

Zeitschrift:	Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber:	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band:	101 (1983)
Heft:	35
Artikel:	Von der Instrumentierung zur Automatisierung in der Energie- und Haustechnik: Speicherprogrammierbare Steuerungs- und Regelungsanlagen (SPS)
Autor:	Rambousek, Hans / Willers, Jobst
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-75186

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 16.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Von der Instrumentierung zur Automatisierung in der Energie- und Haustechnik

Speicherprogrammierbare Steuerungs- und Regelungsanlagen (SPS)

Von Hans Rambousek und Jobst Willers, Basel

Energietechnische Anlagen wollen geführt und überwacht sein. Die ersten speicherprogrammierbaren Steuerungs- und Regelungsanlagen für energie- und haustechnische Installationen sind in Betrieb und die Erfahrungen können ausgewertet werden. Zum Problem, wann ein speicherprogrammierbares System einem konventionellen vorgezogen werden soll und zu dem des Planungs und Projektablaufs beim Einsatz dieser modernen Technologie, bestehen noch Unklarheiten.

In einer kurzen Einführung wird der Stand der Steuerungs- und Regelungstechnik gestreift. Der Aufbau und die Funktion von speicherprogrammierbaren Systemen wird erklärt, ein Entscheidungsbaum für korrekte Systemevaluation und ein detailliert ausgearbeiteter Projektablauf mit den Kosten- und Honorarrelationen vorgestellt.

Im zweiten Teil wird eine ausgeführte Anlage für die Steuerung und Regelung aller haustechnischen Installationen eines Büro/Laden-Gebäudes besprochen. Die Gebäudesanierung geschieht nach einem mehrstufigen Konzept, wobei die jeweils erforderliche Anpassung dank der speicherprogrammierbaren Steuerungs- und Regelungsanlage sehr einfach ist. Durch die Installation dieser Anlage zeichnen sich in diesem Objekt bereits namhafte Energieeinsparungen ab.

Einführung

Auch die haustechnischen Installationen werden von den Entwicklungen in der Mikroprozessoren-technik betroffen. Die Spezialingenieure der Fachrichtung Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik (MSR) werden sich mit dieser neuen Technologie auseinander setzen müssen. Da jedoch *Umlagerungen beim Planungs- und Projektablauf* von Haustechnikanlagen beim Einsatz von mikroprozessorgeführten Steuerungs- und Regelungsanlagen auftreten, werden auch Architekt und Bauherr davon betroffen sein – bei unsachgemässer Anwendung oder schlecht vorbereiteter Auftragsabwicklung an der empfindlichsten Stelle, nämlich bei den Kosten oder den dadurch entstehenden Folgekosten.

Stand der Steuerungs- und Regelungstechnik

Regeln bedeutet die Aufrechterhaltung oder Wiederherstellung eines wünschenswerten Zustandes, der andernfalls gestört würde und in Unordnung geraten könnte. Nebst dieser grundlegenden Aufgabe der Automatisierung sind in der Gebäude- und Energietechnik auch die Abarbeitung von im voraus definierten Programmen oder das Schalten aufgrund bestimmter Ereignisse erforderlich; diese lassen sich am besten mit dem Begriff *Steuern* umschreiben. Spätestens seit der Energieverknappung ist ein neuer Aufgabenbe-

reich in der Automatisierung anzutreffen, das *Optimieren*, d. h. das Erreichen des gewünschten Endzustandes unter minimalstem Einsatz von Energie. Diese drei Teilaufgaben wurden bisher separat durch getrennte Hardware (oder Technologien) und oft auch durch (leider) getrennte Planung gelöst. Dies kann sich in Zukunft ändern. Speicherprogrammierbare Steuerungs- und Regelungssysteme (SPS) sind in der Lage diese drei Funktionen, oder mit andern Worten den gesamten Automatisierungsprozess, in einem zu bewältigen. Dabei ist die Regelungstechnik die Voraussetzung und die theoretische Basis der Automatisierung, und als ideales Medium der Regelungstechnik wiederum kann man heute ohne Übertreibung die Mikroelektronik bezeichnen.

Ausblick

In einer kürzlich von den Verfassern durchgeföhrten Marktanalyse lässt sich der *Durchbruch der Mikroelektronik* in der Haustechnik Mitte der Achtzigerjahre erwarten. Dieser wird nicht schlagartig stattfinden, denn einem grossen Aufgabenpotential für die Hardware-Fabrikanten stehen ebenso grosse, wenn nicht gar grössere, Anforderungen an die Software-Hersteller und an die Anwender gegenüber.

Haben speicherprogrammierbare Systeme ihre Berechtigung?

Wo und wann der Einsatz von SPS-Systemen gerechtfertigt erscheint, soll aus

vorliegendem Aufsatz hervorgehen. Allgemeingültige Auswahlkriterien lassen sich allerdings nicht aufstellen, unterscheiden sich doch die Kriterientabellen sparten- und branchenweise erheblich.

Moderne haustechnische Installationen arbeiten bereits mit verhältnismässig kleinen Energieverbrauchswerten. Weitere Energieeinsparungen lassen sich hier nur noch durch die Erweiterung des Komfortbandes und das Fahren der Anlagen bis an dessen Grenzen erzielen; eine ausserordentlich anspruchsvolle Aufgabe an das Regelsystem!

Grundlagen

Verbindungsprogrammiert (VPS)

Dieser nach DIN genormte Begriff umschliesst alle *konventionelle* Steuerungs- und Regelungstechnik. Die Steuer- und Regelfunktionen sind durch die *elektrische Verdrahtung* oder die *pneumatische Verrohrung* fest gegeben. Verschiedene *Hardwarekomponenten* wie Regler, Vergleichselemente, Mittelwertbildner übernehmen die Regelaufgaben, andere ebenfalls fest zugeordnete Komponenten wie Relais, Hilfsschützen, Uhren sind für die Steuerungsfunktionen verantwortlich. Eine einmal erstellte Anlage lässt sich nur durch mechanische Eingriffe oder Geräteersatz neu «programmieren».

Speicherprogrammierbar (SPS)

Bei einem speicherprogrammierbaren Steuerungs- und Regelungssystem bildet ein *Mikroprozessor* das Grundelement. Die *Zentraleinheit* ist das Herz der SPS und enthält den Mikroprozessor. Seine Aufgabe ist die schrittweise Ausführung der im Programmspeicher enthaltenen Anweisungen. *Ein- und Ausabeeinheiten* bilden die Verbindung zwischen Zentraleinheit und Prozess. Sie passen SPS-interne Signale dem angeschlossenen Prozess bezüglich Signalpegel und Leistung an. Alle Steuerungs-, Regelungs- und Optimierungsfunktionen werden durch ein *Programm* umschrieben. Änderungen, Anpassungen oder Erweiterungen der einmal definierten Funktionen ist jederzeit durch einfaches Umprogrammieren möglich.

Eine Art Zwischenlösung zwischen VPS und SPS stellt die *DDC-Regelung* (DDC = Direct-Digital-Control) dar. Bei ihr werden die einzelnen Regelkreise wie bei der SPS durch, allerdings fest programmierte, Regelbausteine gelöst. Für die Steuerungsfunktionen zu dieser

Analog	Kontinuierliches Verhältnis zwischen Information und Repräsentation (Analog-Regelung)
Binär	Im Dualsystem dargestellte Information (nur die Werte 0 und 1)
Bit	Binärziffer, kleinste Informationseinheit vom Wert 0 oder 1
Bus	Sammelschiene für Informationstransport
Byte	Informationseinheit von 8 Bit. Speichergrößenangaben in Kilobyte (1 KByte = 1024 Byte)
Chip	Halbleiterbaustein mit integriertem Schaltkreis
CPU	Zentraleinheit (Central-Processing-Unit)
Digital	Als Ziffernfolge dargestellte Information (Digitale Regelung = DDC = Direct Digital Control)
EPROM	Programmspeicherbaustein, mit UV-Licht lösbarer Lesespeicher
Hardware	Alle mechanischen, magnetischen, elektrischen oder elektronischen Komponenten eines Systems
Interface	Anpassungselektronik, bei SPS z.B. die Ein- und Ausgabebaugruppen
Mikroprozessor	Integrierte Schaltung als Zentraleinheit eines Mikrocomputers
MSR	Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik
RAM	Schreib- und Lesespeicher mit beliebigem Zugriff
ROM	Nur Lesespeicher, vom Hersteller fest programmiert
Software	Bei SPS Oberbegriff für alle Programme, Inbetriebsetzung, Schulung und Dokumentation
SPS	Speicherprogrammierbares Steuerungs- und Regelungssystem
VPS	Verbindungsprogrammierte Steuerung und Regelung
Wort	Datenwort in Form von Bit-Kombinationen, Mikrocomputer-8-Bit-Worte, Minicomputer-16-Bit-Worte, Grosscomputer-32-64-Bit-Worte

Tabelle 1. Begriffsdefinitionen

Regelung kommt dann meist eine konventionelle VPS zum Einsatz (Bild 1).

