

Schlussbericht Juli 2003

# Energieverbrauch von Prozesssteuerungen (SPS)

ausgearbeitet durch

Max Schalcher, Urban Battaglia, Eric Bush  
Bush Energie GmbH  
Rebweg 4  
CH-7012 Felsberg

In Zusammenarbeit mit

HTW Chur Hochschule für Technik und Wirtschaft  
Ringstrasse  
CH-7000 Chur

DIS-Projekt Nr. 46 963 DIS-Vertrags Nr. 87 079	Programm Elektrizität	Im Auftrag des <b>Bundesamtes für Energie</b>
---	-----------------------	--

**Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.**

**Weitere Informationen über das Programm „Elektrizität“ des Bundesamts für Energie stehen auf folgender Web-Seite zur Verfügung:**

[www.electricity-research.ch](http://www.electricity-research.ch)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>3</b>
<b>Résumé .....</b>	<b>3</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>4</b>
<b>Riassunto .....</b>	<b>4</b>
<b>Vorwort.....</b>	<b>5</b>
<b>1. Ausgangslage und Grundlagen.....</b>	<b>6</b>
1.1 Situation .....	6
1.2. Systembeschreibung .....	7
1.2.1 Speicherprogrammierbare Steuerungen .....	7
1.2.2 Sensoren .....	9
1.2.3 Aktoren .....	9
1.2.4 Prozesssteuerungen.....	10
1.2.5 Strukturierung der Aufgabe .....	11
2. Ziele und Vorgehen .....	12
<b>3. Fallbeispiele .....</b>	<b>13</b>
3.1 Messmethoden .....	13
3.1.1 Messung der Leistung .....	13
3.1.2 Bestimmung der Energie .....	13
3.2 Flaschenabfüllanlage an der HTW Chur .....	13
3.3 Vorkondensatherstellung an der Firma EMS-Chemie .....	16
3.4 Entwässerungs-Anlage ARA Chur .....	19
3.5 Diskussion der Messresultate .....	21
<b>4. Kataloge und Produktbeschreibungen .....</b>	<b>21</b>
4.1 Auswahl der Firmen .....	21
4.2 Zusammenstellung einiger wichtiger Daten .....	26
4.3 Auswertung der Informationen aus den Katalogen .....	27
<b>5. Netzteile .....</b>	<b>28</b>
5.1 Netzteile für Prozesssteuerungen .....	28
5.2 Auslegungs- und Einsatzkriterien .....	28
5.3 Messungen an Netzteilen .....	28

---

5.4	Wirkungsgrad in Funktion der Belastung	29
5.5	Diskussion der Resultate	31
<b>6.</b>	<b>Energetischer Stellenwert von Prozesssteuerungen.....</b>	<b>32</b>
6.1	Verkaufsstatistik	32
6.2	Hochrechnungen	32
6.3	Energiesparpotenziale	34
<b>7.</b>	<b>Folgerungen und Empfehlungen.....</b>	<b>35</b>
7.1	Netzteile	35
7.2	Offline Durchführung von Messungen	35
7.3	Bedeutung des Energieverbrauchs von Prozesssteuerungen im industriellen Umfeld	35
<b>8.</b>	<b>Quellenverzeichnis .....</b>	<b>36</b>

## Zusammenfassung

Bis jetzt konzentrierten sich die nationalen und internationalen Forschungsanstrengungen zur Energieeffizienz auf dem Gebiet der Informations- und Kommunikationstechnik auf Büro- und Unterhaltselektronikgeräte.

Mit diesem Projekt wird das bis anhin vernachlässigte Gebiet der Prozesssteuerungen angegangen und untersucht. In unseren Arbeiten konnten kaum Literatur, Richtlinien oder gar Labels zum Energieverbrauch von Prozesssteuerungen gefunden werden. Aus diesem Grunde war es nötig, Messungen an Prozesssteuerungen durchzuführen. Diese erfolgten einerseits in der Industrie an laufenden Anlagen sowie an der HTW Chur im Labor für Automation, wo an Demonstrationsanlagen detaillierte Analysen gemacht werden konnten. Sie wurden ergänzt durch Auswertungen von Firmenunterlagen (Kataloge) und Gespräche mit Fachleuten aus der Praxis.

Diese Studie hat gezeigt, dass die Leistungsaufnahme der einzelnen Prozesssteuerung relativ gering ist. Im Vergleich zum Energieverbrauch der gesteuerten Prozesse kann er in der Regel vernachlässigt werden. Aufgrund der kleinen Stückzahlen fällt der gesamtschweizerische Verbrauchsanteil kaum ins Gewicht. Zudem sind bei neueren Geräten Optimierungen bereits weitgehend realisiert. Da für Prozesssteuerungen eine grosse Variantenvielfalt und Ausbaubarkeit gefordert sind, sind Standardlösungen zur Energieoptimierung nicht einfach umzusetzen. Einsparungen sind allenfalls bei den Netzteilen denkbar durch Verbesserung des Wirkungsgrades und durch bessere Anpassung der Nennleistung an den tatsächlichen Bedarf.

## Résumé

En Suisse et dans le monde, les efforts de recherche en matière d'efficacité énergétique dans le domaine des techniques d'information et de communication se sont concentrés jusqu'à présent sur les appareils électroniques de bureau et de divertissement.

Dans ce projet, nous abordons et analysons les commandes de processus, un domaine négligé jusqu'à présent. Au cours de nos travaux, nous n'avons guère pu recueillir d'ouvrages, de directives ou, simplement, de labels concernant la consommation d'énergie des pilotages de processus. Pour cette raison, il était nécessaire d'effectuer des mesurages sur les pilotages de processus. Ces mesurages ont été réalisés dans l'industrie, sur des installations en fonctionnement, mais aussi à la HTW Coire, au laboratoire d'automatisation, où nous avons procédé à des analyses détaillées sur des installations de démonstration. Ces analyses ont été complétées par des dossiers d'entreprises (catalogues) et des discussions avec des spécialistes de ce domaine.

Cette étude a montré que la consommation de puissance d'un seul pilotage de processus est relativement faible. En règle générale, elle est négligeable par rapport à la consommation d'énergie des processus pilotés. En raison du nombre limité des appareils, la part de la consommation suisse n'a quasiment aucun poids. En outre, les appareils plus récents ont été optimisés dans une large mesure. Un grand choix de modèles ainsi qu'une importante marge de progression étant exigées pour les pilotages de processus, les solutions standard d'optimisation énergétique sont difficiles à mettre en œuvre. Des économies sont envisageables tout au plus pour certaines parties de réseau, et ce en améliorant le rendement et en adaptant davantage la puissance nominale au besoin réel.

## Abstract

Until now, national and international energy-related research activities in the field of information and communication technology were concentrated on office equipment and entertainment electronics.

This project addresses the field of programmable logic controllers and thus investigates a topic that has been neglected up to now. In the course of our work, we found hardly any written documents, guidelines or even labels that referred to the energy consumption of programmable logic controllers. For this reason, it was necessary to carry out measurements on programmable logic controllers. These were done, on the one hand, in industry in plants that were in operation and, on the other hand, in the Automation Laboratory at the University of Applied Science in Chur, where a detailed analysis could be made on demonstration plant. The measurements were complemented by the evaluation of technical documentation from suppliers (catalogues) and by discussions with experts with practical experience.

This study has shown that the power consumption of any particular programmable logic controller is relatively low. In comparison to the energy consumption of the processes that are being controlled, the energy consumption of the controller can, as a rule, be neglected. Due to the small number of controllers in use in Switzerland, their share of national power consumption hardly counts at all. Additionally, the optimisation of newer devices has to a great extent already been realised. Because a large variety of different types of programmable logic controllers that can be easily extended are required, standard solutions for energy optimisation are not easy to put into practice. Savings are possibly conceivable for the power supply units of the controllers by improving their efficiency and by choosing their power ratings to better suit the actual power needed.

## Riassunto

Fino ad ora, le attività di ricerca sull'efficienza energetica nel campo delle tecniche di informazione e comunicazione si sono prevalentemente concentrate sugli apparecchi di ufficio e sull'elettronica di intrattenimento.

Con il presente progetto, si intende per contro analizzare e valutare le possibilità nel settore – finora trascurato – dei sistemi di gestione di processi. Nel nostro lavoro non è stato possibile fare capo a letteratura specifica, direttive o label sui consumi dei processi di gestione, in quanto inesistente. Per questo motivo, è stato necessario raccogliere dati e misure sul consumo di tali processi. Tali misure sono state eseguite sia su impianti effettivamente in funzione nell'industria, sia presso il laboratorio di automazione della Scuola universitaria professionale di Coira, dove su impianti dimostrativi è stato possibile effettuare delle analisi dettagliate. I dati sono inoltre stati completati con le informazioni riportate sulla documentazione tecnica delle ditte (cataloghi) e tramite discussioni con esperti del settore.

Questo studio ha evidenziato che il consumo dei singoli sistemi di gestione di processo è relativamente esiguo. Rispetto al consumo di energia delle installazioni e dei processi controllati, esso può in generale essere trascurato. A livello svizzero, tenuto conto delle quantità ridotte di queste componenti, si può dire che il loro consumo di energia è pressoché irrilevante. Inoltre, spesso i nuovi apparecchi sono già concepiti tenendo conto delle possibilità di ottimizzazione. Una standardizzazione è tuttavia difficile, in quanto i sistemi di gestione di processi presentano innumerevoli varianti e devono poter essere aggiornati nel tempo. Risparmi di energia sono ipotizzabili ad esempio nelle componenti dell'alimentazione, tramite un incremento del rendimento e un migliore adattamento alla potenza effettivamente richiesta.

## Vorwort

Im Herbst 2003 wurde die HTW Chur angefragt, ob sie Interesse hätte, Energieverbrauchs-messungen an Prozesssteuerungen durchzuführen und sich an einem entsprechenden Projekt zu beteiligen. Nach Gesprächen zwischen Eric Bush, Bush Energie GmbH, und Bruno Bachmann, Leiter des Studienganges Prozess-/Anlagentechnik der HTW Chur sowie dem Fachdozenten Max Schalcher und dem zuständigen Assistenten Urban Battaglia kam man überein, einen Zusammenarbeitsvertrag abzuschliessen.

Das Labor für Prozessautomation bietet beste Voraussetzungen für Messungen an Prozesssteuerungen, da im Hause selbst eine grosse und mehrere kleine Anlagen aufgebaut sind mit denen laufend gearbeitet wird. Sehr gute Messgeräte und ein fundiertes Know-How garantieren korrekte Messungen und einwandfreie Resultate.

Zu Firmen in der Region welche Prozesssteuerungen einsetzen bestehen gute Kontakte, sodass es möglich ist, Messungen an Anlagen im praktischen Einsatz durchzuführen. Die HTW Chur hat keine geschäftlichen Bindungen und ist somit in einer sehr guten Position für eine neutrale und technisch fundierte Beurteilung.

Die kompetente Unterstützung durch den Projektbegleiter, Herr Roland Brüniger, hat wesentlich zum Gelingen des Projektes beigetragen. Die Zusammenarbeit zwischen der Firma Bush Energie GmbH und der HTW Chur hat sich als sehr fruchtbar und erfolgreich erwiesen.

An dieser Stelle möchten wir allen Beteiligten danken für die Hilfe und Unterstützung ohne die ein Projekt in so kurzer Zeit kaum erfolgreich realisiert werden könnte. Danken möchten wir insbesondere allen Firmen die uns mit ihren Produkteinformationen sehr geholfen haben die notwendigen Daten zusammen zu tragen und zu beurteilen. Vielen Dank auch an die Firmen die es uns ermöglichten, Messungen an ihren Anlagen durchzuführen.

Chur, 18. Juli 2003

Max Schalcher und Eric Bush

# 1. Ausgangslage und Grundlagen

## 1.1 Situation

Bis jetzt konzentrierten sich die nationalen und internationalen Forschungsanstrengungen zur Energieeffizienz auf dem Gebiet der Informations- und Kommunikationstechnik auf Büro- und Unterhaltselektronikgeräte. Das ganze Gebiet der Prozess- und Leittechnik wurde bis anhin weitgehend vernachlässigt. Dabei sind dies Systeme, die oftmals 24 Stunden und 365 Tage im Jahr durchlaufen.

Es wird weniger der Aspekt des Standby untersucht als vielmehr die Thematik, welchen Stromverbrauch die steuerungstechnischen Komponenten verursachen, ob diese energetisch optimiert sind oder ob ein entsprechendes Einsparpotential vorhanden ist. Dieses Projekt konzentriert sich auf die SPS-Ebene ohne Leitebene, da diese selbst sehr komplex und variantenreich ist.

Auf dem Markt gibt es eine Vielzahl von Steuerungen und Anbieter. Es geht nicht darum, möglichst viele Produkte zu untersuchen. An einigen wenigen typischen Produkten von Marktführern und Anwendungsfällen werden detaillierte Analysen vorgenommen. Daraus lassen sich Schlüsse ziehen die auf den Grossteil der Steuerungen angewendet werden können.

Basierend auf diesen Ergebnissen kann angegeben werden, wo gegebenenfalls weiterer Untersuchungsbedarf zum Ausräumen von Informationsdefiziten vorhanden ist und in welchen Bereichen konkrete Aktionen zu Energieeinsparungen führen könnten. Dabei ist sowohl den Bedürfnissen des Betreibers als auch den Interessen des Produzenten Rechnung zu tragen. Gegenstand der Untersuchungen ist auch, ob solche Systeme international bereits einer Deklarationspflicht unterliegen und inwiefern es möglich wäre, allfällige Deklarationen oder Labels vorzusehen.

