

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
Das Impulsprogramm RAVEL	3
1 Zusammenhang Automation – RAVEL	6
1.1 Stromsparen durch Automatisieren	6
1.2 Bedeutung des heutigen Standes	8
1.3 Warum Strom sparen?	9
2 Strom in der Industrie	12
2.1 Substitution von Energieträgern	14
2.2 Schlussfolgerungen	15
3 Energieanalyse	16
3.1 Ziel der Energieanalyse	16
3.2 Vorgehen zur Energieanalyse	16
3.3 Formulierung und Umsetzung der Konsequenz	22
4 Automationskonzepte	23
4.1 Begriffe der Automation	23
4.2 Strukturen	36
5 Sparstrategien	50
5.1 Wegweiser	50
5.2 Realisierung	52
5.3 Inbetriebnahme	61
5.4 Taktiken während des Betriebes	61
5.5 Einfluss des Unterhalts	62
5.6 Energie-Kontrollsysteme	63
5.7 Offline-Strategien	65
5.8 Wirtschaftlichkeit	65

6	Automationsprojekte	69
6.1	Problemanalyse	69
6.2	Spielregeln	69
6.3	Motivationsprobleme	72
6.4	Projektführung	74
6.5	Aufwandschätzung und -kontrolle	75
6.6	Phasenplan	76
6.7	Meilensteine	79
6.8	Reviews	80
	Anhang	82
A	Grundbegriffe	82
A.1	Energie und Leistung	82
A.2	Wirkungsgrade	88

Vorwort

Das Impulsprogramm RAVEL

Das Aktionsprogramm des Bundesamtes für Konjunkturfragen ist auf sechs Jahre befristet (1990-1995) und setzt sich aus den drei Impulsprogrammen zusammen:

- BAU – Erhaltung und Erneuerungen
- RAVEL – Rationelle Verwendung von Elektrizität
- PACER – Erneuerbare Energien

Mit den Impulsprogrammen, die in enger Kooperation von Wirtschaft, Schulen und Bund durchgeführt werden, soll der qualitative Wertschöpfungsprozess unterstützt werden. Dieser ist gekennzeichnet durch geringen Aufwand an nicht erneuerbaren Rohstoffen und Energien sowie abnehmende Umweltbelastung, dafür gesteigerten Einsatz an Fähigkeitenkapital.

Im Zentrum der Aktivität von RAVEL steht die Verbesserung der fachlichen Kompetenz, Strom rationell zu verwenden. Neben den bisher im Vordergrund stehenden Produktions- und Sicherheitsaspekten soll verstärkt die wirkungsgradorientierte Sicht treten. Aufgrund einer Verbrauchsmatrix hat RAVEL die zu behandelnden Themen breit abgesteckt. Neben den Stromanwendungen in Gebäuden kommen auch Prozesse in der Industrie, im Gewerbe und im Dienstleistungsbereich zum Tragen. Entsprechend vielfältig sind die Zielgruppen: Sie umfassen Fachleute auf allen Qualifikationsstufen und Entscheidungsträger, die über stromrelevante Abläufe und Investitionen zu befinden haben.

Kurse, Veranstaltungen, Publikationen, etc.

Umgesetzt werde die Ziele von RAVEL – aufbauend auf Untersuchungsprojekten zur Verbreiterung der Wissensbasis – durch Aus- und Weiterbildung sowie Informationen. Die Wissensvermittlung ist auf die Verwendung in der täglichen Praxis ausgerichtet. Sie baut hauptsächlich auf Publikationen, Kursen und Veranstaltungen auf. Jährlich wird eine RAVEL-tagung durchgeführt, an der jeweils – zu einem Leitthema – umfassend über neue Ergebnisse, Entwicklungen und Tendenzen in der jungen, faszinierenden Disziplin der rationellen Anwendung von Elektrizität informiert und diskutiert wird.

Interessenten können sich über das breitgefächerte, zielgruppenorientierte Weiterbildungsangebot in der Zeitschrift IMPULS informieren. Sie erscheint viermal jährlich und ist (im Abonnement) beim Bundesamt für Konjunkturfragen, 3003 Bern, gratis erhältlich.

Jedem Kurs- und Veranstaltungsteilnehmer wird jeweils eine Dokumentation abgegeben. Diese besteht zur Hauptsache aus der für den entsprechenden Anlass erarbeiteten Fachpublikation. Die Publika-

tionen können auch bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale (EDMZ), 3000 Bern, bezogen werden.

Zuständigkeiten

Um das ambitionöse Bildungsprogramm bewältigen zu können, wurde ein Organisations- und Bearbeitungskonzept gewählt, das neben der kompetenten Bearbeitung durch Spezialisten auch die Beachtung der Schnittstellen im Bereich der Stromanwendung sowie die erforderliche Abstützung bei Verbänden und Schulen der beteiligten Branchen sicherstellt. Eine aus Vertretern der interessierten Verbände, Schulen und Organisationen bestehende Kommission legt die Inhalte des Programmes fest und stellt die Koordination mit den übrigen Aktivitäten, die den rationellen Einsatz der Elektrizität anstreben, sicher. Branchenorganisationen übernehmen die Durchführung der Weiterbildungs und Informationsangebote. Für deren Vorbereitung ist das Programmleitungsteam verantwortlich. Die Sachbearbeitung wird im Rahmen von Ressorts erbracht, die inhaltlich, zeitlich und kostenmässig definierte Einzelaufgaben zu lösen haben.

Zur Dokumentation

Das Ressort «Elektronik» wurde gebildet, um innerhalb der Vielfalt der RAVEL-Themen dasjenige der Automation schwerpunktmässig zu behandeln. Es befasst sich mit allen Stufen der Automation in industriellen und gewerblichen Prozessen und Verfahren. Im RAVEL-Konzept 89 steht zu den Zielen der Satz :

«Unter rationeller Verwendung von Elektrizität wird der intelligente Einsatz der Energie durch systematische Verbesserung der Wirkungsgrade und Vermeidung überflüssiger Nutzleistungen verstanden. Dabei gilt es, die Nutzoptimierung der elektrischen Energie mit integraler Betrachtungsweise anzustreben.»

Der intelligente Einsatz von Elektronik und die Automation sind geradezu prädestiniert, zur Erreichung dieses Ziels beizutragen.

Natürlich ist der Erfolg von Sparmassnahmen immer abhängig von Motivation und Einsatz jedes einzelnen. In einem Industriebetrieb wäre das Personal jedoch überfordert, wenn es in jeder Situation im laufenden Betrieb sekundengenau die richtige Entscheidung – auch bezüglich des Energieverbrauchs – treffen müsste. Diese Entscheidungen müssen vorausgesehen werden und in das Netz der verschiedenen Anforderungen eingeknüpft werden. Dafür bietet die Automation die ideale Plattform.

Automatisierungsprojekte sind aber auch ohne RAVEL schon anspruchsvoll, aufwendig und aufgrund der schlecht darstellbaren Vielschichtigkeit mit Risiko behaftet.

Damit die Ziele von RAVEL erreicht werden können, muss das entsprechende Know-How in allen Phasen eines Automatisierungs-

projektes und dessen Anwendung vorhanden sein und auch verwendet werden. Die Erkenntnis soll weiter vermittelt werden, dass energieeffiziente Anlagen gleichzeitig auch ökonomisch effiziente Anlagen sind, dass also die von RAVEL vorgeschlagenen Massnahmen in die gleiche Richtung zielen wie die kommerziellen Aufgabenstellungen.

Die vorliegende Dokumentation wird an die Teilnehmer des Workshops «Automation und RAVEL» abgegeben, die sich anhand des hier präsentierten Stoffes auf den Workshop vorbereiten und anschliessend als Gedankenstütze verwenden können. Ziel des Workshops ist es, den im Bereich der Automation tätigen Personen zu zeigen, wie man durch optimales Vorgehen bei Planung, Konzept, Realisierung Betrieb einer automatisierten Anlage effizient produzieren kann und so mit dem Potential der modernen Elektronik und Prozessleittechnik auch elektrische und andere Energie sparen kann.

Selbstverständlich begrüssen wir aber auch den Leser, der diese Dokumentation selbstständig durcharbeitet, und wünschen ihm dazu Vergnügen und Erfolg.

1 Zusammenhang Automation – RAVEL

1.1 Stromsparen durch Automatisieren

Was haben Automation und Elektronik mit RAVEL zu tun?

Anders formuliert: Kann man denn mit Automation Strom sparen? Die Antworten kann man je nach Temperament verschieden klassieren:

1.1.1 Zwei kurze Antworten

Automation an sich spart keinen Strom –
aber
man **kann** mit Automation Strom sparen!

1.1.2 Die sachlichen Antworten

Der analytisch vorgehende Mensch versucht die Antworten auf eine Frage zu strukturieren und stellt sie in einer Tabelle dar. Als Ingenieure haben auch wir dies getan und sind dabei zur umseitigen Darstellung gelangt. Die kursiv gedruckten Kommentare sind als Antworten zu verstehen, die schattierten Fälle sind diejenigen, bei denen am meisten Optimierungspotential vorhanden ist.

Diese Tabelle ist nur als Einstieg in die Problematik an dieser Stelle aufgeführt. Die vielen Fragen, die sie provoziert, werden im Verlaufe des Textes noch im Detail beantwortet.

Spart Automation Strom?			
Fallgruppen	1. Kein Einfluss	2. Nein, negativer Einfluss	3. Ja, positiver Einfluss
Gesamthaft gesehen	<i>Energiebedarf des automatisierten Verfahrens ist zu klein.</i> Selten bei industriellen Prozessen	<i>Es werden Tätigkeiten (z.B. Handling) automatisiert, die vorher von Hand gemacht wurden.</i> Hinterfragen, weil spezifischer Verbrauch dank optimiertem Durchsatz trotzdem tiefer sein kann	<i>Gesamtenergiebedarf kleiner dank besserem Ausstoss aus gleicher Infrastruktur.</i>
Prozessbezogen	<i>Wirkungsgrad ist nicht von der Steuerung abhängig?!</i> Hinterfragen, weil Verbrauch selten nur vom Wirkungsgrad abhängig ist.	<i>Steuerung läuft unbefriedigend und verursacht Standzeiten und Ausschuss.</i> Kann saniert werden!	<i>Prozess selbst wird durch intelligente Steuerung optimiert.</i>
Potential der Automation	<i>Automation nützt Sparpotentiale nicht!</i> Häufig, kann verbessert werden	<i>Automation nützt Sparpotentiale nicht.</i> Häufig, kann verbessert werden.	<i>Sowohl Durchsatz wie Prozess sind optimiert.</i>

1.1.3 Die emotionalen Antworten

Wir sprechen zwar sachlich, aber wir denken und handeln selten entsprechend. Deshalb sind die folgenden Aussagen denkbar:

- Ein von der Rezession geplagter Unternehmer wird etwa sagen, dass er andere Sorgen habe als die paar Prozent Energiekosten.
- Bei uns kann man nichts mehr verbessern, sagt der Betriebsleiter.
- Einige Konzernsprecher werden etwa behaupten, dass sie schon längstens alle möglichen Massnahmen getroffen haben und dass es jetzt nur noch an den politischen Rahmenbedingungen wie etwa der Einführung einer Energiesteuer abhängt, ob sich weitere Massnahmen lohnen.
- Die Automatisierungsbranche wird zur Antwort geben, dass die gutgemeinten Ratschläge von RAVEL schon längst angewandt worden wären, wenn die Kunden dafür etwas bezahlen würden.

- Die Buchhalter werden sagen, dass sich eine gezielte Sparmassnahme bei genauer Berücksichtigung von Investitionsrechnungen mit Umsatz-, Zins-Entwicklungs- und Energiepreisszenarien und Abschreibungsplan nicht lohne.
- Und der Automationsingenieur wird sagen: Eine weitere diffuse Anforderung im Pflichtenheft, das hat mir gerade noch gefehlt!

Der Leser möge diese überzeichneten, provokativen und verallgemeinernden Aussagen verzeihen. Wir wollen sie im folgenden auch relativieren und die Sorgen der hier arg verunglimpften Leute nicht vergessen. Wer aber Freude am Fortschritt hat, wird sich gerne die Mühe nehmen, eine saubere, gut durchdachte Maschine oder Anlage zu planen und zu realisieren.

1.1.4 Die triviale Antwort

Arbeit ist das Produkt von Leistung mal Zeit (streng genommen das Integral von Leistung über die Zeit).

$$E = \int P dt$$

Um Arbeit zu minimieren, muss ich also

- **entweder die Leistung senken**
oder
- **die notwendige (Bearbeitungs-) Zeit verkürzen**
oder
- **am besten beides tun.**

Automation ist die naheliegende Folge auf diesen Sachverhalt, denn man kann mit ihr den Leistungsbedarf den momentanen Bedingungen anpassen und kann den Einsatz der Anlagenkomponenten zeitlich optimieren.

1.2 Bedeutung des heutigen Standes

In den meisten Anlagen und Maschinen, die in den letzten 10 Jahren automatisiert wurden, sind bereits Ansätze zur rationellen Verwendung von Energie enthalten. So sind die ärgsten Verluste gemildert, und die Automatik hilft meistens, zeitliche Abläufe zu verkürzen.

Reichlich Raum für
Verbesserungen

Andererseits sieht man fast überall noch grosse Verbesserungsmöglichkeiten durch Kombination der Strategien und durch die Anwendung von verbessertem Zeitmanagement auf allen Steuer-, Leit- und Dispositionsebenen eines Betriebs.

Eine objektive Betrachtung fördert zutage, dass

- es nur wenige industrielle Anlagen gibt, die das Potential der Automation zum Stromsparen voll ausnützen.
- nur wenige Pflichtenhefte erstellt werden, bei denen effiziente Stromverwendung überhaupt irgendwo als Bedingung aufgeführt ist.

- es etliche Beispiele gibt, bei denen die Folge der Automation ein Mehrverbrauch von Strom war (auch spezifisch).
- es nur wenig Fachliteratur und Schulungsunterlagen gibt, die sich mit diesen Themen überhaupt auseinandersetzen. Dies im Gegensatz zu den erzielbaren Einsparungen bei fossilen Brenn- und Treibstoffen, die international und national gut dokumentiert sind.

Ausnahmen bilden diejenigen Anlagen und Vorrichtungen, bei denen der Stromverbrauch ein dermassen dominanter Kostenfaktor ist, dass der Zwang zur Optimierung schon lange spürbar war (z.B. Elektrochemische Anwendungen, Kraftwerke und Energieübertragungen).

Jeder andere Stand der Dinge würde auch einigermaßen erstaunen. Vor rund zweihundert Jahren wurde das Zeitalter der Industrialisierung eingeläutet. Vorerst wurde die maschinelle Produktion durch Antriebe wie Dampfmaschine und Wasserturbinen ermöglicht, wobei Mensch und Tier als Antriebskraft ersetzt wurden. Dabei galt auch hier zuerst das Interesse der Funktion, das heisst es wurden Maschinen erfunden. Erst später begann man sich Gedanken über die effizientere Verwendung der Energie zu machen (z.B. bei Dampflokomotiven). Heute stehen wir mit der Automatisierungstechnik wieder am gleichen Ort: In den letzten zwanzig Jahren wurde fast nur daran gearbeitet, wie die Produktion funktionell verbessert und rationalisiert werden konnte. Dabei hat sich die Automationstechnik stark entwickelt und in der Folge auch viel mit sich selbst beschäftigt. Boshaft gesagt, oft wurde mehr in die Komfortsteigerung investiert als in Problemlösungen. Für die Beschäftigung mit Effizienzfragen ist eben erst jetzt Morgendämmerung angebrochen.

