexibel																										

Bild 2: Schema Zeitschaltuhr

Die zweite Lösung ist wesentlich besser an die Erfordernisse (z.B. hohe/niedrige Belastung) anpassbar, erfordert allerdings auch mehr Aufwand bei der Einstellung der Steuerung.

Beide Lösungen haben gemeinsam, dass jeder Tag gleich abläuft, da der Zyklus alle 24 Stunden wieder von vorn beginnt. Wochenschaltuhren zur Anpassung der Steuerung an die unterschiedliche Belastung an Wochen-, Sonn- und Feiertagen sind offensichtlich nicht verbreitet.

## 3 Aufbau des Meßsystems

Zielstellung des Projektes war die Entwicklung eines Meßsystems, das den Hersteller bzw. Betreiber einer Abwasserbehandlungsanlage ein kontinuierliches Abbild der verfahrenstechnischen Abläufe liefert. Damit stehen wichtige Informationen sowohl für eine zielgerichtete Inbetriebnahme als auch für die Gewährleistung eines effektiven Betriebes zur Verfügung.

Das Meßsystem soll portabel sein, da die feste Installation von Meßtechnik auf den Anlagen sehr hohe Investitionen fordert und auf Dauer auch unnötig ist. Die meisten Anlagen haben ein typisches, sich in regelmäßigen Abständen wiederholendes Belastungsprofil (Tages-, Wochen-, Jahresgänge), welches sich selten kurzfristig ändert. Darum ist eine zeitlich begrenzte Beprobung vollkommen ausreichend und das Meßsystem für mehrere Anlagen nutzbar.

Das Meßsystem ist modular aufgebaut und damit flexibel an die jeweilige Anlage und Beprobungsaufgabe anpassbar. Mit den einzelnen Sensoren des Grundgerätes können unterschiedliche Messaufgaben erfüllt werden:

Feststellung der hydraulischen Belastung der Anlage:

- Füllstandsmessungen in geschlossenen oder offenen Behältern
- bei definiertem Kanalquerschnitt Durchflussmessungen
  
- Bestimmung des pH-Werts im Belebungsbecken bzw. im Zulauf der Anlage
- Bestimmung der Leitfähigkeit im Zulauf (Einleiterüberwachung)

Für Anlagen mit intermittierendem Betrieb (Nitrifikation/Denitrifikation)

- Messung des Redoxpotentials im Belebungsbecken

Erfassung des Sauerstoffgehalts und des Wirkungsgrades der Lüfter

- Sauerstoffmessung im Belebungsbecken
- Messung geringer Konzentration mit spezieller Elektrode besonders bei Anlagen mit Denitrifikation

Bestimmung der Zulauffracht und der biologischen Aktivität im Belebungsbecken

- Kurzzeit-BSB Messung

Das Gerät für die Kurzzeit-BSB Messung ist dabei nicht zwingend Bestandteil des Meßsystems. Damit sollte zum Beispiel die Aufnahme des Tagesgangs der Belastung der Anlage mit BSB im Zulauf möglich sein.

### **3.1 Aufbau des Systems**

In einem Schaltschrank ("Gehsteigverteiler") sind die Feldmessumformer, die Stromversorgung, Heizung, ein Wählmodem und das Modul für die Steuerung und Datenerfassung untergebracht.

Nicht im Schaltschrank befinden sich:

- Messumformer und Ultraschallsensor für die Messung von Füllstand/Durchfluss
- alle Sensoren für die elektrochemischen Messungen, die am jeweiligen Messort zu installieren sind.

#### Technische Daten

Abmaße HxBxT

ca. 1600mm x 800mm x 350mm

Gewicht

ca. 35 kg

Temperaturbereich Umgebung

-10 .. 50 °C

Energieversorgung

230V~, ca. 120 VA (+ 300VA bei Heizbetrieb)

Schutzgrad

IP65 (Schaltschrank bei geschlossener Tür)

### 3.2 Messdatenerfassung/Steuerung

Zur Erfassung der Messdaten und gegebenenfalls zur Realisierung einer Prototyp-Steuerung wird ein Industrie-PC (IPC) mit folgenden Baugruppen eingesetzt:

- CPU HC27 (mit Schnittstellen für Tastatur, Modem) und Massenspeicher,
- Analogwerterfassung IO11,
- Digital-IO OM21,
- Stromversorgungsmodul.

Alle Baugruppen werden in einem gemeinsamen Baugruppenträger (Busboard) montiert und von diesem mit Strom versorgt.

Die CPU enthält einen IBM-kompatiblen Rechnerkern. Die Software zur Datenerfassung liest zyklisch alle anfallenden Messdaten ein (über die Baugruppe IO11 als Stromwert zwischen 4 und 20 mA) und legt diese mit einem Zeitstempel versehen in einer Datei auf der Festplatte ab. Die Zykluszeit kann zwischen 0,5 Sekunden und mehreren Stunden liegen, sinnvoll für die Anwendung hat sich eine Zykluszeit von 1 Minute erwiesen.

Gleichzeitig können acht analoge Messwerte online erfasst werden, dazu kommen noch vier bis acht digitale Zustände (Ein/Aus), welche über die Digitalbaugruppe OM21 erfasst werden können. Mit diesen Eingängen können binäre Signale, wie z.B. der Schaltzustand von Pumpen und Ventilen überwacht werden.

Ebenfalls über die Baugruppe OM21 sind vier Relais angekoppelt. Mit diesen Relais können bei Bedarf größere Verbraucher geschaltet werden. Möglich ist z.B. die Implementierung einer Steuerung im IPC, welche die vorhandene Steuerung (Schalten der Pumpen und Ventile) ersetzt und so direkte Vergleiche ermöglicht. Nach Abschluss der Versuchsphase mit dem IPC kann dann die optimierte Steuerung in einer geeigneten Hardware realisiert werden.

### 3.3 Auslesen der Messwerte

Die Messwerte werden generell auf dem Massenspeicher der CPU gepuffert. Bei einer Zykluszeit von 30 Sekunden reicht der Speicherplatz für einige Wochen.

Das Auslesen der Messwerte kann auf zwei Arten erfolgen: über ein externes Modem und das öffentliche Telefonnetz oder über ein Nullmodemkabel zu einem externen Rechner. In beiden Fällen wird die serielle Schnittstelle der CPU (COM1) benutzt. Dies ist eine vollkompatible RS232C-Schnittstelle. Als Software für die Datenübertragung hat sich das Remote-Control Programm 'Fernterm' als geeignet erwiesen. Es ist für den Betrieb mit und ohne Modem verwendbar, die notwendige Konfiguration ist im zugehörigen Handbuch beschrieben.

### 3.4 Wartung des IPC

Der Industrie-PC ist im Betrieb normalerweise wartungsfrei. Die gesamte Elektrik sollte aber in regelmäßigen Abständen (1x pro Monat) einer Sichtkontrolle unterzogen werden. Besonders die Leitungen und Kabel, die im Freien verlegt sind, können leicht beschädigt werden und sollten darum eine besondere Aufmerksamkeit erhalten.