Stellung der SPS in der Computerwelt

Wo nun ist die speicherprogrammierbare Steuerung im weitläufigen Gebiet der Computertechnik angesiedelt? Die *Begriffsvielfalt* (vgl. Tab. 1) ist dem Laien und sogar dem Computer-Fachmann nicht immer gleichermaßen verständlich und so ist denn auch von Mikro-, Mini-, Supermini-, Büro- und Hobby-Computern die Rede. In Industrie und Haustechnik werden die Systeme als Heiz-Computer, Automatisierungssystem, Rechenkartensystem, Optimierungs-Computer, speicherprogrammierbare Steuerung und Leitsystem angepriesen.

Es ist in der Tat schwierig, eine exakte Definition zu geben, weil man die Systeme anhand mehrerer Eigenschaften als auch bezüglich ihres Einsatzes und Verwendung umschreiben muss. Etwas steht allerdings fest, dass die Hardware immer auf Basis der Mikroprozessoren-technik aufgebaut ist.

Als grobe Klassierung kann man etwa eine Parallelhierarchie (gemäss Tab. 2) für den kommerziellen und industriellen Einsatz aufstellen.

Speicherprogrammierbare Steuerungen und Regelungen

Die *SPS-Hardware* stellt eine mehr oder weniger komplizierte, aber absolut logisch aufgebaute Apparatur dar. Zum vollausgebauten SPS-System gehören

jedoch noch andere Elemente, welche mit Ausnahme der *Software* alle auch bei der konventionellen Technik anzutreffen sind:

- SPS-Hardware
- Anlagegeräte (MSR-Hardware): Fühler, Ventile, Stellglieder
- Schaltschrank (Elektro-Installatior-nen)
- Elektrische Verdrahtung
- Programmierung
- Inbetriebsetzung
- Schulung
- Dokumentation

(Software)

SPS-Hardware

Die Bauformen von europäischen und amerikanischen Systemen unterscheiden sich in einer von den Ein- und Ausgängen getrennten *Zentraleinheit* (USA) und einer *19"-Kompaktbauweise* (Europa). Mittlerweilen sind auch zahlreiche amerikanische Hersteller zur 19"-Baugruppenträger-Bauweise übergegangen. Wenngleich die Systeme der grossen amerikanischen Firmen im Gegensatz zu den Produkten europäischer Konkurrenz weiterverbreitet sind, ist ein fachlicher Rückstand nicht zu erkennen. Es besteht gar bei mehreren Kriterien ein gewisser Vorsprung der europäischen Produkte (Bild 2).

Der Mikroprozessor einer SPS arbeitet im Takt das Programm Schritt für Schritt ab. Der Programmablauf wiederholt sich dauernd:

1. Nächsten Befehl aus Programmspeicher holen
2. Befehl ausführen
3. Nächsten Befehl holen usw.

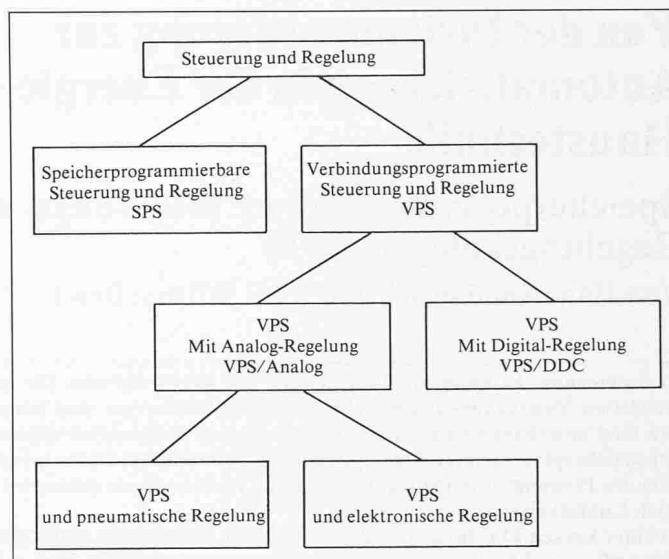


Bild 1. Einteilung der Steuerungs- und Regelungssysteme in der Energie- und Haustechnik

Ein wesentlicher Unterschied in der Funktionsweise des Mikroprozessors gegenüber der konventionellen Verdrahtung liegt darin, dass nicht alle Schaltkreise simultan, sondern *zeitlich nacheinander* abgearbeitet werden. Die Taktfrequenz der heute üblichen Mikroprozessoren liegt zwischen 1 und 4 MHz. Diese hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit erlaubt bei entsprechend organisierten Programmen eine für die Energie und Haustechnik genügend schnelle Reaktionszeit von wenigen Millisekunden auf ein eintretendes Ereignis, d. h. eine zu konventionellen Relaissteuerungen vergleichbare Ansprechzeit.

Anlagegeräte

Für die *Messwerterfassung* wird zuerst mit Sensoren der physikalische Wert gewandelt und in ein genormtes elektrisches Messwertsignal umgeformt. Wichtig ist, dass wie bei der analogen Regelungstechnik *genormte Ausgangssignale* verwendet werden.

Aktiver Fühler 0...20 mA, 4...20 mA, 0...10 V, -10...+10 V

Passiver Fühler Pt 100, Ni 1000

Die *Stellglieder* wie Ventile, Klappen-antriebe, etc. arbeiten meist mit den genormten Signalpegeln 0...10 V bzw. 4...20 mA oder bei Antrieben ohne Stellungsregler mit einer 3-Punkt Relais-Schaltung. Die Ausgabeeinheiten einer SPS sind heute *voll kompatibel* zu den auf dem Markt erhältlichen Stellgliedern.

Das Stellverhältnis der Ventile und die Laufzeit der Motorantriebe sind weiter-

Anlagen im Bürobereich für Administration und Wirtschaft	Industriesysteme für Gebäude, Verfahrenstechnik und Prozess
EDV-Anlage	Prozess-Leittechnik
Minicomputer	Speicherprogrammierbare Steuerung und Regelung
Mikrocomputer	Speicherprogrammierbare Steuerung

Rechenanlage mit grosser Leistungsfähigkeit, gegeben durch kurze Operationszeiten und grosse Kapazität der Massenspeicher (Disks für mehrere Megabytes). Periphere Geräte wie Terminals, Zeitdrucker und Speicher.

Betriebsfertiger Rechner mit allen notwendigen Komponenten (Zentraleinheit, Spannungsversorgung, Peripherie). Betriebssoftware für den Dialogverkehr und je nach Einsatz Softwarebausteine für Statistik, Regelungstechnik usw. Die Rechner sind in der Regel schneller als ein Mikrocomputer.

In diesem System läuft meist nur ein, und nur ein ganz bestimmtes, Programm ab. Als Komponenten kommen Mikroprozessoren-Chips, Halbleiterspeicher zur Aufnahme von Programmen und Daten zum Einsatz. Der Mikrocomputer oder die SPS verfügt oft nicht über eine eigene Stromversorgung und muss aus einer separaten Gleichstromquelle gespiesen werden. Die Systeme sind speicherprogrammierbar, wozu verschiedene Programmiersprachen zur Verfügung stehen.

Tabelle 2. Grobe Klassierung zur Einordnung der SPS in der Computertechnik mit Vergleich zu kommerziellen Systemen

hin an die Kreisverstärkung der Regelrichtung anzupassen.

Elektrische Installationen

Bei kleineren Anlagen wird durch den Einsatz von SPS-Systemen noch keine Platzersparnis bei den Schalttafeln feststellbar sein. Bei grösseren Systemen ist eine *Platzersparnis* von $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ gegenüber konventionellen Systemen zu erwarten. Der Schalttafelaufbau wird in jedem Fall einfacher und damit kostengünstiger. Die Feldverdrahtung muss mit entsprechender Umsicht ausgeführt werden (Störfelder auf Messsignale).

