

# „Umschluss vor dem Frühstück“

## Überschussschlamm-Eindickung

### KMUE10

## Erneuerung der Leit- und Automatisierungstechnik



Lars Ebert  
IE41 Anlagenbau EMSR-Technik

# 1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis.....	2
2	Ausgangslage .....	3
3	Ausführung.....	4
3.1	Gesamtsystem .....	4
3.2	Prüfsystem .....	5
3.2.1	Grundlagen der Simulationserstellung .....	6
3.2.2	Die Gerätesimulation.....	7
3.2.3	Die Prozesssimulation.....	10
3.2.4	Test der Simulation mit der bestehenden Anlage.....	12
3.3	Der Umschluss.....	13
3.4	Fakten .....	16
4	Ausblick.....	17
4.1	Höhere Softwarequalität.....	17
4.2	Optimierung von Prozessabläufen .....	17
4.3	Bedienerschulung vor Inbetriebnahme der Anlage .....	17
4.4	Fazit .....	17

## **2 Ausgangslage**

Die Überschussschlammeindickung (KMUE10) ist Teil des Klärprozesses im Klärwerk Köhlbrandhöft. Damit der noch ausgesprochen dünnflüssige Überschussschlamm aus den biologischen Behandlungsstufen in den Faultürmen aufgearbeitet werden kann, muss ihm der Großteil des Wassergehalts entzogen werden. Dies geschieht in der KMUE10 mit Hilfe von Zentrifugen und dem Zusatz von Flockungshilfsmittel (FHM). Das FHM bindet die Feststoffteilchen im Dünnschlamm und ermöglicht so die bessere Trennung der Feststoffe vom Wasser.

Das benötigte FHM wird zunächst in einer von drei parallel arbeitenden Stationen angesetzt. Dazu wird FHM-Konzentrat, wahlweise als Flüssig- oder Pulverprodukt mit Wasser verdünnt und verrührt.

Es gibt acht parallel geschaltete Zentrifugenanlagen. Um die anfallende Menge Dünnschlamm zu entwässern, sind im Monatsmittel 6,4 Zentrifugen dauerhaft in Betrieb.

Im Zuge der Reorganisation des Schichtdienstes sowie dem altersbedingten Ersatz der vorhandenen Leit- und Automatisierungstechnik wurde entschieden, die bestehende durch eine neue Leit- und Automatisierungstechnik zu ersetzen. Aufgrund des hohen Auslastungsgrades der KMUE10 wurde als ehrgeiziges Ziel für die Umstellung eine Außerbetriebnahmezeit von max. 24 Stunden festgelegt.

Die KMUE10 ist der letzte Anlagenteil, der im Zuge der im Jahr 2000 gestarteten Erneuerungskampagne (PAUL) auf eine einheitliche Systemtechnik umgestellt wurde.

Das Projekt verteilt sich auf drei Bearbeitungsschwerpunkte:

**Automatisierungstechnik (Hard- und Software)**

Auftragnehmer: KH-Automation Projects GmbH

**Prüfsystem (Hard- und Software)**

Auftragnehmer: Mewes & Partner GmbH

**Leittechnik (Hard- und Software)**

Auftragnehmer: KH-Automation Projects GmbH

### 3 Ausführung

#### 3.1 Gesamtsystem

Projektstart war der 26.01.2010 mit dem „Kick-off-Meeting“ auf Köhlbrandhöft. Hier wurde das Konzept für die Erneuerung der Leit- und Automatisierungstechnik in der KMUE10 vorgestellt:

- Die Automatisierung der KMUE10 besteht aus 4 Einzelsteuerebenen mit Speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS'en) des Fabrikates Siemens SIMATIC S5. Die Sensoren und Aktoren der Feldebene sind über dezentrale Baugruppen vom Typ SIMATIC S7 ET200 geführt und über Feldbus an die 4 SPS'en angebunden.
- Das bestehende Leitsystem wird durch PMSXpro ersetzt. In der Automatisierungsebene werden nur die Steuerungsmodule der SIMATIC S5 gegen Mitsubishi System Q ersetzt. Die Feldebene mit den dezentralen E/A-Baugruppen bleibt erhalten und wird über den vorhandenen Feldbus (Profibus DP) mit der Mitsubishi System Q verbunden.

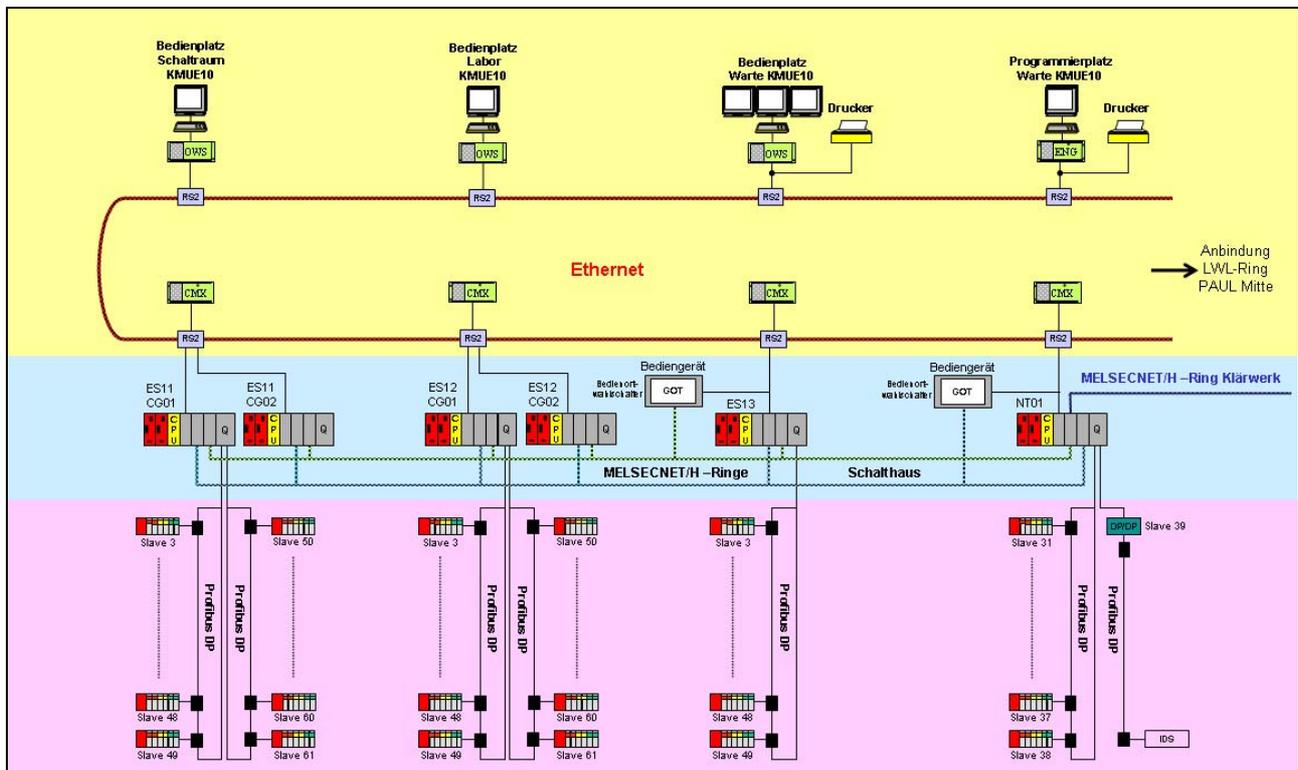


Abbildung 1: Aufbau der neuen Leit- und Automatisierungstechnik

Leittechnik (gelber Hintergrund)

Aufbau in PAUL-Systemtechnik mit Anbindung des Ethernet-Netzwerkes an PAUL-Mitte.

Automatisierungstechnik (blauer Hintergrund)

Aufbau in PAUL-Systemtechnik.