Wo stehen wir denn in der Anwendung der Automation?

Morgendämmerung!

1.3 Warum Strom sparen?

Auch diese Frage kann vielfältig beantwortet werden, sowohl mit allgemein gehaltenen Antworten als auch mit themenspezifischen.

1.3.1 Allgemeine Antwort

Die eingangs gestellte Frage kann man generalisieren: Warum überhaupt sparen?

Überall sparen Die Antwort ist offensichtlich: In guten Zeiten, um mehr Erfolg zu haben, und in schlechten Zeiten zum Überleben. Erfolg haben und überleben wollen wir alle! Wenn man bei den Reichen das Sparen abguckt, so sieht man, dass die Profis nie punktuell, sondern immer überall sparen. Onkel Dagobert freut sich an jedem gesparten Taler, es ist ihm völlig egal, wodurch dieser gespart wurde. Also würde er auch Strom sparen.



1.3.1

1.3.2 Die wirtschaftliche Antwort

Energie sparen = Geld sparen Energie sparen bedeutet Geld sparen. Gespartes Geld erlaubt weitere Investitionen, ergibt Wettbewerbsvorteile, erhält und verbessert Arbeitsplätze, erlaubt angemessene Kapitalverzinsung und andere wirtschaftlich wünschenswerte Verbesserungen. Dies unter der Voraussetzung, dass sich allfällige Investitionen amortisieren lassen. Die Erfahrung zeigt, dass dies in der überwiegenden Zahl von Fällen möglich ist. Mehr darüber unter dem Kapitel «Wirtschaftlichkeit».

1.3.3 Die technische Antwort

optimiert = rationell Weil eine konsequent optimierte Anlage oder Maschine nicht nur Energie spart, sondern immer auch in anderen Bereichen rationell und effizient arbeitet. Wohl sind dazu Investitionen notwendig. Die Erfahrungen aber zeigen, dass sie sich abschreiben lassen und gesamthaft ein Gewinn resultiert. Mehr darüber im Kapitel «Wirtschaftlichkeit».

1.3.4 Die marktorientierte Antwort

effizient = konkurrenzfähig In gewissen Bereichen ist ein energieoptimiertes Produkt bereits heute Voraussetzung zur Konkurrenzfähigkeit in unserem westlichen Markt-system. Man denke dabei beispielsweise an die in anderen RAVEL-Ressorts behandelten Güter wie Beleuchtungseinrichtungen, Büro-

geräte und Waschautomaten. Bei sonst gleichen Leistungen wird das sparsamere Produkt vorgezogen. Im Maschinen- und Anlagenbau beginnt sich diese Forderung ebenfalls durchzusetzen. Nicht von ungefähr ist dieses Thema für den Betreiber einer Anlage wichtiger als für den Lieferanten. Der Kunde muss ja schliesslich während der Lebensdauer der Anlage die Energierechnungen berappen.

Unsere Exportindustrie kämpft ums Überleben. An manchen Rahmenbedingungen (Währung, Teuerung, Personalkosten, Kapitalkosten) kann sie wenig ändern. Umso wichtiger ist es, sich dort Marktvorteile durch ökonomische Produkte zu erhalten und fördern, wo dies aus eigener Anstrengung möglich ist.

Eine Firma, die effiziente Geräte oder Anlagen erstellt, wird dies als wesentliches Verkaufsargument benutzen. Einleuchtende Verbesserungen vorausgesetzt, werden die Kunden auf solche Argumente bestimmt eher eingehen als auf einen allgemeinen «sales talk».

Verkaufsargument

1.3.5 Die ökologische Antwort

Es ist jedem denkenden Menschen unabhängig vom politischen Standpunkt klar, dass wir es den MitbewohnerInnen unseres Planeten sowie allen unseren Nachfahren schulden, die Ressourcen nicht zu vergeuden.

Auf einem Plakat, 1992 im Welschland gesehen, der Spruch:

**Le difficile, ce n'est pas de donner
ce que nous avons de trop, c'est de partager
ce qu'il nous reste!**

*(Nicht aus dem Überfluss zu geben ist schwierig,
sondern das Verbleibende zu teilen!)*

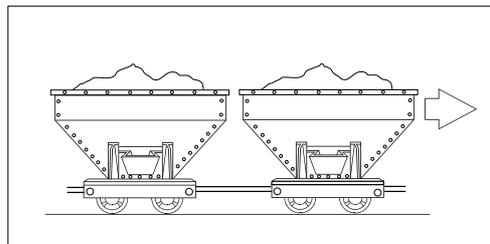
2 Strom in der Industrie

Die Industrie verbraucht in der Schweiz zirka einen Drittel des insgesamt produzierten Stromes [1]. Etwa das Doppelte des Strombedarfs benötigt sie an Energie aus Brennstoffen.

Wie erwartet steht die Maschinen- und Metallverarbeitende Industrie mit wiederum etwa einem Drittel des industriellen Konsums an der Spitze, gefolgt von der Chemie- und Pharmaproduktion (20%) und Aluminium und Papier mit je ca. 13%.

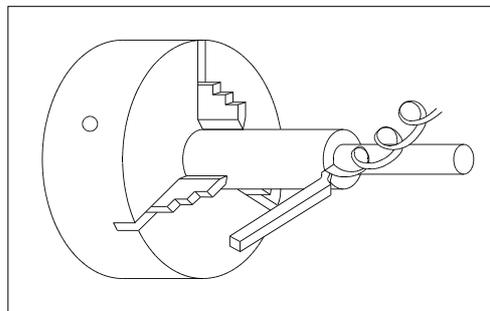
Energie für Prozesswärme und mechanische Bearbeitung stehen dabei weit im Vordergrund. Das bedeutet jedoch nicht, dass in der Industrie nicht auch bei Beleuchtung, Klima und Büro Effizienzsteigerungen möglich wären. Die typischen Verwendungszwecke sind jedoch:

Transport von Materialien
(mittels Pumpen, Fördermotoren,
Gebläsen, Kranen,
Lagervorrichtungen etc.)



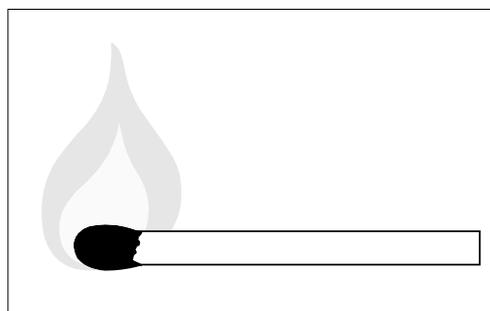
2.0.1

Antriebe für mechanische
Bearbeitung (spanabhebende
Bearbeitung, Pressen, Walzen,
Mahlen etc.)

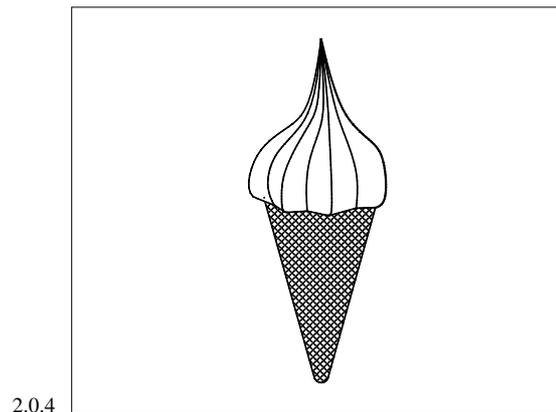


2.0.2

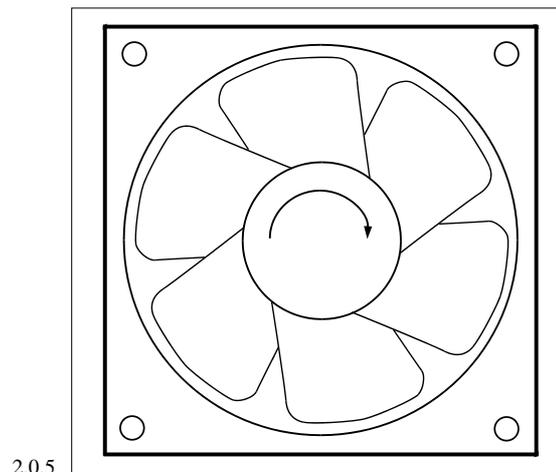
Wärmetechnische Bearbeitung
(Spritzguss, Extrusion,
Infrarot-Trockner,
Kunstfaserherstellung etc.)



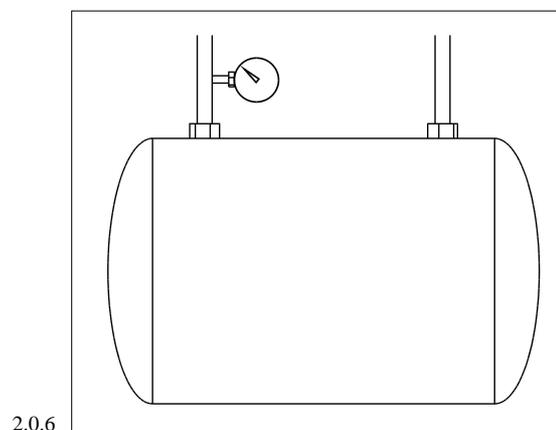
2.0.3



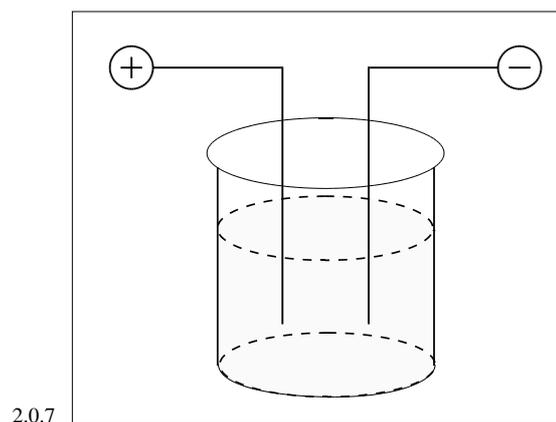
Kühlen (Kompressoren,
Kühlmittelpumpen,
Wärmepumpen,
Peltierelemente)



Klimatisierung, Lüftung
(z.B. Chemie, Tabak, Elektronik)

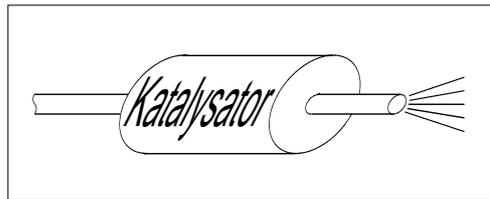


Hilfsbetriebe wie etwa
Kompressoren, Vakuumgeräte,
Aspirationen, Reinigungsanlagen



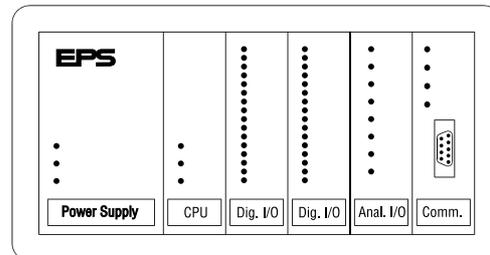
Elektrochemische Prozesse
(Elektrolyse, Metallöfen etc.)

Anlagen für den Umweltschutz
(Filter, Rauchgasreinigungen,
Abwasseraufbereitung etc.)



2.0.8

Und zu guter letzt natürlich auch
für die Steuerungen selbst



2.0.9

Je nach Branche sind die Anteile der einzelnen Verwendungszwecke natürlich völlig verschieden. Auch werden vor allem die wärmetechnischen Prozesse oft mit anderen Energieträgern kombiniert (Gas, Oel etc.).

Zum produktionsgebundenen Verbrauch muss man auch denjenigen der Infrastruktur und Administration hinzuzählen. Nicht vergessen darf man die «Graue Energie», die für Bauten, Anlagen und eingekaufte Teilfabrikate wie Verpackungen aufgewendet werden muss, wenn man den Gesamtverbrauch an der Produktion messen will.

2.1 Substitution von Energieträgern

Jede Energieform soll gemäss ihrer Wertigkeit optimal eingesetzt werden. Wenn die später aufgezeigten Methoden bei ihrer Anwendung gesamthaft einen Energie-Minderverbrauch zur Folge haben, so ist es durchaus im Sinne der Zielsetzung von RAVEL, wenn auch andere Energieformen als der Strom von den verbrauchsmindernden Massnahmen profitiert haben. Schon wegen des Preises wird kaum jemand billigere Energieträger durch Strom substituieren. Wichtig scheint uns jedoch die Erwähnung, dass für Bezüger von thermischer und gleichzeitiger elektrischer Leistung die Wärmekraftkopplung ein besonders sinnvolles Element zur Wirkungsgrad-Verbesserung sein kann.

In diesem Zusammenhang sei auf die zahlreichen Publikationen und Kurse von RAVEL aus dem Ressort 31 «Wärmekraftkopplungen, Wärmepumpen, Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung» hingewiesen.

2.2 Schlussfolgerungen

Betrachten wir das Potential von RAVEL in der Industrie einmal nicht aus der Sicht einzelner Betriebe, sondern landesweit. Die Industrie der Schweiz verbraucht jährlich Energie für etwa 2,5 Milliarden Franken. Dieses Geld wird natürlich nicht nur ausgegeben, es wird auch verdient (durch die Produktion). Bis anhin mussten die Stromproduzenten aufgrund eines stetig steigenden Bedarfs langfristige Angebotssteigerungen planen.

Besonders der Strom aus neuen, zusätzlichen Anlagen (z.B. Pumpspeicherwerken) ist aber viel teurer als das landesweite Mittel. Jedes Prozent Verbrauchszunahme kostet also weit mehr als die anteilmässigen 25 Millionen Franken. Weder Verbraucher noch Produzenten können ein Interesse an diesem teuren Zusatzstrom haben. Über das Halten des «Status quo» hinaus sind aber auch Einsparungen von echtem Interesse. In wenigen Ländern Europas wird Energie so sauber produziert wie bei uns, und man braucht kein schlechtes Gewissen zu haben, diesen Strom zu exportieren.

Gerade deshalb wird ja RAVEL auch von der Elektrizitätswirtschaft unterstützt, weil dieses Impulsprogramm durch den erzielten sinnvollen Einsatz von Strom sowohl für Konsumenten wie Produzenten vorteilhaft ist.

Zusätzlicher Strom ist viel teurer als der Durchschnittspreis

3 Energieanalyse

Wie bei jeder anderen Aufgabenstellung kann eine Optimierung nur erfolgen, wenn eine Bestandesaufnahme vorausgegangen ist. Werden energetische Informationen gesammelt, so nennt man diese Bestandesaufnahme und deren Interpretation «Energieanalyse». Nimmt man ein Projekt «auf der grünen Wiese» in Angriff, so ist zwar keine Bestandesaufnahme möglich, aber meist sind auf Grund von Erfahrungen und bestehenden Anlagen gewisse Projektionen möglich, die anstelle der Bestandesaufnahme treten.

Für Details siehe RAVEL-Unterlagen Die Energieanalyse ist in diversen RAVEL-Unterlagen eingehend behandelt [3,4,8,12]. In diesem Text erfolgt deshalb nur eine Zusammenfassung.

3.1 Ziel der Energieanalyse

Bestandesaufnahme	Ziel der Energieanalyse ist es, die energetischen Zusammenhänge einer Anlage oder einer Firma kennenzulernen. Sie entspricht damit einer Bestandesaufnahme der energierelevanten Vorgänge. Sie ist Ausgangsbasis für jede weitere Planung und Entscheidung.
Energieplanung einer neuen Anlage Erfahrungen nötig aus ähnlichen Anlagen	Bei einer neu zu erstellenden Anlage tritt die Energieplanung an die Stelle der Analyse, die daraus zu ziehenden Schlüsse sind jedoch genauso wesentlich, da hier das Potential einer Gesamtkonzeption ausgeschöpft werden kann und nicht nur dasjenige von punktuellen Massnahmen.