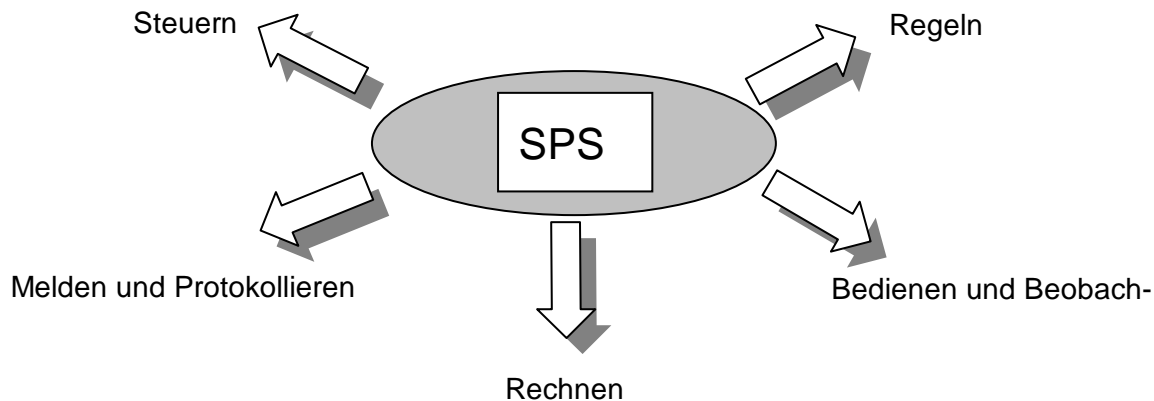
Das vorliegende Projekt konzentriert sich auf den Stromverbrauch der Steuerungen selbst und nicht wie andere Projekte (z.B. *RAVEL: „Sparen mit Automation“ [1]* oder *„Einsatz der integralen Gebäudeautomation“ [2]*) auf den Stromverbrauch der eigentlichen Prozesse und wie dieser durch intelligente Steuerungen reduziert werden könnte.



## 1.2. Systembeschreibung

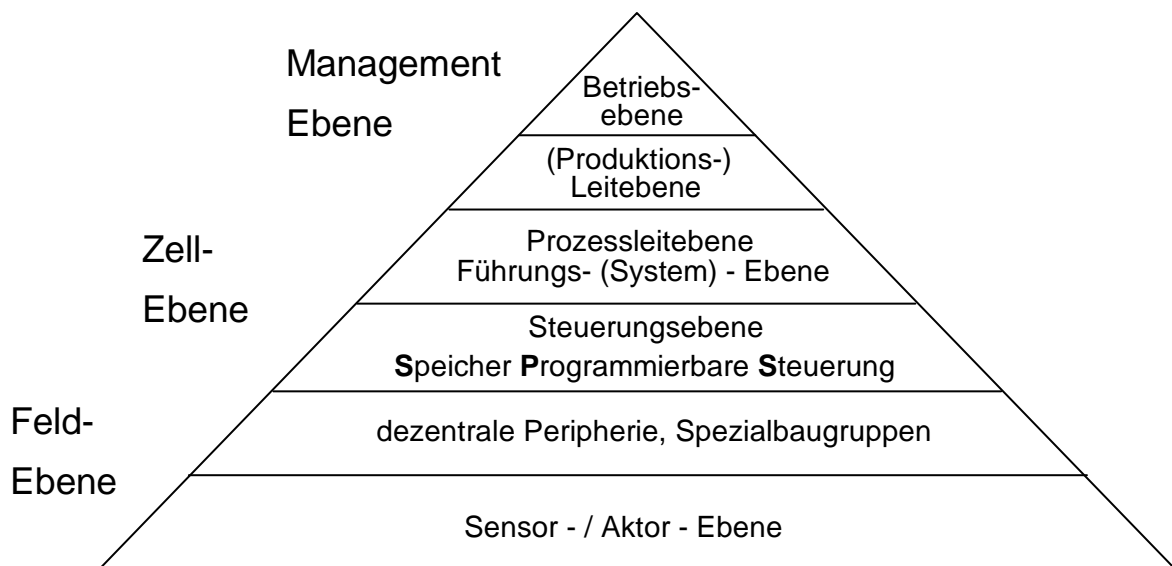
### 1.2.1 Speicherprogrammierbare Steuerungen

Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) gelten als Kernstück von Automatisierungssystemen. Mit solchen Steuerungen können, je nach Problemstellung, die verschiedensten Automatisierungsaufgaben wirtschaftlich ausgeführt werden.



Figur 1: Einsatz der SPS

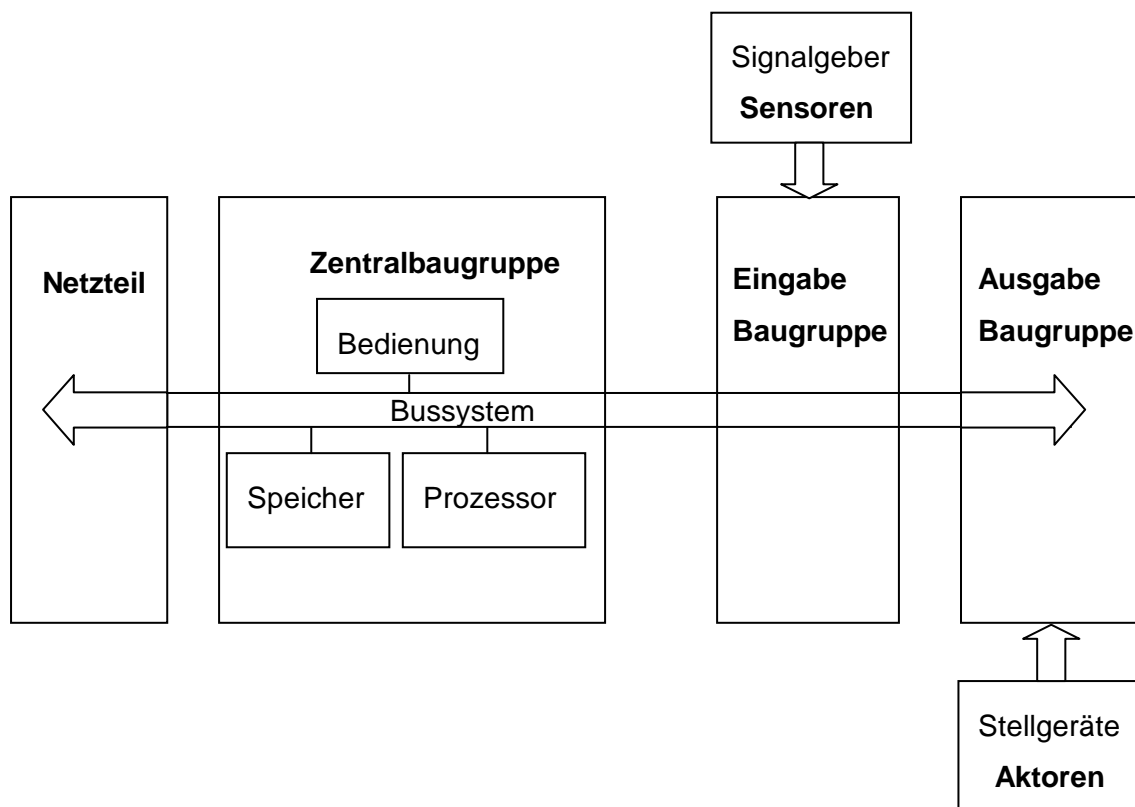
Prozesssteuerungen sind in der Regel eingebettet in hierarchisch gegliederte Systeme.



Figur 2: Ebenen-Modell der Prozessleittechnik

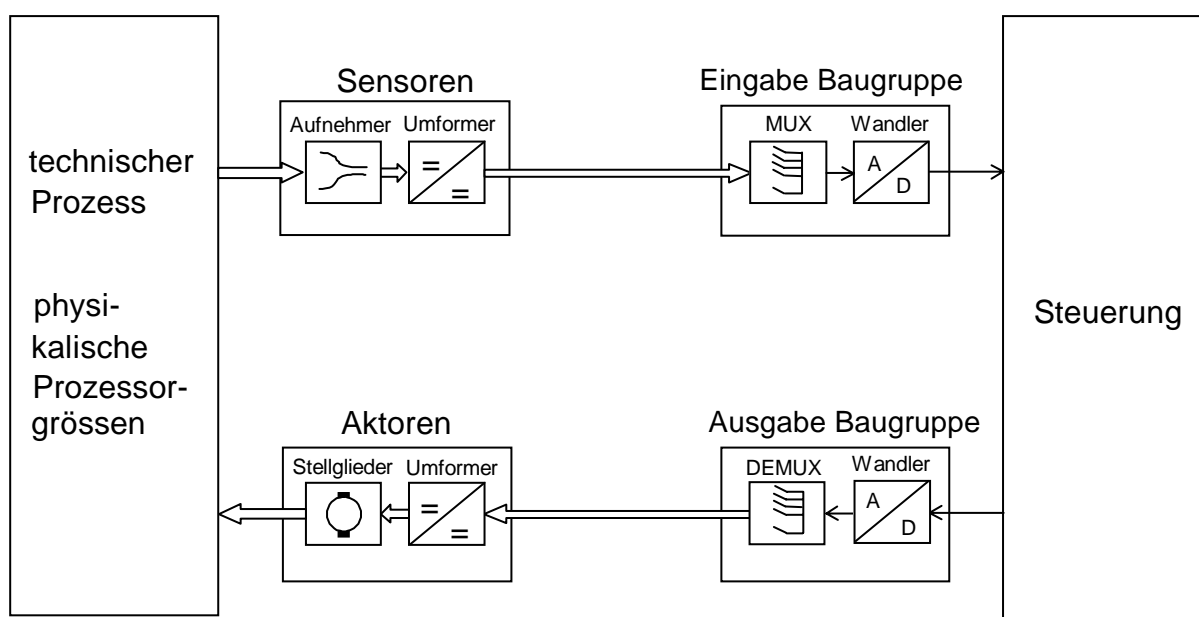
Die speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) ist einerseits nach „unten“ mit dem zu steuernden Prozess verbunden über die dezentrale (intelligente) Peripherie oder direkt via Sensoren und Aktoren. Andererseits besteht eine Verbindung nach „oben“, meistens via Prozess- und/oder Fabrikbus, zu den übergeordneten Leitsystemen.

Der Aufbau einer SPS ist grundsätzlich immer gleich und hat folgende Grundstruktur:



Figur 3: Zusammenwirken und Anordnung der Baugruppen einer SPS

Damit eine Steuerung einen Prozess zweckmässig beeinflussen (steuern) kann, sind Sensoren und Aktoren über zugehörige Wandler und Umformer anzusteuern (siehe Figur 3).



Figur 4: Sensor-/Aktorsystem für analoge Grössen

**Bemerkungen:**

- Die Stromversorgung der Sensoren und Aktoren erfolgt in der Regel durch ein separates Netzgerät. Wenn es der Energiebedarf zulässt, ist es auch möglich, die Sensoren und/oder Aktoren durch das Netzgerät der CPU zu speisen. Dies ist insbesondere dann möglich, wenn es sich um digitale Signale handelt, z.B. das Signal „Einlesen eines Endschalters“.
- Je nach Leitungslänge und Signalqualität sind gegebenenfalls noch Filter, Anpassungen oder andere Übertragungsglieder zur Verbesserung bzw. Anpassung der Signalpegel notwendig.
- Die Sensor-/Aktorsysteme für digitale Signale sind vergleichsweise bedeutend einfacher als diejenigen für analoge Signale.

**1.2.2 Sensoren**

Die Geräte und Einrichtungen, welche die Informationen über den zu steuernden Prozess liefern nennt man Sensoren, Sensorsysteme, Aufnehmer, Transducer, Transmitter, usw. Die von den Sensoren gelieferten Informationen müssen umgewandelt werden, sodass sie in der SPS ein elektrisches Abbild der physikalischen und chemischen Wirklichkeit ergeben [3,4,5]. Somit sind, je nach Messgröße, zwischen Prozess und SPS mehrere Übertragungsglieder beteiligt.

**Liste von einigen typischen Sensoren aus dem Bereich der Prozesstechnik**

- Lichtschranke
- Füllstandsmelder
- Taster
- Endschalter
  - Reedschalter
  - Näherungsinitiator
- Weggeber
- Temperaturfühler
  - Widerstandsfühler (z.B. Pt 100)
  - Thermoelement
- Hallgenerator
- Tachogenerator
- Druckmessfühler
- Durchflussmessfühler

**1.2.3 Aktoren**

Die Prozessstelltechnik (Aktorik) umfasst die Massnahmen zum kontinuierlichen und diskontinuierlichen Stellen von Stoff-, Informations- und Energieströmen.