Obwohl ein SPS-System die Möglichkeiten zu einem vollumfänglichen Automatisierungssystem bietet, soll auf manuelle Eingriffe bei den Hauptkom-

ponenten via Handschalter (z. B. Schalterstellung «O-Hand-Autom.») vorerst nicht verzichtet werden.

Software

Im Kapitel «Projektablauf» werden wir auf diesen Begriff zurückkommen, wir beschäftigen uns hier deshalb nur mit der Programmierung als Teilarbeit aus dem Gesamtpaket Software. Die Grundlage zur Realisierung eines SPS-Systems ist das *Pflichtenheft*. Dieses stellt die Beschreibung des Prozesses und deren Arbeitsweise dar und kann verschiedene Darstellungsformen aufweisen:

- In Textform, meist mit Zeichnungen und Prinzipschemas ergänzt
- Als Flussdiagramm oder Programmablaufplan (PAP)

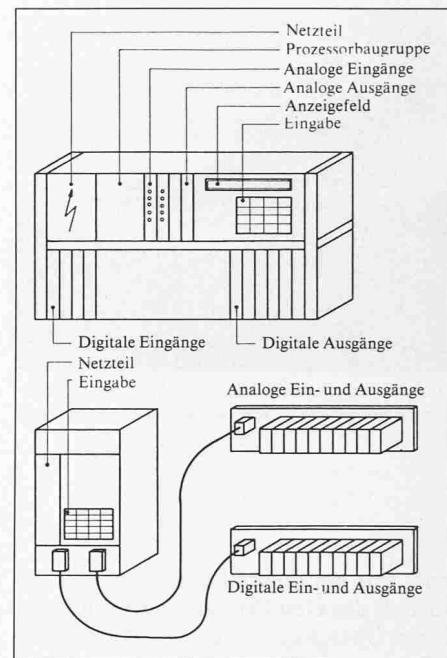


Bild 2. Europäische und amerikanische SPS-Hardware-Bauformen

- Als Funktionsplan
- Mündliche Erläuterungen

Auf letzteres sollte verzichtet werden. Da der Funktionsplan nach DIN 40719, Teil 6 als *graphische Darstellung* einer Steuerungsaufgabe den Programmablaufplan und den verbalen Funktionsbeschrieb ersetzt, wird diese Darstellungsart wohl in Zukunft vermehrt Anwendung finden. Der Funktionsplan wird vom Fachingenieur in seiner *Grobstruktur* erstellt und vom MSR-Ingenieur mit all den speziellen schaltungs- und regelungstechnischen Feinheiten zur *Feinstruktur* ergänzt. Bild 3 zeigt den Unterschied zwischen Grob- und Feinstruktur einer Heizgruppensteuerung und Regelung. Einige SPS-Fabrikate arbeiten bereits mit dem Funktionsplan als Programmiersprache.

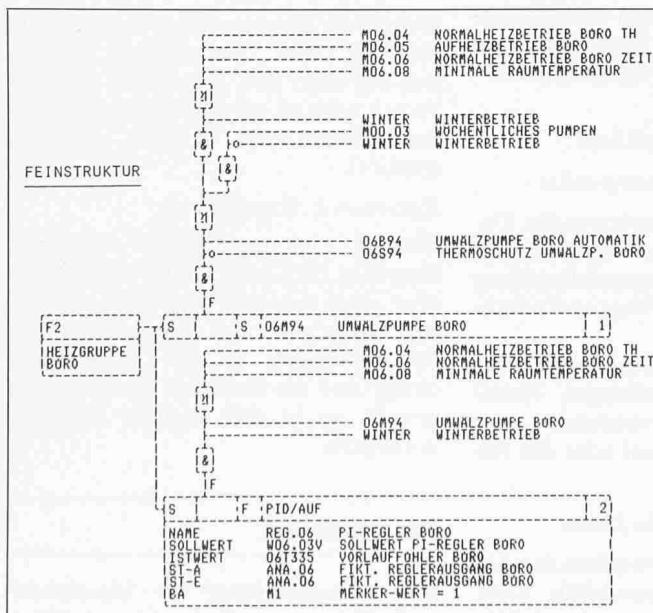


Bild 3. Grob- und Feinstruktur der Funktionsplandarstellung einer Heizgruppen-Regelung

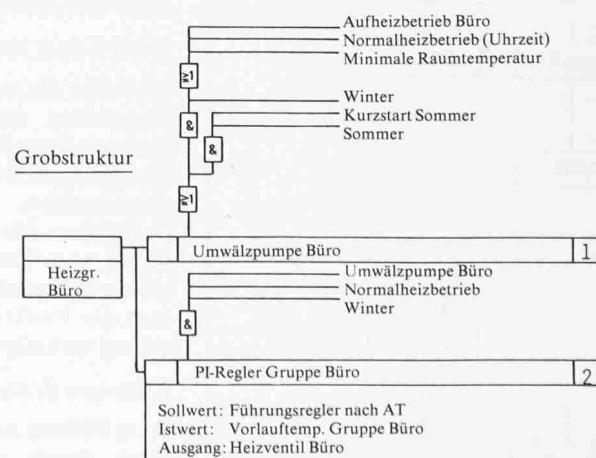




Bild 4. Programmier- und Testplatz für speicherprogrammierbare Steuerungs- und Regelungssysteme

che, was bei dieser Darstellungsart natürlich die Gewähr für einen reibungslosen Übergang von der Prozessdarstellung zur Prozessrealisation bietet (Bild 4).

Systemevaluation – mit SPS oder konventionell?

Die Auswahl der SPS-Hardware soll dem erfahrenen Planer oder MSR-Ingenieur überlassen werden. Die 5 Hauptkriterien, welche für oder gegen den Einsatz der SPS-Technologie sprechen, sind nachstehend beschrieben und in Form eines Entscheidungsbaumes festgehalten (Bild 5). Diese 5 Hauptkriterien sind wohl technischer Natur, aber allesamt auch kostenbeeinflussend. Dieser Entscheidungsbaum, der bewusst einfach gehalten ist und zweifellos noch ausbaubar wäre, soll verhindern, dass unnötiges Variantenstudium betrieben wird. Oft wird vom Planer eine Parallelbearbeitung von konventionellen und SPS-Systemen verlangt, in der Absicht, dass nach Offerteingang dann vergleichbare Kosten vorliegen. Dies stellt den Planer vor beinahe unlösbare Probleme. Zum besseren Verständnis möge die hierarchische Gliederung eines Automatisierungsprozesses dienen (vgl. auch Kapitel «Honierung / Kosten»):

Taktische Ebene: Betriebsgrössenerfassung, Datenvorverarbeitung, Regel- und Steuerfunktionen.

Koordinationsebene: Führungs- und Koordinationsfunktionen eines Teilprozesses.

Strategische Ebene: Übergeordnete Automatisierung und Optimierung des Gesamtprozesses (Leitebene).

Während ein konventionelles System diese drei Ebenen schon rein hardwaremäßig trennt und gar nicht in der Lage ist Aufgaben aus allen drei Ebenen auch nur auf annähernd vergleichbare Weise wie ein SPS-System zu übernehmen, wird ein direkter Vergleich dieser beiden Technologien meistens scheitern.

Die 5 Hauptkriterien in Kürze:

Kriterium A: Anzahl Datenpunkte

Mit mehr als ca. 40 zu erfassenden Datenpunkten kann eine speicherprogrammierbare Steuerung und Regelung ein günstiges Kosten / Nutzen-Verhältnis aufweisen.

Definition: Als **Datenpunkt** wird jedes Signal von Fühler, Stellorgan, Handschalter, Signallampe verstanden, mit dem der Funktionsablauf oder die Regelung verknüpft ist.

Kriterium B: Strategische Ebene

Beim Führen und Überwachen der Anlagen durch ein hierarchisch übergeordnetes Leitsystem ist ein beträchtli-

cher Datentransfer zwischen dem Steuerschrank und der Leitzentrale notwendig. Bei einer SPS kann der Zugriff direkt über eine serielle Schnittstelle erfolgen, was den Installationsaufwand reduziert.

Kriterium C: Verarbeitungstiefe, Komplexität

Mit zunehmender Komplexität der Anlage nimmt die Anzahl Verknüpfungen in der Steuereinrichtung zu. Bei der verbindungsprogrammierten Steuerung ergibt sich aufgrund der notwendigen Hilfsrelais ein grösserer Schalterschrank. Bei einer speicherprogrammierbaren Steuerung ist die Komplexität lediglich eine Frage der Speicherkapazität.