Mit der Erstellung einer Analyse werden hauptsächlich folgende Ziele anvisiert:

- Bereitstellung von Entscheidungsgrundlagen für die betriebliche Energieplanung und Investitionsplanung
- Erkennen der Zusammenhänge
- Erkennen von Schwachstellen und damit Sparpotentialen
- Vergleichsmöglichkeiten mit anderen analysierten Bereichen
- Erfahrungsrückkopplung
- Aus der Analyse resultierende Massnahmen und Konzepte

3.2 Vorgehen zur Energieanalyse

Die Tätigkeiten einer Energieanalyse lassen sich in fünf Schritte unterteilen:

- Zieldefinition
- Systemabgrenzung
- Verbrauchsmessung
- Aufbereitung der Ergebnisse
- Formulierung und Umsetzung der Ergebnisse

3.2.1 Zieldefinition

Mit der Durchführung einer Energieanalyse verfolgt ein Unternehmen bestimmte Ziele. Diese Ziele sind mindestens stichwortartig zu definieren. Dazu ein einfaches Musterbeispiel:

Ziele Energieanalyse Produktionsanlage B

Beispiel Ziele, Massnahmen

Analyse (Istzustandserfassung)

- Kenntnis des mittleren Verbrauches während der Produktion, aufgeteilt in die Energieträger Strom und Gas
- Kenntnis der Stillstandsverluste
- Aufzeichnung des Produktionsfahrplans
- Ermittlung des spezifischen Energiebedarfs für jede Produktgruppe und jeden Energieträger
- Schwachstellen bekannt, Ursachen und Folgen dazu
- Zusammenhänge bekannt

Planung Massnahmen, Synthese

- Verbesserungsvorschläge
- Budget (Energie, Investition, Betrieb, Amortisation)
- Überprüfung der Wirtschaftlichkeit der vorgeschlagenen Massnahmen
- Ausführungsplanung
- Durchführungsentscheid(e)

PS Als spezielle Massnahme ist der Einsatz einer Wärmekraftkopplung durch ein spezialisiertes Unternehmen zu prüfen, sobald unsere Verbrauchswerte bekannt sind.

Dieses Beispiel beschreibt nur ein grobes Gerüst für die Zielsetzungen und Massnahmen. Es sei hier nochmals auf die einschlägigen RAVEL-Dokumentationen hingewiesen.

3.2.2 Systemabgrenzung

Darin wird festgelegt, für welchen Bereich eines Betriebs oder einer Anlage eine Energieanalyse durchgeführt werden soll. Bei der Systemabgrenzung müssen mehrere Faktoren beachtet werden:

Abgrenzungen sind nur dort einfach, wo real existierende oder gut definierbare Grenzen der Energieflüsse und der Erfassungsmöglichkeiten vorhanden sind. Diese Schnittstellen können verschiedener Natur sein. Man kann sich hierbei unabhängige Gebäude, Produktionsanlagen, Maschinen oder Produktionsprozesse vorstellen. Ist dies nicht der Fall, so muss die Abhängigkeit analysiert und dargestellt werden. So ist es zum Beispiel möglich, dass mehrere Anlagen durch denselben Pressluftkreis oder Wärmekreis gespeist werden. Wo keine individuelle Messung möglich ist, muss eine Zuweisung aufgrund von geschätzten Proportionen stattfinden.

Schnittstellen besonders gut anschauen Sehr oft sind die nicht eindeutig trennbaren Systeme aber die Fälle mit dem grössten Optimierungspotential, da sie sich der trivialen Betrachtung bisher entzogen haben.

Die Abgrenzung der einzelnen Produktionsmodule soll in konsistenter Weise erfolgen, d.h. bei vergleichbaren Anlagen in derselben Weise.

Wesentliche Bestandteile der Abgrenzung sind auch die verschiedenen Betriebszustände. So müssen sicher mindestens Produktion, Produktionsbereitschaft und Stillstandsverbrauch ermittelt oder geschätzt werden zusammen mit der jeweiligen Zeitabhängigkeit. Wird zum Beispiel in einem Betrieb zweischichtig gearbeitet, so müssen die Verbräuche auch in der «Ruheschicht» ermittelt werden.

Falls in einer Anlage verschiedene Energieformen benutzt werden, so soll in der Systemabgrenzung auch definiert werden, welche Energieformen zu betrachten sind und wie sie untereinander abzugrenzen sind.

3.2.3 Durchführung der Verbrauchsmessungen

Die Verbrauchsmessungen in Industrie und Gewerbe sind in den RAVEL-Unterlagen [3] eingehend beschrieben und sogar mit Spreadsheet-Programmen auf mitgelieferten Disketten unterstützt. Benutzen Sie diese einfach durchzuführende Methode. Hier deshalb nur das Wesentlichste:

Die Verbrauchsmessungen sollen anhand einiger weniger Grundsatzregeln durchgeführt werden:

- 1 Verbrauchsmessungen sind aufwendig und deshalb auf das nötige zu beschränken. Wird z. B. eine Neuanlage in Betrieb genommen, sollen die Verbrauchsmessungen schon als Teil des Abnahmetests durchgeführt werden. Ab diesem Zeitpunkt stehen die Daten zur Verfügung, und die Messungen brauchen in der Regel nicht periodisch wiederholt zu werden.
- 2 Verbrauchsmessungen sollen unter verschiedenen Bedingungen durchgeführt werden. Es ist vor allem der Verbrauch bei verschiedenen Lasten zu messen. Hiermit können Anlauf- oder Abschaltspitzen festgestellt und bewertet werden. Allerdings hängt der Energieverbrauch unter Umständen auch von anderen äusseren Bedingungen ab wie z.B. Temperaturschwankungen. Diese Bedingungen sind ebenfalls zu berücksichtigen.
- 3 Verbrauchsmessungen sind so durchzuführen, dass eine eindeutige Zuordnung möglich ist.

3.2.4 Energie-Kontrollsysteme

Energie-Kontrollsysteme (EKS, auch Energie-Managementsysteme genannt) stellen eine wertvolle Hilfe zur Energieanalyse dar. Auch wenn die Stromverbräuche meist nur summarisch erfasst werden, so gibt die Betrachtung der Tagesganglinien einen guten Hinweis auf einzelne charakteristische Verbrauchssituationen, denen man dann

durch Detailabklärungen leicht auf die Spur kommen kann. Siehe dazu auch das spätere Kapitel über EKS-Systeme.

3.2.5 Experimente

Ein wichtiger Aspekt sollte nicht vergessen gehen: Bei der Bestimmung der nötigen Messungen sind oft nicht nur Verbrauchsmessungen interessant, sondern auch der Nachweis der Tauglichkeit von Fabrikationsvorschriften. Sehr oft wurden im Laufe der Zeit Einstellungen festgelegt, die später nie mehr hinterfragt wurden. So hat sich zum Beispiel in Baumwollspinnereien herausgestellt, dass in einigen Anlagen die Anforderungen an die Klimatisierung durchaus gelockert werden können und damit eine Menge Energie eingespart werden kann, ohne dass die Qualität beeinträchtigt würde.

Vorschriften hinterfragen

Viele moderne Maschinen erlauben eine Voreinstellung von Prozessparametern. Beim Spritzguss beispielsweise können die Temperaturen recht exakt geregelt werden. Die eventuell mögliche Herabsetzung dieser Temperaturen bei entsprechenden Formen und Materialien muss aber auch ausgenutzt werden.

Einstellmöglichkeiten ausnutzen

Schon der Vergleich von Maschinen- und Anlageeinstellwerten, die von unterschiedlichen Bedienern (z.B. Schichtmeistern) benutzt werden, kann erstaunliche Unterschiede und damit Sparpotentiale aufzeigen.

Bedienungsunterschiede ermitteln

Im Zweifelsfall lohnt es sich sicher, mit einem Versuch energiesparende Einstellungen zu verifizieren und sie bei gutem Erfolg verbindlich zu machen.

Verifizieren

3.2.6 Aufbereitung der Ergebnisse

3.2.6.1 Auswahl der Kennzahlen

Messungen ohne Interpretationen sind wertlos. Die üblichste Form der Interpretation ist das Bilden von Kennzahlen. Unter einer Kennzahl versteht man eine betriebsrelevante Relation wie etwa Energieverbrauch pro Tonne produzierter Ziegel, pro Büchse Katzenfutter etc.; aber auch Wirkungsgrade oder gespartes Megajoule pro Investitionsfranken. Kennzahlen werden meist tabellarisch dargestellt. Ein Vorschlag für einfache Kennzahlen findet sich im Formular «Unternehmensdaten» von [3]. Ein Beitrag der RAVEL-Materialien [12] widmet sich speziell den Kennwerten betrieblicher Prozessketten.

Interpretierbare Darstellung der Verbrauchsmessung

3.2.6.2 Ganglinien

Über einen Zeitraum gesammelte Kennzahlen werden besser als Ganglinien denn als Tabellen dargestellt, da letztere als «Zahlenhaufen» wenig übersichtlich sind und keine Trends erkennen lassen. Mit [3] aufbereitete Daten können mit jedem Business-Graphics-Programm in Ganglinien verwandelt werden. Allerdings ist das Auftragen von Punkten auf einem Millimeterpapier und deren Verbindung durch Geraden

oder Kurven meist effizienter. Viele Messanlagen sind überdies in der Lage, Ganglinien direkt aufzuzeichnen (Bildschirm, Drucker oder Messstreifen).

3.2.6.3 Korrelationen

Erst beim Auftragen und Vergleichen von Ganglinien werden Korrelationen ersichtlich. Diese sind das wesentlichste Ergebnis der Energieanalyse, denn hier zeigen sich die Zusammenhänge einzelner Faktoren.



Beispiel:

Anhand dieser über das Wochenende aufgezeigten Ganglinie (also während der Produktionspause) wurden Leckagen im Druckluftsystem nachgewiesen. Der Kompressor läuft immer wieder an (Verbrauchsspitze), ohne dass überhaupt Druckluft verbraucht wird.

3.2.6.4 Aufbau einer Verbrauchs-Datenbank

Für Anlagenhersteller oder Betreiber, die eine Mehrzahl von gleichen Modulen wiederholt verwenden, kann eine Verbrauchsdatenbank nützlich sein. Darunter wird eine Datenbank verstanden, die für jeden Verbraucher die charakteristischen Verbrauchs- und Leistungsdaten bereithält. Damit können Prognosen unterstützt werden. Wird in einem Betrieb mit CAD gearbeitet, so lässt sich die Prognose sogar automatisch rechnen. Allerdings muss hier aufgepasst werden: Der Aufwand für Infrastruktur (z.B. Raumlüftung) darf dabei nicht vergessen werden.

3.2.6.5 Prozessanalyse

Ziel der Prozessanalyse ist es, die Besonderheiten eines Prozesses zu eruieren und daraus auch die energetischen Zusammenhänge abzuleiten. In der Regel werden dazu die Maschinenlaufzeiten und die Produktionsmengen ermittelt und ausgewertet, ebenso müssen aber die Verfahreigenschaften und die Grenzen der Betriebsparameter eruiert und formuliert werden, mindestens dort, wo diese nicht offensichtlich sind (sog. Verfahrensanalyse).

Für eine Prozessanalyse ist deshalb auch die Analyse des dynamischen Teils des Herstellungsprozesses notwendig. Im Gegensatz zu den statischen Angaben wird vor allem der Einfluss der zeitlichen Auslastung, der Umschaltdynamik und von Teillastbereichen auf den Energieverbrauch herausgearbeitet.

Die Umschaltdynamik spielt dort eine Rolle, wo die Produktion wegen Produktwechsel umgestellt, oder wegen Pausen (z.B. Wochenende) unterbrochen werden muss. Die Häufigkeit und die Notwendigkeit, mit der Produktwechsel stattfinden, muss beurteilt werden. Das Gleiche gilt für den Teillastbereich.

3.2.6.6 Bericht

Trotz all den Segnungen von modernen Softwarepaketen für Tabellenkalkulation, Erstellung von Businessgraphiken, Datenbanken et cetera sollte der Bericht nicht nur aus Tabellen, Kuchen- und Balkendiagrammen bestehen, sondern vor allem auch **Bewertungen und Schlussfolgerungen** enthalten.

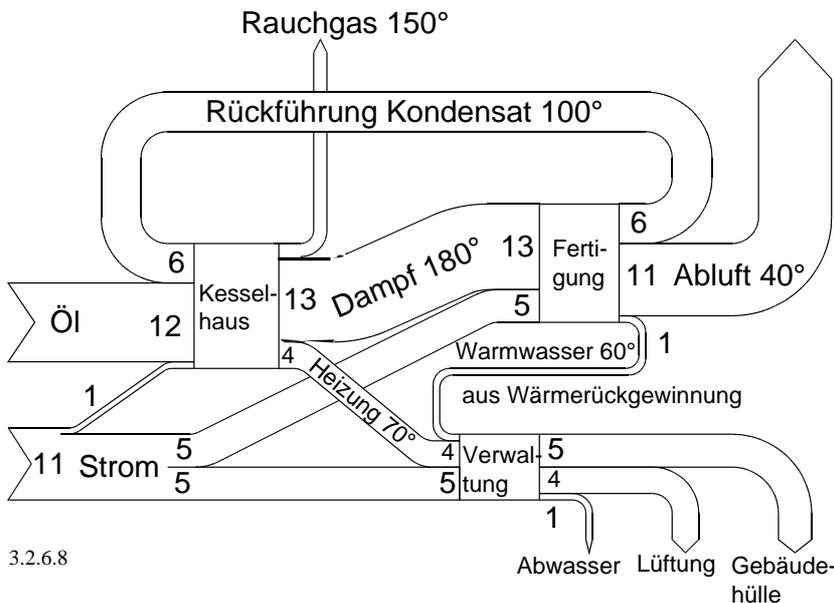
Folgerungen ziehen

Der Bericht kann auch vollständige Energie-Bilanzen und Energieflussbilder enthalten. Allerdings sind diese in den meisten Fällen nicht notwendig. Sie sollen deshalb nur in begründeten Fällen vorgesehen werden, da sie recht aufwendig zu erstellen sind.

3.2.6.7 Energiebilanz

Die Energiebilanz gibt Auskunft über die Energieströme. Dabei wird normalerweise ein bestimmtes Intervall (Tag, Woche, Monat, Jahr) zur Bilanzierung herangezogen. Die Bilanz kann durch grafische Darstellung der Energie- und Verlustflüsse veranschaulicht werden.

3.2.6.8 Das Energieflussbild



3.2.6.8

Das Energieflussbild, auch Sankey-Diagramm genannt, ist eine grafische Darstellung von Energieflüssen. Der Plan visualisiert, wie die Energie in einer Anlage eingesetzt wird. Im obigen Beispiel wird der Fluss der Wärmeenergien (Heizung, Warmwasser, Prozessdampf) dargestellt. Ähnliche Diagramme können auch die Verhältnisse eines Teilbereichs wiedergeben (z.B. der Fertigung). Ein Energieflussbild ist aber immer nur eine Vereinfachung, die komplexere Zusammenhänge nicht aufzeigen kann. Gerade deshalb ist sie aber leicht zu interpretieren und übersichtlich. Für eine präzisere Darstellung der Sachverhalte wird man nicht darum herumkommen, einen Bericht mit Texten, Kennzahlen und Diagrammen zu erstellen.