**Liste von einigen typischen Aktoren aus dem Bereich der Prozesstechnik**

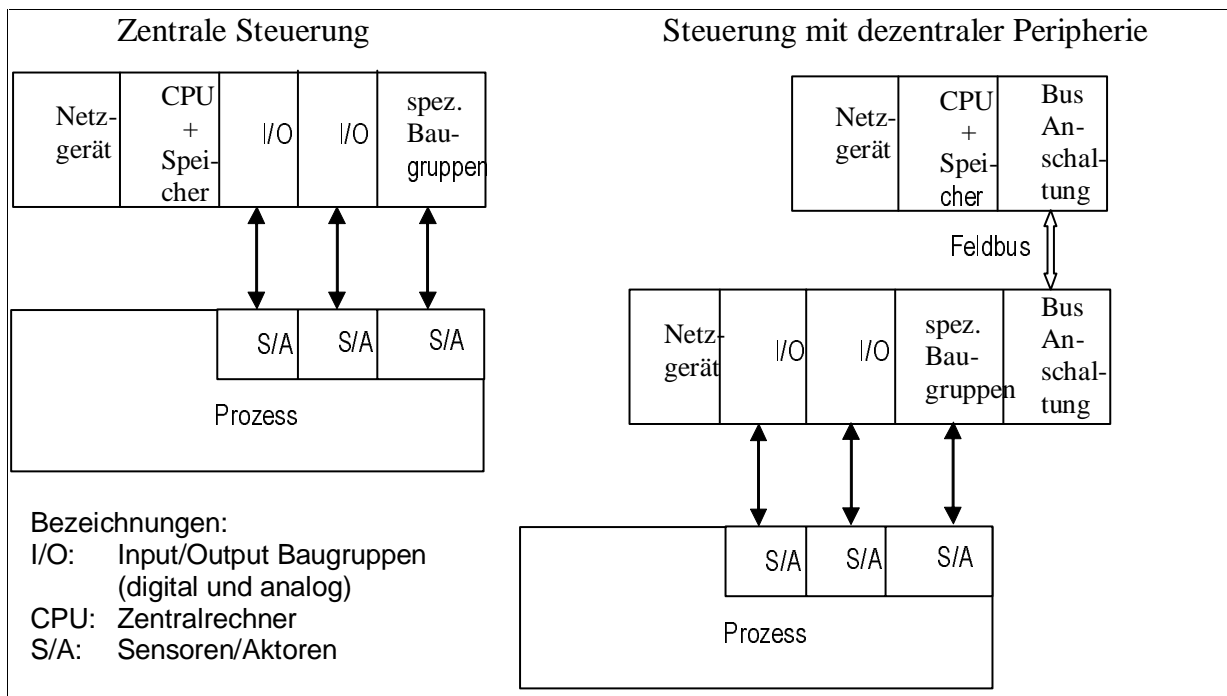
- Schrittmotor
- DC-Motor
- Relais
- Schütz
- Ventile
  - Magnetventil
  - Motorbetriebenes Ventil

- Bedienpanel
- Anzeigen
  - LED
  - Glühlampen
- Pumpen
- Leistungselektronische Stellglieder
  - Verstärker
  - Stromrichter
  - Frequenzumrichter

### 1.2.4 Prozesssteuerungen

Die Geräte zur Steuerung von Prozessen lassen sich wie folgt einteilen:

- **Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)**
  - Modulare SPS: Zusammenstellung nach Bedarf aus einzelnen Baugruppen (Module)
  - Kompakt-SPS: Komplette SPS als kleine eigenständige Geräte, begrenzt erweiterbar
  - Mikro-SPS: Kleinststeuerungen mit stark eingeschränktem Befehlssatz
- **PC-basierte Steuerungen**
  - Slot-SPS: PC mit SPS-Karte, Steuerung, unabhängig vom Betriebssystem
  - Soft-SPS: Steuerung basiert auf einem Betriebssystem (z.B. Windows NT)
- **Mikrocontroller**
  - Geräte für massgeschneiderte Lösungen
  - Embedded Systems: Steuerung ist Bestandteil des zu steuernden Gerätes



Figur 5: Typische Hardwarearchitekturen von Speicherprogrammierbaren Steuerungen

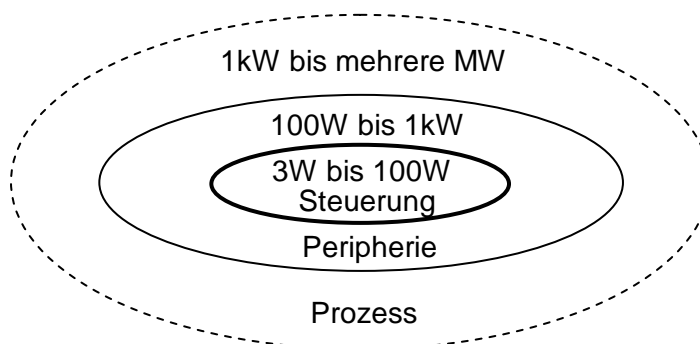
### Bemerkungen zur Hardwarearchitektur (siehe Figur 5):

- **Busanschluss:** In grösseren Systemen sind SPS oft via Bus an übergeordnete System angeschlossen (z.B. Profi-Bus, Ethernet). Sind viele Sensoren und Aktoren anzusteuern, lohnt sich der Einsatz eines Feldbusses. Dies erfordert entsprechende Busankopplungen.
- **Spezialbaugruppen** sind z.B. schnelle Zähler, Regler, Ansteuerungen von Schritt- und Servomotoren. Sie entlasten die CPU der Steuerung von aufwendiger Rechenarbeit, sind in der Lage schnelle Vorgänge (z.B. Zählimpulse) zu verarbeiten und können optimal an die Bedürfnisse des Prozesses angepasst werden.
- **Netzgeräte:** In der Steuerungstechnik wird hauptsächlich mit 24 Volt gearbeitet. Oft werden die I/O Baugruppen von einem eigenen Netzteil gespeist. Dies bringt Vorteile durch eine Potentialtrennung und durch die Vermeidung von Störungen der CPU durch Schaltvorgänge in der Prozessperipherie.
- **Energieverbrauch der I/O Baugruppen:** Die grosse Vielfalt der I/O Baugruppen ergibt grosse Unterschiede beim Energieverbrauch. Beispielsweise benötigt eine Digital-Out Baugruppe mit Transistor-Ausgängen deutlich weniger Strom als eine mit Relais-Ausgängen. Bei den Spezial-Baugruppen können die Unterschiede noch bedeutend grösser sein.

### 1.2.5 Strukturierung der Aufgabe

Die gesteuerten Prozesse sind äusserst variantenreich und vielfältig. Sie sind eingebettet in ein komplexes Umfeld welches aus zahlreichen verschiedenen Komponenten besteht die miteinander vernetzt sind und die nur im Verbund miteinander einen Sinn ergeben und betrieben werden können.

Mit Hilfe der folgenden Grafik lässt sich in Bezug auf den Energieverbrauch eine Grobeinteilung vornehmen:



Figur 6: Schalenmodell

Aus dem „Schalenmodell“ lässt sich ablesen, dass die Leistung und damit auch der Energieverbrauch von aussen nach innen abnimmt. Die Zahlen stellen lediglich Grössenordnungen dar. Sie zeigen, dass der Leistungsbedarf der Prozesse um Zehnerpotenzen grösser ist als bei den Prozesssteuerungen. Die Peripherie umfasst im wesentlichen Sensoren und Aktoren mit den zugehörigen Anpassungsschaltungen. Deren Energiebedarf ist stark abhängig vom Prozess und vom Betriebszustand.

Von innen nach aussen nimmt nicht nur der Energiebedarf, sondern auch der Variantenreichtum zu. Im vorliegenden Projekt geht es um den innersten Kern, die eigentliche Prozesssteuerung. Sie ist immer im Betrieb wenn die Steuerung läuft und der Variantenreichtum ist begrenzt, sodass sich allgemeine Aussagen machen lassen.

## 2. Ziele und Vorgehen

Im vorliegenden Projekt sind gemäss Projektantrag folgende Ziele gesteckt worden:

- Hochrechnen des Verbrauchs, Abklären, ob Handlungsbedarf besteht
- Feststellen, ob bei den Prozesssteuerungen Einsparpotenziale vorhanden sind
- Erarbeiten von Vorschlägen für das weitere Vorgehen

Um die oben genannten Ziele zu erreichen, sind insbesondere zwei Themenkreise zu bearbeiten:

- Konzentration der Untersuchungen auf die Teile von Prozesssteuerungen welche allgemeingültige Aussagen über den Energieverbrauch gestatten
- Auswahl der Produkte, die als typische Vertreter von Prozesssteuerungen näher untersucht werden sollen

Das Projekt hat den Charakter einer Vorstudie. Es sind nicht in erster Linie konkrete Lösungsvorschläge gesucht, sondern es geht darum festzustellen, ob es sich lohnt, die Frage des Energieverbrauchs von Prozesssteuerungen weiter zu verfolgen und wenn ja, auf welche Weise.

Als erstes wurden die relevanten Daten und Informationen über Prozesssteuerungen ermittelt.

Die Arbeiten lassen sich gliedern in einen praktischen und einen theoretischen Teil:

### **Praktische Arbeiten**

- Messungen an Prozesssteuerungen im Labor der HTW Chur
- Messungen an Prozesssteuerungen in industriellen Anlagen
- Untersuchungen an Netzteilen von Prozesssteuerungen

### **Theoretische Arbeiten**

- Abgrenzung und Beschreibung des Systems „Prozesssteuerungen“
- Marktuntersuchung
- Ermittlung der technischen Daten über den Verbrauch aus den technischen Unterlagen

Die theoretischen und praktischen Arbeiten konnten parallel und voneinander weitgehend unabhängig erledigt werden. In regelmässigen Sitzungen erfolgte ein intensiver Informationsaustausch.

### **Zusammenführen und Auswerten der Resultate**

Die gewonnenen Resultate wurden nun zusammengestellt und ausgewertet. Teilauswertungen bereits während den Messungen gaben Aufschluss über interessante Punkte die es genauer zu untersuchen galt.

### **Folgerungen**

In einem abschliessenden Schritt ging es darum, die Auswertungen zu interpretieren und daraus die entsprechenden Folgerungen zu ziehen.

Die oben erwähnte Vorgehensweise hat sich im vorliegenden Projekt bewährt. Dank der parallelen Arbeitsweise konnte sehr effizient gearbeitet werden. Der budgetierte Zeitaufwand und der Zeitplan konnten eingehalten werden.

### 3. Fallbeispiele

Anhand von Fallbeispielen soll aufgezeigt werden, wie es um den Energieverbrauch im praktischen Industrieinsatz bestellt ist.

Es stellen sich insbesondere folgende Fragen:

- Ist ein Unterschied festzustellen zwischen dem Betrieb im Labor (HTW Chur) und dem Betrieb im Industrieinsatz (Firmen)?
- Stimmen die Messresultate im praktischen Einsatz überein mit den Daten in den Katalogen und Firmenunterlagen?

#### 3.1 Messmethoden

##### 3.1.1 Messung der Leistung

Die Wechselstrom Leistungen wurden mit Hilfe von zwei Leistungsmessgeräten durchgeführt.

Zum Einsatz bei Messungen im 3-Phasen-Netz kam das Leistungsmessgerät D5155 der Firma Norma. Dieses Messgerät ist ein hochgenaues, digitales AC Leistungsmessgerät für Ein- und Mehrphasensysteme beliebiger Belastung. Am Gerät können die Wirkleistung, die Scheinleistung, und der Leistungsfaktor sowie der Strom und die Spannung für jede Phase ebenso abgelesen werden wie die entsprechenden Gesamtwerte.

Zum Einsatz bei Messungen Netzseitig (1-phasig) kam das Messgerät PM1200 der Firma Voltech. Dieses digitale AC-Leistungsmessgerät eignet sich für Messungen im 1-Phasen-Netz. Am Gerät können direkt die Wirkleistung, die Scheinleistung und der Leistungsfaktor sowie der Strom und die Spannung abgelesen werden.

Die Leistungsmessungen im Gleichstrombereich wurden mit je einem Spannungs- und Strommessgerät MA 5d der Firma ABB Metrawatt durchgeführt. Mit diesem digitalen Multimeter wurden die Spannungs- und Stromwerte aufgenommen und daraus rechnerisch die Leistung bestimmt.

##### 3.1.2 Bestimmung der Energie

In den ersten durchgeführten Messungen wurde festgestellt, dass die Leistung über eine längere Zeit konstant bleibt, und dass die Leistung der Prozesssteuerungen unabhängig vom angesteuerten Prozess ist. Bei (geringen) Leistungsschwankungen traten diese regelmässig auf im Sekundentakt und der lineare Mittelwert liess sich sehr einfach bestimmen.

Bei konstanter Leistung kann die Energie rechnerisch aus der gemessenen Leistungsaufnahme bestimmt werden:  $Energie\ W = P \cdot t$ .

#### 3.2 Flaschenabfüllanlage an der HTW Chur

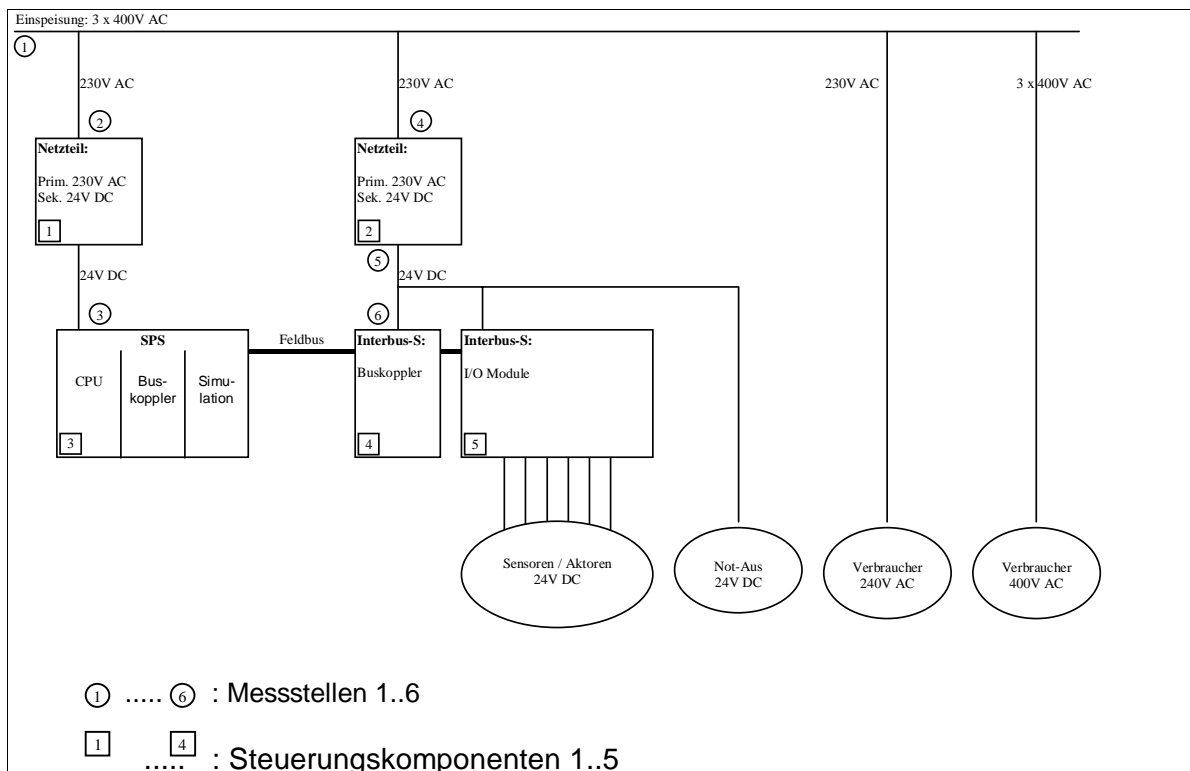
An der HTW Chur wurde im Rahmen eines Projektes ein **Prozess-Automations-Modell (PAM)** aufgebaut (siehe Figur 7 und 8). Das Modell ist mit Industrie-Standardkomponenten aufgebaut. Die Steuerung ist in drei autonome Einheiten aufgeteilt, wovon jede Einheit von einer eigenen SPS kontrolliert wird.