### 3.5 Aufstellung des Systems

Beim Aufstellen des Meßsystems ist für ausreichende Standfestigkeit zu sorgen!  
Alle Leitungen und Kabel werden durch den Fuß an der Unterseite gezogen, auf keinen Fall dürfen sie verdreht oder gequetscht werden.

Für die Sensoren muss ein geeigneter Messort gefunden werden, d.h.:

- pH-Sensor am Zulauf oder im Belebungsbecken,
- LF-Sensor am Zulauf,
- Redox-Sensor im Belebungsbecken,
- Sauerstoffsensoren im Belebungsbecken,
- US-Füllstandssensor an Zu- oder Ablauf über Gerinne oder über Becken mit wechselndem Füllstand.

Der Sauerstoffsensor mit besonders großer Empfindlichkeit (TriOxmatic701) ist vorgesehen für Anlagen mit intermittierendem Betrieb, da hier oft Konzentration  $<1\text{mg/l}$  auftreten.

Alle Elektroden müssen so befestigt werden, dass die Mindesteintauchtiefe laut Hersteller gegeben ist. Die Kabeleinführung soll aber auf jeden Fall oberhalb des Wasserspiegels liegen. Besonders ist darauf zu achten, dass:

- alle Elektroden gut befestigt werden,
- alle Elektroden und Anschlusskabel außerhalb des Bewegungsbereiches von Wellen u.ä. der eingebauten Pumpen und Rührer angebracht sind,
- die Befestigung ohne bleibende Folgen wieder entfernt werden kann.

## **3.6 Inbetriebnahme**

### **3.6.1 Elektrochemische Messungen**

Nach Anbringen aller Sensoren kann die Anlage in Betrieb genommen werden. Dazu wird zuerst der IPC eingeschaltet, die Messwerterfassung startet dann automatisch.

Nun werden nacheinander die einzelnen Elektroden in Betrieb genommen. Ist der Sensor längere Zeit nicht kalibriert worden, so sollte dies nun geschehen. Nach der Kalibrierung sollte sich innerhalb weniger Minuten ein stabiler Messwert einstellen, die Zeitkonstante der Prozesse in der Anlage liegen im Bereich einiger Minuten. Nun muss überprüft werden:

- Stimmt der angezeigte Messwert mit dem erwarteten, anlagentypischen Wert überein, ist er plausibel?
- Liefert der Feldmessumformer dazu den richtigen Stromwert?
- Wird ein Fehlersignal angezeigt?
- Ist der Messwert stabil?

### **3.6.2 Feldmessumformer**

Die Einstellung der Feldmessumformer sollte nur verändert werden, wenn es unbedingt nötig ist. Dazu sind die Unterlagen des Herstellers heranzuziehen. Um die Richtigkeit der gespeicherten Messwerte zu gewährleisten, ist es unbedingt notwendig, alle Korrekturen auch in der Software zur Wandlung der Messwerte zu vollziehen.

### **3.6.3 Füllstandsmessung**

Der Ultraschallsensor zur Füllstandsmessung muss auf jeden Fall gesondert eingemessen werden. (Bestimmung von minimaler und maximaler Höhe des Wasserspiegels). Soll nicht nur der Füllstand, sondern auch der Durchfluss als Volumeneinheit pro Zeiteinheit erfasst werden, muss die zugehörige Kennlinie für den entsprechenden Kanal aufgenommen werden.

Ideal ist ein der Einbau eines Venturikanales, dies wird jedoch bei den meisten Anlagen ohne bauliche Änderungen kaum möglich sein.

### **3.6.4 IPC**

Der Industrie-PC ist voreingestellt, nach dem Einschalten des Systems startet die Messwerterfassung mit einer Abtastzeit von 60 Sekunden

### **3.6.5 Modem**

Ist der Anschluss des Systems an das Telefonnetz vorgesehen, muss auch das Modem entsprechend parametrierung und angeschlossen werden. Die Initialisierung des IPC muss so geändert werden, dass auch das Modem mit angesprochen. Das Programm ist so ausgelegt, dass nur von außen angerufen werden kann, um Messwerte und Störungsmeldungen abzurufen.

## **4 Auswertung und Visualisierung der Messdaten**

Für die Darstellung, Auswertung und Archivierung der aufgenommenen Daten sind zwei verschiedene Lösungen realisiert worden: Einmal die Benutzung eines speziellen Visualisierungswerkzeuges (WinErs vom Ing.-Büro Dr.Schoop), zum anderen die Verwendung von Standardsoftware, die auf nahezu jedem PC installiert sein dürfte (MS-Office mit Access, Excel und Word).

### **4.1 Lösung mit WinErs**

Das Programmpaket WinErs ist ein Programmpaket für die Steuerung, Visualisierung, Messwerterfassung - und Archivierung und läuft unter dem Betriebssystem Windows.

Der Anwender kann auf folgende Module zurückgreifen:

- Steuerungsmodul mit vollgrafischer Programmierung,
- Messwerterfassung mit Optionen Kurzzeit, Langzeit, zyklische Messungen,
- Alarmmeldungsmodul,
- Visualisierung von Messwerten mit unterschiedlichen Prozessbildseiten und einer Vielzahl von Bedien- und Anzeigemöglichkeiten,
- Archivierung von Messwerten,
- grafische Darstellung von Messwerten Online und Offline.

Das Programm kann auf verschiedene Art und Weise durch eigene Komponenten erweitert werden.

Die Ankopplung an die Steuerung vor Ort erfolgt über Modemverbindungen, Serielle Leitungen, Feldbusse oder LAN.

Der Anwender kann von einem PC-Arbeitsplatz aus (Server) mehrere Steuerungen (Clients) überwachen und steuern, wobei die räumliche Entfernung zu diesen keine Rolle spielt.