Definition: Die **Verarbeitungstiefe** V ist die Anzahl der signalverarbeitenden Grundfunktionen (N) einer Steuereinrichtung bezogen auf die Summe ihrer Eingänge (N_E) und Ausgänge (N_A).

$$V = \frac{N_S}{N_E + N_A}$$

Kriterium D: Zeit

Erfolgt die Realisierung der MSR-Einrichtung unter Zeitdruck, so ergeben sich mit einer SPS **Vorteile**, da mehrere Projektschritte parallel bearbeitet werden können (vgl. Kapitel «Projektablauf»).

Kriterium E: Regelgüte

Eine mit digitalen Signalen arbeitende Regelung (SPS oder DDC) weist gegenüber einer analogen Regelung eine höhere Regelgüte auf. Werden erhöhte Anforderungen an die Regelabweichung und die Stabilität der Sollwerte gestellt, so ist eine digitale Regelung vorteilhaft.

Projektlauf

Der **Planungsablauf** für Maschinen- und Elektroingenieure (dazu zählen

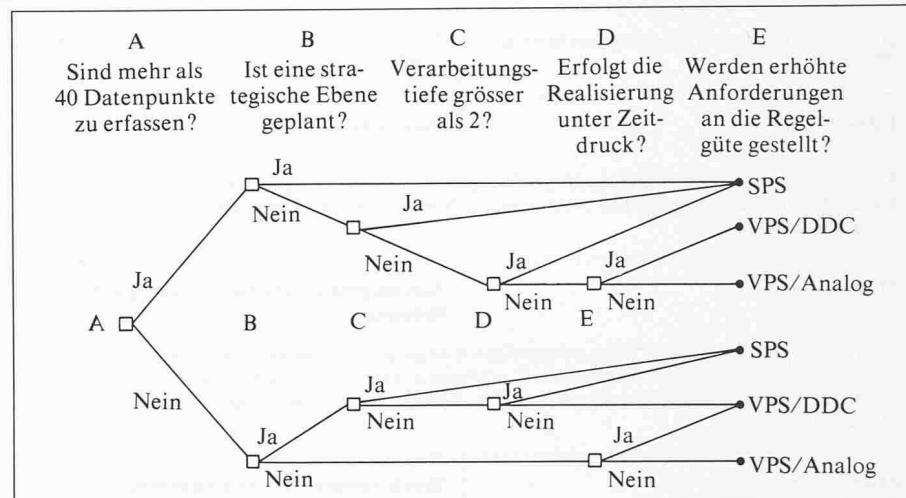
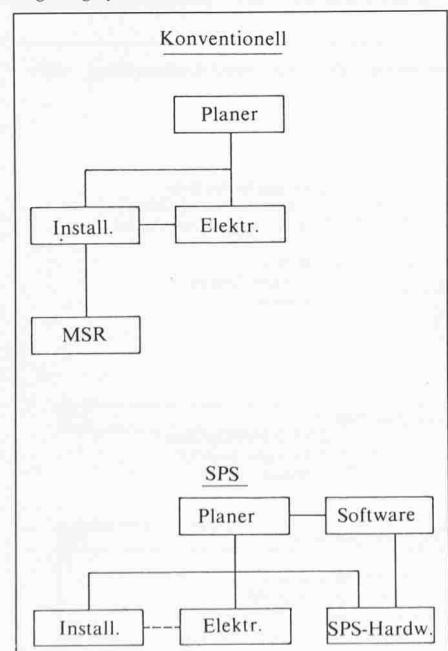


Bild 5. Entscheidungsbaum zur Wahl der Technologie der Steuerungs- und Regelungsanlagen

Bild 6. Projekt-Organigramm bei konventionellen und speicherprogrammierbaren Steuerungs- und Regelungssystemen



auch die Planer der Haustechnik) darf als bekannt vorausgesetzt werden. Er ist in der SIA-Honorarordnung 108 mit den entsprechenden Teilleistungen umschrieben. An einem typischen Haustechnik-Projekt sind normalerweise 3 Parteien beteiligt: der planende Ingenieur, der Installateur oder Anlagebauer (als dessen Unterlieferant der MSR-Spezialist) und der Elektriker. Bei der Anwendung eines SPS-Systems treten 2 neue Parteien in Erscheinung, der *SPS-Hardware-Lieferant* und der *Software-Hersteller* (Bild 6). Die Leistungen des Hardware-Lieferanten, nämlich die korrekte und termingerechte Auslieferung der Hardware stellt nichts Neues dar.

Die Leistungen des Software-Herstellers hingegen und die Zusatzleistung des Planers für die Erstellung der Verdrahtungsschema sind *neue, separate in Auftrag zu gebende Teilleistungen*. Bei konventioneller Steuerungs- und Regelungstechnik werden diese Arbeiten als versteckte Leistungen des Elektrikers und des MSR-Spezialisten als Unterlieferant des Installateurs erbracht.

Der im Bild 7 detailliert dargestellte Planungs- und Projektablauf weist einige bemerkenswerte Details auf: *Vorprojekt a), Anlageprojekt b)* und *Angebotsunterlagen c)*: Sie werden wie bisher durch den planenden Ingenieur bearbeitet. Bei terminlich gedrängter Ausführung kann die SPS-Hardware bereits während der Projektphase b) in Auftrag gegeben werden. Die Evaluation der Hardware erfolgt in diesem Fall natürlich bereits während der Vorprojektphase und ist technisch ohne weiteres zu diesem Zeitpunkt möglich.

Ausführungsunterlagen d): Die Parallelbearbeitung von Programmierung, SPS-Hardware-Fabrikation und Schaltschrankfabrikation erlaubt auch hier eine Zeiterparnis.

Installation und Inbetriebsetzung e+f): Die Trockentests mit Programm und SPS-Hardware im Büro des Software-Lieferanten erlauben, dass bei der Inbetriebsetzung eine nahezu fehlerfreie Steuerungs- und Regelungsanlage zur Verfügung steht.

Abnahme und Service g): Die Funktionsgarantie muss bei einem SPS-System in Anlehnung an die Handhabung bei einer konventionellen Anlage durch den Software-Lieferanten übernommen werden. Die Schulung des Betriebspersonals und die Dokumentation der Anlage wird durch den Softwarelieferanten, eventuell in Zusammenarbeit mit dem planenden Ingenieur betreut.