Die Abfülleinheit des PAM wurde in der Diplomarbeit „Steuerung einer Produktionsanlage“ im Jahr 2002 mit einer neuen Steuerung ausgerüstet und in Betrieb genommen.



Figur 7: **Prozess-Automations-Modell (PAM)** der HTW Chur





Figur 8: Blockschaltbild Energie des **Prozess-Automations-Modells (PAM)** der HTW Chur

Als Steuerung wird eine SPS verwendet (Siemens Simatic S7-300). Alle Sensoren und Aktoren werden über einen Feldbus (Interbus-S) angesteuert.

Bei der Energieversorgung der Steuerungskomponenten werden zwei Netzteile zur Potentialtrennung verwendet. Ein Netzteil speist die SPS, das andere speist alle Sensoren und Aktoren der dezentralen Peripherie, welche über einen Interbus-S mit der SPS verbunden sind.

Mit ersten Leistungsmessungen an den Messstellen 1-6 konnte gezeigt werden, dass die Leistung bei der Messstelle 2 (Leistungsaufnahme SPS) unabhängig von der Betriebsart (Stopp / Start) der Abfülleinheit ist, wogegen die Leistung an der Messstelle 4 sehr stark davon abhängig ist, welche und wie viele Aktoren angesteuert werden.

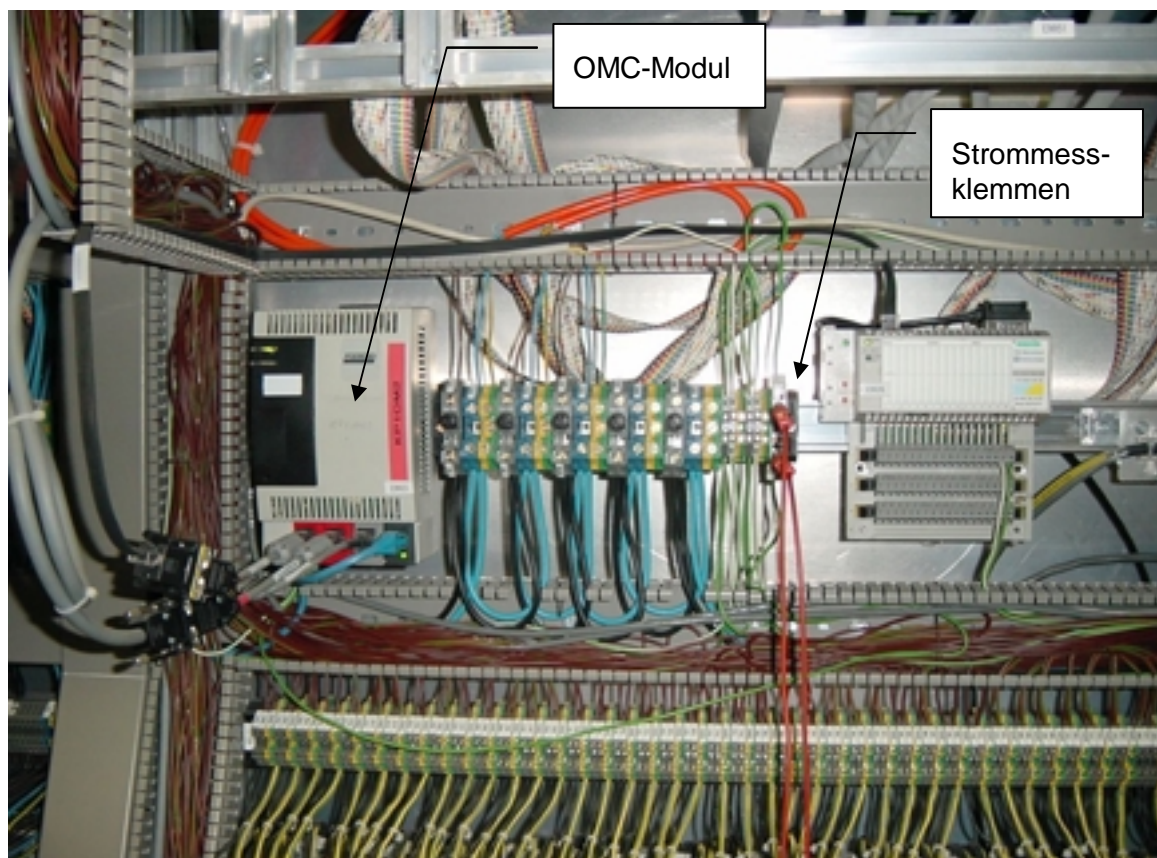
Ebenfalls hat sich gezeigt, dass der Leistungsbezug der CPU sehr klein ist im Verhältnis zur Gesamtleistung. Das Netzteil 1 weist in der Messung einen schlechten Wirkungsgrad auf. Der schlechte Wirkungsgrad ergibt sich durch den nicht optimalen Arbeitspunkt des Netzteils, da das Netzteil durch die CPU nur schwach belastet wird.

<i>Messstelle (siehe Blockschema)</i>	<i>Leistung [W] (gemessen)</i>	
	<i>Stopp</i>	<i>Betrieb</i>
1 Einspeisung	64	250 – 450
2 Netzteil CPU primär	11.1	11.1
3 CPU	7.6	7.6
4 Netzteil allgemein, primär	50.2	60.0 – 72.3
5 Netzteil allgemein, sekundär	27.9	39.3 – 49.1
6 Buskoppler Interbus-S	4.1	4.2

*Tabelle 1: Leistungsmessung am Prozess Automations Modell (PAM)*

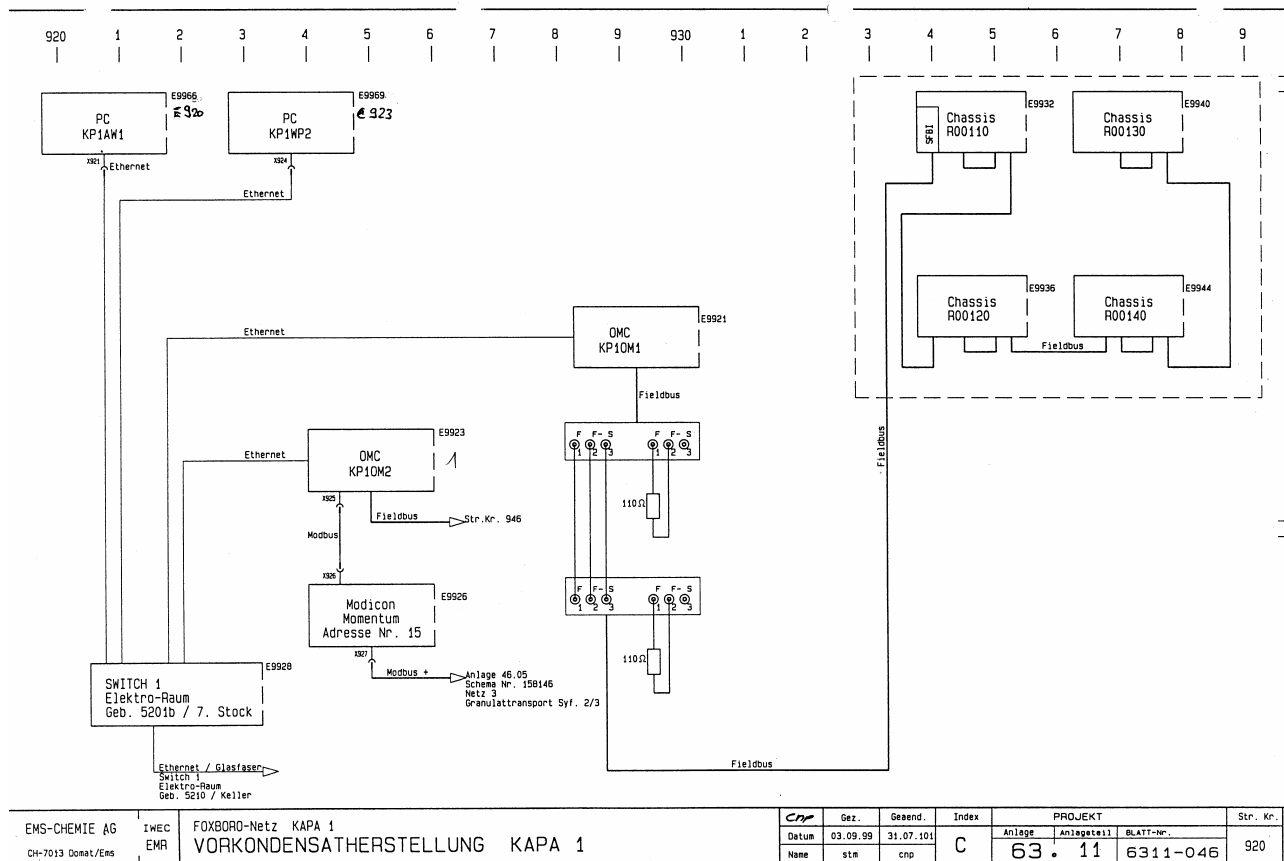
### 3.3 Vorkondensatherstellung an der Firma EMS-Chemie

In der EMS-Chemie sind verschiedene Prozessanlagen zur Herstellung von Kunststoff-Fasern im Einsatz. An einer Anlage zur Herstellung von Vorkondensat wurden Leistungsmessungen an einer Prozesssteuerung vorgenommen.



*Figur 9: OMC – Modul mit Klemmenleiste*

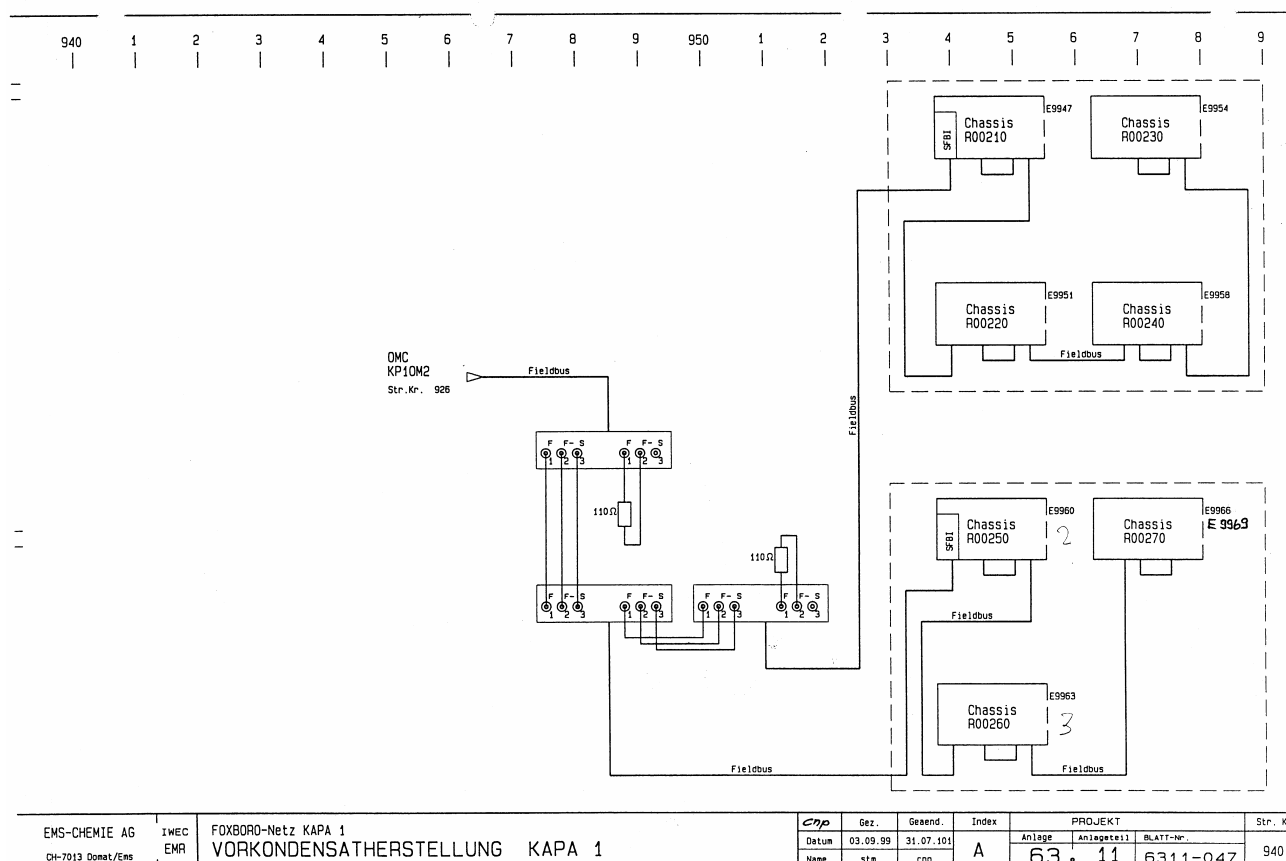
Die Prozesssteuerung besteht aus mehreren Einheiten, welche über ein Bussystem untereinander und mit dem Prozessleitsystem verbunden sind.



Figur 10: Schema-Übersichtsbild 1 Steuerungen und Bussysteme

Die beiden OMC-Module bilden die eigentliche Steuerung. Die Peripherie (Sensoren/Aktoren) sind auf die Chassis-Module verdrahtet, welche über einen Feldbus mit der entsprechenden Steuerung verbunden sind. Über ein Ethernet Netzwerk sind die Steuerungen mit den Leitrechnern verbunden.