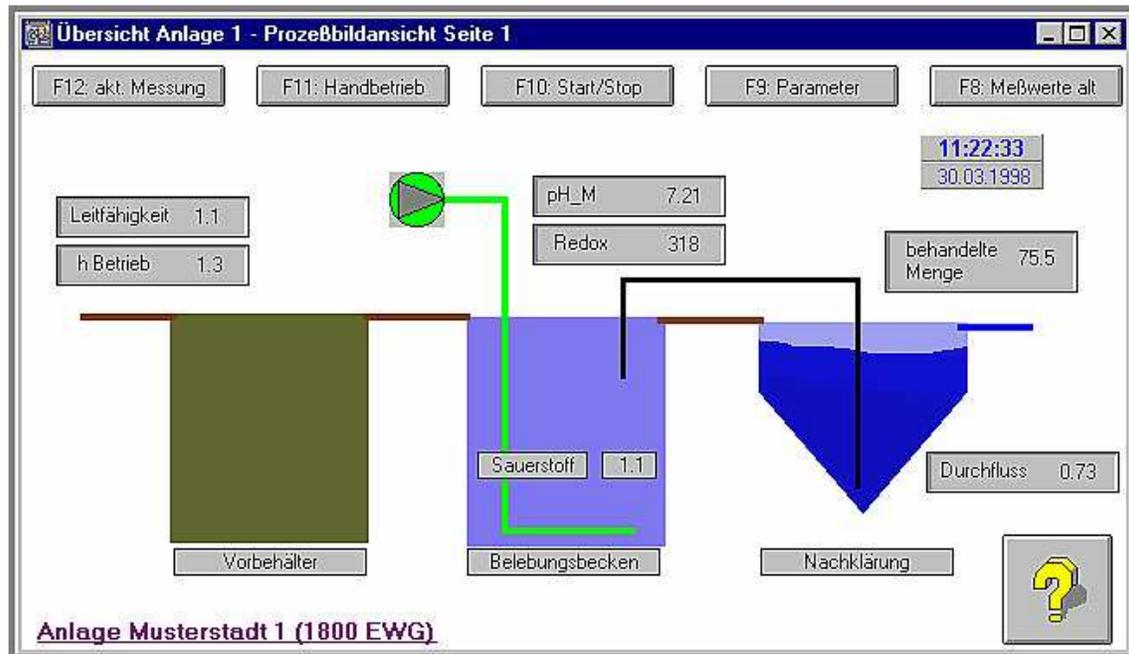


Bild 3: Prozessleitsystem WinErs

Allerdings ist es wenig sinnvoll, nur eine Kläranlage dieser Größenordnung mit einer Online-Kopplung auszustatten, das Verhältnis von Aufwand und Nutzen dürfte dies nur unter bestimmten Bedingungen rechtfertigen. Werden aber mehrere Anlagen ausgerüstet und von einer Stelle zentral verwaltet und überwacht, ergibt sich ein wesentliche Einsparung für die tägliche Kontrolle.

Da bei den meisten Zweckverbänden in der Regel eine Zentrale auf oder in der Nähe einer großen Kläranlage existiert, kann in solchen Fällen die Überwachung der kleinen Anlagen mit auf das zentrale Prozessleitsystem der großen Anlage geschaltet werden. In diesem Fall ist der Mehraufwand relativ gering gegenüber den sich ergebenden Einsparpotentialen.

Für unser Unternehmen ist die Nutzung eines solchen Tools vor allem unter dem Gesichtspunkt von Interesse, die Überwachung und Wartung Kleiner Kläranlagen als Dienstleistung zu übernehmen. In diesem Fall besteht eine Rechenschaftspflicht gegenüber der Aufsichtsbehörde (Umweltämter) als auch gegenüber dem Auftraggeber. Das bedeutet, alle relevanten Werte für mehrere Anlagen müssen jederzeit zuverlässig und in einer geeigneten Form dargestellt werden können.

Angedacht ist der Aufbau einer zentralen Überwachungsstelle als Teil unseres Unternehmens. Von dort erfolgt die Überwachung der angeschlossenen Anlagen und im Störfall die Benachrichtigung des zuständigen Mitarbeiters unserer oder anderer Firmen.

## 4.2 Lösung mit MS-Office

Das Programmpaket MS-Office, bestehend aus einer Tabellenkalkulation (Excel), einer Textverarbeitung (Word) und einer Datenbank (Access) ist relativ weit verbreitet.

Alle Programme können durch entsprechende Verknüpfungen Daten miteinander und mit anderen Programmen austauschen. Die Erweiterbarkeit der Anwendungen ist dadurch und durch die umfangreichen Möglichkeiten der Programmierung durch Makros und eine eingebaute Programmiersprache leicht möglich. Insbesondere kann über bestimmte

Mechanismen (Dynamischer Datenaustausch - DDE) der lesende und schreibende Zugriff externer Programm auf die Daten ermöglicht werden. Auf diese Weise kann z.B. über ein Modem und entsprechende Treiber eine Verbindung zum Meßsystem hergestellt werden, die Daten werden dann in die entsprechende Tabelle eingetragen.

Durch die Verwendung von Standardsoftware entsteht wenig zusätzlicher Aufwand für Beschaffung und Weiterbildung beim Einsatz dieser Programme.

	pH	Soll_O2	Sauers	Füllstand in %	edoxpot.[m	Leitfähigkeit
14:34:11	6,46	16	30	66	83	4,3
14:35:11	6,52	16	28	64	82	4,3
14:36:11	6,73	16	27,8	61	83	4,5
14:37:11	6,41	16	27,1	59	81	4,1
14:38:11	6,51	16	26,6	56	83	3,9
14:39:11	6,4	16	26,2	54	82	4,2
14:40:11	6,55	16	25,6	51	82	4,3
14:41:11	6,46	16	24,9	49	82	4,2
14:42:11	6,45	16	24,6	46	83	4,2

Bild 4: Datenerfassung in einer Excel-Tabelle...

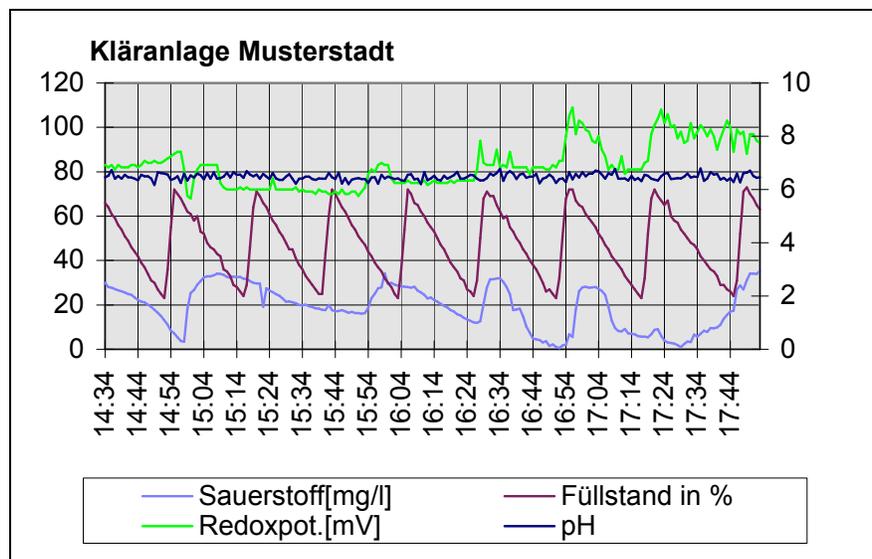


Bild 5: ... und die damit verknüpfte Grafik

## 5 Betriebstagebuch

In der ATV-Richtlinie H260 aus dem Jahr 1989 [11] ist festgelegt, wie ein Betriebstagebuch für Anlagen zur Abwasserbehandlung aufgebaut sein sollte und welche Einträge enthalten sein müssen. Insbesondere ist dargestellt welche Berichte erstellt werden müssen:

- Tagesberichte,
- Wochenberichte,

- Monatsberichte,
- Jahresberichte.