Feldebene (pinkfarbener Hintergrund)

Die Feldebene mit den dezentralen E/A-Baugruppen bleibt komplett bestehen.

### 3.2 Prüfsystem

Eine besondere Herausforderung beim Umschluss der KMUE10 auf die neue Leit- und Automatisierungstechnik war die kurze Ausserbetriebnahmezeit von max. 24 Stunden. Funktionschecks und Fehlerbeseitigungen im Zuge der Inbetriebnahme schieden damit aus. Nur wenn es gelänge, die neue Hard- und Software vorab unter hinreichend realen Bedingungen testen zu können, wäre ein Umschluss innerhalb dieses kurzen Zeitraumes realisierbar.

In unserem Fall kam für die Nachbildung des Anlagenverhaltens das Prüfsystem WinMOD zum Einsatz. Unter WinMOD lassen sich Aggregate oder Prozesse einer verfahrenstechnischen Anlage nachbilden. Anstelle realer Aktoren oder Sensoren wird das Prüfsystem mit der neuen Automatisierungs- und Leittechnik verbunden.

Das System wurde wie folgt konfiguriert:

- Anbindung der Automatisierungstechnik an die Leittechnik über das Ethernet-Netzwerk.
- Ankopplung der SPS'en über Profibus DP an das Prüfsystem. Das Prüfsystem ersetzt die gesamte Feldebene mit den dezentralen E/A-Baugruppen.
- Um die Anlage der KMUE10 möglichst genau nachzubilden, werden vier PC's für die Gerätesimulation der Einzelsteuerebenen und ein PC für die Prozesssimulation eingesetzt. Der Datenaustausch zwischen Geräte- und Prozesssimulation erfolgt über einen Simulationsbus.

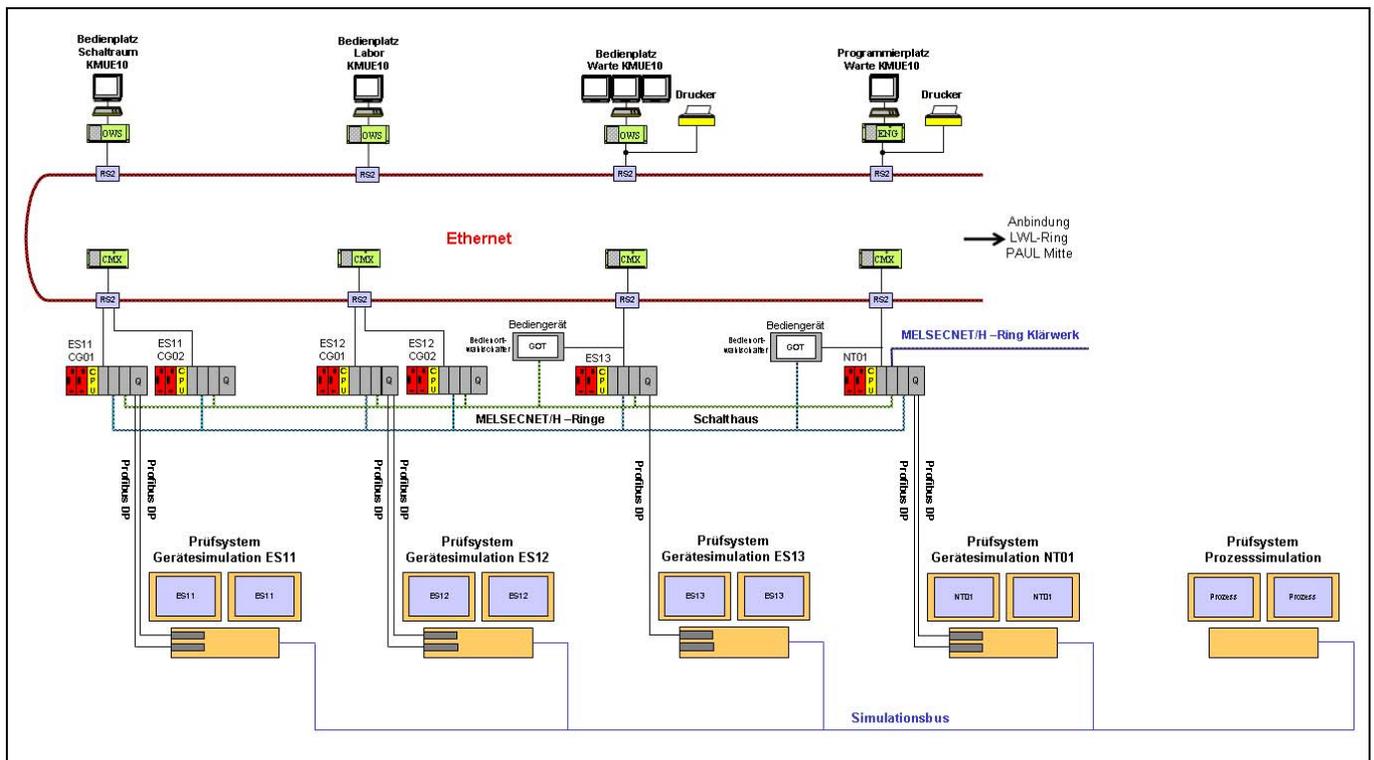


Abbildung 2: Anbindung der neuen Leit- und Automatisierungstechnik an das Prüfsystem

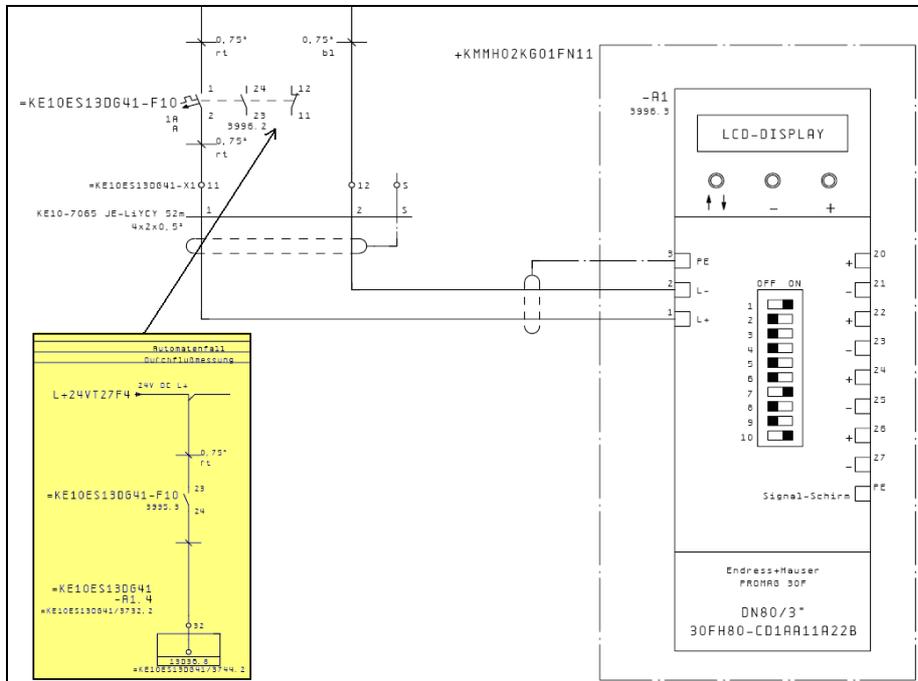
Abschnitt: Ausführung

### 3.2.1 Grundlagen der Simulationserstellung

Grundlage für einen umfassenden und aussagekräftigen Softwaretest bildet die Unabhängigkeit zwischen Softwareentwickler und Simulationsersteller. Beide Fakultäten bedienen sich der gleichen Basisdaten. Wie auch für den Softwareentwickler stellen Signallisten, Detailspezifikationen, Stromlaufpläne, bestehende SPS-Programme sowie R+I - Schemata die wesentliche Basis für den Simulationsersteller dar.