3.3 Formulierung und Umsetzung der Konsequenz

Beschlüsse fassen und realisieren Eine Analyse durchzuführen hat nur dann einen Sinn, wenn die daraus zu ziehenden Beschlüsse auch gefasst, formuliert und realisiert werden. Üblicherweise entsteht daraus ein Massnahmenkatalog. Diejenigen Massnahmen, die nicht aufgrund von behördlichen Auflagen notwendig sind, werden dabei einer Kosten/Nutzen-Analyse unterzogen, wobei sehr oft auch Alternativ-Massnahmen untersucht werden.

Die Zielsetzung wurde von Entscheidungsträgern mitgeprägt und verabschiedet. Die technischen Sachbearbeiter schlagen nun Massnahmen vor und begründen diese. Auf Grund dieser Begründungen wird nun von den Verantwortlichen entschieden. Die Kennzeichen einer guten Begründung sind Ausgewogenheit und Transparenz der Entscheidungskriterien. Die Begründungen sollen nicht polarisieren, das heisst beispielsweise nicht nur buchhalterische, aber auch nicht nur rein ökologische Argumente enthalten.

Die Prioritäten der Massnahmen müssen sorgfältig geprüft werden. Es wäre nicht immer richtig, die Massnahmen mit dem grössten Ersparnispotential auch gleich die höchste Priorität einzuräumen. Einfache Massnahmen, die sofort und ohne grosse Investitionen durchgeführt werden können, müssen ebenfalls mit hoher Priorität berücksichtigt werden.

4 Automationskonzepte

4.1 Begriffe der Automation

Mit diesem Kurs werden Automationsfachleute der verschiedensten Fachbereiche angesprochen. Wir setzen deshalb an diese Stelle ein kleines Lexikon der Automationsgeräte.

4.1.1 Elemente der Automation

4.1.1.1 Anlagenelemente

Darunter verstehen wir Motoren, Positionierelemente, Klappen, Ventile, Lampen etc. und auf der Rückmeldungsseite Schalter, Sicherungskreise, Sensoren jeglicher Art. Im Zusammenhang mit RAVEL sind richtig dimensionierte Elemente und auf durch Sensoren unterstützte Steuerverfahren wichtig. So soll z.B. eine pressluftbetätigte Klappe sofort in den Ruhezustand übergehen, wenn sie ihre Endposition erreicht hat, und nicht noch sekundenlang «lecken».

Die Wahl der Sensoren hat einen grossen Einfluss auf die Effizienz von Steuerungen und Regelungen. Diesem Thema ist ein eigener Untersuchungsbericht im Ressort «Elektronik» gewidmet [7].

Untersuchungsprojekt
Sensorik

Die wesentlichen Erkenntnisse daraus sind die folgenden:

Sensoren sind ausschlaggebend für den Erfolg einiger im nächsten Kapitel aufgezählten Strategien. Insbesondere die folgenden Massnahmen sind nur mittels entsprechenden Detektoren möglich:

- Zeitgerechtes Ab- und Wiederanschalten von Antrieben und Geräten
- Erkennen des Prozessendes
- Exakte Prozesskontrolle und damit Verminderung der Sicherheitsmargen und des Ausschusses
- Optimale Regelungen

Die Wahl des richtigen Sensors muss nach den folgenden Kriterien erfolgen:

- richtige physikalische Eigenschaft
- Zuverlässigkeit in Relation zu Belastung und Lebensdauer
- Signalübermittlungsmöglichkeit
- Signalverarbeitungsmöglichkeit
- Umgebung (korrosiv, explosiv, Schmutz etc.)
- Preis

4.1.1.2 Schnittstelle zur Anlage

Darunter gehören auch Drehzahlregelungen Diese besorgt die Umsetzung von Steuersignalen in die Leistungssteuerung von Motoren und Aktuatoren sowie die Rückübertragung von Signalen aus der Anlage. Sie besorgt meist auch die galvanische Trennung zwischen Steuerung und Anlage und ist damit auch Trennstelle zwischen EMV-geschützter Elektronik und nicht geschützten Anlageteilen. In der chemischen Industrie wird hier auch sehr oft auf explosionsicher ausgelegte Signale transformiert. Neben Motorschützen werden in diesen Bereich Mehrquadranten-Antriebe für Gleichstrommotoren, Frequenzumformer für Wechselstrommotoren sowie Schrittmotoransteuerungen benutzt.

Für RAVEL relevant sind vor allem folgende Aspekte:

- Es gibt elektronische Schützenansteuerungen, die den Motorstrom messen (ohne Phasenlage) und laufend in die Steuerung zurückmelden. Dies kann nicht nur für die Detektierung von Grenzwerten interessant sein, sondern auch für die Erfassung des Stromverbrauchs im Normalbetrieb (Verbrauchsstatistik) sowie zur Trendüberwachung. Beispiel: Cegelec Gemstart.
- Wie die Arbeiten aus dem RAVEL-Ressort «Kraft» [14] belegen, kann mit drehzahlgesteuerten Motoren viel Strom gespart werden.
- Softstarter ermöglichen einen Sanftanlauf von Antrieben. Sie erlauben oft eine kleinere Dimensionierung der Motoren (entsprechend der Normlast und nicht der Anfahrlast) und helfen deshalb mit, Motoren mit besserem Wirkungsgrad einzusetzen.
- Schützenschränke (beziehungsweise ihr Inhalt) können viel Abwärme produzieren. Falls dies schon beim Bau mitberücksichtigt wird, kann eine gute Lüftung durchaus anstelle der sonst üblichen Klimatisierung treten.

4.1.1.3 Vorort-Elektronik

Darunter soll Elektronik verstanden werden, die eine ganz spezifische Aufgabe und nur diese vor Ort löst. Mögliche Aufgaben sind beispielsweise Waagen, Maschinensteuerungen, Analysegeräte, Spezialgeräte für Verpackungen, Beschriftungen. Die Abgrenzung zu den Sonden ist unscharf, falls diese Geräte nur Messwerte aufbereiten und keine eigenen Steuerfunktionen haben.

dezentrale Intelligenz Für RAVEL sind dies wichtige Elemente, die, weil in ihnen viel unauffällige Intelligenz steckt, erlauben, gewisse Prozesse mit einem vergleichsweise geringen Aufwand zu optimieren.

4.1.1.4 Einfache Regler

Regler werden immer noch am häufigsten als diskrete Einheiten (Einschubkarten oder Kompaktgeräte) eingesetzt, auch wenn sie meist mit einem eigenen Prozessor ausgerüstet sind. Die meisten heute erhältlichen besitzen ein Interface zum Übernehmen von Regelparametern und Sollwerten sowie zum Übergeben von Istwerten. Bei älteren Anlagen muss aber der Regler meist über Potentiometer eingestellt werden. Diskrete Regler haben meistens Dreipunkt- bzw. PID-Charakteristiken.

Regler arbeiten oft nicht optimal, oft sind sie auch falsch ausgewählt. Beispiel: Bei einem elektrisch beheizten Dampfboiler wurde immer wieder beobachtet, dass die Heizung erst abstellte, wenn das Überdruckventil ansprach. Dabei entwich jedesmal eine gewaltige Menge Dampf. Der Thermostat war falsch eingestellt. Wenn man bedenkt, wie stark der Druck schon bei kleinen Temperatursteigerungen oberhalb des Siedepunktes ansteigt, ist auch die Frage erlaubt, ob hier ein Pressostat nicht die viel intelligentere Sonde gewesen wäre als ein Thermostat.

Welche physikalische Eigenschaft ist eigentlich zu regeln?

Falsch ausgelegte und eingestellte Regler führen fast immer zu erhöhtem Energieverbrauch und haben zudem einen negativen Einfluss auf den Prozess. Dazu ein weiteres Beispiel:

Der Inhalt eines Autoklaven in einem chemischen Betrieb muss auf 250 Grad Celsius geheizt werden, darf diesen Wert aber nicht wesentlich überschreiten. Der Autoklave wird mit Thermoöl beheizt. Ein Beimischventil regelt die Zufuhr von heissem und kaltem Öl (270 Grad resp. 25 Grad C). Ist die Regelung nicht optimal eingestellt, so überschießt entweder der Aufheizvorgang (damit muss wieder gekühlt werden) oder das Ventil mischt während längerer Dauer heiss und kalt, was ebenfalls energetisch unerwünscht ist.

Für RAVEL ist deshalb wichtig, dass die Regler richtig ausgewählt (allenfalls auch ersetzt) werden und dass die Einstellung sorgfältig gemacht wird. Dies gilt ganz besonders in kaskadierten Regelsystemen.

4.1.1.5 Programmierbare Regelsysteme

Viele Regelungen können mit einfachen, diskreten PID-Reglern nicht richtig gefahren werden. Programmierbare Regelsysteme erlauben hingegen:

- zustandsabhängige Parameterwechsel. So kann der Regler beispielsweise beim Start aufgrund von bekannten Betriebsdaten optimal voreingestellt werden, statt dass man ihn einfach einschwingen lässt.
- optimierende Regelungen, wo mehrere Charakteristiken gemessen werden und mehrere Stellgrößen beeinflusst werden. So wird beispielsweise bei einer Verbrennungsmotor-Elektronik eine Vielzahl von Betriebsparametern gemessen und daraus eine optimale Kombination von Drosselklappe, Einspritzmenge und Zündzeitpunkt erstellt. Auch unter dem Namen Kennfeldregelung bekannt.

- Arbeitspunktregelung als Variante der optimierenden Regelung, die ausgehend von Erfahrungswerten den Arbeitspunkt durch schrittweise Approximation «erfährt» und optimiert. Wird auch adaptiver oder lernfähiger Regler genannt. Siehe Beispiel «Turbinenregelung» in [6].
- numerische Regelalgorithmen (z.B. intelligente Totzeit-Kompensationen).
- den Einbezug von Kombinatorik (wenn Zustand A und Zustand B, dann Charakteristik X, sonst Charakteristik Y).
- nicht lineare Regelcharakteristiken mit Stützwert-Tabellen und Interpolationen. Dies ist besonders bei indirekten Regelungen wichtig, also dort, wo Mess- und Stellgrösse nicht dem gleichen physikalischen Effekt entsprechen.
- Fuzzy Control, d.h. Stellsignale werden postuliert aufgrund einer unscharfen qualitativen Bewertung.

Im Gegensatz zu oft geäusserten Meinungen ist es nicht einfach, dynamische Regelprobleme in der **Software** einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) zu lösen. Dies unter anderem deshalb, weil bei dynamischen digitalen Regelungen ein fester Zeittakt gegeben sein muss. Ausserdem ist für komplexere Regelungen meist Gleitkommaarithmetik notwendig, die bei vielen SPS-Typen nicht effizient benutzbar ist.

Noch heikler ist die Implementation von Regelalgorithmen in einfache Leitsysteme (z.B. auf PC-Basis). Diese Systeme sind oft wegen ungenügender Performance nicht in der Lage, feste Zykluszeiten zu garantieren. Damit kommen sie nur für Regelungen mit Zeitkonstanten ab 10 s in Frage.

Programmierbare Regelsysteme können dort effiziente Verfahren erlauben, wo andere gar nicht möglich sind. Der hohe Wirkungsgrad – beispielsweise von Umrichter-Lokomotiven im Start/Stop-Betrieb – wäre ohne sie gar nicht denkbar.

Einstellvorschriften dokumentieren Nicht nur die Projektierung, auch die Einstellung eines solchen Systems ist sehr anspruchsvoll und bedarf grosser Kenntnis sowohl der angewandten Regeltechnik als auch des Prozesses selbst. Je feiner ein Werkzeug, umso gekonnter muss es benutzt werden. Es ist Aufgabe der entwickelnden Regeltechniker, erstens Einstellvorschriften zu schreiben und diese auch die notwendigen Prozesskenntnisse zu dokumentieren.

Fuzzy Logic hat RAVEL-Potential! Für manche Anwendungen, die durch die klassische Anwendung nicht befriedigend gelöst werden können, ist Fuzzy Logic die geeignete Alternative. Ihre Anwendung ist vor allem aus dem Gerätebereich bekannt (Kameras, Kopiergeräte, usw.). Anwendungen im Anlagenbereich und damit auch für industrielle RAVEL-Ziele sind aber noch selten, da die Technik in unseren Entwicklungsstufen noch wenig verbreitet ist. Es sind aber bereits sehr gute Entwicklungswerkzeuge auf dem Markt, die einen Einsatz von Fuzzy Logic erlauben, ohne dass man dazu zu akademischen Höhenflügen ansetzen muss.

4.1.1.6 Numeric Control

Numerische Steuerungen (NC bzw. CNC) werden für die programmierbare mechanische Verarbeitung eingesetzt. Eine Hauptaufgabe ist dabei das koordinierte Fahren mehrerer räumlicher Achsen und die Lösung der bei Kurvenfahrt entstehenden Interpolationsaufgaben.

Für RAVEL relevant ist die durch Mehrachsensteuerungen gewonnene Möglichkeit einer intelligenten, flexiblen Fertigung. Sie eröffnet den Konstrukteuren einen Fertigungsvorgang, der auf das Endprodukt optimiert ist und nicht primär auf die Randbedingungen der zur Produktion notwendigen Maschine. Ein Produkt kann in viel weniger Fertigungsschritten produziert werden. Dabei entfallen die Stillstands- und Umrüstzeiten. Die Werkzeuge können auch bei Kurvenfahrt auf der optimalen Vorschubgeschwindigkeit gefahren werden. Für eine optimale Ausnutzung der flexiblen Fertigung muss diese aber mit CAD-Systemen zu einem CIM-System verbunden werden.

Flexible Fertigung

Gehört zu CAD und CIM

4.1.1.7 Maschinen- und Gerätesteuernngen

Damit sind halb- oder vollautomatische Steuerungen einer Maschine oder einer abgeschlossenen Maschinengruppe gemeint (nicht aber die Steuerung einer ganzen Anlage). Im Gegensatz zur Vorort-Elektronik hat hier die Steuerung eines Vorgangs Schwergewicht. In diese Gruppe fallen z.B. Handling-Einrichtungen, Transportsteuerungen (Bänder, Laufkatzen etc.), Ver- und Entpackungsmaschinen. In vielen Fällen muss eine Synchronisation mit einem Zustand ausserhalb der Maschine gewährleistet werden. Dieser Zustand kann entweder durch eine andere Maschine oder durch manuelle Tätigkeit (Beladen, Entladen etc.) beeinflusst werden.

Gerade diese Synchronisation ist für den Energieverbrauch relevant. Muss eine Einrichtung auf ein Ereignis von aussen warten oder kann ein Ereignis nicht weitergeben, so kann eine geschickte Steuerung in der Wartezeit den Stromverbrauch mindern oder ganz eliminieren.

Koordination

Solche Steuerungen werden meist mit Einkarten-Rechnern oder mit speicherprogrammierbaren Steuerungen realisiert. Selten wird dazu auch eine analoge und/oder kombinatorische Elektronik ohne Prozessor verwendet.

4.1.1.8 Speicherprogrammierbare Steuerungen

Diese, kurz SPS oder englisch PLC (Programmable Logic Controller) genannt, bilden das Rückgrat der industriellen, prozessnahen Automation für massgeschneiderte Anwendungen und kleinere Serien. Ursprünglich als Ersatz von Relaismatik gedacht, sind moderne SPS auch fähig zur Kommunikation, Arithmetik, Bedienung, Visualisierung, der beschränkten Datenspeicherung und anderem mehr.