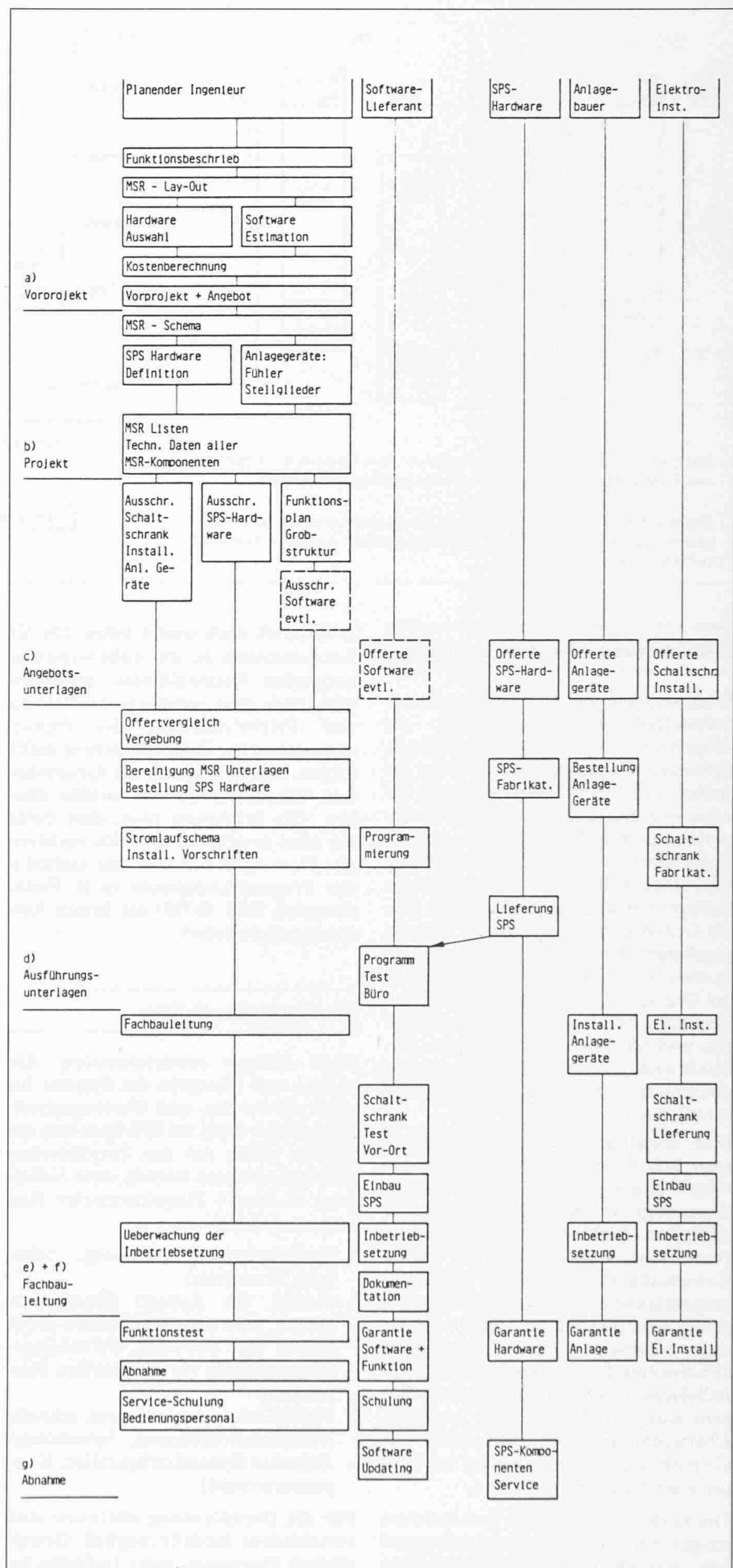


Bild 7. Projektablauf

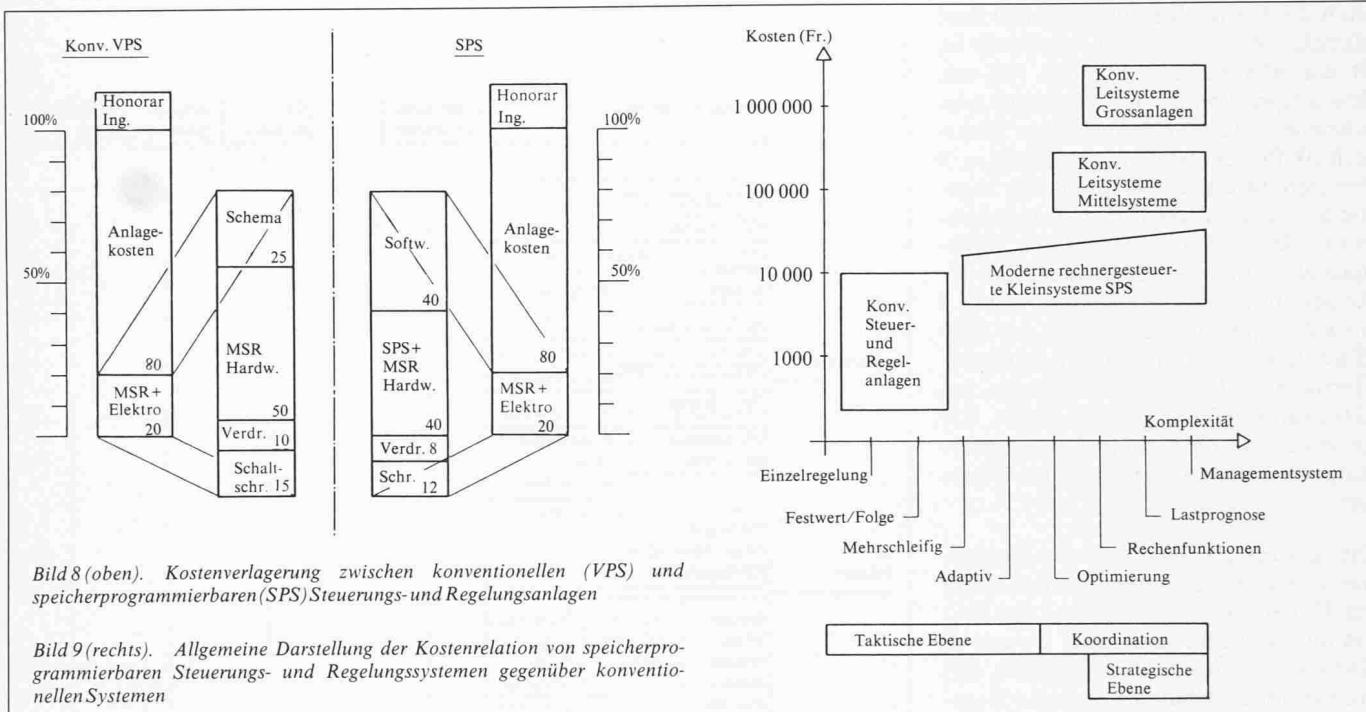


Bild 8 (oben). Kostenverlagerung zwischen konventionellen (VPS) und speicherprogrammierbaren (SPS) Steuerungs- und Regelungsanlagen

Bild 9 (rechts). Allgemeine Darstellung der Kostenrelation von speicherprogrammierbaren Steuerungs- und Regelungssystemen gegenüber konventionellen Systemen

Honorierung / Kostenrelationen

Wohl wurde erwähnt, dass die gesamte Softwarebearbeitung bestehend aus *Programmierung, Inbetriebsetzung, Schulung, Dokumentation* und das Erstellen der *Elektroschemas* neu in Erscheinung tretende und speziell zu honorierende bzw. in Auftrag zu gebende Teilarbeiten seien. Auf die Gesamtkosten eines Auftrages hat diese Arbeitsumlagerung keinen Einfluss wie dies die Graphik in Bild 8 darstellt. Die angegebenen Verhältniszahlen stimmen in etwa für ein Anwendungsfällen mittlerer Grösse, d. h. für etwa 300–500 Datenpunkte bei diversen Heizungs-, Klima- und Kälteanlagen im gleichen Gebäude und bei einer Anlagenhierarchie mit strategischer Ebene (Optimierungsfunktionen).

Eine etwas allgemeinere Darstellung zeigt Bild 9. Heutige SPS-Systeme vermögen eine eigentliche Lücke bei den Steuerungs- und Regelungssystemen zu schliessen. Während man sich bisher, vereinfacht ausgedrückt, für kleine Komplexität der Steuerungs- und Regelungsaufgaben und kleine Kosten, oder grosse Komplexität und teures Leitsystem entscheiden musste, bewältigen SPS-Systeme bei mittleren Kosten jeden beliebigen Grad von Komplexität. Zudem wird der Ausbau zum zentralen Überwachungssystem mit SPS als Grundbaustein billiger als bei konventioneller Ausführung.

Die Kosten für Hardware und Software steigen mit zunehmendem Ausbaugrad bzw. Komplexität der zu erledigenden Aufgabe. Die Hardwarekosten werden

in Zukunft noch weiter fallen. Da die Softwarekosten an die wohl weiterhin steigenden Personalkosten gebunden sind, muss eine *verstärkte Normierung und Vereinheitlichung des Projektablaufs* und der Programmierung dafür sorgen, dass in Zukunft die Gesamtkosten ebenfalls reduziert werden können. Die Erfahrung zeigt, dass dafür der oben erwähnte, minuziös vorbereitete Planungsablauf und eine einheitliche Programmiersprache (z. B. Funktionsplan DIN 40719) die besten Voraussetzungen bieten.

Nachprojektarbeiten

Nach erfolgter Inbetriebsetzung, Abnahme und Übergabe des Systems beginnt die Service- und Wartungsphase. Diese Phase muss bei SPS-Systemen *unbedingt* gleich bei der Projektierung miteingeschlossen werden, eine Aufteilung in ihre 4 Hauptparameter lässt erahnen weshalb:

- *Systemerhaltung* (Wartung, Schulung, Ersatzteile)
- *Betrieb des Systems* (Energieverbrauch, Kontrollmöglichkeiten durch Planer und Betreiber, Fernabfragemöglichkeiten via öffentliches Telefonnetz)
- *Verfügbarkeit* (Ausfallkosten, schnelle Wiederinbetriebnahme, Fernabfrage)
- *Sicherheit* (Systemkonfiguration, Komponentenwahl)

Für die Dienstleistung «Service» sind verschiedene Modelle möglich. Grundsätzlich übernimmt jeder Lieferant die Serviceleistung für das von ihm gelie-

ferte Material oder Dienstleistung. Um zu verhindern, dass im Störungsfalle 4 Servicetechniker aufgeboten werden, ist vorerst zur *Diagnose der Störung* ein kompetenter Fachmann zu kontaktieren. Dieser eruiert die Fehlerquelle und bietet den entsprechenden Spezialisten auf oder organisiert die Ersatzteillieferung.