Dabei müssen die Werte der einzelnen Tage bis zur Fertigstellung des Jahresberichtes und darüber hinaus verfügbar sein. Zu einem Tagesbericht gehören dabei sowohl die Online Messwerte (falls vorhanden) als auch die Ergebnisse von Einzelmessungen und Laboranalysen. Weiterhin werden Auffälligkeiten und Störungen vermerkt sowie durchgeführte Wartungsarbeiten nachgewiesen.

Gleichzeitig können weitere Daten erfasst werden:

- Beschreibung der Anlage (Verfahren, Ausrüstung, Lage),
- Hinweise für Wartung und Instandhaltung, Termine,
- Fehlerdatenbank, Erfassung von Störungen und deren Ursachen,
- Darstellung der Verantwortlichkeiten (Mitarbeiter),
- Adressen der zuständigen Behörden.

Das gesamte Betriebstagebuch ist als Datenbanklösung modular aufgebaut und lässt sich für Anlagen verschiedener Größenordnungen verwenden. Die Eingabe der Daten ist auf verschiedene Art und Weise möglich:

- Online-Kopplung mit Datenerfassungssystem,
- Eingabe von Messwerten von Hand,
- Ermittlung von Rechenwerten im Programm nach vorgegebenen Vorschriften.

Allerdings sperrt das System nach gewissen Fristen die nachträgliche Eingabe und Änderung von Daten, um gewollte und ungewollte Manipulationen zu verhindern.

## 6 Literatur

- [1] Fernterm: Dokumentation (Datei FERNTERM.DOC auf der Originaldiskette)
- [2] Handbuch TecnoLine Leitfähigkeits-Feldmeßumformer, WTW-Nr.: BA54101/06.97/Pla/LF171-4
- [3] Handbuch TecnoLine Sauerstoff-Feldmeßumformer, WTW-Nr.: BA24101/06.97/Pla/Oxi171-4
- [4] Handbuch TecnoLine pH-Redox-Feldmeßumformer, WTW-Nr.: BA14101/06.97/Pro/pH171-4
- [5] Bedienungsanleitung TecnoLine Leitfähigkeits-Feldmeßumformer, WTW-Nr.: BA54102/06.97/Pla/BALF171-4
- [6] Bedienungsanleitung TecnoLine Sauerstoff-Feldmeßumformer, WTW-Nr.: BA24102/06.97/Pla/BAOxi171-4
- [7] Bedienungsanleitung TecnoLine pH-Redox-Feldmeßumformer, WTW-Nr.: BA14102/06.97/Pro/BApH171-4
- [8] Betriebsanleitung Ultraschallmeßtechnik Prosonic FMU 860-862, E+H-Nr.: BA 100F/00/d/09.95, Version 1.6
- [9] Siemens Logo! - Informationsmaterial und Beispiele unter <http://www.siemens.ad.de>
- [10] Klöckner Moeller Easy - Informationsmaterial und Beispiele unter <http://www.moeller.net/easy>
- [11] ATV Hinweis H260 "Erfassen, Auswerten und Darstellen von Betriebsdaten mit Hilfe von Prozeßdatenverarbeitungsanlagen auf Klärwerken", März 1989
- [12] SPS-Magazin, Zeitschrift für Automatisierungstechnik, 11.Jahrgang, Ausgabe 3+4 1998, Marktübersicht Kleinsteuerungen, S.36 ff

- [13] Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz WHG) In der Fassung der Bekanntmachung vom 23. September 1986 (BGBl. I S. 1529), berichtigt unter dem 8. Oktober 1986 (BGBl. I S. 1654), geändert durch Gesetze vom 12. Februar 1990 (BGBl. I S.205), vom 26. August 1992 (BGBl. I S. 1564), vom 27. Juni 1994 (BGBl. I S. 1440), vom 12. September 1996 (BGBl. I S.1354) und vom 12. November 1996 (BGBl. I S. 1695).
- [14] Gesetz über Abgaben für das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserabgabengesetz AbwAG) vom 13. September 1976 (BGBl. I S. 2721, ber. S. 3007), geändert durch Gesetze vom 14. Dezember 1984 (BGBl. I S. 1515), vom 19. Dezember 1986 (BGBl. I S. 2619), vom 5. März 1987 (BGBl. I S. 8807), vom 6. November 1990 (BGBl. I S. 2423), vom 3. November 1994 (BGBl. I S. 3370) und vom 11. November 1996 (BGBl. I S. 1690).
- [15] Thüringer Wassergesetz (ThürWG) vom 10. Mai 1994 (GVBl. S. 445), geändert durch Gesetze vom 10. Mai 1994 (GVBl. S. 478) und vom 19. Dezember 1995 (GVBl. S. 413)
- [16] Wasserversorgung und Abwasserentsorgung im Freistaat Thüringen Broschüre des Ministeriums für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt vom 19. April 1996
- [17] Richtlinie des Rates über die Behandlung von kommunalem Abwasser vom 21. Mai 1991 (EG ABL. L. 135/40)



## MCVD- Steuerung für Institut für physikalische Hochtechnologie Jena

Dipl. – Ing. Peter Szuppa  
system engineering GmbH Ilmenau, W.-v.-Siemens-Str.4, 98693 Ilmenau

Diese Steuerung dient dem Betrieb einer Anlage zur Herstellung von Quarzglas-Lichtleiterpreformen.



Bild 1: IO-Module für digitale und analoge Signale

Die Beschichtungsanlage besteht aus:

- einem Gaskabinett mit Reaktivgas- und Sauerstoffstrecken
- Strömungsreglern (AFC-Automatic Flow Controller)
- einer Brennerstrecke (Wasserstoff/Sauerstoff)
- einer Glasmacherdrehbank mit Support mit Brenner, Pyrometer und Laser Scanner



Bild 2: PC-Arbeitsplatz mit Labview



Bild 3: Gesamtansicht der Anlage

Die Herstellung erfolgt mit dem MCVD-Verfahren („Modified Chemical Vapour Deposition“). In das Innere eines rotierenden Quarzglasrohres werden über eine Reaktlinie Gasmische (Chloride und Sauerstoff von den Verdampfern im Gaskabinett) mit einer bestimmten Zusammensetzung geleitet, die in der heißen Flamme (1700 ... 1950°C) eines Wasserstoff/Sauerstoff-Knallgasbrenners zu den entsprechenden Oxiden umgesetzt werden. Die sich bildenden Partikel setzen sich an der kalten Rohrwand ab und werden durch den sich vorwärts (mit einer bestimmten Geschwindigkeit) bewegenden Brenner zu einer klaren Schicht aufgeschmolzen. Die Beschichtung erfolgt in mehreren Zyklen, wobei sich die

Zusammensetzung des Gasgemisches ändern kann. Der Brenner fährt nach Beendigung eines jeden Zyklusses jeweils an die Startposition zurück.

Gase, die an der Beschichtung nicht beteiligt sind, werden über eine Ventline geleitet (Schaltung erfolgt über entsprechende Magnetventile). Die Einstellung der Strömungsgeschwindigkeit der Gase erfolgt über AFC's, die Außentemperatur des Rohres wird mit einem Laser Scanner gemessen.