Bei der Aufbereitung/Pflege der Signallisten wurden bereits in der Frühphase des Projektes Abweichungen in den Dokumenten festgestellt. Widersprüchliche Daten in Signallisten, Stromlaufplänen, SPS-Programmen und R+I - Schemata ließen sich nicht umsetzen und mussten korrigiert werden.

Beispiel:



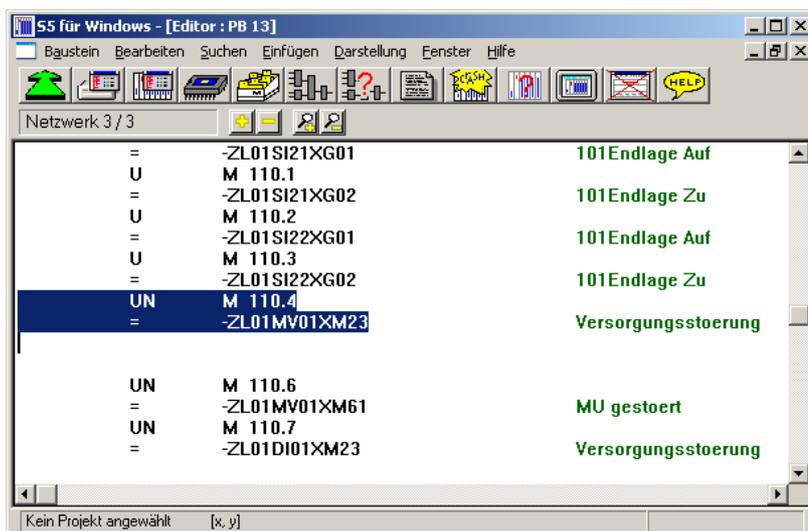
Ein Sicherungsautomat für eine Durchflussmessung besitzt einen Hilfskontakt, der der SPS einen Sicherungsfall meldet. Der Hilfskontakt kann aus einem Öffner oder einem Schließer bestehen. Der Schließer kann den Sicherungsfall melden, wenn er geöffnet oder geschlossen ist. Gleiches gilt für den Öffner.

Es hängt jedoch immer von der realen Verdrahtung ab. Entspricht diese nicht der Darstellung im Stromlaufplan, muss „Vor Ort“ und im bestehenden SPS-Programm geprüft werden, wie die Meldung für den Sicherungsfall gebildet wird und gegebenenfalls im Stromlaufplan korrigiert werden.

Erst dann kann das Verhalten in der Simulation nachgebildet werden.

Erfolgt diese Kontrolle nicht, kann es im Umschlussfall dazu führen, dass das neue SPS-Programm die Meldung genau falsch herum interpretiert und wie in diesem Beispiel den Messwert der Durchflussmessung als gestört meldet. Dies wiederum hat zur Folge, dass die nachgeschaltete Regelung, die den Durchfluss als Führungsgröße verwendet, ausfällt.

Dieses Beispiel gilt für weitere 5500 Binärsignale und zeigt auf, welcher intensive und durchgängige Aufwand betrieben werden musste, um eine hohe Qualität der Basisdaten zu erreichen.



### 3.2.2 Die Gerätesimulation

Seitens der Gerätesimulation musste das Verhalten der Ein- und Ausgangssignale korrekt nachgebildet werden. Am Beispiel des Flockungsmittel-Saugfördergerätes soll dies verdeutlicht werden.



Abbildung 3: Saugfördergerät

Das Saugfördergerät saugt über eine Saugleitung das trockene Flockungsmittel an. Am Beginn des Förderzyklusses schaltet das Förderventil in die Stellung „Fördern“. Mit dem Gebläse wird im Fördergutbehälter ein Unterdruck erzeugt, wodurch Flockungsmittel angesaugt wird. Dabei sorgt ein Filterelement für die Trennung des Materials von der Förderluft. Nach Ablauf der Förderzeit schaltet das Förderventil in Stellung „Abreinigen“. Mit der Rückluft des Gebläses wird das Filterelement abgereinigt, der Unterdruck im Fördergutbehälter wird abgebaut. Durch sein Eigengewicht drückt das Material auf die Auslaufklappe, öffnet diese und fließt aus. Ist der Fördergutbehälter entleert, schließt die Auslaufklappe automatisch und ein neuer Förderzyklus beginnt.

## Abschnitt: Ausführung

Um die zeitliche Signalabfolge genau zu erfassen und darzustellen, wurden mit Hilfe eines SPS-Analyzers die entsprechenden Signale in der bestehenden SPS aufgezeichnet.

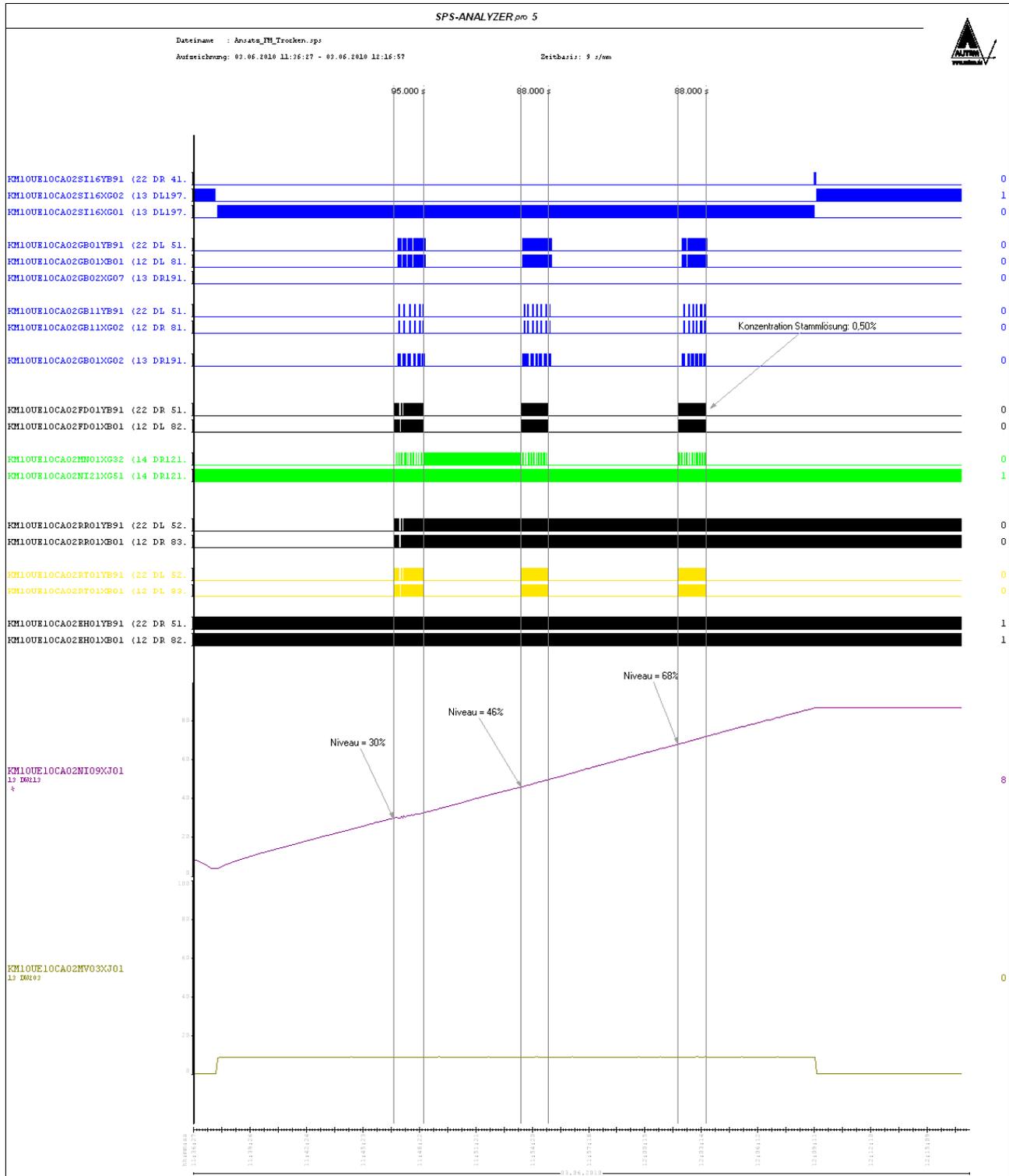


Abbildung 4: Aufgezeichnete Signalverläufe mit dem SPS-Analyzer

Anhand des aufgezeichneten Signalverlaufes konnte das Verhalten des Saugfördergerätes in der Simulation durch Zusammenschaltung sogenannter „Komponenten“ exakt nachgebildet werden.