- A: Fehlerdiagnose durch Betreiber vor Ort und aufbieten der entsprechenden Spezialisten.
- B: Fehlerdiagnose durch Anlagebauer vor Ort in Form eines normalen Service-Calls, danach aufbieten der entsprechenden Spezialisten
- C: Fehlerdiagnose durch den Software-Lieferanten entweder vor Ort oder durch Fernabfrage.

Zur Diagnose können *Fernwirksysteme* zum Einsatz gelangen, welche über das Telefonnetz Austausch und Übermittlung von Daten und Befehlen ermöglichen. In den meisten Fällen kann damit bereits eine Ferndiagnose über die Fehlerursache gestellt werden. Diese vereinfachende Fernabfrage spart nicht nur viel Aufwand der verantwortlichen Servicestellen, sondern ergibt auch für den Bauherrn Einsparungen in der Form eines günstigen Serviceabonnements.

Anwendungsbeispiel

Im Sommer 1982 wurden im Gebäude der *Publicitas AG in Biel* zwei speicherprogrammierbare Steuerungs- und Regelungssysteme installiert. Den Entscheid für die Realisierung der Anlage fällte die Bauherrschaft im Juli 1982,

nachdem verbindliche Unternehmerofferten vorlagen. Bereits im November 1982 war der Einbau abgeschlossen, und die Anlage wurde im Dezember 1982 in Betrieb genommen. Diese kurze Realisierungszeit war durch die parallele Bearbeitung von Hardware-Fabrikation und Software-Erstellung und -Testen möglich.

Beim Objekt Biel handelt es sich um ein Büro/Laden-Gebäude aus dem Jahr 1965 im Stadtzentrum (Bild 10). Die Büroobergeschosse sind nur beheizt, das Café/Restaurant und die Schalterhalle belüftet und das Modehaus auf 3 Etagen klimatisiert. Da die haustechnischen Installationen von unterschiedlichster Art sind, eignet sich das Objekt Biel als ideales Anwendungsbeispiel für eine speicherprogrammierbare Anlage.

Gebäudedaten

Beheizte Bruttogeschoßfläche	3 320 m ²
Beheizte Gebäudevolumen	10 080 m ³
k-Wert (Summen)	2,2 W/m ² K
Gebäudeoberfläche	1 850 m ²
Formfaktor A_0/V	0,18 m ⁻¹

Gebäudenutzung

Modehaus	1. UG-1. OG
Café/Restaurant	1. UG-EG
Coiffeursalon	1. OG
Büro	1. OG-5. OG
Wohnungen	Attika

Gebäudetechnische Installationen

2 Heizkessel mit 5 Heizgruppen je	2×380 kW
1 Boiler	1 000 l
3-Zonen-Klimaanlage	
Modehaus	19 000 m ³ /h
1 Luftvorhang Modehaus	40 000 m ³ /h
3-Zonen-Lüftungsanlage	
Café	4 500 m ³ /h
1 Kältemaschine, 4stufig	28 kW _{el}
9 Kleinanlagen (Abluft, Sumpfpumpe usw.)	

Energie-Konzept

Der Ausgangspunkt für die Sanierung war eine im Winter 1981/1982 durchgeführte Energiestudie. Auf die Energieuntersuchung soll an dieser Stelle nicht näher eingetreten, sondern nur die wichtigsten Resultate aufgeführt werden, vgl. Tab. 3. Aufgrund der extrem hohen Energiekennzahl und der alarmierenden Verluste von 42% des Wärmeverbrauchs wurde der Bauherr eine mehrstufige Sanierungs-Konzept unterbreitet:

1. Sofortmassnahmen
(Energieeinsparung: 12%)
2. Brenneranlage und Erneuerung der Steuerungen und Regelungen
(zusätzl. Einsparung: 15%)

3. Neue Kessel/Boileranlage (zusätzl. Einsparung: 19%)

Bis heute sind die Massnahmen 1 und 2 realisiert. Obwohl bei einem späteren Ersatz der Heizkessel und des Boilers (Paket 3) Änderungen an den Steuerungs- und Regelungsanlagen notwendig werden, sind mit einem vorgezogenen Umbau der Regelungsanlagen keine unnötigen Vorinvestitionen getätigt worden.

Die jetzt installierten speicherprogrammierbaren Systeme lassen sich durch einfache Softwareänderung (Umprogrammierung) jederzeit an neue Betriebsbedingungen anpassen. Die geschätzten Investitionen für die Massnahmen 1 und 2 und die berechneten Energieeinsparungen liessen bei den Energiepreisen von 1982 eine Kapitalrückflusszeit von 8,5 Jahren erwarten.

Konzept der speicherprogrammierbaren Steuerung und Regelung (SPS)

Randbedingungen

Vor der Sanierung waren die Steuerungs- und Regelungsanlagen in 2 Schaltschränken mit je 2 Feldern untergebracht. Diese Grundkonzeption wurde auch für die neue Anlage beibehalten, da die neuen Steuerschränke am alten Ort installiert werden mussten (enge Platzverhältnisse) und der Umschluss nicht mehr als ein Wochenende in Anspruch nehmen durfte. Die Feldverdrahtung des gesamten Leistungs-teils (Ventilatoren, Pumpen, Brenner, Maschinen) wurde aus dem gleichen Grunde nicht erneuert. Alle andern Komponenten der Steuerungs- und Regelungssysteme wurden nach einem vorgeplanten zeitlichen Ablauf neu installiert bzw. ersetzt:

- Neue Anlagefühler und Messwertgeber installieren
- Neue Feldverdrahtung zu den Anlagefühlern und Stellgliedern
- Ersatz der Stellglieder, Ventile und Klappenantriebe, danach kurzfristige manuelle Ventilbetätigung
- Anschluss der neuen Feldverdrahtung an die neuen Anlagegeräte
- Umschlusswochenende, d. h. Entfernen der alten Steuerschränke, Montage der neuen Schaltschränke, Test der Verdrahtung, Einbau der SPS-Systeme und Beginn der Inbetriebsetzung.

Hardware-Beschrieb

Obwohl die Kapazität von nur einem SPS-System im Falle Biel ausreichend wäre, um die gesamten haustechnischen Installationen aufzunehmen, wurden aus den erwähnten konzeptuellen Gründen zwei voneinander unabhängige Systeme gewählt (Bild 11). In herkömmlicher verbindungsprogram-



Bild 10. Sitz der Publicitas AG in Biel

mierter Relais- und Hilfsschützentechnik hätte man nicht zuletzt auch aus Platzgründen auf die Verwirklichung einiger der im nächsten Kapitel beschriebenen Spezialprogramme verzichten müssen (Tabelle 4).

Software-Architektur

Normalerweise wird bei einer mikroprozessorgeführten Steuerung das im Programmspeicher gelagerte Programm zyklisch durchlaufen. Je länger oder je komplexer das Programm ist, umso länger wird die Zyklus- oder Durchlaufzeit und umso länger dauert es, bis eine Reaktion auf ein Ereignis stattfindet. In den meisten Anwendungsfällen in der Haustechnik jedoch ist keine extrem schnelle Reaktion notwendig. Ihr muss aber, vor allem bei aufwendigen Programmen mit zahlreichen Optimierungsfunktionen wie im vorliegenden Falle, durch geschickte Programmierung Rechnung getragen werden. Bei der Anlage Biel kam der Funktionsplan nach DIN 40719 als Programmiersprache zur Anwendung. Beim Funktionsplan wird nun nicht zyklisch das gesamte Programm durchlaufen, sondern jeweils Schritt um Schritt abgearbeitet. Da nur gerade jeder aktive Schritt und Befehl ausgeführt wird, kann unnötiges Durchlaufen von inaktiven Programmteilen eingespart werden.