Rückgrat der Automation
in der Industrie

Im Gegensatz zu einem Rechnerprogramm wird das ganze SPS-Programm immer wieder zyklisch vollständig abgearbeitet, wobei sich die Zykluszeiten in der Regel im Bereich von 10tel Sekunden halten sollten. Die Zykluszeit ist ja die kleinste zeitliche Auflösung, mit der SPS die auf den Prozess reagieren kann. Dabei werden in einem Zyklus sämtliche Eingänge (Prozesszustand, Bedienung) abgefragt, miteinander verknüpft (Logik und Berechnungen), und wieder an den Prozess oder die Bedienung ausgegeben, so dass nach aussen das Bild einer konsistenten Kombinatorik entsteht.

Plattform für RAVEL-Strategien

Für RAVEL wichtig ist die Tatsache, dass praktisch alle möglichen Sparstrategien auf SPS-Ebene implementierbar sind. Der Eigenverbrauch einer SPS und deren Peripherie ist hingegen meist unbedeutend gegenüber den geschalteten Elementen.

Ohne im Detail auf die Programmierung von SPS einzugehen, muss man leider festhalten, dass die SPS besser genutzt und damit auch Aspekte der Qualität und des Energieverhaltens mehr Raum erhalten würden, wenn sich die Programmierer nicht bei vielen Produkten noch mit museumswürdigen Werkzeugen der Programmierunterstützung herumschlagen müssten. Methoden der Problemanalyse, der Strukturierung und einer selbsterklärenden Programmdokumentation würden die Qualität von vielen SPS-Steuersystemen sicher positiv beeinflussen. Hier besteht eine Marktlücke.

Eine SPS sollte nach einem Spannungsausfall problemlos wieder starten, so dass es ein Unsinn ist, derartige Steuerungen durch eine USV (unterbrechungsfreie Stromversorgung) zu puffern, sofern nicht die ganze Anlage aus Sicherheitsgründen notstromversorgt ist (wie zum Beispiel bei der Steuerung von heiklen chemischen Prozessen oder sicherheitskritischen Aufgaben der Gebäudeleittechnik und des Verkehrs).

Ströme messen mit elektronischen Schützensteuerungen

Es gibt SPS-Hersteller, die elektronische Schützensteuerung anbieten, die neben vielen anderen interessanten Schaltdaten auch die Momentanleistung des gesteuerten Verbrauchers erfassen und an die SPS zurückmelden können. Dies ist eine sehr empfehlenswerte Methode zur Integration der Verbrauchserfassung.

4.1.1.9 Prozessnahe Bedienung

Die prozessnahe Bedienung erfüllt die Aufgabe der Bedienerinformation mit Momentandaten und jenen der kurzfristigen Vergangenheit und erlaubt Spontaneingriffe bzw. Synchronisation mit anderen Ereignissen.

Momentanleistung anzeigen!

Wie wär's, wenn in Zukunft auf solchen Systemen auch die elektrische Momentanleistung und die bezogene Arbeit im letzten Zeitintervall angezeigt würden, wenn möglich im Zusammenhang mit dem produzierten Gut?

Wenn der Bediener einer prozessnahen Steuerung die Möglichkeit hat, den Energieverbrauch überhaupt erst in Echtzeit zu erkennen, so wird er sofort auch die Möglichkeit nutzen, das Seinige zu Einsparungen zu leisten.

4.1.1.10 Leitsysteme

Dies ist ein recht ungenauer Begriff, unter dem jeder etwas anderes versteht. Er umfasst so ziemlich alles von der einfachen Prozessvisualisierung bis zur komplexen Rechnerautomation mit Mehrplatzbedienung. Eine Beschreibung aller möglichen Varianten würde hier zu weit führen. Wir beschränken uns deshalb auf RAVEL-relevante Aussagen.

Im allgemeinen sind solche Systeme mit der Möglichkeit zur Datenauswertung und -speicherung ausgerüstet, die auch die Erfassung und Auswertung von Energiedaten ermöglicht und diese in Relation zu den Produktionsdaten stellen kann.

Die sogenannten SCADA-Systeme (supervisory control and data acquisition) setzen Schwerpunkte bei einer einfachen, wenig komplexen Prozessbeeinflussung (z.B. eines kontinuierlichen Prozesses) und bei der Akquisition von Produktionsdaten. Hier sollte Wert darauf gelegt werden, dass Energiedaten auch erfasst und verarbeitet werden.

Wichtig ist vor allem die Erfassung von Produktions- und Energiedaten und deren Spezifikation schon im Pflichtenheft bzw. Werkvertrag. Die Auswertung kann auch später nachgerüstet oder offline (z.B. auf einem PC) durchgeführt werden, aber die Datenakquisition lässt sich nur schwer nachrüsten.

Energiedaten erfassen und aufbereiten

4.1.1.11 Übergeordnete Leitsysteme

Mit diesen Systemen verlassen wir die mittlere Schicht und begeben uns auf die obere Leitebene, die durch Planungsaufgaben und längerfristige Datenerhebung charakterisiert ist.

Neben der Koordination von Anlagen und dispositiven Funktionen werden hier auch Aufgaben gelöst, die mit dem direkten Betrieb der Anlage nichts mehr zu tun haben, wie etwa «least cost»-Optimierungen, Wartungssysteme etc.

Für RAVEL wesentlich sind diese Systeme, weil sie als verdichtende Informationsquelle der technischen Betriebsleitung dienen. Damit liegen die Schwerpunkte bei einer Aufbereitung von griffigen Kennzahlen auch über längere Zeiträume, die auch langfristige Einflüsse wie saisonale Unterschiede und Marktfluktuationen erkennen lassen und die Basis für strategische Energiesparmassnahmen darstellen.

Managementinformation

Hohe Nutzung der Produktionsmittel Die Anlagenkoordination und -optimierung ist wichtig im Zusammenhang mit einer guten Ausnutzung der Produktionsmittel und deshalb energierelevant.

Leitstand hilft, die Arbeit optimal zu verteilen Ebenfalls auf dieser Ebene kann man die sogenannten ‚Leitstände‘ ansiedeln, ein Begriff aus der CIM-Philosophie. Ein Leitstand ist das dispositive Bindeglied zwischen Planung und stückorientierter Produktion. Im Zusammenhang mit dem Begriff der «flexiblen Fertigung» ist der Leitstand ein wesentliches Element gerade dieser Flexibilität. Er erlaubt die computergestützte Verteilung der Produktionsaufträge auf die verschiedenen Zellen und hilft bei der Koordination der von einander abhängigen Produktionsbereichen.

4.1.1.12 Planungs- und Verwaltungssysteme

Mit Produktionsplanungs- (PPS), Lager- und Materialverwaltungssystemen und der Auftragsverfolgung verlässt man den rein technischen Bereich und tritt in denjenigen der Betriebsführung und der Betriebswirtschaft ein. Diese Systeme sind nicht mehr im eigentlichen Sinne Elemente der industriellen Automation, sie lösen ihre Aufgaben auch ohne direkte Anbindung an den Prozess und ohne Berücksichtigung des Automationsgrades, sind also einsetzbar (und eingesetzt) in rein manuellen Produktionstechniken.

Ebenen durchgängig machen Es ist jedoch erklärtes Ziel der integrierten Betriebsführung, die verschiedenen Ebenen durchgängig(er) zu machen. Dazu ist es entgegen vielfach gehörter Meinung nicht nötig, das Konzept des «computer integrated manufacturing» (CIM) bis zur letzten Konsequenz zu implementieren. Aber die Durchgängigkeit bedeutet natürlich Kommunikation. RAVEL interessiert sich für diese Systeme, weil sie eine Durchsatzverbesserung in der Produktion erzielen, die die Verbesserung des spezifischen Wirkungsgrades zur Folge haben sollte.

BDE für Energiedaten nutzen Die Betriebsdatenerfassung BDE kann für die Erreichung von RAVEL-Zielen besonders nützlich sein, wenn nicht nur die rein produktiven Werte gesammelt werden, sondern auch die Energiedaten. Dies wäre darum meist möglich, weil viele Firmen ihre BDE selbst stricken oder doch mindestens die relevanten Vorgaben an die Lieferanten dazu machen können.

4.1.2 Produktionstechniken

Die Frage nach den optimalen Produktionstechniken steht schon seit geraumer Weile im Raum. Die Antwort kann zwar auch hier nicht abschliessend gegeben werden, hingegen sollen im folgenden die wichtigsten Begriffe erklärt werden.

Die optimale Produktionstechnik? Die gelegentlich etwas undifferenzierten Aussagen in den Medien zu modernen Produktionstechniken sind mit der nötigen Distanz zu interpretieren, es gibt die optimale Produktionstechnik in der Industrie gar nicht! Nicht einmal bei vergleichbaren Produkten.

So käme die Produktionsleitung von VW kaum auf die Idee, die Motorhauben eines Golf über einem geschälten Baumstamm zu formen. Der Betriebsleiter von Morgan Motor Cars hat jedoch Erfolg mit dieser Methode. Das Beispiel zeigt, dass die Rahmenbedingungen einen wesentlichen Einfluss auf die einzusetzenden Methoden haben. Was dem einen recht ist, ist dem anderen nicht immer billig.

4.1.2.1 Flexible Fertigung

Diesen Begriff könnte man auch mit «programmierbarer Fertigung» umschreiben. Gemeint ist damit die Möglichkeit, auf einem Verbund von Maschinen, Rechnern, Konstruktion und Organisation verschiedene Produkte nur durch Veränderung der Parametrierung herzustellen, ohne dabei für jedes Produkt eine eigene Fertigungsstrasse zu benützen oder eine gemeinsame Fertigungsstrasse bei jedem Produktwechsel umständlich abändern zu müssen. Die flexible Fertigung ist damit klar der Wunschtraum jedes stückorientierten Fertigungsunternehmens.

Nutzung einer Anlage für vielerlei Produkte

Flexible Fertigungsanlagen gibt es nicht nur im Bereich der mechanischen Fertigung, die gleichen Prinzipien lassen sich beispielsweise auch im Nahrungsmittel-, Chemie- und Pharmabereich applizieren.

Auch in jenen Industrie- und Gewerbe-Sparten, wo die flexible Fertigung nicht notwendig ist, lassen sich aus der einen oder anderen Taktik der flexiblen Fertigung gute Ideen übernehmen. So soll sich jeder, der eine neue Fertigung aufbaut, überlegen, wie er möglichst **wenige, einfache Arbeitsabläufe** erhält, die **fliessend aneinander gereiht** werden können.

RAVEL-Untersuchungen schätzen das Potential der Einsparungen hoch ein, die sich aus einem möglichst reibungslosen Fertigungsablauf ergeben [15]. Der Stromverbrauch der notwendigen Automationskomponenten ist im Vergleich zur Produktion vernachlässigbar.

Hohes Sparpotential

Flexible Fertigung bedeutet, dass nicht nur die Technik, sondern auch die Organisation der Flexibilität gewachsen ist. Eine flexible Organisation mit ihren kleinen, von kompetenten Leuten besetzten Einheiten braucht eher eine organisch/funktionelle als eine steil hierarchische Struktur. Nur ein flexibles Management aber kann sich eine flexible Organisation leisten.

Ein Problem lauert allerdings hinter der Hecke: Das automatische Handling der Güter während der Bearbeitung hat gelegentlich einen Mehrverbrauch zur Folge gegenüber einer Anlage, bei der der Gütertransport von Hand erfolgt.

Mehrverbrauch bei Automation von manuellen Abläufen.

4.1.2.2 Just in Time (JIT)

Dies bedeutet «pünktlich» oder «gerade zur Zeit». Damit ist die zur Verfügungstellung eines Zwischen- oder Endproduktes exakt zu dem Moment gemeint, wo es entweder weiter integriert werden oder abgeliefert/konsumiert werden soll. Die Zwischen- und Endlagerung soll damit im Normalfall gänzlich eliminiert werden.

Viele Chancen, aber auch Gefahren!

Die Grundidee dahinter ist bestechend. Die Einlagerung, Lagerung und Auslagerung eines Produktes braucht Geld, Zeit und Energie. Unter realen Bedingungen ergeben sich aber Probleme: Wegen fehlender Puffer (eben die Lager) ist die ganze Produktion abhängig vom schwächsten Glied. Solange die Produktion das schwächste Glied ist, hat das wiederum positive Konsequenzen: die Zwischenstufen müssen rigoros auf absolute Zuverlässigkeit und Qualität ausgelegt sein, was normalerweise auch Energie spart.

Problematisch wird es jedoch, wenn das schwächste Glied die Transportkette ist. Es ist gewiss nicht billig und schon gar nicht energiesparend, wenn z.B. Komponenten für den Bau eines Autos von einem im Stau steckengebliebenen Lastwagen in einen Helikopter umgeladen und in die Fabrik geflogen werden müssen, damit deren Produktionsstrassen nicht still stehen. Solange dies eine seltene Ausnahme ist, kann man damit leben. Wird es zum Regelfall, ist es ein Schildbürgerstreich.

Eine Just-in-Time Fertigungsorganisation sollte deshalb entweder die Transportinfrastruktur selbst im Griff haben (innerhalb eines abgegrenzten Raumes) oder dann über eine Notstrategie verfügen, die nicht alle Vorteile des JIT wieder zu nichte macht.

Nicht immer beliebt!

Auch vom geschäftspolitischen Standpunkt der Lieferanten aus betrachtet ist JIT eher eine aufgezwungene denn eine aus eigenem Wunsch angestrebte Lösung. Die harte Kopplung mit dem Geschäftsgang der Kunden lässt wenig Spielraum für die eigene Produktions- und Kapazitätsplanung, und bei Schwankungen in der Abnahme ergibt sich ein Dominoeffekt durch die ganze Industrie.

4.1.2.3 Lean Production

Überflüssiges weglassen

Lean Production kann man etwa mit «fit-getrimmter Produktion» übersetzen. Das bedeutet also eine Produktion, bei der alles Überflüssige weggelassen wurde.

Die Idee hinter der «lean production» ist, mit kleinen, flexiblen Einheiten dezentral zu produzieren. Das bedeutet das Aufbrechen grosser bis grösster Produktionsstätten in kleinere Einheiten. Ziel ist primär ein Abbau des Hierarchie-Overheads, der in einer grossen Einheit immer vorhanden ist. Im weiteren sollen die Produkte dort hergestellt werden, wo man optimale Bedingung für Produktions- und Handelskosten findet.

Lean Production ist aber nur möglich durch den Einsatz von moderner Technik. So ist eine leistungsfähige Kommunikations-Infrastruktur für die verteilte Produktion notwendig, andererseits können komplizierte Herstellungsverfahren nur geographisch verschoben werden, wenn sie weitestgehend automatisiert sind.

Die Anwendung von Lean Production hat sicher einen Einfluss auf den Energiebedarf zur Produktion, das Vorzeichen kann aber sowohl positiv wie negativ sein. Es ist eine wichtige Aufgabe, dafür zu sorgen, dass die Investitionen in diese Produktionsart auch RAVEL-gerecht sind. A priori sind sie es sicher nicht. Und in bezug auf den Herstellungsprozess vom Rohstoff bis zum Verbraucher sieht die Bilanz meist nur finanziell gut aus: Tiefe Energiekosten und Lohngefälle führen zum Teil zu bizarren Transporten von Halbfabrikaten um die halbe Welt.

Ziele müssen klar gesteckt sein, RAVEL nicht vergessen!

4.1.2.4 CIM

Vielfach wird gesagt, dass CIM eine Produktionstechnik sei. Dies ist nicht exakt. CIM ist eine Vorgehensweise, die **alle Bereiche** eines Betriebes erfassen kann, und damit viel mehr als nur «Produktionstechnik».