## Abschnitt: Ausführung

Dies erfolgte für die verschiedenen in der KMUE10 verbauten Maschinenelemente wie Antriebe, Ventile, Druckaufnehmer, Wegaufnehmer, Drehzahlgeber, Durchflussmessungen, Füllstände etc. Da viele dieser Komponenten häufiger und in oftmals gleicher Funktionsweise in der KMUE10 verbaut sind, wurde eine Komponentenbibliothek geschaffen, die im Sinne eines Baukastens wieder verwendet werden kann. Somit werden ein und dieselben Simulationskomponenten lediglich mit unterschiedlichen Ein- und Ausgangsdaten parametrisiert. Dies ermöglicht nach einem gewissen Initialaufwand für die typischen Komponenten eine einfache und aufwandsarme Wiederverwendung.

Die unten abgebildeten Komponenten zeigen einen einphasigen Geradeausantrieb mit 1 Drehzahl (hier: Gebläse des Saugfördergerätes), einen Grenzwertschalter und ein Magnetventil.

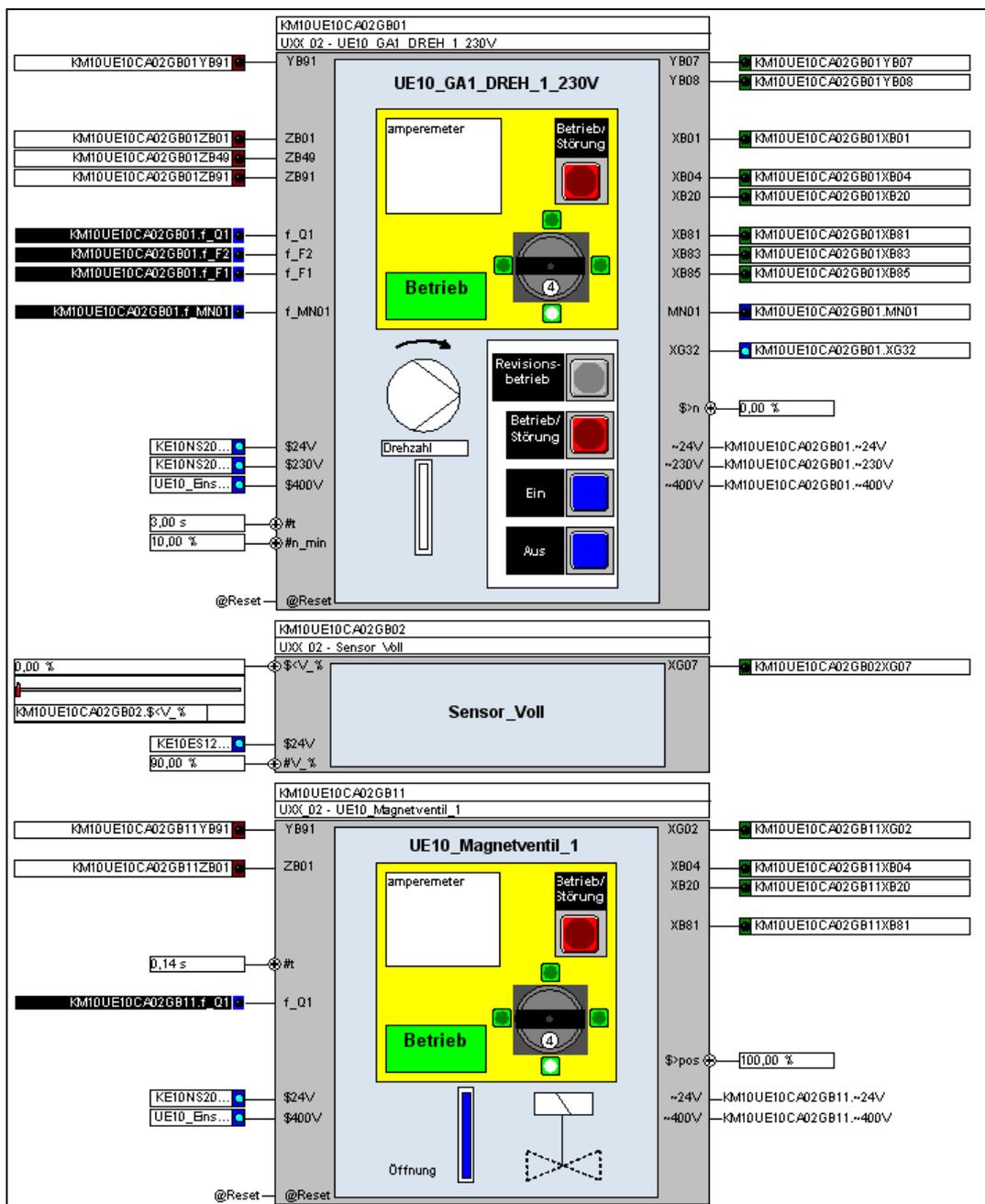


Abbildung 5: Komponenten aus der Komponentenbibliothek

## 3.2.3 Die Prozesssimulation

Um die Korrektheit der SPS-Software für die Regelkreise über die Materialflüsse und die einzelnen Prozesse in der KMUE10 zu testen, verfügt das Prüfsystem über einen sogenannten Prozessrechner zur Prozesssimulation. Die Prozesssimulation tauscht über einen Simulationsbus Daten mit den 4 PCs der Geräte-Simulation aus.

Die Prozess-Simulation umfasst:

- Dünnschlammzuflüsse und -verteilung
- Brauchwasserzuflüsse und -verteilung
- Flockungsmittel Aufbereitung, Speicherung und Verteilung
- den Abscheidungsprozess innerhalb der Zentrifugen
- Dickschlammabfluss
- Zentratabfluss
- Heisswasserzufluss, Wärmetauschung- und verteilung
- Kältemaschine
- Raumtemperatur Heizung und Kühlung

Am Beispiel der Dünnschlammpumpe PU01 wird der vereinfachte Ablauf zwischen Geräte- und Prozesssimulation dargestellt. Anhand des Prozessbildes (Ausschnitt) der Zentrifugenanlage 08 lässt sich der „Stofffluss“ des Dünnschlammes verfolgen.