Tabelle 3. Energieverbrauchszahlen und Energiebilanz des Objektes Biel

Jahresbrennstoffverbrauch Öl	110 000 kg/a
Elektrizitätsverbrauch	1 280 MWh/a 350 MWh/a
Energiekennzahl Wärme	1 420 MJ/m ² a
Energiekennzahl Elektrizität	380 MJ/m ² a
Energiekennzahl total	1 800 MJ/m ² a
<i>Energiebilanz Wärme:</i>	
Raumheizung inkl. Lüftungsverluste	29%
Klimaanlage Modehaus	13%
Luftschleier	7%
Lüftungsanlage Café	5%
Warmwasser	4%
Verluste	42%
<i>Energiebilanz Elektro:</i>	
Heizung / Lüftung / Klima	23%
Licht	42%
Kraft	35%

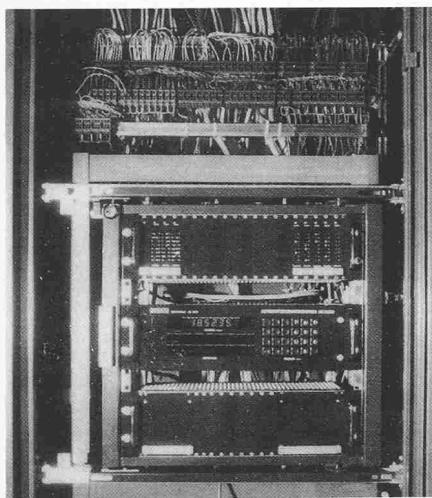


Bild 11. Eines der beiden speicherprogrammierbaren Steuerungs- und Regelungssysteme für die haus-technischen Installationen

Im Fall Biel ist der Funktionsplan zudem noch in *Teilketten* unterteilt (Tab. 5). Alle Teilketten werden parallel und Schritt für Schritt abgearbeitet. Mit dieser doppelten Programmstrafung konnte in Biel eine mittlere Reaktionszeit von 20 ms auf ein eintretendes Ereignis in der Teilkette «Sicherheit» erreicht werden.

Programmbibliothek

Auch in der Anlage Biel fanden zahlreiche Steuerungsprogramme aus der *konventionellen Steuerungstechnik* Anwendung. Ihre Funktionen sind hinreichend dokumentiert in Form von Programmablaufplänen (PAP) oder Kontaktplänen und können verhältnismässig einfach in die Programmiersprache übertragen werden. Ähnlich verhält es sich bei den Grundelementen der Regelungsaufgaben.

Tabelle 4. Steckbrief der beiden SPS-Systeme im Objekt Biel

Mechanischer Aufbau

Zwei Systeme zu je 3 Baugruppenträger 19" Breite: 482,6 mm = 19" Höhe: 132,5 mm = 3 HE Tiefe: 205 mm bzw. 280 mm Elektronik auf Einfach-Europaformat 160×180 mm

Prozessor

8-Bit-Mikroprozessor INTEL 8085 A mit 2,5 MHz Systemtakt

Systemsoftware

6 KByte EPROM-Betriebssoftware 8 KByte RAM

Anwendersoftware

Dialogorientierte Anwenderfachsprache zur direkten Eingabe des Funktionsplanes nach DIN 40719 Teil 6.

Notwendige Speicher

SPS-Heizung: 24 KByte SPS-Lüftung/Kälte: 27 KByte

E/A-Kanäle

	SPS-Heizung	SPS-Lüftung/Kälte
Digitale Eingänge:	30	46
Digitale Ausgänge:	24	40
Analoge Eingänge:	12	23
Analoge Ausgänge:	8	14

Standardprogramme:

- Anfahrsteuerungen
- Motorschutzschaltungen
- Kaskadensteuerungen und Stufenschaltungen
- Frostschutzschaltungen
- Frischluft/Umluft-Klappensteuerungen
- Luftwäscherregelungen
- Regelalgorithmen allgemein

Andere häufig verwendete Programmelemente wie Zeitbildung, Rechnen, Regeln usw. werden bei gut eingeführten SPS-Systemen als *Programm- oder Funktionsbausteine* mitgeliefert.

Im folgenden sind einige der *wichtigsten Spezialprogramme* aus den drei hierarchischen Ebenen des Automatisierungssystems vorgestellt:

Taktische Ebene

Gleitende Luftwäscherbefeuchtung aufgrund der relativen Raumluftfeuchte: Um ein schlechtes Sprühverhalten bei kleiner Teillast zu verhindern, schaltet die Befeuchtung unterhalb 30% Last aus.

Schiebung der Heizkesseltemperatur in Abhängigkeit der Außentemperatur: Bei grösseren Kesselanlagen ist bei gleichzeitigem Betrieb der Kesseltemperatur eine unangenehme Nebenerscheinung im Teillastbereich feststellbar. Mit der reduzierten Kesseltemperatur geht gleichzeitig auch eine reduzierte Last einher, die Brennerleistung wird trotz korrekt ausgelegtem 2-Stufenbetrieb im Verhältnis zu den Lastansprüchen überdimensioniert, und extrem kurze Brennerlaufzeiten sind die Folge davon. Durch progressive Vergrösserung

der Schaltdifferenz der Brennerregelung bei abnehmender Kesseltemperatur werden längere Brenndauer und damit weniger Vorspülverluste erreicht (Bild 12).

Koordinierende Ebene

Sequenzschaltung (Kaskadenschaltung)

Heizkessel: Durch die hier gewählte, extrem lange Verzögerungszeit von einer Stunde für die Zuschaltung des 2. Kessels konnte ein ausgeglichener und sparsamer Betrieb erreicht werden, d. h. es muss während einer Stunde Vollast beim Kessel 1 gefahren werden, bevor der Kessel 2 freigegeben wird.

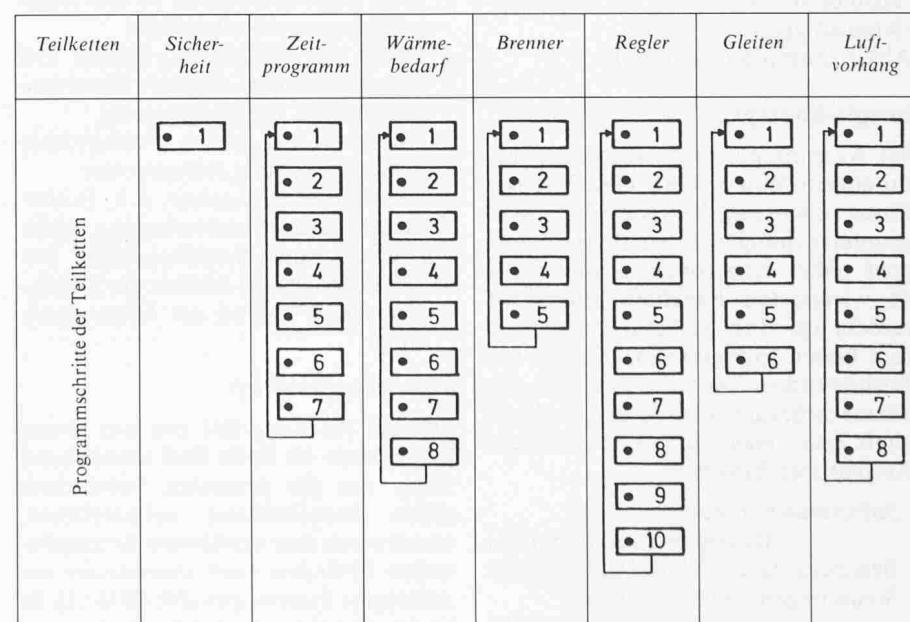
Sequenzschaltungen bei der Klimaanlage:

Angenommen die Wärmelast nehmen ab, d.h. es werde immer weniger Wärme und immer mehr Kälte benötigt, so schliesst zuerst das Nachwärmeventil. Als nächstes öffnet die Mischklappe von ihrer Minimalposition bis auf 100 Prozent Außenluftanteil. Erst wenn der Kältebedarf mehr zunimmt, öffnet auch das Kühlventil. Die vier Stufen der Kältemaschine werden nacheinander zugeschaltet.

Bedarfsangepasste Pumpenlaufzeiten: Diese Programme überwachen den Betrieb aller Pumpen und geben deren Betrieb nur dann frei, wenn eine Last im betreffenden hydraulischen Kreislauf verlangt wird. Als Vorkehrung gegen das Festsetzen der Pumpen bei langen Stillstandsperioden werden alle Pumpen periodisch für kurze Zeit eingeschaltet.

Automatische Prioritätenumschaltung der beiden Kälte-Kompressoren aufgrund der erfassten und gespeicherten Betriebszeiten.