Computer integrated manufacturing

Es gibt kein Standard-CIM, ja es gibt viele Industrien, die mit CIM im engeren Sinne gar nichts anfangen können. Dies ist kein Votum gegen integrierte Fertigung, im Gegenteil. Eine Strategie wird erst dann wertvoll, wenn man ihre Vorteile, aber auch ihre Grenzen sieht. Denn CIM ist eine Strategie, keine Technik. Hingegen wird CIM durch die Technik unterstützt.

Vom Standpunkt der Automation aus kann man einige allgemeine Kernsätze bilden, wie bei der Integration der Funktionsbereiche vorgegangen werden muss:

- 1 Das Vorgehen soll wie bei jedem anderen Projekt mit einer Zustandsanalyse starten, die neu zu erreichenden Ziele klar definieren und dann das Projekt definieren. Ziele und Phasen der Realisierung sollen in der ganzen Belegschaft breit abgestützt sein, denn sie ist ja Teil der integrierten Organisation. Die Vor- und Nachteile des neuen Konzepts sollen vorgängig analysiert werden, das Konzept ist in mehreren Durchläufen zu optimieren. Die Ziele können sehr verschieden sein, sollen aber immer enthalten:

Konzept verständlich machen

- effizientes Handeln möglich auf allen Stufen.
- Minimalisierung der Durchgangszeiten
- Minimalisierung der Lagerhaltung
- RAVEL

- 2 Ein CIM-Konzept soll **von Anfang an alle Ebenen** berücksichtigen. CIM kann nicht funktionieren, wenn man eine Ecke der Produktion auf Maschinenebene automatisiert und dann einfach «bottom up» aufstockt.

Computer induced misery?

- 3 Das Vorgehen muss intelligent, nicht grossartig sein. Das optimale Konzept zeichnet sich nicht durch eine Maximierung der Computersysteme aus, sondern durch die Elimination alles Unnötigen.
 - 4 Die kritischen Punkte liegen immer bei den Schnittstellen, nicht bei den einzelnen Verarbeitungsfunktionen. Letztere lassen sich von **einem** Fachmann definieren. Bei den Schnittstellen aber treffen auch unterschiedliche Meinungen aufeinander. Missverständnisse sowie gegenläufige Interessen müssen unbedingt ausgeräumt werden.
- Potentiale ausschöpfen
- 5 Die Automation soll die menschlichen Potentiale unterstützen und nicht unterbinden. Dazu gehört, dass das Arbeiten noch Spass machen kann und darf. Spass macht es, von einem System intelligent aufbereitete Daten zu interpretieren und daraus Entscheide abzuleiten, wie Prozess und Energieverbrauch verbessert werden können. Spass macht es auch, diese Entscheide mit anderen, vielleicht auch interdisziplinär, auszudiskutieren. Am meisten Spass macht die Herausforderung. Die Routine dagegen soll von der Automatik übernommen werden.
- Gespräch fördern
- 6 Keinen Spass macht es, immer nur «Mail» von anderen und vom Computer zu bekommen. Nicht alle Konzepte der modernen Netzwerktechnik sind «menschenfreundlich». Das formelle und das informelle Gespräch darf nicht eliminiert werden.
 - 7 Die Ingenieure zeichnen CIM meist als Netzwerk mit Verarbeitungsknoten (Rechnern). Aber das Bild ist nicht richtig, es braucht auch die Menschen im CIM-Betrieb. Ist diese Erkenntnis einmal durchgedrungen, so erkennt man sofort, dass die einzelnen Elemente einer Fertigungsorganisation gar nicht immer alle computergestützt und vernetzt sein müssen. Manche Teilaufgaben lassen sich ohne Computer lösen. So ist für manche Betriebe ein CAD wichtig, andere brauchen schlicht und einfach keins, und wiederum andere können ihre Konstruktionen ohne Einbindung in ein CIM bewerkstelligen.

4.1.2.5 CAQ

Computer aided quality control bedeutet die Einbindung der Qualitätskontrolle in den (automatisierten) Betriebsablauf. Während früher die Qualitätsüberprüfung meist ein völliges Eigenleben neben der Produktion führte, wird heute keine Trennung mehr gemacht. Der vorherrschende Gedanke ist heute, nicht den Ausschuss festzustellen, sondern diesen im Ansatz zu verhindern.

Neben angepassten Herstellungsverfahren braucht es dazu Überwachungseinrichtungen für den Produktionsablauf und die Trenderfassung. Im weiteren hilft Automation, durch subtile Ablaufsteuerungen, Toleranzen zu vermindern.

Ein Qualitätsüberwachungskonzept, das Ausschuss verhindert, statt ihn einfach festzustellen und auszusieben, hilft auch den spezifischen Energiebedarf zu mindern. Ausschuss bedeutet immer auch Verschleuderung von Energie und Material. Hier sind die kommerziellen Ziele mit denjenigen von RAVEL deckungsgleich. Wichtig für die präventive Qualitätssicherung sind aber nicht etwa nur Computer, sondern vor allem eine durchdachte Fertigung.

Reduziert Ausschuss und spart damit Energie

4.1.2.6 CAD

Computer aided design bedeutet nichts anderes als computergestütztes Zeichnen, Konstruieren und Planen. CAD kann deshalb auch in vielen nichtindustriellen Bereichen verwendet werden (Architektur, öffentliche Dienste etc). Hier interessiert nur der Aspekt der direkten Einbindung von CAD in den Fertigungsprozess. Dies ist vor allem dort angezeigt, wo eine Anlage verschiedene ähnliche Produkte mit kundenspezifischer Ausprägung herstellt. Beispiele dazu sind etwa : Kartonschachteln für Verpackungen, Werkzeuge für Maschinen, Tragkonstruktionen, Möbel und Zimmermannskonstruktionen. Die Auswirkungen von CAD auf den Energieverbrauch sind nicht direkt. Hingegen kommen positive Auswirkungen über die Beeinflussung des Fertigungsablaufs (Anzahl und Komplexität der Schritte), der Qualität, und der optimalen Verarbeitungsgeschwindigkeit. Ein effizientes CAD verhindert auch konstruktive Überdimensionierung (mit Auswirkung auf Material- und Bearbeitungsaufwand) und reduziert die Anzahl benötigter Teile.

Chancen durch besseres Design

CAD ist eng mit dem Begriff der flexiblen Fertigung verknüpft.

Bei der Planung der Anlagen mit CAD im Bereich der Konstruktion und Elektroplanung könnten auch die Leistungsdaten der wichtigsten Verbraucher abgelegt werden. Durch Summenbildung kann dann der Verbrauch einer projektierten Anlage zum voraus abgeschätzt werden und Varianten können auf in bezug auf ihren Energieverbrauch evaluiert werden.

4.1.2.7 BDE

Die Betriebsdatenerfassung wurde lange Zeit nur zur Erfassung von Maschinenbelegungen verwendet, was zur optimierten Planung (siehe nächstes Unterkapitel PPS) führen soll. Da die Maschinenbelegung und die Stillstandszeiten einen hohen Einfluss auf den spezifischen Energieverbrauch haben, ist eine gute Disposition ein Plus für die RAVEL-Ziele. Und für eine gute Disposition braucht es eine funktionierende BDE. Viele Firmen konfigurieren sich ihre BDE selber. Falls Sie, lieber Leser, dabei involviert sind, regen Sie doch an, dass dabei neben Laufzeiten, Materialverbrauch und Produktionsdaten auch die Energiedaten erfasst werden.

Kann bessere Disposition und damit bessere Anlagenausnutzung ermöglichen

4.1.2.8 PPS

Gut geplante (effiziente) Produktion braucht weniger Energie

Das Produktions-Planungs-System spielt eine Schlüsselrolle in der Organisation und ist Bindeglied zwischen Planung, Administration und Produktion. Ein gut realisiertes und eingebundenes PPS erleichtert nicht nur die gute Ausnutzung einer Produktionsanlage, sondern lässt auch allfällige organisatorische Probleme besser wahrnehmen. Da die Wahrnehmung von Problemen immer die erste Stufe jeder Optimierung darstellt, ist damit der Schritt zur besseren Organisation ermöglicht.

4.2 Strukturen

Aus Kette wird Netz

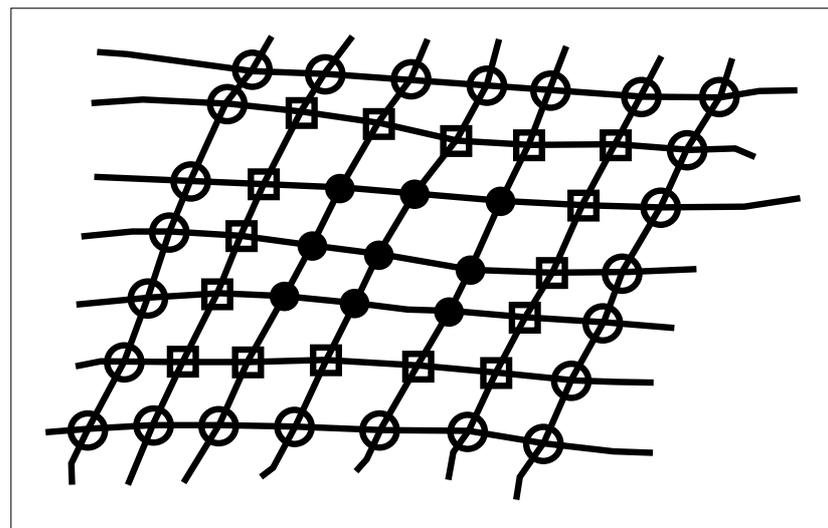
Ein altes Sprichwort sagt, dass eine Kette so stark ist wie ihr schwächstes Glied.

Im übertragenen Sinn kann dies auch für Automationskonzepte gelten. Wegen der vielseitigen Zusammenhänge ist der Begriff Netz jedoch zutreffender als Kette. Dieses Kapitel will erklären, wieso eine netzartige und strukturierte Betrachtung von Automationsaufgaben eine Voraussetzung für eine erfolgreiche Konzeption, Planung und Durchführung ist. Negativ ausgedrückt bedeutet dies, dass eine rein lineare Betrachtung, also das Missachten der Zusammenhänge eine unzulässige Vereinfachung darstellt.

4.2.1 Das Netz

Ein Netz besteht wie dargestellt aus Seilen und Knoten.

Prozesselemente, Bedienung □
 Signalumformer ○
 Steuerelemente ●
 Signale —



4.2.1

Übertragen auf unsere Betrachtung entsprechen:

- die unausgefüllten Knoten den Anlageteilen wie Antriebe, Maschinen, Ventile, Heizungen etc. sowie den Bedienelementen.
- die viereckigen Knoten den Signalumformern wie Sensoren, Aktoren, Schützen, Verstärker.

- die ausgefüllten Knoten den Steuerelemente wie Elektronik, Regler, SPS, Computer
- die Seile den Signal- und Kommunikationsleitungen.

Die netzartige Betrachtung zeigt augenfällig, dass ein einzelnes Element nie für sich alleine wirkt, sondern immer im Zusammenhang mit der Umgebung. Aus dem gleichen Grunde können auch keine isolierten Änderungen vorgenommen werden. Oder erklärt an einer anderen Analogie: Wenn man am Tischtuch zieht, fällt alles Geschirr herunter.

Änderungen haben Breitenwirkung!

Um mit einer komplexen, netzartigen Struktur zurecht zu kommen, braucht es ein umfassendes Konzept und taugliche Beschreibungsmethoden. An dieser Klippe scheitern manche Projekte. Mehr darüber später.

Für unser Thema bedeutet dies ausserdem, dass eine Steueranlage oder -Elektronik auf allen Stufen vom Sensor und Stellglied bis zum allfälligen Mehrplatzrechner den gestellten Anforderungen in konsistenter Art gerecht werden soll.

Ausgewogenheit der Systemkomponenten

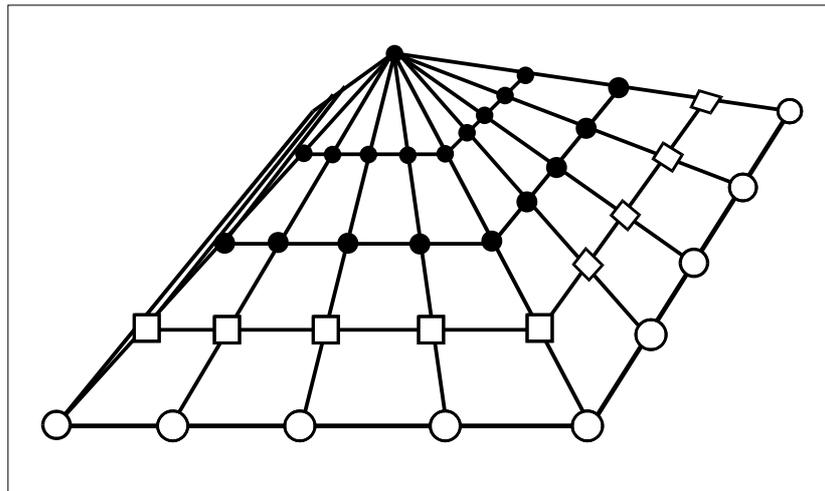
Oder negativ ausgedrückt: Es nützt nichts, ein modernes Leitsystem auf eine veraltete Mechanik aufzupropfen, oder etwa nur punktuell die Effizienzregeln zu berücksichtigen, wenn man dies auf mehreren Ebenen tun könnte (und sollte).

4.2.2 Schichtenmodell

Aber auch die netzartige Betrachtung taugt nur für die einfachen Fälle. Komplexere Sachverhalte und Abläufe müssen strukturiert werden. So wird ein Haushalt am besten von einer einzigen Person geführt, die in allen Belangen ihrer Zuständigkeit kompetent ist. Ein grosses Hotel aber betreibt man nicht mit 100 Hausfrauen, die alle von der Geschäftsführung bis zum Zimmerservice alles machen. Funktionen, Verantwortung und Zuständigkeitsbereiche müssen strukturiert werden. Das hat nichts mit der Qualität der beschäftigten Personen zu tun. Genauso verhält es sich mit Vorhaben der Automation. Auch der leistungsfähigste Computer oder das ausgeklügelste neuronale Netzwerk sind sinnlos, wenn sie chaotisch organisiert sind und betrieben werden.