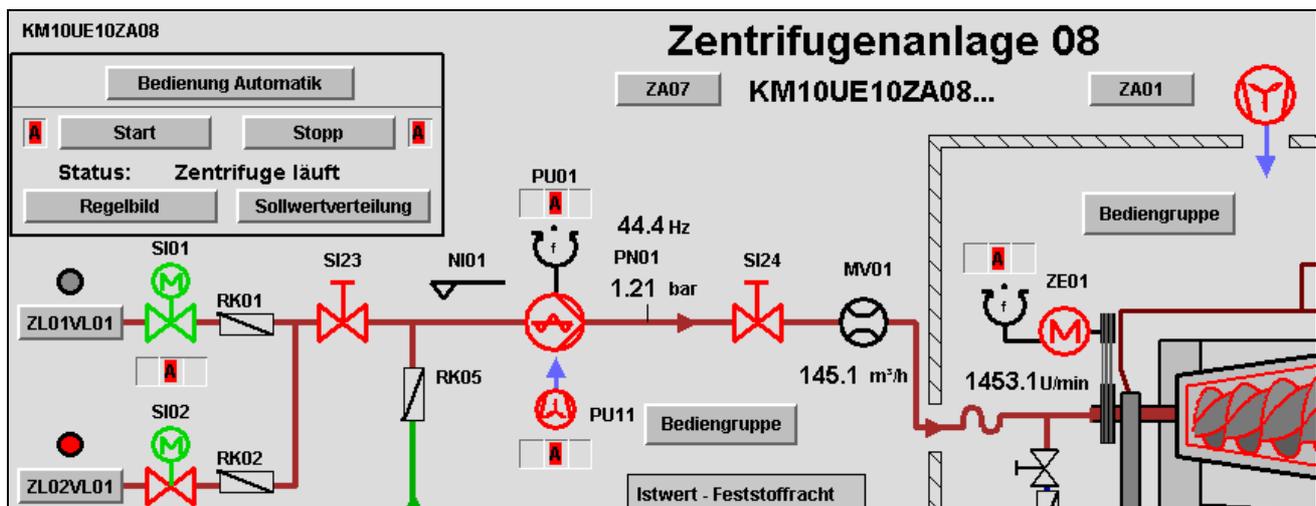


Abbildung 6: Prozessbild (Ausschnitt) der Zentrifugenanlage 08

Die Dünnschlammbeschickung kann nur erfolgen, wenn der Motorschieber SI01 oder SI02 und die Handschieber SI23 und SI24 geöffnet sind. Die Zentrifuge wird allerdings erst mit Dünnschlamm beschickt, wenn die über einen Frequenzumrichter angesteuerte Pumpe PU01 läuft.

Die Gerätesimulation der Pumpe PU01 besteht aus einer Komponente, die den Frequenzumrichter, den MCC-Einschub (Leistungs- und Steuerteil in der Niederspannungsschaltanlage), die Vorortbedienung und das An- und Auslaufverhalten der realen Pumpe PU01 modelliert. In Abhängigkeit vom vorgegebenen Frequenzsollwert in der SPS liefert die Gerätesimulation der Pumpe einen Drehzahlwert. Dieser Drehzahlwert wird über den Simulationsbus an die Prozesssimulation übertragen und dort von einem Modell der mechanischen Pumpe in eine Fördermenge umgesetzt. Diese simulierte Fördermenge wird dann wiederum an das Gerätemodell des Durchflusssensors MV01 übertragen, der diese Fördermenge in den Messbereich des Sensors umsetzt und an die SPS überträgt.

## Abschnitt: Ausführung

Durch diese simulierte Rückkopplung von der SPS über die einzelnen Geräte und den Prozess zurück an die SPS wird der Regelkreis geschlossen und das korrekte Verhalten des Steuerungssystems kann geprüft werden.

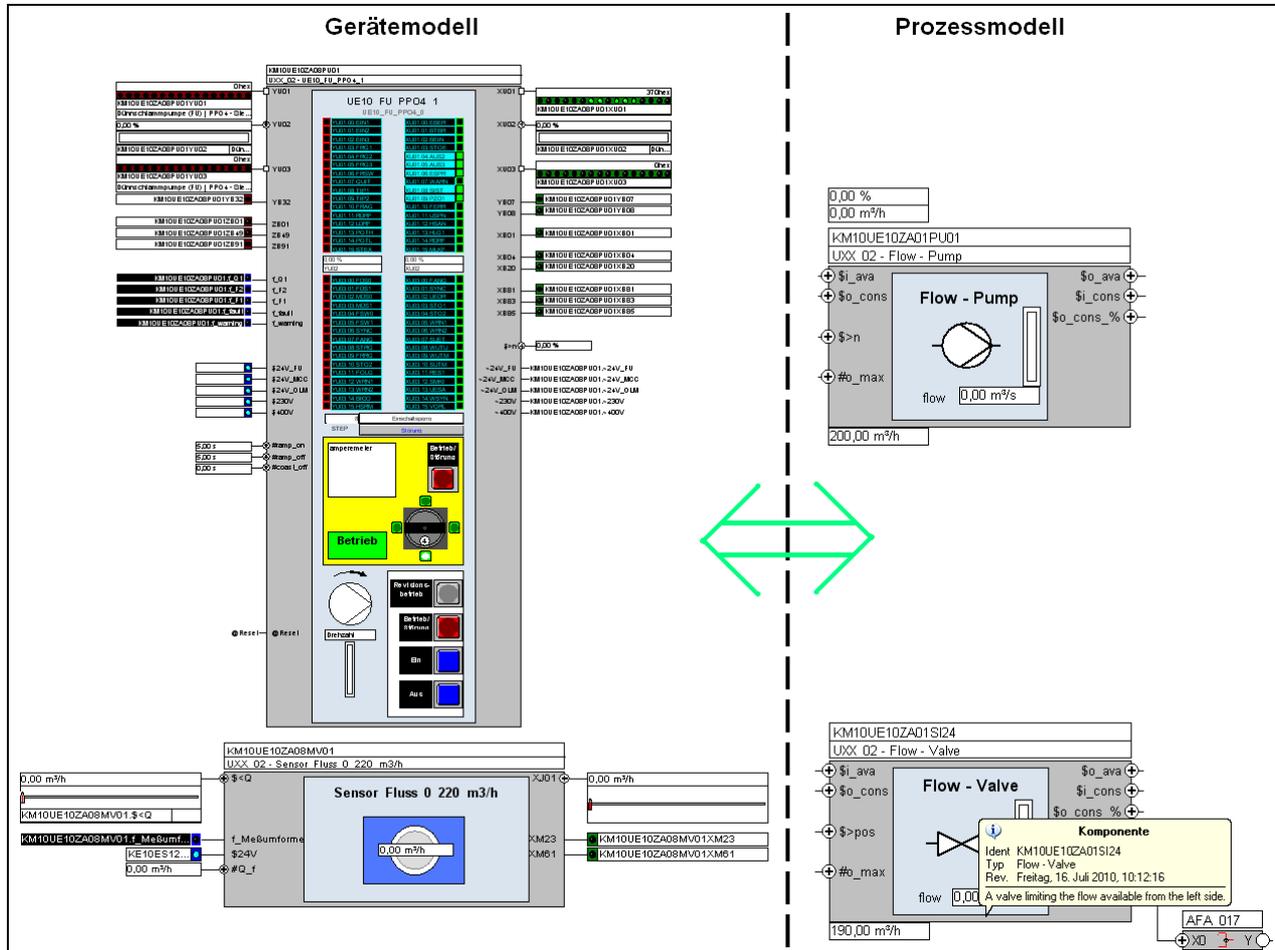


Abbildung 7: Auszüge aus dem Geräte- bzw. Prozessmodell

### 3.2.4 Test der Simulation mit der bestehenden Anlage

Das Prüfsystem wurde auf Vorschlag von Mewes & Partner mit der bestehenden Leit- und Automatisierungstechnik getestet. Mit vorhandenen Ersatzteilen konnte folgende Konstellation hergestellt werden:

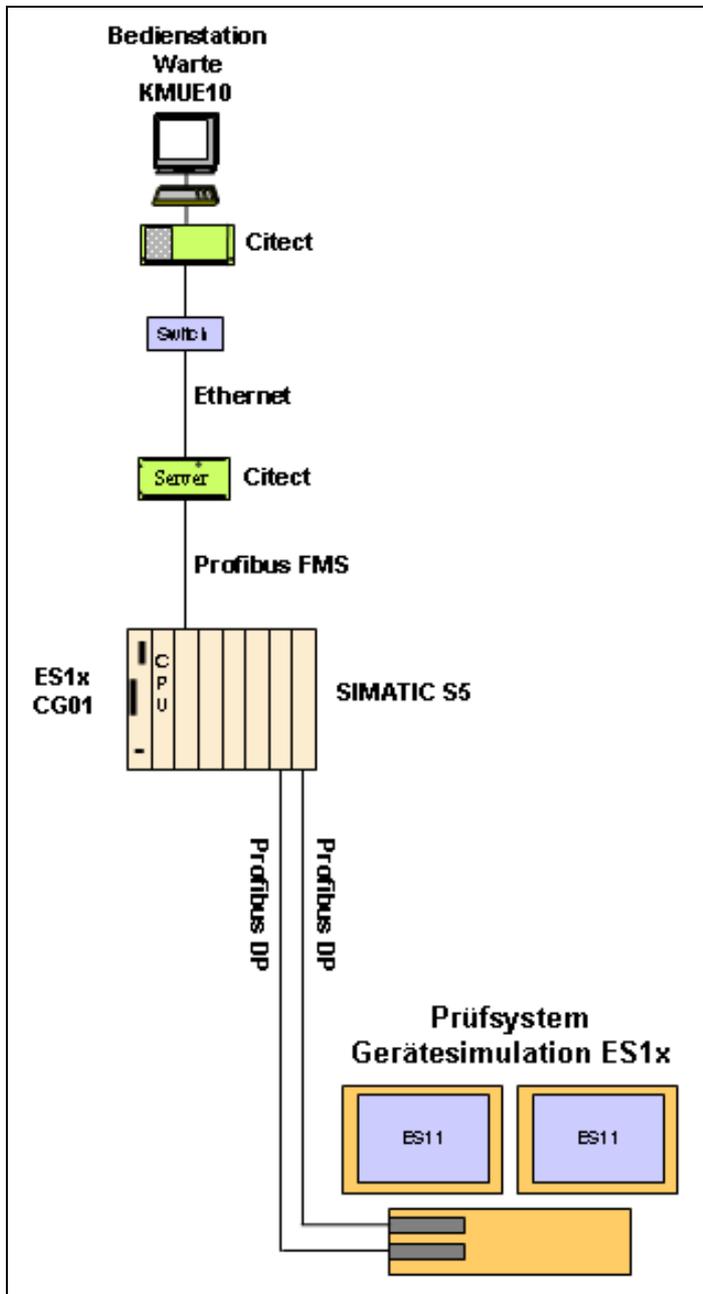


Abbildung 8: Aufbau des Prüfsystems mit der bestehenden Anlage

Bei dem in Abbildung 8 dargestellten Aufbau konnten nur die jeweiligen Einzelsteuerebenen autark für sich getestet werden. Die fehlende Querkommunikation zu den weiteren Einzelsteuerungen ließ einen Test der Automatikfunktionen nicht zu.

Trotzdem konnten fast alle Aggregate im Handbetrieb vom alten Leitsystem gefahren werden. Die für jeden Aggregatetyp erstellte Simulationskomponente wurde vollständig auf Funktion überprüft, einschließlich aller Störszenarien.

Analogwerte (Temperaturen, Druck, Niveau etc.) wurden auf ihre Messbereiche und Grenzwerte geprüft. Binärsignale wurden auf ihre Logikpegel geprüft.

Die bei diesen Tests von der bestehenden Leit- und Automatisierungstechnik registrierten Fehler konnten eindeutig auf eine fehlerhafte Simulationskomponente zurückgeführt und diese entsprechend revidiert werden.

Mit dem Test des Prüfsystems „gegen“ die bestehende Leit- und Automatisierungstechnik wurde schon in einem frühen Projektstadium eine hohe Qualität der Simulation erreicht.

Rückblickend war diese Vorgehensweise der entscheidende Schritt für den erfolgreichen Umschluss in der KMUE10

## 3.3 Der Umschluss

Im Vorwege zum eigentlichen Umschluss erfolgten im November 2010 und Januar 2011 während jeweils vierstündiger Stillstände zwei Tests, in denen die dezentrale Peripherie auf die neue Leit- und Automatisierungstechnik umgeschwenkt wurde, um die Kommunikationsverbindungen/-parameter „live“ zu überprüfen. Hierbei konnten letzte Mängel behoben werden. Im Anschluss wurde zurückgeschwenkt und die KMUE10 wieder angefahren.

Am 25.01.2011 war es dann soweit. Gegen 07:40 Uhr trafen sich alle Beteiligten in der Warte der KMUE10. Es erfolgten letzte Rücksprachen und Abstimmungen über die Vorgehensweise.



Abbildung 9: Die Beteiligten kurz vor dem Umschluss

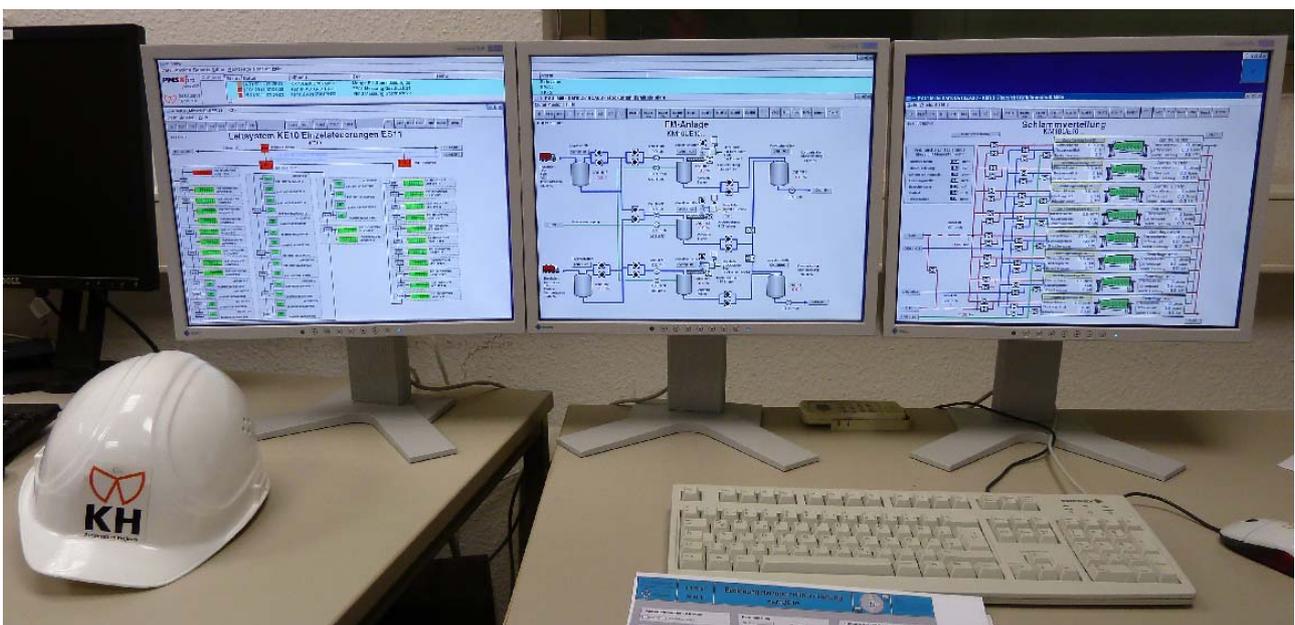


Abbildung 10: Blick auf die Bildschirme des neuen Leitsystems kurz vor dem Umschluss

## Abschnitt: Ausführung

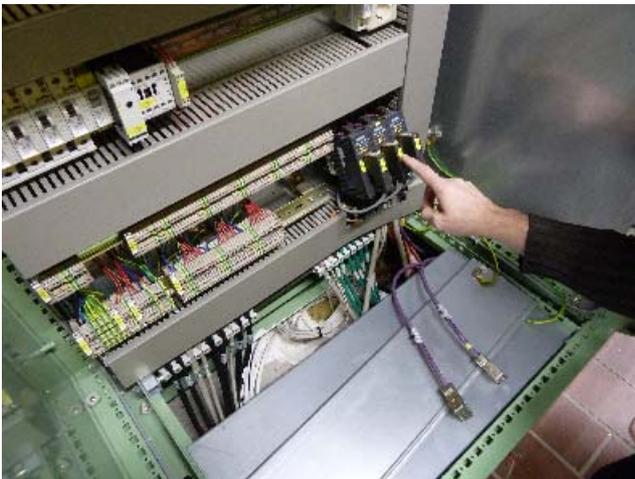


Abbildung 11: Tausch der Stecker

Um 7:58 Uhr wurden als erste Aktionen die Netzwerke der dezentralen Peripherie von der alten Leit- und Automatisierungstechnik abgetrennt. Dazu wurden in den 4 Schaltschränken die Stecker des alten Systems der Reihe nach von ihren Netzwerkkomponenten abgezogen und die des neuen Systems aufgesteckt. Nach einer kurzen Initialisierungsphase meldeten die Netzwerkkomponenten wieder ihre Betriebsbereitschaft und die Verbindung zwischen der dezentralen Peripherie und der neuen Leit- und Automatisierungstechnik war hergestellt.