Gemessen wurde die Leistungsaufnahme des OMC-Modul E9923 (KP10M2).



Figur 11: Schema-Übersichtsbild 2 Steuerungen und Bussysteme

Ebenfalls gemessen wurde die Leistungsaufnahme der beiden Chassis-Module E9960 (R00250) und E9963 (R00260). Die Chassis-Module sind feste Steuerungseinheiten. Gespiesen werden diese Einheiten von redundanten Netzteilen. Die gesteckten Funktions-Module an welche die Sensoren und Aktoren angeschlossen sind dienen der Anpassung und Signalverarbeitung.

Die ausgemessenen Prozesssteuerungen bilden nur einen (kleinen) Teil der gesamten Prozesssteuerung. Verschiedene gleiche oder ähnliche Systeme steuern noch weitere abgeschlossene Teilprozesse welche durch eine übergeordnete Steuerungseinheit überwacht werden. Die gesamte Steuerung der Anlage ist in einem separaten Raum in Schaltschränken von ca. 15m Länge untergebracht. Der Schaltschrankraum wird klimatisiert, um die Abwärme sämtlicher Steuerungskomponenten abzuführen. Sämtliche Messungen wurden an der laufenden Anlage durchgeführt.

Messstellen	Leistung [W] (gemessen)
OMC-Modul E9923 (KP10M2)	4.5
Chassis-Module E9960 (R00250)	64.5
Chassis-Module E9963 (R00260)	27.2

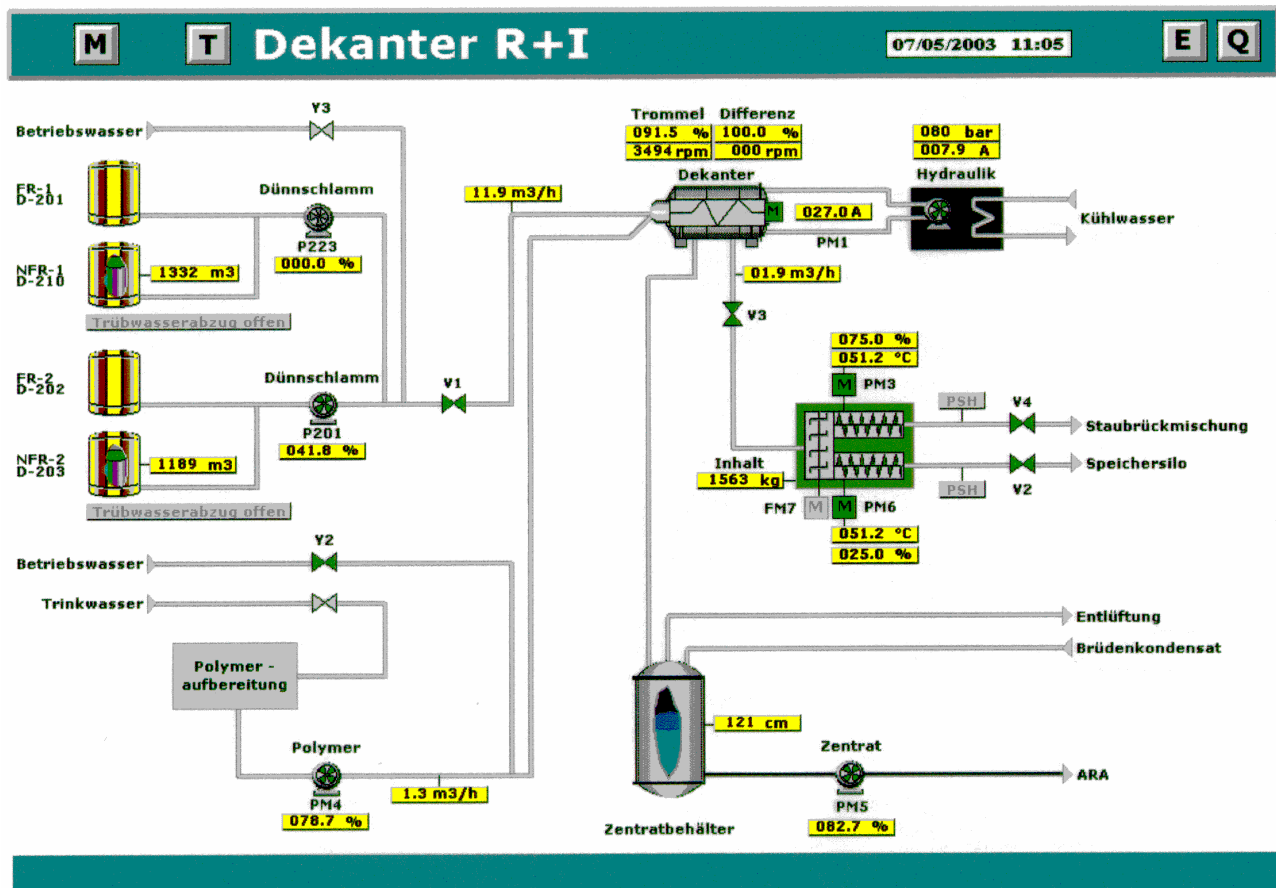
Tabelle 2: Leistungsmessung Vorkondensatherstellung EMS-Chemie

Die Leistungsaufnahme der beiden gemessenen Chassis-Module ist sehr unterschiedlich. Sie hängt ab von der Bestückung (Art und Anzahl) mit Funktionsmodulen.

### 3.4 Entwässerungs-Anlage ARA Chur

In der ARA Chur sind verschiedene Anlagen zur Abwasserreinigung im Einsatz. Der dabei anfallende Dünnschlamm wird in einer Entwässerungsanlage vorverarbeitet, um dann in der eigentlichen Trocknungsanlage zu Granulat verarbeitet zu werden. Das Granulat wird in der Zementfabrik Untervaz als Brennstoff eingesetzt.

Im folgenden Bild ist ein Übersichtsbild der Entwässerungsanlage dargestellt:



Figur 12: Übersichtsbild Entwässerungsanlage ARA Chur

Die Entwässerungsanlage besteht im Wesentlichen aus einem Dekanter (Zentrifuge) in dem der zugeführte Dünnschlamm entwässert wird. Der entwässerte Dickschlamm gelangt über einen Pufferbehälter weiter ins Speichersilo der Trocknungsanlage. Das anfallende Wasser wird zurück in die ARA geleitet.

Die Steuerung besteht aus einem Leistungsschrank und einem Vorortschrank. Im Leistungsschrank sind die Prozesssteuerung sowie alle Leistungssteller (Frequenzumformer) eingebaut. Der Leistungsteil ist in 3 Feldern à 80x200x50cm untergebracht. Diese Schaltschränke sind zusammen mit anderen Steuerungen in einem Raum untergebracht, welcher klimatisiert ist. Im Vorortschrank sind die I/O-Module untergebracht welche über einen Profibus-DP mit der Prozesssteuerung verbunden sind.



*Figur 13: Schaltschrank mit Leistungsmessgerät Entwässerungsanlage ARA Chur*

Die Prozesssteuerung besteht aus einer Einheit bestehend aus Netzteil, CPU und Baugruppen. Gemessen wurde die Leistungsaufnahme dieser Steuerungseinheit als Ganzes.

Im Vorortschrank wurde die Leistungsaufnahme der gesamten 24V-Komponenten und die Leistungsaufnahme des Buskopplers aufgenommen.

<b>Messstellen</b>	<b>Leistung [W] (gemessen)</b>	
	<b>Stopp</b>	<b>Betrieb</b>
Prozesssteuerung Netzteil primär	18.7	18.8
Vorortschrank 24V-Komponenten	18.7	20.2
Vorortschrank Bus-Anschaltung	4.0	3.8

*Tabelle 3: Leistungsmessung Entwässerungsanlage ARA Chur*

Die totale Leistungsaufnahme der gesamten Anlage beträgt nach Angaben des Betreibers ca. 20kW.

### 3.5 Diskussion der Messresultate

Die durchgeführten Messungen an realisierten Anlagen bestätigen die Vermutung, dass die Leistungsaufnahme einer Prozesssteuerung unabhängig vom Betrieb der Anlage ist. Die Energieversorgung der Sensoren und Aktoren hängt jedoch sehr stark vom jeweiligen Betriebszustand der Anlage ab.

Verschiedene Produkte werden als Steuerungseinheit mit integriertem Netzteil und Funktionsmodulen angeboten. Für die Messung an einer bestehenden Anlage sind so nur primärseitige Messungen möglich. Über den Energieverbrauch des Netzteils, der CPU und der Funktionsmodule alleine kann deshalb keine Aussage gemacht werden.

Die Messungen am PAM-Modell konnten am einfachsten durchgeführt werden, da die Anlage immer wieder abgeschaltet werden konnte um neue Messschaltungen anzuschliessen. Diese Messungen haben gezeigt, dass eine CPU im mittleren Leistungsspektrum ca. 8W Leistung benötigt. Das Netzteil für die Steuerungskomponenten wird meistens nur mit einem Bruchteil der Nennleistung betrieben, was einen schlechten Wirkungsgrad zur Folge hat.

In der EMS-Chemie handelt es sich um Anlagen eines Produktions-Prozesses. Die Ausfallsicherheit hat dabei oberste Priorität. Der Schaltschrankraum wird klimatisiert und die wichtigsten Komponenten sind redundant ausgeführt. Die Messungen an den Chassis-Modulen (ausfallsichere Netzteile) zeigen, dass durch die erhöhte Ausfallsicherheit die Leistungsaufnahme der Prozesssteuerung steigt.

Bei der Entwässerungsanlage in der ARA-Chur wird das Verhältnis des Energiebedarfs der Prozesssteuerung zum Energiebedarf der Anlage sichtbar. Auf die Prozesssteuerung (Netzteil, CPU, Funktionsbaugruppen) entfallen ca. 20W. Die gesamte Anlage benötigt ca. 20kW, wobei der Energiebedarf einer Anlage je nach Grösse und Einsatzgebiet sehr variiert. Die Anlage ist gut ausgelastet und läuft, abgesehen von Revisionen und Stillständen wegen Störungen, durchgehend. Die Prozesssteuerung wird auch bei einem Stillstand der Anlage nie abgeschaltet.

## 4. Kataloge und Produktbeschreibungen

### 4.1 Auswahl der Firmen

Bei der ausserordentlichen Vielfalt von Produkten und Firmen im Bereich Prozesssteuerungen gilt es, eine geeignete Auswahl zu treffen, welche gültige Aussagen über den Energieverbrauch ermöglicht.

#### **Produkte:**

Die Prozesssteuerungen lassen sich nach ihrer Rechenleistung und Ausbaubarkeit (Anzahl I/O-Kanäle, Speicher usw.) wie folgt einteilen:

- Mikro SPS, Kleinststeuerungen
- Kompakt SPS, Mini SPS
- Modul SPS
  - mittlere Leistungsklasse
  - obere Leistungsklasse

Bei den ersten zwei Leistungsklassen handelt es sich um kleine und kleinste Steuerungen die als eigenständige Geräte konzipiert sind. Die Baugruppen dieser Steuerungen (CPU, Speicher, I/O's, Busankopplung, Netzteil) sind in der Regel integriert in ein Gehäuse. Eine Ausbaubarkeit ist nicht vorgesehen oder zumindest stark eingeschränkt. Der Energieverbrauch dieser Mikro und Kompakt SPS ist sehr gering. In den Spezifikationen der Hersteller findet man Leistungen zwischen 1,5W bis ca. 10W für die gesamte Steuerung. Sie bieten kein nennenswertes Energiesparpotential da die eingesetzten Bauelemente optimal aufeinander abgestimmt sind.

Untersucht werden dagegen die Modul-SPS. Aus folgenden Gründen ergeben sich dabei eher Chancen, Energiesparpotenziale zu finden:

- Der Energieverbrauch der Module ist grösser als bei den Kleinststeuerungen.
- Wegen der Kombinierbarkeit der einzelnen Module ist eine optimale Abstimmung nicht immer möglich.
- Insbesondere die Netzteile sind meist überdimensioniert im Hinblick auf einen allfälligen Weiterausbau

### **Firmen:**

Bei der Auswahl der Firmen wurden zunächst die Marktführer in der Schweiz berücksichtigt (siehe Tabelle auf der nächsten Seite). Dabei stützten wir uns auf die Angaben des Schweizerischen Automatik Pools (SAP). Im weiteren berücksichtigten wir die Firmen welche unserer Meinung nach den grössten Anteil am Umsatz in der Schweiz erwirtschaften. Detaillierte Auskünfte über Markt-anteile und Stückzahlen waren leider nicht erhältlich.

Die Auswahl erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Auch ist die Reihenfolge der Firmen zufällig.