Die Elemente der Automation und deren Bedienung sind aber nicht ohne hierarchische Struktur vernetzt, es sei denn, man betrachte nur die ganz trivialen Fälle. Vielmehr sollten wir unser Netz eigentlich wie folgt darstellen:

- Prozesselemente, Bedienung
- Signalumformer
- Steuerelemente
- Signale



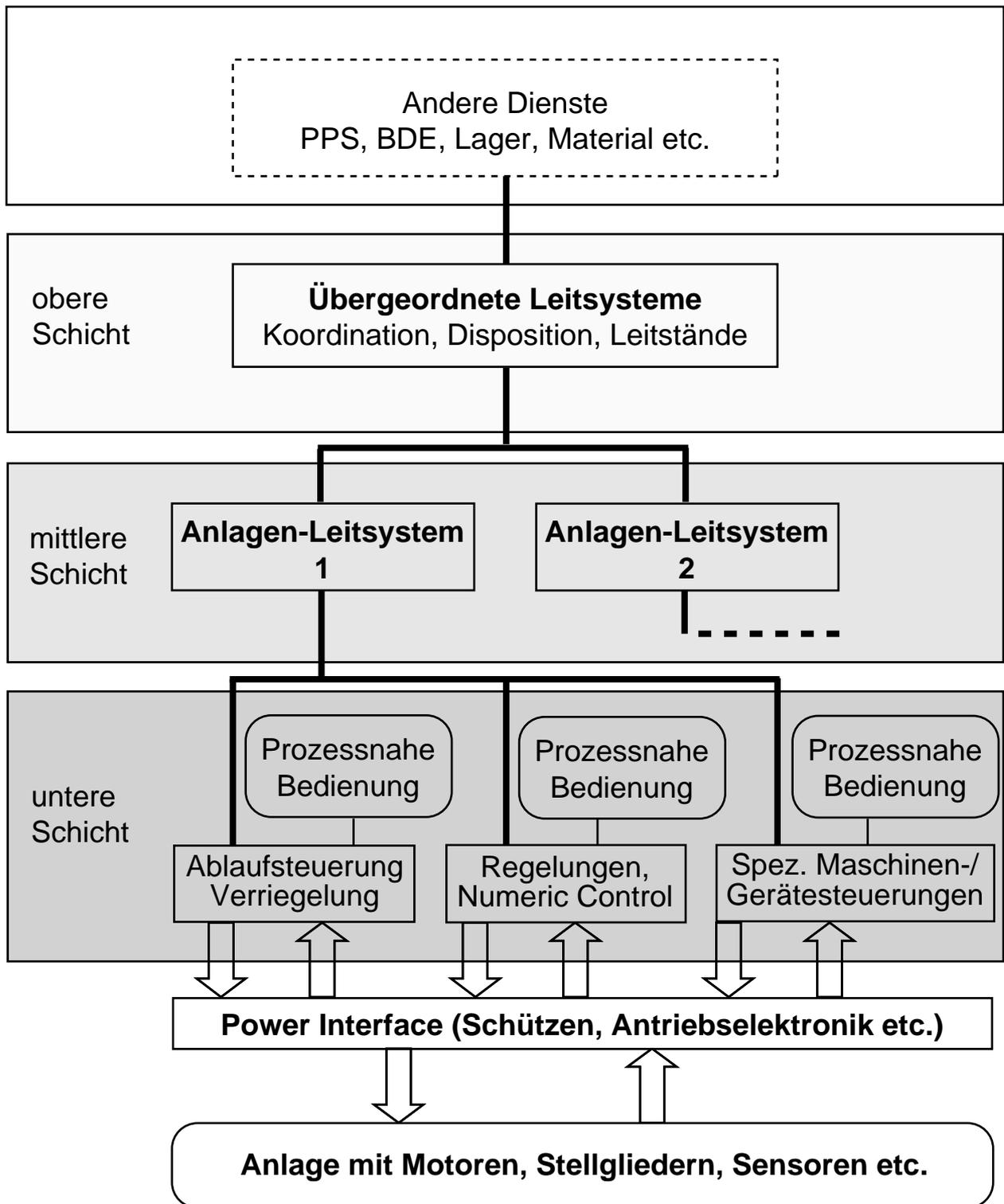
4.2.2.0a

Das Netz wird also in der Mitte gepackt und nach oben gezogen. Damit entsteht ein Aufbau, der sowohl Struktur wie Hierarchie hat und eine weitere Dimension aufweist.

Eine etwas explizitere Darstellung eines hierarchischen Aufbaus zeigt die nächste Grafik. Diese Schichtenstruktur ist charakteristisch für die Art und Weise, wie ein grösseres System aufgebaut sein und funktionieren sollte. Es lohnt sich deshalb, die einzelnen Elemente etwas näher anzuschauen. Die gezeigte Anlagenstruktur gilt jedoch nur als Muster für den Aufbau der Automation einer industriellen Anlage. Die effektiven Ausführungen in verschiedenen Anwendungen können selbstverständlich von diesem Muster abweichen. Die Beispiele und Skizzen dienen nur der Problemillustration. Sie sind auf andere Anwendungen nicht eins zu eins übertragbar.

Das gezeichnete Schichtenmodell kommt zudem nur bei grösseren und/oder komplizierten Anlagen in Frage. Es ist durchaus möglich, dass Teile oder ganze Schichten der oberen Partie fehlen.

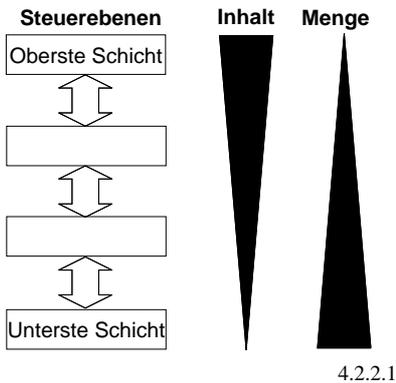
Genauso kann die Struktur aber auch in der Breite erweitert werden, indem in jeder Ebene zusätzliche Elemente hinzugefügt werden.



Schichtenmodell einer Automation

4.2.2.0b

4.2.2.1 Datenverdichtung

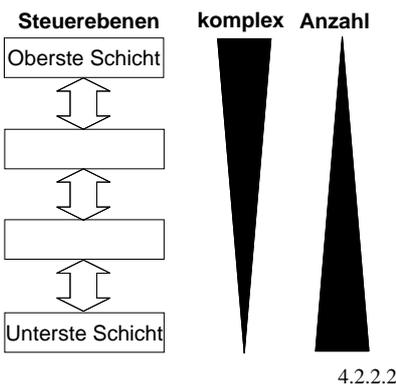


4.2.2.1

Die Prozessdaten und -signale werden gegen oben zunehmend verdichtet und mit anderen Werten verknüpft (aggregiert). So wird beispielsweise eine fehlerhafte Position eines Endschalters nur in der untersten Schicht noch einer diskreten Einrichtung (Maschine, Element) zugeordnet, in der nächst höheren wird der Fehler nur noch als Gruppenstatus erkannt und in der höchsten Ebene interessiert nur noch, dass die Anlage zur Zeit wegen eines Fehlers nicht produzieren kann.

In der umgekehrten Richtung geschieht dementsprechend eine Datenexpansion. Was auf der obersten Schicht nur als Auftrag mit wenigen kodifizierten Angaben deklariert ist, wird nach unten in Ablaufvorschriften, Rezeptdaten etc. expandiert und erzeugt letztendlich in der untersten Schicht die Daten und Signale, die das Abarbeiten eines Auftrags erst ermöglichen. Man kann sich das wie einen umgekehrten Baum vorstellen.

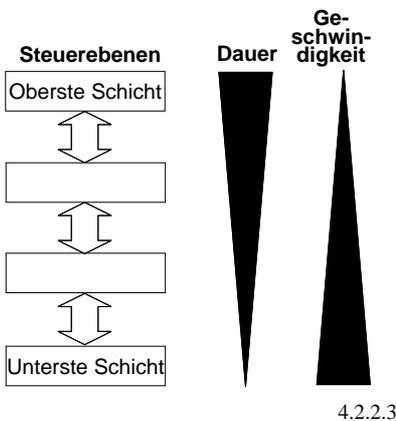
4.2.2.2 Funktionsverdichtung



4.2.2.2

Entsprechend der Datenverdichtung ergibt sich eine Funktionsverdichtung. Während in den unteren Schichten viele, aber einfachere Funktionen ausgeführt werden, sind es gegen oben immer komplexere, dafür weniger.

4.2.2.3 Zeitverhalten



4.2.2.3

Auch im Zeitverhalten spiegelt sich die Hierarchie. Auf der unteren Ebene muss schnell reagiert werden (Echtzeit-Verhalten, engl. real-time), dafür ist der Zeithorizont kurz. Je weiter nach oben, umso wichtiger wird die Vergangenheit und die Zukunft, dafür sind keine schnellen Reaktionen (Gegenwart) erforderlich.

4.2.2.4 Bedienungsebenen

(Siehe dazu auch Zeichnung «Schichtenmodel» auf der voranstehenden Seite)

So wie sich Daten und Funktionen durch die Schichten ändern, so ändern sich auch die notwendigen Mittel der Bedienung und natürlich auch die Aufgaben der Bediener selbst.

Bedienung in der unteren Schicht:

In den unteren Schichten liegt der Schwerpunkt der Bedienung bei der Überwachung und Fehlerbehebung in einem oft stark eingegrenzten Anlagenteil oder einer Maschine. In vielen hoch automatisierten Anlagen wird diese Bedienebene überhaupt nur noch reaktiv, für besondere Optimierungen oder im Störfalle gebraucht. Die Bedienmittel (Man Machine Interfaces = MMI) sind funktionell optimiert und sehr oft auf die Anwendung massgeschneidert. Die Bedienung befasst sich mit der Gegenwart und der kurzen Vergangenheit. In den meisten Fällen ist die Bedienung nicht permanent notwendig. Sie erfolgt durch Leute mit hohem Kenntnisstand bezüglich der Anlage und des Prozesses.

Hier kann die Effizienz am laufenden Prozess verbessert werden.

Prozessoptimierung

Bedienung in der mittleren Schicht:

In der mittleren Schicht hat die Bedienung bereits eine gewisse prospektive, also vorausschauende Funktion, kombiniert aber noch mit reaktivem Bedienen. Sie deckt also Vergangenheit, Gegenwart und unmittelbare Zukunft der Anlage ab. Die Man-Machine-Interfaces sind hier meist Bildschirme mit alphanumerischen oder grafischen Möglichkeiten, Tastaturen und Hilfsmittel zur Cursorsteuerung wie Maus, Trackball, Joystick etc. sowie Drucker und weitere Hilfsmittel je nach Anwendung. Auch hier ist die Bedienung meist nicht permanent, sondern nach Bedarf. Die Bediener kennen die Anlage, aber auch die Rahmenbedingungen der Produktion.

Hier stehen Produktionsdaten in grösserer Menge zu Verfügung. Verbrauchsdaten können also im Detail erhoben werden. Die Effizienz kann hier vor allem mittels Koordination verbessert werden.

Koordinationsoptimierung

Bedienung in den oberen Schichten:

In den obersten Schichten ist die Gegenwart nicht mehr sehr interessant. Die Planung überwiegt (Zukunft), daneben wird aber auch die Vergangenheit aufgearbeitet (Rapporte, Statistiken). Die Man-Machine-Interfaces sind hier normale Computer-Peripheriegeräte. Die Bediener brauchen keine profunden Kenntnisse des Verfahrens oder der Anlagenelemente, hingegen müssen sie sich intensiv um Produktionsaufträge, -mittel und -möglichkeiten kümmern.

Hier können Anlagekennzahlen gebildet werden und Strategien definiert und verfolgt werden.

Kennzahlen bilden, strategische Optimierung

4.2.2.5 Kommunikation

Schnittstellenoptimierung	Es ist offensichtlich, dass die Schichten mit Kommunikationsmöglichkeiten verbunden werden müssen. Dies gilt sowohl im technischen wie im menschlichen Sinne. Gerade letzteres wurde lange (und wird immer noch) verkannt, man glaubt daran, alle Information auf dem Bildschirm darstellen und austauschen zu können. Dies ist nicht nur falsch, sondern schädlich. Das persönliche Gespräch und das Weitergeben von Emotionen, nicht nur von Fakten, bringen eine Firma zum Laufen, und nicht Mailboxes und Statistiken. Die moderne CIM-Forschung hat dies schon längst erkannt. Leider kann man Firmenkultur aber nicht kaufen, man muss sie selber machen.
Kapazitätsexplosion	Im technischen Bereich der Datenkommunikation hat in den letzten Jahren eine gewaltige Entwicklung stattgefunden: Während früher 1000 Byte pro Sekunde ungeschützte Übertragungsleistung Stand der Technik war, sind heute Netzwerke mit 1000- bis 10 ⁴ 000facher Leistung verfügbar (Kabel LAN circa 10 Mbaud, FDDI mit Lichtwellenleitern bis 100 Mbaud).
Übertragungsleistung ist nicht gleich Kommunikation	<p>Wie beim Gespräch gilt aber auch hier, dass Übertragungsleistung nicht gleich Kommunikation ist. So nützt die Telefonselbstwahl nach China nichts, wenn man den dortigen Teilnehmer nicht versteht. Das Gleiche passiert immer wieder in der Rechnerkommunikation: Zwar ist es möglich, zwischen einer Vielzahl von Geräten irgendwelche Signale herumzuschicken, aber die Signale, deren Bedeutung und Auswirkung sind oft nicht eindeutig festgelegt, dafür ist der Übertragungskanal oft fehldimensioniert.</p> <p>Der industrielle Bereich konnte einerseits von den in der EDV-Sparte entstandenen lokalen Netzwerken (local area network = LAN) profitieren, ferner wurden neben vielen anwendungs- und hersteller-spezifischen Varianten industriespezifische Kommunikationsstandards geschaffen (diverse Feldbus-Arten, Mini-MAP, MAP, TOP etc).</p>
Technische Möglichkeiten eilen dem Bedarf voraus	Man kann heute in bezug auf Industriekommunikation behaupten, dass die Möglichkeiten dem Bedarf vorseilen. Das Problem ist vielmehr, den Informationsfluss zu definieren, als die Daten effektiv zu transferieren.
Nutzen für RAVEL	Für RAVEL bedeutet dies, dass es kein Problem sein sollte, energiespezifische Daten durch die Schichten (vor allem nach oben) zu transportieren. Dies unter der Voraussetzung, dass sie auf der untersten Schicht erfasst werden und man sich überlegt hat, in welcher Art die Daten auf den verschiedenen Schichten verdichtet und dargestellt werden sollen.

4.2.3 Folgerungen für das Design

Im folgenden wird untersucht, wie sich die dargestellten Sachverhalte auf die Engineering-Konzepte auswirken, und zwar in Bezug auf

- Pflichtenheft
- Konzept
- Analyse und Design
- Kommunikation

Dem **Vorgehen** bei der Projektierung ist ein eigenes Kapitel (6) gewidmet. Es wird später besprochen.

4.2.3.1 Pflichtenheft

Das Pflichtenheft hat die schwierige Aufgabe, die komplexe Aufgabenstellung so zu beschreiben, dass sie von **allen** Projektbeteiligten interpretierbar ist. Wesentlich ist, dass das Pflichtenheft sich nur um die Aufgabenstellung kümmert. Lösungsansätze gehören ins Konzept. So weit als möglich soll das Pflichtenheft Zusammenhänge grafisch aufzeigen, weil Grafiken einen komplizierten Sachverhalt verständlicher als Umschreibungen darstellen.

Auf Lesbarkeit achten

Immer wieder findet man in den Pflichtenheften unnötige Vorgaben für die zu verwendenden Elemente. So wird zum Beispiel eine SPS spezifiziert, ohne dass man schon die geringste Ahnung vom Konzept hat. Solche Vorgaben gehören nur dort in ein Pflichtenheft, wo auf bereits bestehende Konzepte aufgebaut wird.

Lösungsansätze gehören nicht ins Pflichtenheft

Damit ein Einstieg ins Verständnis möglich ist, soll das Pflichtenheft «top down», d.h. von der Übersicht ins Detail gehen und **mindestens** die folgenden Themen behandeln:

Top down

- 1 Zielsetzung
- 2 Globale Aufgabenstellung, Erklärung des Anlagenzwecks
- 3 Allgemein gültige Begriffe und Pflichten, Qualitätsansprüche, Vorgaben bezüglich Zuverlässigkeit
- 4 Aufgabenstruktur (Schichtenmodell), Funktionszusammenhänge
- 5 Bedienungsphilosophie, Betriebszustände
- 6 Einführung in die Aufgaben der einzelnen Schichten
- 7 Detailaufgaben
- 8 Verhalten bei Störungen
- 9 Energietechnische Vorgaben

Pflichtenhefte dienen der Festsetzung der Projektziele. Sie müssen **immer durch alle Projektverantwortlichen genehmigt werden**. Dafür müssen Reviews und die nötige Vorbereitungszeit eingeplant werden. Einmal festgelegte Projektziele dürfen nicht im nachhinein willkürlich geändert werden. Dies gilt auch für sogenannte «kleine Änderungen», die vor allem bei Tests und Inbetriebnahme, meist aus Gefälligkeit, unbedacht gemacht werden und ärgerliche Konsequenzen haben können.