Nach Beendigung der Beschichtung wird das Rohr in mehreren Durchläufen bei Temperatur oberhalb 2000°C und langsamer Brennergeschwindigkeit zu einem Stab (Preform) kollabiert. Der Beschichtungsvorgang kann automatisch (nach einem vorher erstellten Programm) bzw. im Handbetrieb (Einstellung aller Parameter der Anlage über die Tastatur per Hand) ablaufen. Zur Steuerung und Protokollierung wird Labview © von National Instruments verwendet, für die Ein- und Ausgabe der Signale werden Inline-Klemmen von Phoenix Contact eingesetzt.

## Steuerung für eine Anlage zur Behandlung von Lebensmitteln für BIOSTERIL GmbH & Co KG, Ritschenhausen

Dipl. – Ing. Peter Szuppa  
system engineering GmbH Ilmenau, W.-v.-Siemens-Str.4, 98693 Ilmenau



Bild 1: BIOSTERIL Anlage zu Keimreduzierung von Lebensmitteln

### 1 Beschreibung der BIOSTERIL - Anlage

Bei der BIOSTERIL - Anlage handelt es sich um einen Autoklaven, ähnlich wie aus der Medizintechnik, der zur Keimreduzierung von Trockengemüse eingesetzt wird. Die Anlage setzt sich aus den 3 Komponenten

1. Kammer
2. Steuerung
3. Dampfspeicher

zusammen.

#### 1.1 Kammer:

Die Kammer ist ein quaderförmiges, doppelwandiges, isoliertes Gefäß aus wellblechförmigem Edelstahl, verschweißt mit Vierkantprofilen als Rahmen. Sie hat ein Volumen von ca. 4 m<sup>3</sup>. Die Kammer könnte man vergleichen mit einem doppelwandigem Vierkantrohr mit einem Querschnitt von ca. 1,1 \* 1,75m, das an beiden Stirnseiten von jeweils einer druckluftbetätigten Schiebetür verschlossen wird. Die Kammer wird mit einem Absolutdruck zwischen 30mbar und 2500mbar betrieben. Die gedämmten Schiebetüren sind rollengeführt und werden mit Druckluftzylindern geschlossen bzw. geöffnet. Im verschlossenen Zustand ragen mit der Tür verbundene Bolzen in mit der Kammerwandung verbundene Bohrungen und sichern so den Druckverschluss. Die Abdichtung erfolgt über eine aufblasbare Silikondichtung (ähnlich einem Fahrradschlauch). Doppelmantel sowie Boden der Kammer und auch die Türen sind dampfbeheizt, die Seitenwände des Doppelmantels sind außerdem über Wasser kühlbar. Im Dampfeinlass befindet sich ein zusätzlicher Dampfnachtrockner, der einströmende Dampf umfließt ein Rohrregister, dass über ein Heizmedium aufgeheizt und so deutlich wärmer als der einströmende Dampf ist.

Die Kammer wird evakuiert in einen Edelstahlkondensator hinein. Dieser hat ca. 200 l Volumen, eine innen liegende Kühlschlange, der Mantel ist als Kühlmantel ausgeführt. Am

Boden kann angefallenes Kondensat über eine Förderpumpe abgefördert werden. Nach dem Kondensator sind 3 wassergekühlte Vakuumpumpen installiert.

## **1.2 Steuerung**

Eine SPS steuert die druckluft- oder elektromagnetisch betätigten Ventile zur Steuerung der Anlage. Die Sensorik besteht hauptsächlich aus PT100-Temperatursensoren und diversen Drucksensoren in der Kammer, im Doppelmantel, im Kondensator, in der Dampfleitung und in der Druckluftzuleitung. Kammer, Doppelmantel und Kondensator sind mit Sicherheitsventilen ausgestattet.

In der SPS sind ca. 250 produktspezifische Programme gespeichert, die eine Behandlung der jeweiligen Produkte bei einer definierten Temperatur zwischen 80 und 120°C für eine definierte Zeit sichern. Zur Kontrolle der Ladungstemperatur ist eine mehrfach PT100-Sonde installiert, die jeweils in die Mitte des Produktes gesteckt wird. Das Produkt selbst wird je nach Feinheit, in der Regel in dampfdurchlässigen Baumwoll- oder Kunststoffsäcken, in Schichthöhen zwischen 50mm und 300 mm in regalähnlichen Gestellen auf Drahtgitterrosten in die Kammer eingebracht.

Bei einem Programmablauf wird nach dem Einbringen des Produktes die Kammertür verschlossen, über Endschalter erfolgt eine diesbezügliche Signalisierung und Freigabe für den Start der Kammer. Tür schließen erfolgt über Zweihand-Bedienung. Nach dem Start beginnt ein mehrfach zu ziehendes Vakuum, unterbrochen durch Dampfstöße. Es folgt eine Aufheizphase, woran sich die Behandlung des Produktes für eine definierte Zeit bei einer definierten Temperatur anschließt. Nach Ablauf der Behandlungszeit erfolgt ggf. Überdruckabbau in den Kondensator, daran schließt sich eine Trocknungs- und Kühlphase durch Evakuierung mit den Vakuumpumpen an. Gleichzeitig bewirkt die Kühlung des Kondensators einen Vakuumeffekt.

Über die SPS und ihre Sensorik einschließlich diverser Endschalter erfolgt die sicherheitstechnische Verschaltung der Anlage. So kann die Kammer nur bei Normaldruck geöffnet werden. Das Schließen der Tür erfordert Zweihand-Bedienung. Softwaremäßig eingestellte Grenzwerte sichern gegen Überheizen und Überdruck der Anlage. Die Sensoren innerhalb der Ladungstemperatursonde sind miteinander verknüpft, so dass bei Überschreiten einer definierten Temperaturdifferenz ein Störungssignal kommt (Sonde defekt). Weitere Störungsmeldungen kommen bezüglich Dampfdruck, Überschreitung von Dampfleinlass oder Druckreduzierungszeiten (Leistung Vakuumpumpen / Undichtheit Kammer). Die Steuerung kann ebenso externe Störsignale verarbeiten, bspw. von der vorgeschalteten Wasseraufbereitung oder Dampferzeugung.

### **1.2.1 Dampfspeicher:**

Als Dampfspeicher ist ein Edelstahl Druckgefäß mit 2000 l Inhalt eingesetzt. Es ist mit allen erforderlichen Anschlussstutzen einschl. Sicherheitsventil ausgerüstet. Der Dampfspeicher ist mit ca. 1500 l Wasser gefüllt, durch direkte Dampfeinleitung wird der Behälter auf einen Druck von 12 bar gebracht und heizt sich damit auf ca. 180°C auf. Damit findet sich im oberen Viertel Dampf, bei Dampfablass / Entspannung in diesem Gefäß kommt es zur Bildung von weiterem Entspannungsdampf durch den Druckabfall im Gefäß. Der Behälter wiegt leer knapp 2 t, gefüllt ca. 3,5 t. Der Dampfspeicher ist mit 100 mm Steinwolle gedämmt

und mit einem Edelstahlmantel verkleidet. Er hat eine Wasserstandsanzeige, sowie eine automatisch funktionierende Absalzung, die bei einem Salzgehalt über 250µS Wasser aus den oberen eingedickten Schichten bis zur Unterschreitung des Grenzwertes ablässt. Vom Dampfspeicher strömt der Dampf über einen Druckminderer, in dem er auf 3 – 4 bar Überdruck reduziert wird, und einen Wirbeltrockner zur Kammer. Unmittelbar vor der Kammer befindet sich ein Kondensatableiter, um die Einleitung von trockenem Dampf zu sichern.