## SPS - Markt Schweiz: Firmen-Übersicht

<b>Firma Adresse</b>	<b>Hersteller</b>	<b>SAP - Ein- schätzung</b>	<b>Mini- SPS</b>	<b>Kompakt- SPS</b>	<b>Modul- SPS</b>
<b>Siemens Schweiz AG</b> Freilagerstrasse 40 CH-8047 Zürich Tel. +41 (0)1 495 31 11 Fax +41 (0)1 495 53 90 hans.menzi@siemens.com www.ad.siemens.de	<b>Siemens</b>	<b>Markt- leader</b>	LOGO! Pure LOGO! Basic LOGO! Long LOGO! Bus	SIMATIC S7-200	SIMATIC S7-300  SIMATIC S7-400
<b>Econotec AG</b> Postfach 282 Hinterdorfstrasse 12 CH-8309 Nürensdorf Tel. +41 (0)1 838 48 11 Fax +41 (0)1 838 48 12 info@econotec.ch www.econotec.ch	<b>Mitsubishi</b>	<b>Top-6</b>	Alpha XL	MELSEC FX1S FX1N FX2N	MELSEC AnSH/QnAS  MELSEC QnA/Q4AR  System Q
<b>Rockwell Automation AG</b> Gewerbepark Postfach 64 5506 Mägenwil Schweiz www.rockwellautomation.ch Tel. +41 (0)62 889 77 77 Fax +41 (0)62 889 77 11	<b>Allen Bradley</b>	<b>Top-6</b>	Micro Logix 1000 1200 1500	SLC 500	PLC-5
<b>B&amp;R Industrie Automation AG</b> 8500 Frauenfeld Schweiz Tel. +41 (0)52 728 00 55 Fax +41 (0)52 728 00 54 office@br-automation.ch Internet:www.br-automation.ch	<b>B&amp;R Industrie Automation AG</b>	<b>Top-6</b>		B&R System 2003	B&R System 2005  B&R System 2010
<b>Schneider Electric Schweiz AG</b> Schermenwaldstrasse 11 3063 Ittigen Schweiz Tel. +41 (0)31 917 33 33 Fax +41 (0)31 917 33 55 info@schneiderelectric.ch www.schneider-electric.ch	<b>Modicon Tele- mecanique</b>	<b>Top-6</b>	Modicon Nano Modicon Mikro	Modicon 984/A120 Compact  Tele- mecanique Twido	Modicon Premiun  Modicon Quantum

<b>Firma Adresse</b>	<b>Hersteller</b>	<b>SAP - Ein- schät- zung</b>	<b>Mini- SPS</b>	<b>Kompakt- SPS</b>	<b>Modul- SPS</b>
<b>Saia Burgess Controls SA</b> Bahnhofstrasse 18 3280 Murten Schweiz Tel. +41 (0)26 672 71 11 Fax +41 (0)26 672 71 11 vch@saia-burgess.com www.saia-burgess.ch	<b>Saia -Burgess</b>	<b>Top-6</b>	PCD1	PCD2	PCD4 PCD6
<b>ABB Schweiz AG</b> Brown Boveri Strasse 6 5400 Baden Tel. +41 58 585 11 11 Fax +41 58 585 71 71 E-Mail: pro- cess.control@ch.abb.co m Internet: www.abb.ch	<b>ABB</b>				Advant Controller 100 Advant Controller 200 Advant Controller 400
<b>GE Fanuc Automation Europe SA</b> Erlenstrasse 35a CH-2555 Brugg BE Schweiz Tel. +41 (0)32 366 63 63 Fax +41 (0)32 366 63 64 Info@gefanuc.ch www.gefanuc.ch	<b>General Electric USA &amp; Fanuc Ltd Japan</b>		VERSAMAX NANO	VERSAMAX MICRO	Serie 90-30 Serie 90-70
<b>Jetter (Schweiz) AG</b> Münchwilerstrasse 21 9554 Tägerschen Schweiz Tel. +41 (0)71 918 79 50 Fax +41 (0)71 918 79 69 info@jetterag.ch www.jetterag.ch	<b>Jetter Deutschland</b>		NANO A NANO B-C NANO D	DELTA	
<b>Matsushita Electric Works Schweiz AG</b> Grundstrasse 8 CH-6343 Rotkreuz Tel. +41 (0)41 799 70 50 Fax. +41 (0)41 799 70 55 www.matsushita.ch	<b>Matsushita</b>		FP-e	FP Sigma FP 1	FP 2 FP 3 FP 10SH

<b>Firma Adresse</b>	<b>Hersteller</b>	<b>SAP - Ein- schät- zung</b>	<b>Mini- SPS</b>	<b>Kom- pakt- SPS</b>	<b>Modul- SPS</b>
<b>Moeller Electric AG</b> Im Langhag 14 8307 Effretikon Schweiz Tel. +41 (0)52 354 14 14 Fax +41 (0)52 354 14 99 E-Mail: info@moeller.ch Internet: www.moeller.ch	<b>Moeller GmbH,</b> Bonn, Deutschland				
<b>Omron Electronics AG</b> Sennweidstrasse 44 CH-6312 Steinhausen Tel. +41 (0)41 748 13 13 Fax +41 (0)41 748 13 45 info.ch@eu.omron.com http://www.omron.ch	<b>Omron Electronics GmbH</b>		SYS- MAC CPM1A CPM2A CPM2C SRM1	SYSMAC CQM1H	SYSMAC CS1 C200H-alpha SYSMAC CVM1 CVM1D
<b>Selectron Systems AG</b> Bernsstrasse 70 CH-3250 Lyss Tel. +41 (0)32 387 63 33 Fax. +41 (0)32 387 61 00 info@selectron.ch www.selectron.ch	<b>CCS Electronic-service, Lyss</b>				Selecontrol MAS Selecontrol PMC Selecontrol webMAS

Tabelle 4: SPS - Markt Schweiz: Firmen-Uebersicht

## 4.2 Zusammenstellung einiger wichtiger Daten

### Katalogdaten

	Simatic S7 Siemens			Premium Modicon			Quantum Modicon	Melsec Mitsubishi		System 2000 B & R	Modular- steuerung Moeller
CPU Typ	CPU-312C	CPU 315-2DP	CPU-318-DP	TSX P57 103M	TSX P57 253M	TSX P57 453M	140 CPU 113 02	Q00JCPU-E	FX2N-80 MT-DSS	CP 260	PS416 CPU-200
Arbeitsspeicher	16kB	64kB	512kB	32kB	64kB	96kB	256kB	58kB	16kB	512kB	256kB
Bearbeitungszeiten Wortoperationen	0,4us	0,2us	0,1us	0,62us	0,25us	0,08us	0,3 - 1,4us pro k Instr.	0,20us	0,08us	0,2us pro Zyklus	0,5us pro Anw.
Strom Leistungsaufnahme	0,5A	1A	1,2A	0,44A	0,82A	1,08A	0,78A	0,22A	0,29A	6,1W	1,5A
Verlustleistung typisch	6W	8W	12W								7,5W
<b>Netzteil Strom-versorgung</b>	PS 307 5A							Q61P-A2		PS 465	PS416 POW-400
Spannung	24V							5V	24V	24V	5V
Stromnennwert	5A									3,5A	8A
Leistung typisch								105VA	40W	50W	
Verlustleistung bei Nennbetrieb	18W										
Wirkungsgrad	ca. 87%							> 70%			> 75%
<b>digitale I/O Module</b>											
Digital Input 16 Bit		321- 1BH 02- 0AA0								DI 450	PS 416 INPUT 400
Verlustleistung		3,5W								2,0W	intern 0,15W extern < 5,8W
Digital Output 16 Bit		322- 1BH 01- 0AA0								DO 480	PS 416 OUTPUT 400
Verlustleistung		4,5W								2,5W	intern 0,74W extern < 5,6W

Tabelle 5: Katalogdaten

Von 16 angeschriebenen Firmen haben lediglich 5 Firmen geantwortet und Kataloge geschickt: Siemens, Schneider Electric [Modicon], Econotec [Mitsubishi], Moeller sowie Bernecker & Rainer. Dies könnte als „wenig Interesse am Energieverbrauch“ interpretiert werden. Denkbar ist auch, dass unsere Anfrage zur falschen Person oder in die falsche Abteilung gelangte. Die Firma Siemens hat am meisten Informationsmaterial geschickt und war auch sehr interessiert daran, uns mit Informationen zu beliefern.

### Darstellung

Die Unterschiede in der Darstellung sind sehr gross. Es ist mühsam, relevante Angaben zu finden, besonders wenn man verschiedene Produkte vergleichen möchte. So wird z.B. bei der CPU meistens der Strombedarf in Ampère angegeben. Gelegentlich wird anstelle des Stromes der Leistungsbedarf in Watt eingesetzt. Dies erschwert den Vergleich verschiedener Produkte.

Die Daten in den Katalogen der einzelnen Firmen sind sehr inhomogen.

Für Vergleiche (nicht nur des Energiebedarfes) wäre es wünschenswert, wenn die Hersteller relevante Angaben in gleichen Einheiten, ermittelt unter möglichst gleichen Bedingungen (Konfigurationen), zur Verfügung stellen würden.

### Inhalt

Inhaltlich gibt es grosse Unterschiede im Umfang und in der Ausführlichkeit der Daten. Angaben wie z.B. der Wirkungsgrad bei Netzteilen, sind nur vereinzelt zu finden. Die Unterlagen sind in erster Linie für den Planer bestimmt. Er muss festlegen, welche Module wie miteinander zu kombinieren sind. Dabei spielt der Energiebedarf nur eine untergeordnete Rolle. Wichtig sind zwei Aspekte:

1. **Strombedarf:** Der Strombedarf ist entscheidend für die Wahl des Netzteils. Gewisse Hersteller (z.B. Mitsubishi) haben sogar Formulare entwickelt, die vom Planer auszufüllen sind. Als Resultat ergibt sich das passende Netzteil. Meistens setzt man eine gewisse Reserve ein für eventuelle spätere Erweiterungen.
2. **Abwärme:** Prozesssteuerungen sind oft in Schaltschränken untergebracht, zusammen mit anderen Geräten und Ausrüstungen. Die Verluste sind massgebend dafür, ob eine Kühlung erforderlich ist.

## 4.3 Auswertung der Informationen aus den Katalogen

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die Katalogangaben und die Messungen das gleiche Bild ergeben: Der Energieverbrauch von Prozesssteuerungen ist gering. Für die CPU von Modul-SPS kann eine mittlere Leistung von ca. 8 Watt angegeben werden. Infolge der Produktvielfalt können im Einzelnen grössere Abweichungen vorkommen.

Unterschiede zwischen den einzelnen Produkten sind

- absolut gesehen sehr klein
- relativ gesehen teilweise beträchtlich

Der Energieverbrauch nimmt zu mit

- zunehmender Anzahl I/O Kanälen
- zunehmendem Arbeitsspeicher
- zunehmender Taktrate
- zunehmender Komplexität

## 5. Netzteile

### 5.1 Netzteile für Prozesssteuerungen

Netzteile für Prozesssteuerungen sind für den Betrieb im industriellen Umfeld konzipiert. Die Netzteile sollen kurzschlussfest, störungsunempfindlich und hochverfügbar sein. Eine Typenreduktion verkleinert das Ersatzteillager. Die Netzteile sollen möglichst wenig Verlustleistung abgeben. Damit können immer kleinere Gehäuseabmessungen erreicht werden. Ausserdem sollen die Netzteile (wie alle anderen Baugruppen einer Steuerung) nicht unnötig Abwärme an den Schaltschrank abgeben.

Die Netzteile werden oft in einem nicht optimalen Arbeitspunkt betrieben (Erweiterbarkeit, Sicherheit, Typenreduktion etc.). Der in der Spezifikation angegebene Wirkungsgrad bezieht sich bei Netzteilen meistens auf den Nennbetrieb (Nennstrom und die Nennspannung). Bei einer kleineren Belastung verschlechtert sich der Wirkungsgrad zunehmend.

### 5.2 Auslegungs- und Einsatzkriterien

Die Auslegung der Netzgeräte erfolgt unter verschiedensten Gesichtspunkten. Netzgeräte werden für den Betrieb der Prozesssteuerung sowie zur Stromversorgung der Sensoren und Aktoren verwendet.

Bei der Planung wird in der Regel die Prozesssteuerung mit einem separaten Netzteil ausgerüstet. Die auf diese Weise realisierbare Potentialtrennung wirkt sich positiv aus auf mögliche Störeinflüsse von der Peripherie.

Im weiteren werden die Netzteile so ausgewählt, dass bei allfälligen Änderungen und Erweiterungen eine genügend grosse Leistungsreserve vorhanden ist.

Oftmals setzen Firmen aus Gründen der Lagerhaltung nur eine begrenzte Anzahl Typen von Netzteilen ein, die Sie in einem weiten Eingangsspannungsbereich betreiben können.

Verschiedene Steuerungshersteller bieten in der Leistung abgestufte Netzteile an, welche ausschliesslich in Ihrer eigenen Produktlinie verwendet werden können.

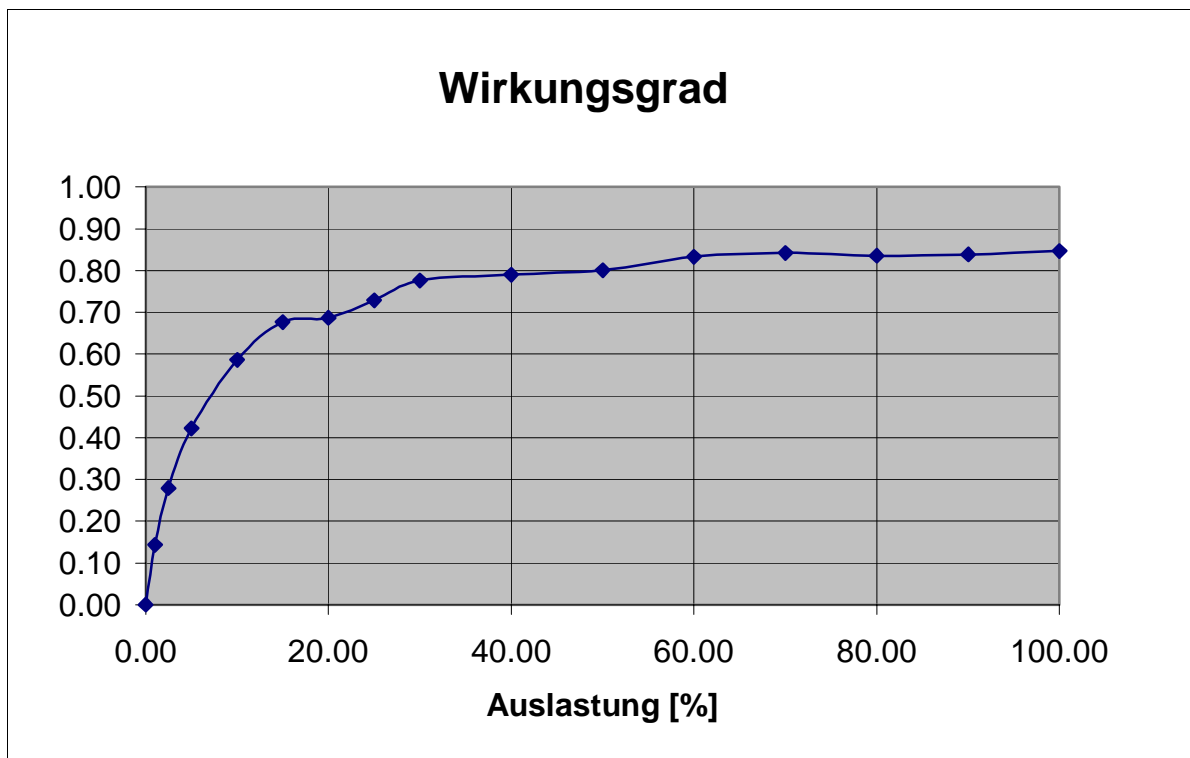
Die Netzteile für die Sensoren und Aktoren müssen für den Betrieb in einem industriellen Umfeld geeignet sein. Erhöhte Betriebssicherheit geht zu Lasten des Energieverbrauchs.