Ein Blick auf das alte Leitsystem zeigte eine Kommunikationsstörung in der Meldezeile (unten).

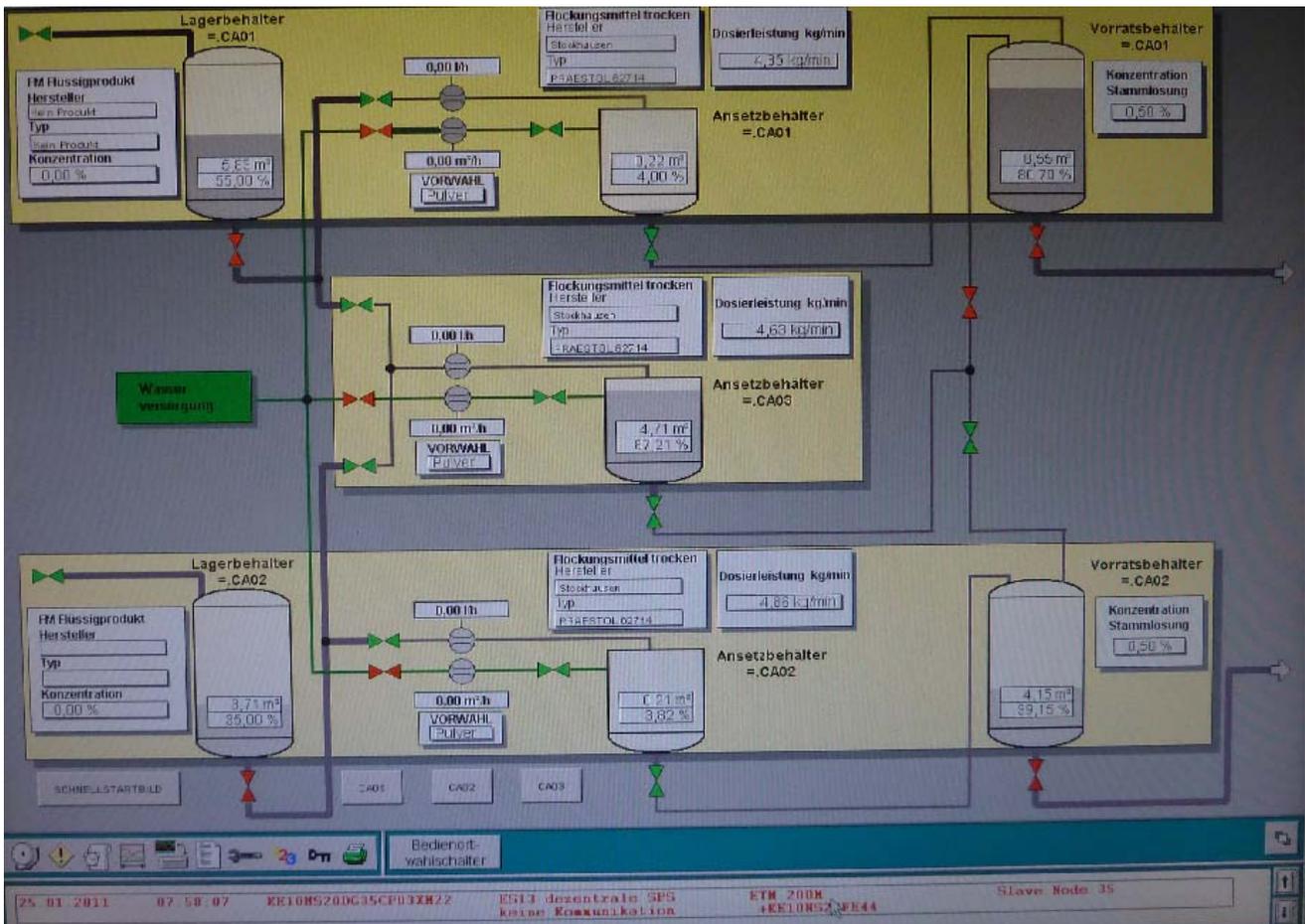


Abbildung 12: Prozessbild des alten Leitsystems direkt nach dem Umschluss

Ansonsten waren alle Werte und Darstellungen eingefroren. Die Kommunikationsstörung im alten Leitsystem wurde um 07:58:07 erfasst. Dies entspricht der Zeit des Steckerabzuges. Danach wurden die Netzwerke der dezentralen Peripherie mit der neuen Leit- und Automatisierungstechnik verbunden.

## Abschnitt: Ausführung

Auf dem neuen Leitsystem tauchten dann die realen Werte auf und die Füllstände der Behälter waren zu erkennen. Das Netzwerk erwachte zu Leben, was am Farbumschlag von grün auf rot zu erkennen war. Rot bedeutet im Klärwerksverbund „aktiv“. Um 08:03 Uhr waren alle Systeme umgeschaltet. Bereits 5 Minuten nach dem Umschluss konnte der Anlagenfahrer die Anlagen wieder in Betrieb nehmen.