Schnittstellen zur Anlage sind Dampfzuleitung, Elektrozuleitung, Druckluftzuleitung, Kondensatrückleitung, Schwaden-Absaugungen vom Entspannungsgefäß der Vakuumpumpen, Abwasserleitungen von der Kühlung der Vakuumpumpen und vom Entspannungstopf des Dampfspeichers sowie Ausblasleitungen für die Sicherheitsventile.



## Prozessführungssystem am SWT-Gleichstromlichtbogenofen

Dr. Ing. Mario Koch, Dipl.-Ing. Peter Szuppa  
system engineering GmbH Ilmenau, W.-v.-Siemens-Str.4, 98693 Ilmenau

### Zielstellung

Das Projekt „Prozessführungssystem (PFS) am SWT-Gleichstromlichtbogenofen“ verfolgt das Ziel, eine flexible und zukunftsorientierte Plattform zur Umsetzung der im SWT entwickelten technologischen Strategien zur Führung des Schmelzprozesses zu realisieren. Die gegenwärtig eingesetzte Steuerungstechnik auf der Grundlage von Siemens S5- und S7-Steuerungen ist nur bedingt geeignet, das komplexe Wissen der Prozessführung abzubilden und flexibel auf veränderte Rahmenbedingungen zu reagieren. Änderungen des Konzeptes und wichtiger Parameter sind häufig mit Änderungen im SPS-Programm verbunden. Das Fachwissen muss dazu in die Programmiersprache in Form von AWL bzw. Funktionsplan übersetzt werden, was für den Prozessbediener schwer nachvollziehbar ist und zu problemspezifischen Implementierungen führt. Der Schmelzer hat damit kaum die Möglichkeit, die programmtechnisch realisierte Strategie zu prüfen bzw. zielgerichtet zu optimieren.

Das Konzept des neuen PFS baut auf die vorhandene Infrastruktur auf. Es wird eine Führungsebene geräte- und softwaretechnisch ergänzt, auf der das komplexe Wissen der Technologen und Bediener hinterlegt und die grundlegenden Entscheidungen zur Prozessführung generiert werden. Dazu erhält diese Ebene eine Schnittstelle für den Zugriff auf alle relevanten Prozesssignale und ermittelt die Zielvorgaben (Sollwerte) für die unterlagerten Steuerungssysteme. Bezogen auf den Schmelzprozess beinhaltet das PFS die Vorgaben für das Einblassystem, die Entstaubung und den Lichtbogenbetrieb. Die Umsetzung erfolgt in zwei Entwicklungsstufen. Die Stufe 1 bildet im PFS zunächst die aktuell realisierte Strategie mit den neuen Entwurfs- und Implementierungsmitteln nach. In Stufe 2 wird im PFS ein Regelwerk hinterlegt, das die Erfahrungen des Schmelzbetriebes für die Prozessführung nutzbar macht.

### Das gerätetechnische Konzept

Die Steuerungsebene für den Schmelzbetrieb und diverse Nebenprozesse besteht aus räumlich verteilten Steuerungsgeräten (SPS), welche Daten über ein gemeinsames Netzwerk (Ethernet) austauschen.

Das PFS wird mit zwei Steuerungs-PC's realisiert, die die Aufgaben der Datenerfassung, Datenarchivierung und Signalverarbeitung übernehmen. Als Betriebssystem kommt Windows XP zum Einsatz.

Als Hardwareschnittstelle zwischen dem PFS und den Steuerungen wird zusätzlich eine PLC 9 (S7-400 mit 2x CP 443) eingesetzt, welche die Funktion eines Datenkonzentrators ausführt. Diese kommuniziert sowohl mit den vorhandenen SPS als auch mit dem PC des PFS. Bild 11 zeigt eine vereinfachte Darstellung des PFS im Netzwerk.

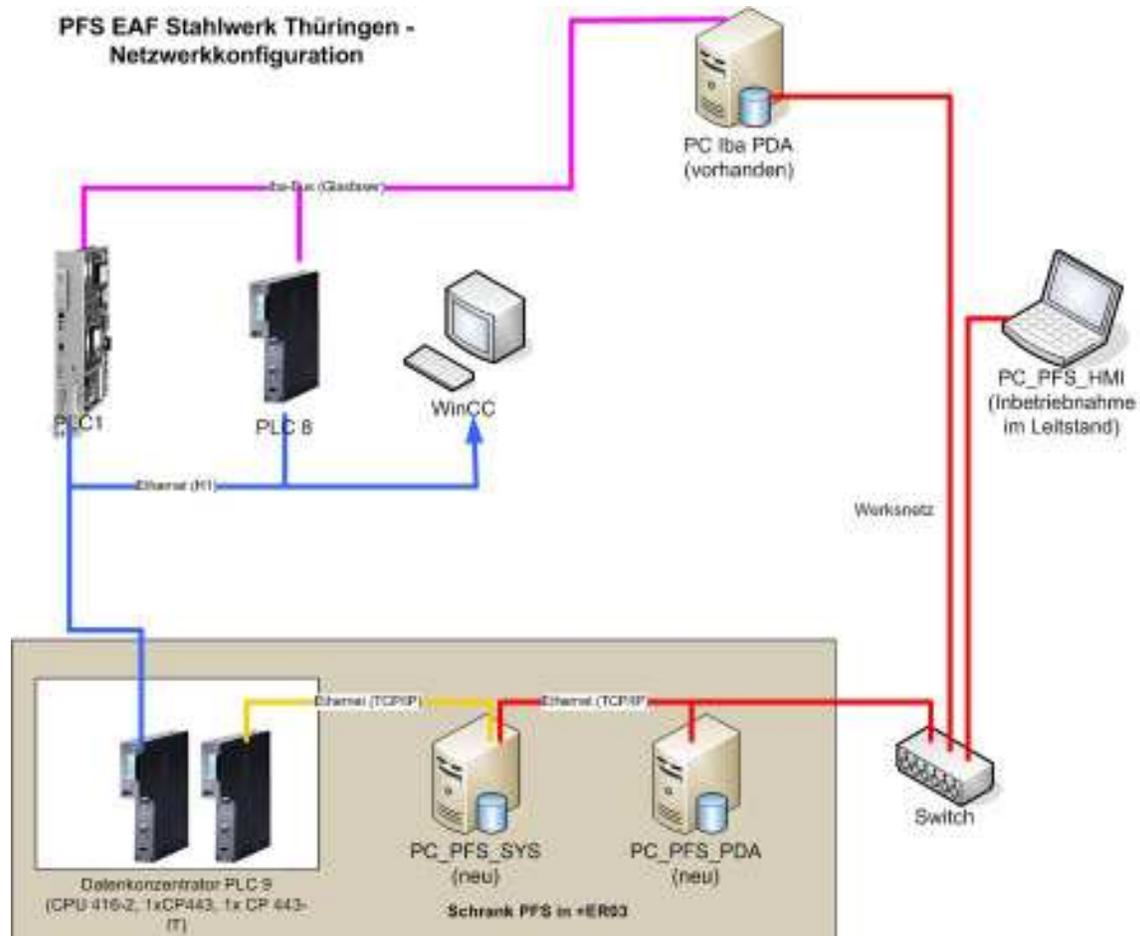


Bild 11 Netzwerkkonfiguration des Prozessführungssystems am Gleichstromlichtbogenofen