### 5.3 Messungen an Netzteilen

Netzgeräte werden in Prozesssteuerungen häufig weit unterhalb der Nennleistung betrieben. Aus diesem Grund wurde der Wirkungsgrad in Funktion der Auslastung gemessen.

Drei Netzgeräte wurden mit einem veränderlichen ohmschen Verbraucher belastet und der Wirkungsgrad aufgenommen.

## 5.4 Wirkungsgrad in Funktion der Belastung

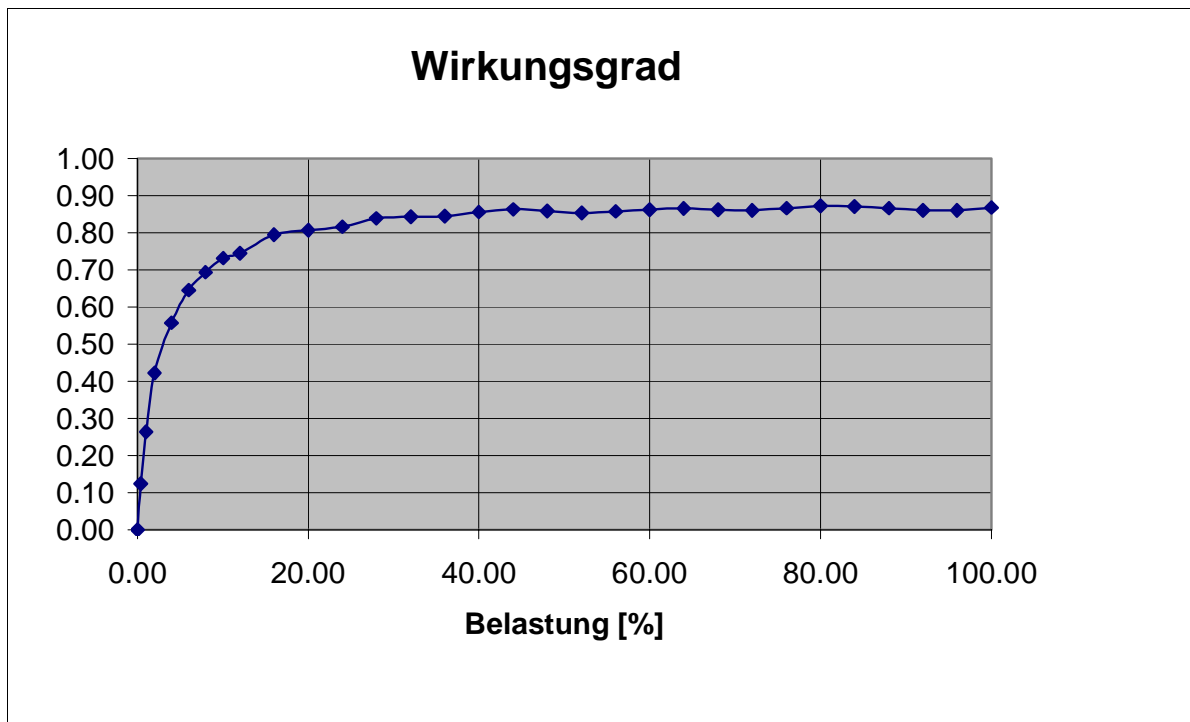


Figur 14: Gemessener Wirkungsgrad „Siemens Simatic PS307, 2A“ in Funktion der Belastung

Der Wirkungsgrad dieses 2A-Netzgerätes beträgt gemäss Katalog 0.83 (bei Nennlast). Die Kurve zeigt, dass der Wirkungsgrad bis etwa 30% der Auslastung bei ca. 0.8 liegt um dann für noch tiefere Belastungen steil abzufallen.

Die absolute Verlustleistung fällt linear von ca. 9 W bei einer Auslastung von 100% auf ca. 2.5 W bei einer Auslastung 0% ab.

Wenn dieses Netzteil eine Prozesssteuerung von 10 W versorgt (typischer Wert) so ist die Auslastung 21% (Nennleistung = 2A \* 24 V = 48 W). Gemäss obiger Messung beträgt der Wirkungsgrad ca. 69% die Verlustleistung ca. 4.5 W.



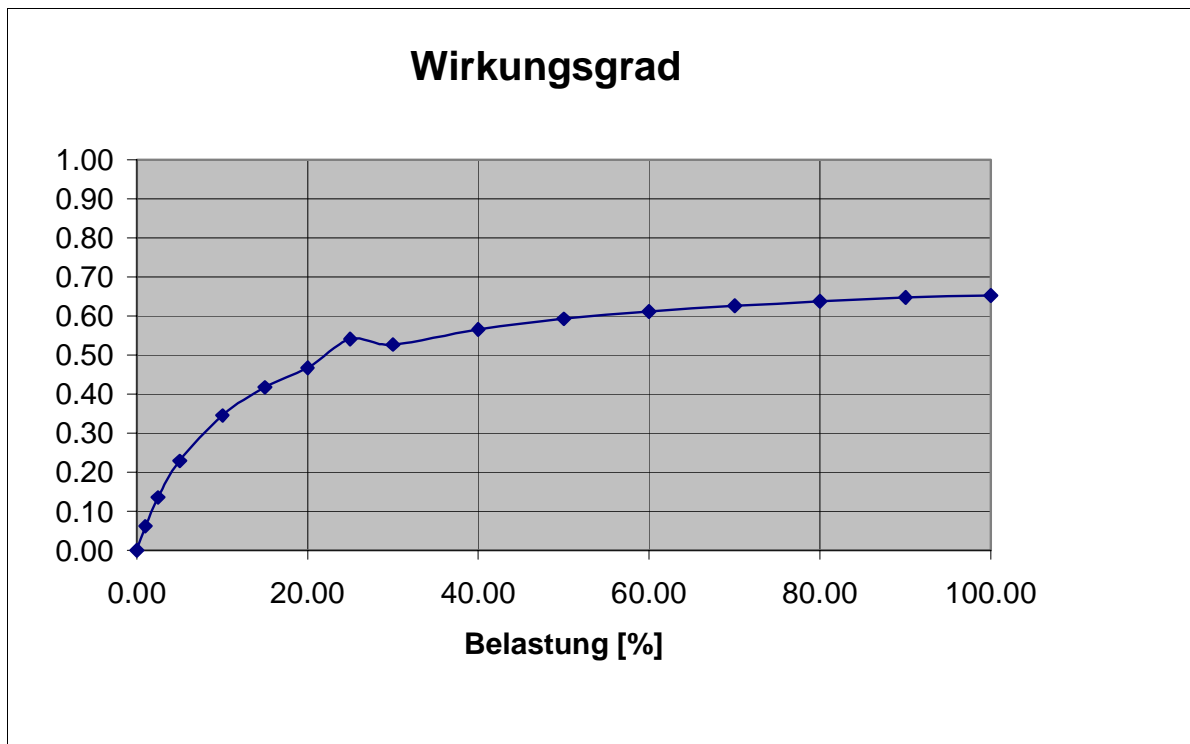
Figur 15: Gemessener Wirkungsgrad „Siemens Simatic PS307, 5A“ in Funktion der Belastung

Der Wirkungsgrad dieses 5A-Netzgerät beträgt gemäss Katalog 0.87 (bei Nennlast). Die Kurve zeigt, dass der Wirkungsgrad bis etwa 20% der Auslastung bei ca. 0.8 liegt um dann für noch tiefere Belastungen steil abzufallen.

Die absolute Verlustleistung fällt linear von ca. 18 W bei einer Auslastung von 100% auf ca. 3 W bei einer Auslastung 0% ab.

Wenn dieses Netzteil eine Prozesssteuerung von 10 W versorgt (typischer Wert) so ist die Auslastung 8% (Nennleistung =  $5A \cdot 24V = 120W$ ). Gemäss obiger Messung beträgt der Wirkungsgrad ca. 70% die Verlustleistung ca. 4.3 W.





Figur 16: Gemessener Wirkungsgrad „Phoenix Contact CM-PS 2A“ in Funktion der Belastung

Die Kurve zeigt, dass der Wirkungsgrad bis etwa 50% der Auslastung bei ca. 0.6 liegt um dann für noch tiefere Belastungen immer steiler abzufallen.

Die absolute Verlustleistung fällt linear von ca. 26W bei einer Auslastung von 100% auf ca. 7W bei einer Auslastung 0% ab.

Wenn dieses Netzteil eine Prozesssteuerung von 10 W versorgt (typischer Wert) so ist die Auslastung 21% (Nennleistung =  $2A \cdot 24V = 48W$ ). Gemäss obiger Messung beträgt der Wirkungsgrad ca. 50% die Verlustleistung ca. 10.5 W.

## 5.5 Diskussion der Resultate

Die Netzgeräte, welche für Prozesssteuerungen verwendet werden, müssen den industriellen Anforderungen genügen. Die Verlustleistung eines Netzgerätes soll möglichst klein sein, damit die Erwärmung bei immer kleiner werdenden Abmessungen der Gehäuse einfach abgeführt werden kann. Bei den Netzgeräten kommen keine eigenen Lüfter zum Einsatz.

Die Messungen an den beiden Netzgeräten von „Siemens“ (neuere Datums) zeigen, dass der Wirkungsgrad ab einer Leistung von ca. 20% der Nennleistung sehr flach verläuft. Für tiefere Leistungen sinkt der Wirkungsgrad steiler ab.

Die absolute Verlustleistung nimmt bei tiefer werdenden Belastungen linear ab.

Das ältere Netzgerät von „Phoenix Contact“ weist einen ähnlichen Wirkungsgrad-Verlauf auf. Allerdings ist der Wirkungsgrad mit 0.65 bei Nennlast viel tiefer und der Anstieg mit zunehmender Belastung ist deutlich flacher.

Netzgeräte werden optimal im flachen Bereich der Wirkungsgradkurve betrieben. Leider wird in den Katalogen nur der Wirkungsgrad oder die Verlustleistung bei Nennlast angegeben. Hilfreich bei der Auswahl eines Netzgerätes wäre der Verlauf des Wirkungsgrades in Funktion der Auslastung des Netzgerätes.

## 6. Energetischer Stellenwert von Prozesssteuerungen

### 6.1 Verkaufsstatistik

Statistische Zahlen zu Prozesssteuerungen werden vom Schweizerischen Automatik Pool SAP erhoben. Der SAP ist grundsätzlich nicht daran interessiert, detaillierte Marktzahlen zu veröffentlichen, da diese exklusiv von und für die Mitglieder recherchiert werden.

Folgende Angaben gibt der SAP mündlich:

Verkaufszahlen der SAP-Mitglieder in der Schweiz pro Jahr

- Grosse SPS: 18'000 Stück
- Kompakt-SPS: 12'000 Stück
- Logic-Module: 12'000 Stück

Diese Zahlen basieren auf dem Jahr 2002. Der SAP schätzt, dass der Absatz 2001 noch rund 10% höher war. Die Prognose für 2003 ist ein Absatzrückgang von 5% gegenüber dem Vorjahr.

Die SAP-Mitglieder decken rund 80% des Marktes ab.

50 – 80% dieser SPS sind für den Export bestimmt (gemäss Schätzung SAP).

Dies mag teilweise kompensiert werden durch indirekten Import. Dazu macht er keine Schätzungen.

Diese Statistik beinhaltet Speicherprogrammierbare Steuerungen im eigentlichen Sinne. Steuerungen welche in Produkten (z.B. Haushaltgeräte, Heizungen, Haustechnikkomponenten) fest integriert sind, sogenannte Mikrocontroller, sind in dieser Statistik nicht enthalten.

Der SAP bezeichnet die 6 wichtigsten Anbieter von SPS in der Schweiz wie folgt:

- Siemens (Marktleader)
- Rockwell
- Mitsubishi
- B&R Industrie Automation AG (Bernecker und Krainer)
- Saia
- Schneider

Nach (mündlicher) Einschätzung des SAP ist der Energiekonsum von SPS irrelevant, insbesondere im Vergleich mit den gesteuerten Prozessen. Er bezweifelt, dass die Schweiz auf die meist ausländischen Firmen Einflussmöglichkeiten hat. Er empfiehlt, sich primär auf die Netzteile zu konzentrieren. Dazu hat er aber keine Marktzahlen. Zudem regt er an, den Stromverbrauch von Relais und Schützen zum Vergleich bei zu ziehen.

### 6.2 Hochrechnungen

Zur sehr groben Abschätzung des Energiekonsums von SPS in der Schweiz wurden folgende Annahmen und Schätzungen getroffen:

Zu den Verkaufszahlen macht der SAP Erhebungen und Hochrechnungen. Die weiteren Werte (Export, Import, Bestand, Einsatzdauer) sind Schätzungen.