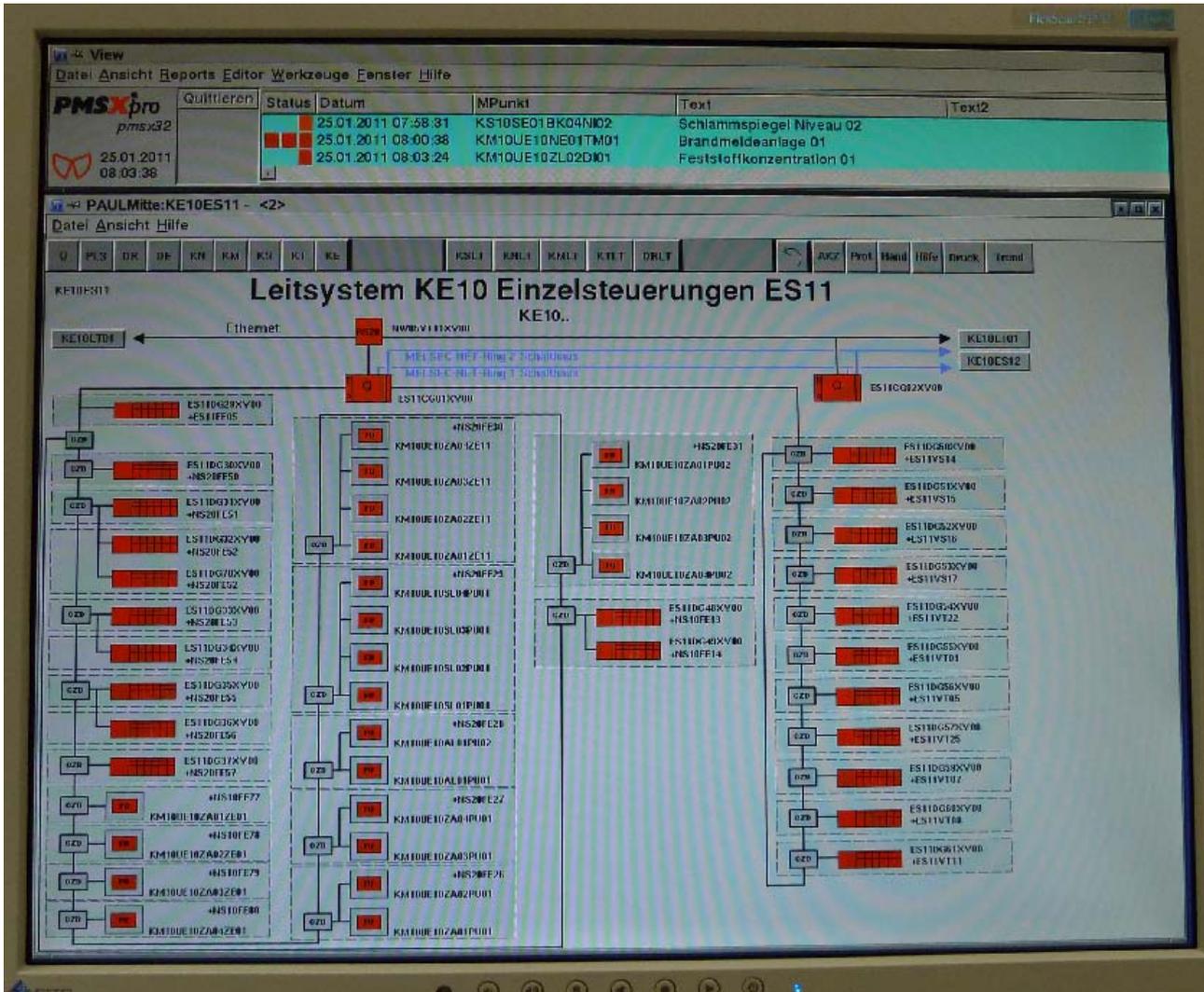


Abbildung 13: Prozessbild des neuen Leitsystems direkt nach dem Umschluss

Nachdem in der Flockungsmittelanlage die Behälterfüllungen geprüft worden waren, begann der Start der Zentrifugen. Nacheinander wurden die Zentrifugen gemäß der vorbereiteten Checkliste angefahren. Um 11:30 Uhr waren 6 Zentrifugen von 8 wieder in Betrieb. Im Laufe des Nachmittags wurde gewechselt, und die zwei verbliebenen Zentrifugen wurden angefahren. Parallel dazu erfolgte die Optimierung der realen Anlage im laufenden Betrieb. Durch die intensiven Tests mit dem Prüfsystem war die Software der neuen Leit- und Automatisierungstechnik hinsichtlich Funktion vollständig geprüft und angepasst. Optimiert wurden Parametereinstellungen der Regelungen, Zeitglieder für Überwachungen und Prozessabläufe sowie Überprüfung der Rückmeldungen von Messwerten. Am späten Nachmittag waren die meisten Arbeiten soweit erledigt, dass die Anlage ruhigen Gewissens der Spätschicht übergeben werden konnte.

## **3.4 Fakten**

- Ausführungszeiten
  - Beginn: Januar 2010
  - Ende: Januar 2011
- Zeit für den Umschluss von der alten auf die neue Leit- und Automatisierungstechnik
  - 5 Minuten, von 07:58 Uhr bis 08:03 Uhr
- Zeit für das Anfahren der Anlage nach dem Umschluss
  - 3,5 Stunden, von 08:02 Uhr bis 11:30 Uhr
- Umgeschwenkt wurden
  - 290 Aggregate (Pumpen, Schieber, Ventile etc.)
  - 6500 Meßstellen (950 analoge und 5550 binäre)
- Bisher festgestellte, fehlerhafte Signale
  - 5 (< 0,1%)
- 28700 überarbeitete / aufbereitete Zeilen mit im Mittel 14 Spalten in
  - Signallisten
  - Antriebslisten
  - Engineeringlisten
- 9 neu erstellte Detailspezifikationen
- 6000 geprüfte Stromlaufplanseiten

## **4 Ausblick**

### **4.1 Höhere Softwarequalität**

Die Bereitstellung einer Simulationsumgebung vor der eigentlichen Inbetriebnahme an der realen Anlage bietet eine Reihe von Vorteilen. Nur so ist es möglich, eine Vorabinbetriebnahme durchzuführen, ohne den laufenden Prozess zu beeinträchtigen. Trotz der zunehmenden Komplexität der Software kann die Qualität (weniger Fehler) mittels einer Simulationsumgebung deutlich gesteigert werden.

### **4.2 Optimierung von Prozessabläufen**

Neben der Vorbereitung zur eigentlichen Inbetriebnahme ist ein weiterer Aspekt, Abläufe und Verfahren an Hand der Simulation zu optimieren. Hintergrund ist die Tatsache, dass Stillstandszeiten größerer Anlagen von den Betreibern kaum mehr akzeptiert werden. Die Anlagen produzieren typischerweise an 365 Tagen im Jahr. Ein überarbeitetes Programm oder Programmsequenzen müssen möglichst „online“ eingespielt werden und ohne „großes Ausprobieren“ funktionieren. Ohne Angst vor einem folgenschweren Ausfall haben zu müssen, hervorgerufen durch eine eben nur vermeintlich optimierte Programmsequenz, wächst die Bereitschaft zum optimieren.

### **4.3 Bedienschulung vor Inbetriebnahme der Anlage**

Mit Hilfe des Prüfsystems konnten die Bediener schon im Vorfeld anhand der Simulation und der zukünftigen Benutzeroberflächen auf die neue Bedienphilosophie geschult werden. Berührungsgängste werden abgebaut, Fehlbedingungen oder Fehlinterpretationen können hierdurch deutlich minimiert werden.

### **4.4 Fazit**

Der zunehmende Funktionsumfang von Maschinen und Anlagen erfordert komplexe Software. Die Notwendigkeit der Simulation einer komplexen Anlage wird heutzutage von niemanden mehr ernsthaft in Frage gestellt. Ohne vorherige Simulation lassen sich größere Umbauten oder neue Anlagen nicht mehr mit überschaubaren Risiken umsetzen.

Die Vorgehensweise beim Umschluss der KMUE10 kann man auch als Virtuelle Inbetriebnahme (VIBN) bezeichnen. Inhaltlich ist es eine reale Inbetriebnahme mit der realen Steuerung und der originalen Software in Verbindung mit einer Virtuellen Anlage (Prüfsystem). Die Virtuelle Anlage hat gegenüber der Steuerung ein ausreichend gleiches Verhalten, um diese in Betrieb nehmen zu können. Die Arbeitsinhalte der Inbetriebnahme können so unabhängig vom Ort und vom Zustand der Fertigstellung gemeinsam mit den Projektbeteiligten durchgeführt werden.

Die Virtuelle Inbetriebnahme lässt sich bei der KMUE10 in die Prozessschritte Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung unterteilen. In der Phase der Vorbereitung werden die Geräte- und Prozessmodelle erstellt, erfolgt eine Testkopplung von Modulen und SPS sowie die Datensammlung und Prüfung. Anschließend erfolgt in der Phase der Durchführung der Test an der Anlage, daran anschließend die Fehlersuche und Behebung und die Vorbereitung der realen Inbetriebnahme (Umschluss). Abschließend erfolgt in der Nachbereitung die Auswertung der Tests, Änderungen werden eingepflegt und Unterschiede zur realen Anlage dokumentiert.

Dass diese Vorgehensweise bzw. dieses Konzept sehr erfolgreich ist, hat die kurze Umschlusszeit in der KMUE10 eindrucksvoll bestätigt.