### Das softwaretechnische Konzept

Die softwaretechnische Umsetzung der Prozessführungsebene erfolgt mit den Systemen ibaPDA und ibaLogic der Firma iba AG. Die Komponente ibaPDA dient der Datenaufzeichnung und –archivierung. Auf der Grundlage der protokollierten Prozessdaten erfolgt sowohl die Analyse des aktuellen Prozessverhaltens als auch die Strategieentwicklung und –optimierung. Mit dem System ibaLogic wird die Prozessführung realisiert. ibaLogic beinhaltet sowohl eine Soft-SPS als auch umfangreiche Unterstützung für die Anbindung der prozessnahen Steuerungen.

In Form einer blockorientierten Funktionsdarstellung kann die Signalverarbeitung grafisch entworfen und dargestellt werden. Ein umfangreicher Funktionsbestand gewährleistet problemlos die Realisierung konventioneller Steuerungskonzepte für anspruchsvolle Aufgaben unter Echtzeitbedingungen und mit großen Datenmengen. Darüber hinaus können über eine implementierte Schnittstelle aufgabenspezifische Funktionen durch den Anwender ergänzt werden.

Die generierten Führungswerte werden in die jeweiligen unterlagerten Steuerungssysteme übertragen. Über einen Schalter im HMI kann wahlweise zwischen den Vorgaben des PFS und den SPS-internen Vorgaben der aktuellen Lösung umgeschaltet werden.

## Realisierung der Stufe 1

Die Stufe 1 der Realisierung des PFS dient der schrittweisen Inbetriebnahme des neuen Steuerungssystems. Das beinhaltet die geräte- und softwaretechnische Installation als Grundlage für die Umsetzung der Prozessführungsstrategien. Zur Prüfung der Funktionsfähigkeit wird das aktuell verwendete Steuerungskonzept auf dem PFS nachgebildet. D.h., die Sollwertvorgaben für die unterlagerten Prozesse erfolgt in gleicher Weise wie im Steuerungsprogramm der SPS.

Die Umsetzung ist beispielhaft für den Prozess der Entstaubung im Bild 12 dargestellt.

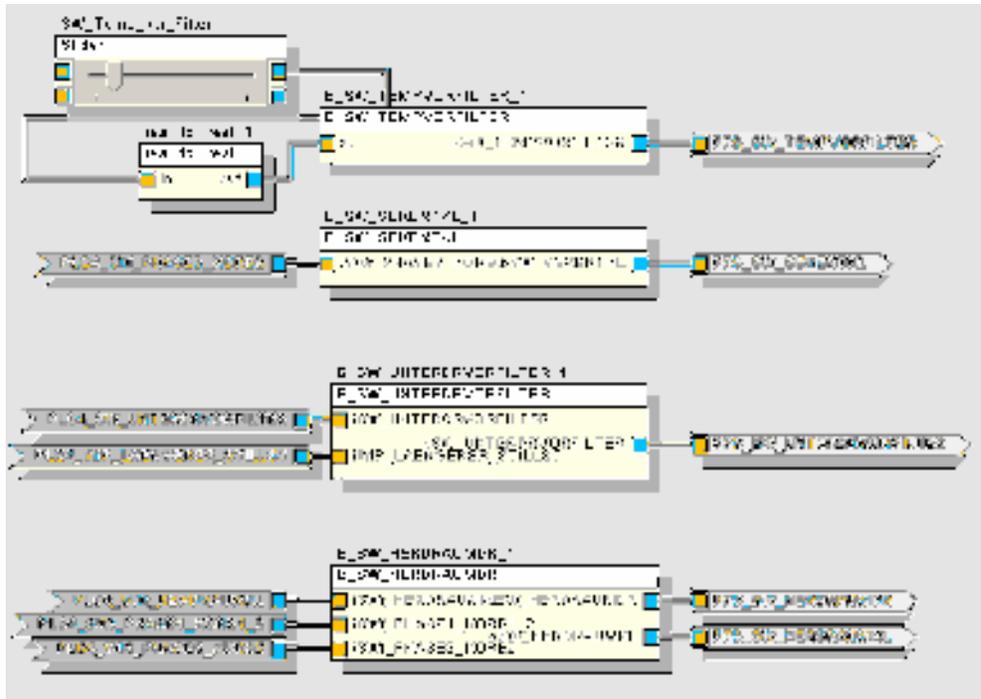


Bild 12 Prozessführung Stufe 1, Entstaubung auf der Grundlage von ibaLogic

Die einzelnen Teilsteuerungen für Herdraumdruck, Druck vor Filter und Temperatur vor Filter sind als separate Funktionsblöcke realisiert. Die Eingangskonnektoren (links) und die Ausgangskonnektoren (rechts) stellen die Verbindung zu den Prozesssignalen her. Die Signalverarbeitung wird in den Blöcken über strukturierten Text umgesetzt, womit sich logische Verknüpfungen durch if-then-Anweisungen ausdrücken lassen. Der Funktionsblock zur Herdraumdruckregelung besteht z.B. aus folgendem Programmcode:

```

oSW_HERDRAUMDR := -0.04;
if iSWf_PHASE1_KORB1_2=TRUE
    then oSW_HERDRAUMDR := -0.35;
end_if;
oSW_HERDRAUMKL := 15.0;
if iSWf_PHASE3_KORB2=TRUE
    then oSW_HERDRAUMKL := 60.0;
end_if;

```

## Realisierung der Stufe 2

Die neue Qualität der Prozessführung besteht darin, das umfangreiche Prozesswissen der Prozessbediener in einem Regelwerk abzubilden und direkt für die Steuerung zu nutzen. Die vorliegenden Eigenschaften des Schmelzprozesses wie

- Komplexität (große Anzahl von Ein-, Ausgangs- und Zustandsgrößen),
- Nichtlinearität (statisch und dynamisch),
- Auftreten starker Störungen,
- Unsicherheiten bei der Informationserfassung und
- nicht messbare Einflussgrößen

bieten die Anwendung von Fuzzy Konzepten (Fuzzy: unscharf, unsicher) als effizienten Lösungsweg an. Auf der Grundlage von Fuzzy Systemen lassen sich Steuerungen für Mehrgrößensysteme mit nichtlinearen Übertragungseigenschaften realisieren. Bezogen auf die Aufgabenstellung hervorzuhebende Eigenschaften der Fuzzyverarbeitung sind:

- Berücksichtigung von Unsicherheiten bei der Informationserfassung,
- Umsetzung des Steuerungskonzeptes als (technologisch interpretierbares) Regelwerk und
- Realisierungsmöglichkeiten von beliebigen Steuerungs-Kennlinien.