- Anteil Export 70%. (Indirekter) Anteil Import 25%
- Zum Bestand und kWh: SPS sind durchschnittlich 10 Jahre ununterbrochen im Einsatz (vgl. Tabelle 8)
- SPS sind täglich ununterbrochen im Betrieb

Jahreszahlen Schweiz	Verkauf	Export	Import	Netto-Verkauf	Bestand SPS	Watt/Stück	kWh/Stück	Konsum kWh
Grosse SPS	18'000	12'600	4'500	9'900	99'000	10	88	8'672'400
Kompakt-SPS	12'000	8'400	3'000	6'600	66'000	6	53	3'468'960
Logic-Module	12'000	8'400	3'000	6'600	66'000	3	26	1'734'480
Total SPS	42'000	29'400	10'500	23'100	231'000			13'875'840

**Tabell 6: Abschätzung des jährlichen Energiekonsums von SPS**

	Watt	Anteil
Prozessor	5	50%
Netzteil	3	30%
I/O-Module	2	20%

**Tabelle 7: Verbrauchsanteile der Komponenten bei „typischer“ SPS**

Die Einsatzdauer der SPS ist für die Abschätzung des jährlichen Energiekonsums eine wichtige Grösse zu der aber keine Statistiken existieren. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick zu Expertenmeinungen und Schätzungen.

#### **Anwender: ARA Chur**

In der ARA-Chur werden verschiedenste Steuerungen zum Aufbereiten des Schmutzwassers verwendet. Diese Anwendung unterscheidet sich grundsätzlich von industriellen Anwendungen (Stadt als Betreiber, keine Produktion, ...).

Bei industriellen Anlagen gibt der Zuständige einen Lebenszyklus von 5-7 Jahren an, bei der ARA-Chur einen von 12-15 Jahren.

Die Steuerungen werden meist gewechselt, weil ein grösserer Umbau an der Anlage/Maschine notwendig wird, und nicht weil die Steuerung ausgewechselt werden muss. Nach 12-15 Jahren wird die Ersatzteil-Beschaffung sehr schwierig.

#### **Anwender: EMS-Chemie**

Durchschnittliche Betriebszeiten von SPS sind sehr unterschiedlich, sie variieren zwischen zwei bis zehn Jahren. Die mittlere Betriebszeit dürfte bei ca. 8 Jahren liegen.

Man ist bestrebt, eine Steuerung so lange wie möglich einzusetzen. Beim frühen Auswechseln einer Steuerung (z.B. bereits nach 2 Jahren) ist meistens nicht die Steuerung selbst schuld daran, dass sie ersetzt wird, sondern Umbauten an den Anlagen.

Das Ersatzteilproblem wird gelöst, indem man selbst Ersatzteillager aufbaut. Nach 10 Jahren kann es sein, dass ein Hersteller die alte SPS nicht mehr unterstützt oder keine Ersatzteile mehr liefern kann.

Die Konjunktur hat keinen Einfluss auf das Auswechseln einer Steuerung.

Trends für die Zukunft: keine Änderungen in Sicht.

**Hersteller: Bernecker & Rainer Industrie-Automation AG**

Einsatzdauer der SPS ist primär bestimmt durch die Anwendung (Lebensdauer der gesteuerten Anlagen!).

- Maschinenindustrie: 2- bis 3-Schichtbetrieb, 10 bis 15 Jahre
- Textilindustrie: 3-Schichtbetrieb, 10 Jahre
- Automobilindustrie: 3-Schichtbetrieb, 10 Jahre
- Buchdruck: 6 Std. pro Tag, 15 bis 20 Jahre
- Chemie: 2- bis 3-Schichtbetrieb, 5 bis 10 Jahre, viele Änderungen und Anpassungen

Die durchschnittliche Einsatzdauer beträgt 10 Jahre, Tendenz sinkend, weil die Lebensdauer der Anlagen und die Produktzykluszeiten abnehmen.

**Hersteller: Schneider Electric (Schweiz) AG**

Eine Steuerung ist im Durchschnitt zwischen 8 bis 12 Jahren in Betrieb.

**Hersteller: Econotec AG, Mitsubishi Steuerungen**

Der Zuständige (Technische Support) hat vor kurzem eine Steuerung nach 12 Jahren ersetzt; Grund: die alte Steuerung war technisch überholt.

Weitere Gründe für einen früheren Ersatz von Steuerungen sind: Umbauten, Erweiterungen oder besondere Ereignisse (z.B. Schäden durch Umwelteinflüsse). Er nennt ein Beispiel: er hat eine Steuerung nach 5 Jahren ersetzt, weil die Anlage erweitert wurde und die alte SPS nicht genügend ausgebaut werden konnte.

Mittlere geschätzte Einsatzdauer von SPS bei ununterbrochenem Betrieb: 10 Jahre.

Ersatzteile: Wird eine Steuerung nicht mehr unterstützt, informiert man den Kunden (die Aktion wird „Abkünden“ genannt), dass er von da an noch während 7 Jahren Ersatzteile erhält.

Von 1998 bis 2001 wurden keine besonderen konjunkturellen Einflüsse festgestellt, nach dem Motto so lange es (gut) läuft, wird nichts geändert. Zurzeit wird mehr umgebaut und neu investiert, vermutlich weil weniger produziert wird, haben die Kunden eher Zeit ihre Anlagen zu rationalisieren, auszubauen und zu erneuern. Eine Trendänderung für die Zukunft wird nicht erwartet.

Meinung eines Produktmanagers zur Einsatzdauer: 5 bis 20 Jahren. Die Spitze ist ein Report von unserem Service über 28 Jahre. Durchschnitt geschätzt 14 Jahre.

**Tabelle 8: Schätzungen zur Einsatzdauer von SPS**

## 6.3 Energiesparpotenziale

Prozessoren sind gemäss dem aktuellen Entwicklungsstand stets energetisch optimiert, weil die Minimierung der Wärmeabgabe bei hochintegrierten Bauteilen ein wichtiges Entwurfsziel darstellt. Die Entwicklung geht in Richtung höherer Rechenleistung auf kleinerem Raum (Fläche) ohne Zunahme der elektrischen Verluste, um Überhitzungen zu vermeiden. An energetischen Optimierungen der Prozessoren wird daher ohnehin kontinuierlich gearbeitet.

Auch bei den Netzteilen besteht ein gewisses Interesse die Verlustleistung zu reduzieren, weil die entstehende Wärme aus Räumen und Schaltschränken abgeführt werden muss. Zunächst gibt es unterschiedlich effiziente Netzteile deren Wirkungsgrad bei Nennleistung zwischen 60% und 90 % liegen kann. Die meisten Netzgeräte arbeiten allerdings unter Teillast, da bei der Auslegung einer Steuerung häufig eine mögliche Ausbaubarkeit gefordert ist und Sicherheitsmargen eingeplant werden. Zudem sind die Abstufungen von Produktreihen ziemlich grob (z.B. 2A, 5A, 10A), was oft zu weiteren Überdimensionierungen führt. Energieeinsparungen sind möglich durch sorgfältige Auslegung (keine unnötigen Überdimensionierungen) und Auswahl von effizienten Netzgeräten (Wirkungsgrad gegen 90% statt 60 bis 85%). Damit liessen sich pro SPS ca. 1 Watt einsparen. Bei einer vollständigen Umsetzung könnten gesamtschweizerisch maximal 200 kW Leistung bzw. 1.7 Millionen kWh elektrische Energie eingespart werden. Zu beachten ist, dass eine vollständige Umsetzung den vollständigen Ersatz aller SPS bedeuten würde, was aufgrund der SPS-Einsatzzeiten über 10 Jahre beanspruchen würde. Der erfolversprechendste Ansatz besteht in

der Optimierung der Netzgeräte unter Teillast. Hier ist allerdings einzuschränken, dass aktuelle Netzteile bereits heute gute Wirkungsgrade unter Teillast haben (z.B. 80% Wirkungsgrad bei Teillast von 20%). Die Auslegungsgrundsätze der Planer lassen sich durch ein Potenzial von wenigen Watt kaum beeinflussen.

Da die I/O Module an sich einen sehr geringen Verbrauch aufweisen, lässt sich auch wenig Energie einsparen.

## **7. Folgerungen und Empfehlungen**

### **7.1 Netzteile**

Netzteile haben einen wesentlichen Anteil an den Verlusten der Prozesssteuerungen. Ähnlich wie bei den PC's, werden auch bei SPS Netzteile bei tiefer Teillast mit relativ schlechten Wirkungsgraden betrieben [6].

Messungen zeigten grosse Unterschiede beim Wirkungsgrad der Netzteile besonders unter Teillast. Dabei hat sich herausgestellt, dass neuere Netzteile wesentlich besser abschneiden als ältere. Dies bestätigt die generelle Entwicklung in diesem Gebiet die dahin geht, immer effizientere Bauteile und Schaltungen einzusetzen. Netzteile sind Massenprodukte die auch in andern Geräten verwendet werden. Damit besteht die Chance, dass SPS-Netzteile von den allgemeinen Fortschritten profitieren.

Planern kann empfohlen werden, moderne Produkte einzusetzen und unnötige Überdimensionierungen zu vermeiden.

### **7.2 Offline Durchführung von Messungen**

Der Leistungsbezug von SPS ist weitgehend unabhängig von der Konfiguration und vom Betriebszustand der gesteuerten Prozesse. Prozesssteuerungen können deshalb isoliert in einer Laborumgebung ausgemessen werden. Der Leistungsbezug in Funktion der Zeit ist annähernd konstant. Somit genügt in der Regel eine Messung pro Steuerung. Aussagen zum Stromverbrauch sind deshalb möglich, ohne eine Vielzahl von Prozessen konfigurieren und programmieren zu müssen. Daraus ergibt sich der Vorteil, dass es nicht nötig ist, Messungen an Industrieanlagen durchzuführen. Diese Aussage wurde bei allen durchgeführten Messungen an der Demonstrationsanlage der HTW Chur, bei der Anlage zur Vorkondensatherstellung der Firma Ems Chemie und bei der Entwässerungsanlage der ARA Chur bestätigt.

Viele Daten können auch Katalogen oder Firmenunterlagen entnommen werden. Die Angaben und Beschreibungen zu den technischen Leistungen sind meistens sehr ausführlich, während die energierelevanten Daten unvollständig, nicht konsistent und unübersichtlich sein können. Die Qualität und Ausführlichkeit der Kataloge ist von Firma zu Firma sehr unterschiedlich

Zum Energieverbrauch ist im Allgemeinen der Strombedarf pro Modul im Ampère angegeben. Diese Angaben sind für den Planer notwendig zur Auswahl des Netzteils mit dem passenden Leistungsbereich.

### **7.3 Bedeutung des Energieverbrauchs von Prozesssteuerungen im industriellen Umfeld**

Prozesssteuerungen weisen in der Regel eine Leistungsaufnahme von 3 bis 10 Watt auf. Die Peripherie als Bindeglied zum Prozess mit einer Vielzahl von Aktoren und Sensoren hat bereits ei-

nen wesentlich grösseren Leistungsbedarf von typisch 100W bis 1kW. Die gesteuerten Prozesse benötigen häufig Leistungen im Bereich von 1kW bis zu mehreren MW.

Betrachtet man beispielsweise einen Prozess mit 10kW Leistung sowie 100W für die Peripherie und 10W für die Prozesssteuerung, so ist daraus ersichtlich, dass der Energiekonsum des Prozesses absolut dominant ist. Die Prozesssteuerung braucht in diesem Beispiel lediglich 1 Promille und die Peripherie 1 Prozent der gesamten Leistung. Die energetische Bedeutung der Prozesssteuerung ist daher in den meisten Fällen marginal. Wenn es gelingt, die Prozesse - auch nur geringfügig - zu verbessern, so ist der Gewinn um ein Vielfaches grösser. Aus diesem Grund konzentrieren sich die Planer in der Industrie mehr auf die Optimierung der Prozesse als auf die Steuerung.

Aufgrund der kleinen Stückzahlen fällt der gesamtschweizerische Verbrauchsanteil kaum ins Gewicht.

In Anbetracht der Grössenordnungen drängt es sich auf, die Anstrengungen zur Optimierung der Energieeffizienz auf die Prozesse zu konzentrieren, da hier die grössten Potenziale sind. Dies setzt eine umfassende Ausbildung in der Prozess- und Automatisierungstechnik voraus sowohl für die Planer als auch für die Betreiber.

## 8. Quellenverzeichnis

- [1] RAVEL: Sparen mit Automation – Beispiele. 1995. Bezug: EDMZ, 3003 Bern Bestell-Nummer: 724.397.43.51d
- [2] RAVEL: Einsatz der integralen Gebäudeautomation – Optimierung und Betrieb. 1994. Bezug: EDMZ, 3003 Bern Bestell-Nummer: 724.362d
- [3] K.F. Früh: Handbuch der Prozessautomatisierung, Oldenbourg Industrieverlag München, 2000.
- [4] Karl Pusch: Grundkurs IEC 6 11 31. Vogel Fachbuch. 1999
- [5] RAVEL: Sensorik. 1994. Bezug: EDMZ, 3003 Bern Bestell-Nummer: 724.397.43.52d
- [6] Bernard Aebischer und Alois Huser: Energieeffizienz von Computer Netzgeräten, Schlussbericht 2002. Bezug: Bundesamt für Energie 3003 Bern.
- [7] **Internetsite des Forschungsprogramms** [www.electricity-research.ch](http://www.electricity-research.ch) Download von Zusammenfassungen und der ausführlichen Schlussberichte durchgeführter Forschungsarbeiten, Rubrik „Publikationen“: Download von Publikationen des Programmleiters.

Kontaktadressen:

- *Schweizerische Gesellschaft für Automatik* [www.sga.ee.ethz.ch](http://www.sga.ee.ethz.ch): In dieser Vereinigung sind insbesondere Fachhochschulen vertreten.
- *SAP Schweizerischer Automatik Pool*, Bleicherweg 21, 8022 Zürich, [www.sap-verband.ch](http://www.sap-verband.ch): Brancheninformationen und statistische Unterlagen
- Ausgewählte Industriebetriebe zur Analyse einiger Fallbeispiele aus der Praxis:
  - EMS-Chemie, Reichenauerstrasse, 7013 Domat/Ems, [www.ems-chemie.ch](http://www.ems-chemie.ch)
  - ARA Chur, 7002 Chur