Tabelle 5. Software-Architektur mit Funktionsplan-Programmierung im Steuerungssystem für die Heizung im Objekt Biel



Programmierbare individuelle Betriebszeiten aller Anlagen, wobei die festen Feiertage permanent einprogrammiert sind und die variablen jeweils am Vortag durch Tastendruck gespeichert werden können.

Strategische Ebene

Gleitendes Schalten der Raumheizungsgruppen: Nach Arbeitsschluss schaltet die Heizung automatisch ab. Der Raum kühlst nun aus. Der Prozessor bestimmt nun aus der Abkühlungsgeschwindigkeit den spätmöglichsten Zeitpunkt, zu dem die Heizung wieder eingeschaltet werden muss, damit bei Arbeitsbeginn wieder Solltemperatur herrscht.

Sommer/Winter-Umschaltung der Heizungsanlage: Im Rechner sind zu jeder Zeit die Außentemperaturen der vergangenen 24 h gespeichert. Liegt ihr Mittelwert über 16 °C, so wird die Heizung abgeschaltet. Der Rechner schaltet sie wieder ein, sobald der Mittelwert unter 14 °C absinkt. Die Mittelwertbildung der Temperatur verhindert ein unerwünschtes Umschalten der Heizung bei kurzzeitigen Temperaturänderungen und berücksichtigt gleichzeitig das Wärmespeichervermögen der Gebäudekonstruktion.

Betriebsstufenschaltung der Klimaanlage: Die Anlage arbeitet auf der kleinen Stufe, solang sich das Raumklima innerhalb der definierten Komfortgrenzen bewegt. Zeitliche Verzögerungen verhindern auch hier ein Pendeln der Anlage zwischen der 1. und 2. Stufe.

Kostenanalyse, Erfolgskontrolle

Kosten

Bereits bei den Auswahlkriterien für ein SPS-System wurde gesagt, dass allgemeingültige Aussagen kaum gemacht werden können. Ähnlich verhält es sich beim Kriterium der Kosten. Bei einem vollbestückten SPS-System werden naturgemäß die spezifischen Kosten pro Datenpunkt oder pro Funktion kleiner als, wie im vorliegenden Fall Biel, bei einem aus konzeptionellen und sicherheitstechnischen Gründen nur teilbelagten System. In der Tab. 6 sind die spezifischen Kosten der reinen SPS-Hardware und der übrigen MSR-Komponenten pro Datenpunkt (analog und digital) angegeben. Sie sind mit einer für derartige Darstellungen üblichen Ungenauigkeit behaftet und nur für gebäudetechnische Anwendungen mit mehr als 200 Datenpunkten zutreffend.

Erfolgskontrolle

In der Energiestudie wurde die Kapitalrückfluszeit für die hier getroffenen Massnahmen zu 8,5 Jahren errechnet, bei einer Jahresenergieeinsparung von

27%. Noch konnte das Sommerverhalten nicht vollständig ausgewertet werden. Die Extrapolation des nun sanierteren Winterbetriebs lässt jedoch eine Jahresenergieeinsparung von 29% erwarten, was mit den gemäss Kostenvorschlag eingehaltenen Investitionen eine Kapitalrückfluszeit von 8,0 Jahren bedeutet.

Sicherheit

Die MTBF-Theorie (Mean-Time-Between-Failure, Zeitraum zwischen zwei Fehlern), angewandt auf die beschriebene Anlage in Biel, liesse nach etwa 6–10 Jahren Betriebszeit eine Fehlerhäufigkeit bei den Elektronik-Komponenten von maximal 2–3 Ausfällen pro Jahr erwarten. Durch präventive Wartung und rechtzeitigen Komponentenersatz lassen sich derartige Störfälle praktisch eliminieren.

Ausblick

Der vorliegende Aufsatz ist für den Anwendungsfällen «Haustechnik» geschrieben worden. Zweifellos ist dies nur ein kleiner Teil der möglichen Anwendungen von speicherprogrammierbaren Steuerungs- und Regelungssystemen. Die hier wiedergegebene Information ist nicht unbesehen auf die anderen Anwendungsgebiete übertragbar. Bereits liegen wesentliche Beiträge zum Thema der Strukturierung von Automatisierungssystemen vor. Wünschenswert wären detaillierte Checklisten oder Entscheidungshilfen in der Art des hier vorgestellten, aber zweifellos noch ausbaubaren und zu verfeinernden Entscheidungsbaumes.

Hersteller und Anwender sollten sich auf bestimmte Normen (Normschnittstellen) und austauschbare sowie ergänzungsfähige Komponenten einigen. Dies würde Automatisierungssysteme (noch) langlebiger gestalten, so dass nicht durch die dauernden Innovationen ganze Systeme anstelle nur einzelner Komponenten erneuert werden müssten.

Die Zuverlässigkeit und Sicherheit werden sich durch fehlererkennende und fehlertolerierende Strukturen, zusammen mit Verbesserungen in der Sensor- und bei der Signalverarbeitung, erhöhen lassen.

Die Anlage Biel ist in einer gut verständlichen Tonbildschau dokumentiert. Sie kann durch die Autoren einem größeren Interessentenkreis auf Anfrage vorgeführt werden.

Adresse der Verfasser: H. Rambousek, Ing. HTL (Energietechnik), und J. Willers, Ing. HTL (MSR-Technik), c/o Suiselectra Ingenieurunternehmung AG, Malzgasse 32, 4010 Basel.

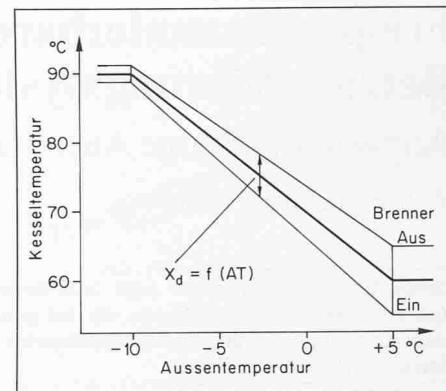


Bild 12. Progressive Vergrösserung der Schaltdifferenz X_d mit abnehmender Kesseltemperatur

Tabelle 6. Relative Kosten von MSR-Anlagen unter Einsatz von SPS-Systemen in der Gebäudetechnik für Anlagen mit mehr als 200 Datenpunkten

Anlageteil	Fr./Datenpunkt
SPS-Hardware	200.-
Anlagegeräte (Fühler, Stellglieder)	130.-
Schaltzschrank, Verdrahtung	140.-
Software (Programme, Testen, Inbetriebsetzung, Schulung)	330.-
MSR komplett (Anlage Biel)	800.-
Bandbreite aus anderen Kostenanalysen: MSR komplett	750.- bis 920.-

Literatur

- Früchtenicht, H. W.; Koolman M.: «Sind Automatisierungssysteme allein nach Prozessanforderungen strukturierbar?» Regeltechnische Praxis. 25/4, April 1983
- Leonhard W.: «Zur Entwicklung der Regeltechnik». Regeltechnische Praxis. 25/4, April 1983
- Weichlich, S.; Prutz G.: «Auswahlkriterien für den Einsatz digitaler dezentraler Automatisierungssysteme». Regeltechnische Praxis. 24/5, Mai 1982
- Weck, M.; Klingenber, G.: «Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS), eine Marktübersicht». VDI-Z 121 (1979), Nr. 17
- Deutsches Institut für Normung: DIN-Norm 19226, 19237, 19239, 40700 Teil 14, 40719 Teil 6, 44300
- Spezialausgabe: «Speicherprogrammierbare Steuerungen». Elektrotechnische Zeitschrift (etz). 102 (1981), Heft 18
- Herbst, D.: «Microcomputer in der Haustechnik». Gesundheitsingenieur, gi 102 (1981), Heft 4-6, gi 103 (1982), Heft 2
- Suiselectra AG: «Energieeinsparung an bestehenden Gebäuden». Schweizerischer Nationalfonds, Nationales Forschungsprogramm Energie, Januar 1981
- ASHRAE: «Procedure for Determining Heating and Cooling Loads for Computerized Energy Calculations, Algorithms for Building Heat Transfer Subroutines». New York, Febr. 1975
- Osborne, A.: «Einführung in die Mikrocomputertechnik». te-wi Verlag GmbH, München 1978
- Jordan, W.; Urban, H.: «Strukturierte Programmierung». Springer Verlag 1978
- Basler Ingenieur- und Architektenverein (BIA): «Industrielle Elektronik». Weiterbildungskurs 1983
- Projektierungshandbücher und Systemunterlagen der verschiedenen Hardware-Lieferanten