Die Fuzzyverarbeitung besteht grundsätzlich aus den Schritten Fuzzyfizierung, Regelinferenz und Defuzzyfizierung (Bild 13).

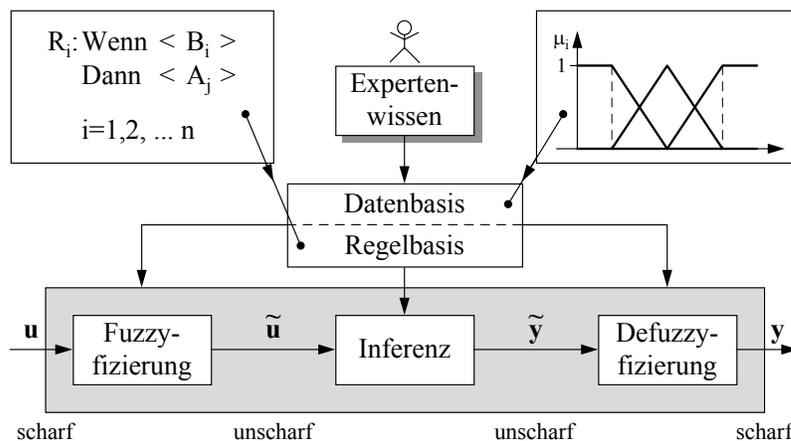


Bild 13 Struktur der Fuzzyverarbeitung

Mit der Fuzzyfizierung wird aus der Prozessgröße eine linguistische (Eingangs-) Variable mit ihren Ausprägungen erzeugt.

Die Regelinferenz bildet den Mechanismus zur Abarbeitung des Regelwerkes auf der Grundlage der gebildeten Eingangsvariablen. Im Ergebnis entstehen die „unscharfen“ linguistischen (Ausgangs-) Variablen.

Um eine „scharfe“ Ausgangsgröße für den Prozesseingriff zu generieren, muss die Defuzzyfizierung der Ausgangsvariablen stattfinden.

Zur Umsetzung dieses Konzeptes in ibaLogic wurde ein spezieller Funktionsblock „Fuzzy System“ entwickelt. Das Bild 14 zeigt am Beispiel der Entstaubung die Umsetzung im PFS.

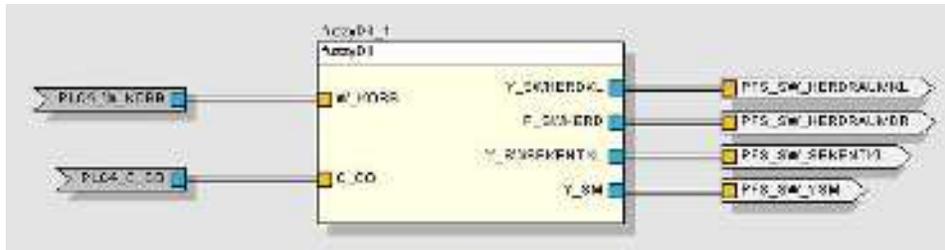


Bild 14 Fuzzy System der Stufe 2 für den Prozess der Entstaubung

Ein Konfigurationswerkzeug (Bild 15) unterstützt den Entwurf und den Test des Fuzzy Systems.

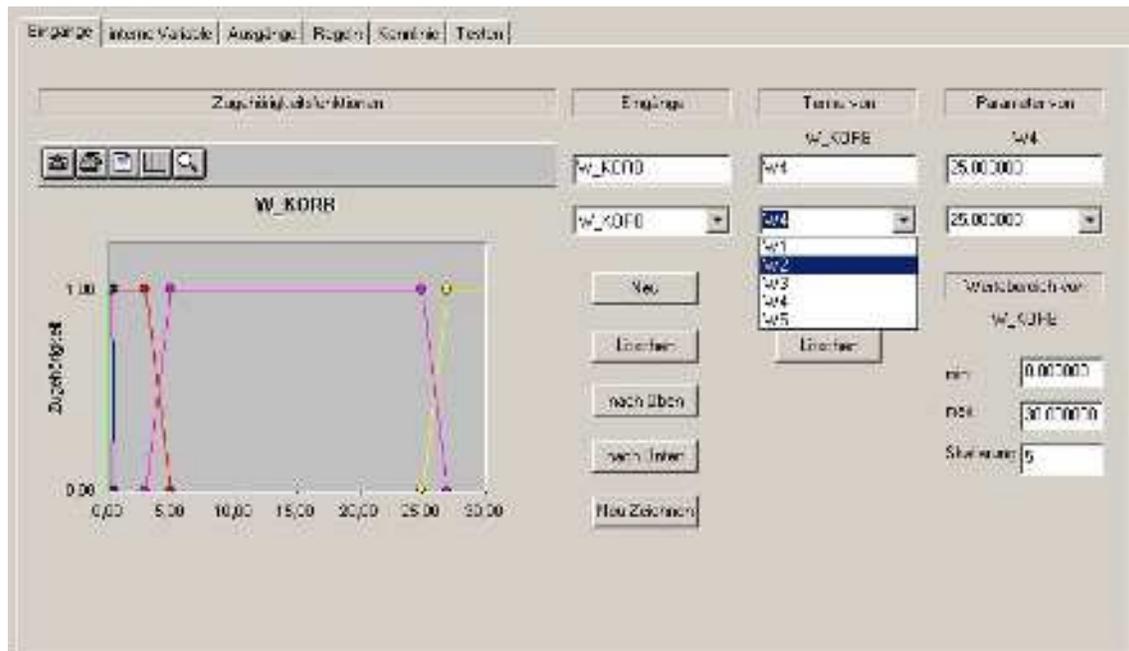


Bild 15 Entwurfswerkzeug für Fuzzy Systeme

Der nachfolgende Ausschnitt zeigt das Prinzip der Hinterlegung der Prozessführungsstrategie im Regelwerk.

```

IF (W_KORB = W1 ) THEN (PHASE := CHARG );
IF (W_KORB = W2 ) THEN (PHASE := ENDE_CHARG );
IF (PHASE = CHARG ) THEN (Y_SWHERDKL := KLEIN );
IF (PHASE = CHARG ) THEN (Y_SWSEKENTKL := SGROSS );
IF (PHASE = ENDE_CHARG ) THEN (Y_SWHERDKL := GROSS );
IF (PHASE = ENDE_CHARG ) THEN (Y_SWSEKENTKL := GROSS );
IF (PHASE = ENDE_CHARG ) THEN (P_SWHERD := PKLEIN );
...
    
```