Pflichtenheft muss abgeseget werden

Keine Änderungen in letzter Minute

Das Pflichtenheft eines Systems wird auch oft auch «Anforderungskonzept» genannt. Es ist nicht mit dem anschliessend besprochenen System-Konzept zu verwechseln.

4.2.3.2 System-Konzept

Effizient Automatisieren heisst, diese Schichten im Konzept berücksichtigen und die möglichen Hard- und Softwarekomponenten auf die Maschen und Knoten optimal zuzuteilen. Damit wird auch klar, dass das Konzept-Dokument in gleicher Art geschichtet sein soll wie die Subsysteme der beschriebenen Anlage oder Steuerung.

Die Kunst des Konzipierens ist es, zwei gegensätzlich tendierende Anforderungen zu vereinen.

1. Die Lösung soll mit möglichst wenigen, gleichgearteten Elementen gesucht werden. Gerätevielfalt schafft immer Probleme, am meisten bei den Schnittstellen.
2. Andererseits ist es notwendig, die Geräteauswahl den geforderten Funktionen anzupassen. Bei einem CIM-System beispielsweise kommt niemand auf die Idee, eine Maschine mit einem EDV-Rechner zu steuern, nur weil dieser schon für die Produktionsplanung eingesetzt wird.

Auf bekannten Lösungen
aufbauen

Diese Gegensätze können nicht durch Patentlösungen eliminiert werden. Hingegen gibt es bessere oder schlechtere Lösungen. Wer nicht zu anderem gezwungen ist, sollte Kombinationsmöglichkeiten aussuchen, die bereits anerkannterweise funktionieren (bestehende Lösungen suchen, Referenzen einholen). Neuland betreten kostet hier Zeit, Geld und meist auch Qualität. Es gibt heute viele wirklich offene Systeme, das heisst solche, die mit Fremdsystemen kommunizieren und zusammenarbeiten können. Aber als Grundsatz gilt auch hier: Was nicht ausprobiert ist, funktioniert selten oder nie.

Das Konzept soll so dargestellt sein, dass es auch andere Leute als der Autor verstehen. Komplexere Projekte werden ja selten im Alleingang durchgezogen. Das Konzept muss ausdiskutiert werden (Review). Die gewählten Lösungen und Alternativen müssen begründet sein. Ist dies nicht der Fall, so wird man in jedem Projekt jemanden finden, der es besser weiss und sich nicht an die Konzeptvorgaben hält.

4.2.3.3 Analyse und Entwurf

Entwurfsmethoden

Analyse und Entwurf (engl. Design), das heisst das Unterteilen einer Aufgabe in Funktionsmodule, Dateneinheiten, Datenflüsse und deren Strukturierung, sind notwendige Schritte in einem Automationsprojekt. Automationsysteme haben (fast) immer parallele Tätigkeiten, die aufgrund ihrer Einbettung in die Umgebung schwieriger zu definieren sind als rein sequentielle Aufgaben.

Für die Beschreibung von Analyse und Entwurf existieren gängige Methoden. Vordergründig haben diese nichts mit RAVEL zu tun. Um die Anforderungen eines erfolgreichen Projektes zu meistern (und damit auch ein effizientes, RAVEL-gerechtes Resultat zu erreichen), hat sich der Einsatz dieser Methoden als massgeblich erwiesen. Es wird

Schwergewicht auf grafischer Darstellung

und andere mehr. Alle diese Methoden versuchen auf ihre Weise einen Sachverhalt bildlich darzustellen, weil eine rein textgestützte Beschreibung unübersichtlich und unserer Denkweise unangepasst ist. Alle diese Methoden können wohlverstanden auch ohne CASE-Umgebung (also ohne Computerunterstützung) verwendet werden, mit Bleistift, Papier und allenfalls Textverarbeitung. CASE-Umgebungen liefern aber unterstützende Funktionen wie etwa Konsistenztests, Überprüfung der formellen Restriktionen etc.

Ob die Methode mit oder ohne Computer-Unterstützung angewendet wird, steht hier nicht zur Debatte. Für eine methodenlose Analyse und ein fehlendes Design gibt es jedoch keine Entschuldigung.

Die minimalen Resultate einer Analyse sind:

- Aufteilung in einzelne, sequentiell arbeitende Funktionsmodule
- Daten- und allenfalls Ereignisflüsse dazwischen. Energierelevante Daten nicht vergessen!
- Externe Datenquellen und Senken (z.B. Terminal, Maschine Reglermodul etc.)
- Definition der Dateninhalte
- Wo notwendig: Datenbankstruktur

Und die Resultate des Modul-Entwurfs sollten sein:

- Modulbeschreibung
- Welche Programmteile können/dürfen ein Modul aufrufen und unter welchen Bedingungen
- Schutzmechanismen
- Welche Daten sind lokal (vor der Allgemeinheit versteckt) und welche global?

Objektorientierte Programmierung

Als neues Software-Konzept ist die objektorientierte Programmierung aufgekommen. Bei ihr lassen sich Datenhaltung und -verarbeitung nicht mehr klassisch trennen. Trotz ihrer unbestreitbaren Vorteile für viele Applikationen ist sie methodisch noch schwach unterstützt und ihre Anwendung erfordert gute Informatikkenntnisse und strenge Disziplin.

Für speicherprogrammierbare Steuerungen

Design-Unterstützung bei SPS war lange vernachlässigt, das bekannte Leiterdiagramm (engl. Ladder-Diagram) war die einzige Möglichkeit, Funktionen darzustellen. Während diese Methode für Verknüpfungen noch einigermaßen gangbar ist, ist sie völlig unzureichend zur Darstellung von Abläufen und Zustandswechseln. Auch die Verwendung von Anweisungslisten (eine Art Maschinensprache für SPS) brachte kaum eine Verbesserungen. Während viele Leute das Flussdiagramm als Design-Werkzeug verwendeten, war dieses nicht in die Programmierung umzusetzen, und schob gar nicht automatisch.

Heute kommen aber immer mehr SPS-spezifische Tools auf den Markt, die eine strukturierte und funktions-(nicht hardware-)bezogene Betrachtung eines Problems erlauben. So gibt es heute unter anderem **Funktionsplan-Programmierung** für Kombinatorik und Regeltechnik sowie **Grafnets und Ablaufschema** für Abläufe und die damit verbundenen Zustandswechsel. Besonders letztere werden aber noch viel zu selten angewandt, obschon sie eine eindeutige Effizienz- und Qualitätsverbesserung zur Folge haben. Siehe dazu z.B. [11] «Methoden der Programmierung von SPS».

Abläufe besser darstellen

SPS-Tools leider herstellerabhängig!

Unangenehm ist allerdings, dass die angewandten Methoden konzept-spezifisch und deshalb herstellerabhängig sind. Normen wie etwa DIN 19239, IEC 65 oder IEC 1131 lassen sehr weiten Spielraum für Varianten und werden auch nicht durchgängig befolgt. Standardmethoden wie etwa diejenige von Jackson oder Tom DeMarco gibt es nicht bei SPS. Die Erhältlichkeit von angepassten Werkzeugen (auch für Dokumentation und Test) ist deshalb ein wesentliches Evaluationskriterium. In Einzel- und Kleinserie-Anwendungen ist die Unterstützung durch eine gute Entwicklungsumgebung wichtiger als der Stückpreis.

Gute Werkzeuge sind wichtig

Design von Elektronik

Dafür gibt es eine Vielzahl von computergestützten Designmethoden, auf die hier nicht näher eingegangen wird. Da die Elektronik heute fast immer irgendwelche Chip-Prozessoren beinhaltet, gelten dafür wieder die bereits aufgezählten Möglichkeiten.

Zurück zum Schichtenmodell:

Was hat das nun alles mit den Schichten zu tun? Es liegt nahe:

Die Hauptschichtung der Analyse muss der Schichtung der Konzeptebenen entsprechen.

Oder anders ausgedrückt: Gleiches soll zu Gleichem gesellt werden. Verboten sind Sprünge und Inkonsistenzen der Zusammenhänge.

Der Übergang von oberer zu tieferer (detaillierterer) Schicht wird Dekomposition genannt. Zwischenschichten sind natürlich erlaubt und meist auch nötig. Ein Gesamtsystem soll durchgängig mit der gleichen Methode analysiert werden (zusätzliche Unteranalysen mit abweichenden Methoden sind aber erlaubt).

Dekomposition

Das Design hingegen darf mit den jeweils der Ebene und den verwendeten Automatisierungsgeräten (Rechner/SPS/Mikroprozessor/etc.) angepassten Methode durchgeführt werden.

4.2.3.4 Kommunikation

Jede vernetzte und geschichtete Struktur hat Bedarf an Datenaustausch, und die Vernetzung bei industrieller Automation wird eine immer dominantere Forderung.

Für die Konzipierung der Signalübertragung müssen die Datenflüsse einigermaßen analysiert sein in bezug auf:

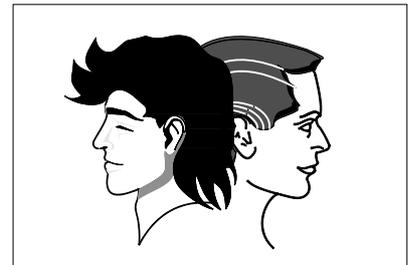
- Datenstrukturen (Aggregation)
- Übertragungsbedarf
- Topologische Anforderungen (wo sind die Teilnehmer)
- Art und Verteilung der Datenspeicher
- Priorität von Entwicklungskosten oder Einkaufskosten

Entsprechend den verschiedenen Schichten werden auf dem Markt sehr viel verschiedene Kommunikationsmöglichkeiten angeboten, die aber ihre Stärken meist nur in einer Schicht oder einer bestimmten Anwendung haben. Dazu gibt es einschlägige Fachliteratur. Hier sollen lediglich ein paar Hinweis gegeben werden, wie man mit dieser Problematik umgehen kann:

- 1 Grundsätzlich ist die Anzahl verschiedener Kommunikationstypen zu minimieren, aber die ideale Lösung («eierlegende Wollmilchsau») gibt es auch in diesem Bereich nicht. Falls die Verbindungen zwischen den Schichten stark unterschiedliche Anforderungen zu erfüllen haben, sind sie mit unterschiedlichen Kommunikationsmitteln zu verbinden.
- 2 Engpässe sind zu vermeiden. Bei der Abschätzung des Übertragungsbedarfs ist immer Reserve für absehbare Erweiterungen einzurechnen, auch wenn dies zu einer scheinbar teureren Lösung führt. Reserve heisst aber nicht 100fache Überdimensionierung!
- 3 Die Übertragungen müssen nach folgenden Kriterien unterschieden werden:
 - Repetitive Daten (Prozessdaten) versus Einzelereignisse (Messages).
 - Seltene Übertragung grosser Datenmengen (z.B. Download) versus häufige Übertragung kleiner Mengen.
 - Harte zeitliche Koppelung (z.B. in verteilten Regelsystemen) versus zeitunabhängige Daten (z.B. Produktionsdaten).
 - Punkt-zu-Punkt-Übertragung versus multi-drop-Übertragung (Bus-Systeme).
 - Master - Slave Übertragung versus «peer-to-peer»
 - Standardisierung (z.B. Feldbus oder bei Protokollarten) versus Tauglichkeit für eine spezifische Anwendung.
- 4 Übertragungsart und -geschwindigkeit muss den Anforderungen genügen. Deshalb muss abgeklärt werden, ob maximale Übertragungszeiten spezifiziert werden müssen und ob das Kommunikationssystem gegebenenfalls maximale Verzögerungen garantiert.

Das Ethernet-LAN ist ein klassisches Beispiel eines Netzwerktyps, das aufgrund seines unkoordinierten Netzzugriffes keine maximalen Verzögerungen garantieren kann. Aber gerade dieses Beispiel zeigt, dass die erwähnte Eigenschaft nicht immer zwingend eine Knock-out Kondition ist, denn es gibt viele Ethernet-LAN's, die – tiefe Belastung vorausgesetzt – sich im industriellen Bereich bewährt haben, und dies viel besser als manche sogenannten einfachen RS-232 Schnittstellen mit irgendwelchen proprietären Protokollen.

- 5 Eignung für die topologischen Gegebenheiten (z.B. Netzdistanzen, Distanzen zwischen Verstärkern, Sternkopplern etc.).
- 6 Industrielle Anlagen unterliegen einem erhöhten Störpegel. Das Konzept muss dies angemessen berücksichtigen. Fehlererkennung, -korrektur und allenfalls Redundanz sind zu beurteilen. Teilnehmer an industriellen Kommunikationseinrichtungen sind ohne Ausnahme immer galvanisch zu trennen.
- 7 Werden unterschiedliche Elemente miteinander verbunden (z.B. eine SPS mit einem Computer), so sind die Schnittstellen besonders sorgfältig zu definieren, weil die verschiedenen Geräte die Daten unterschiedlich bearbeiten und auch darstellen. So kann eine SPS z.B. keine strukturierten Daten darstellen, wie sie bei einer Computer-Hochsprache Standard sind. Ja sogar die Bit- und Bytenumerierung kann durchaus verschieden sein. Der Definitionsaufwand wird in diesen Fällen immer wieder stark unterschätzt (Januskopf!).
- 8 Auch energetisch wichtige Daten müssen in den Schichten bis nach oben transportiert werden!



4.2.3.4

5 Sparstrategien

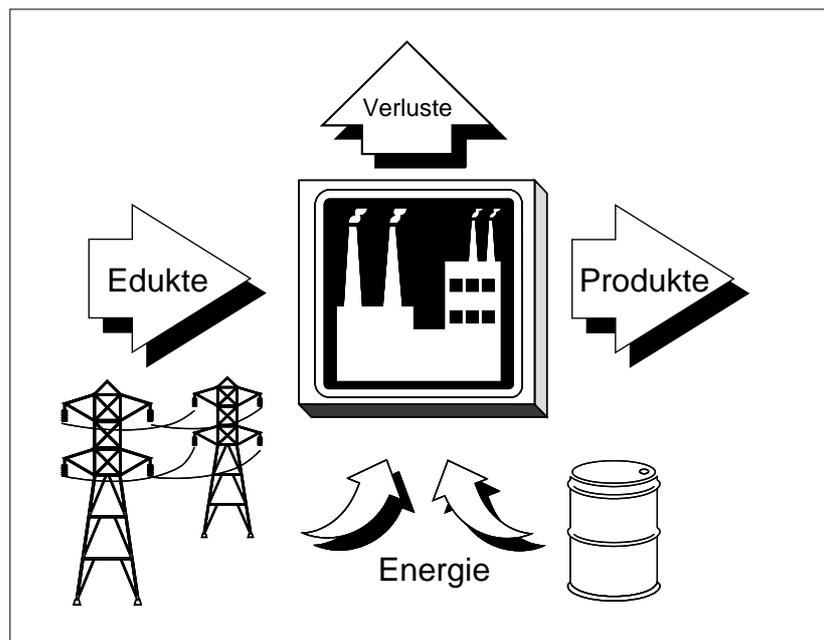
5.1 Wegweiser

Bevor man in der Tiefe nach komplexen Strategien sucht, wollen wir die grundsätzliche Problemstellung nochmals rekapitulieren.

Die trivialste, aber vielleicht ergiebigste Sparmassnahme ist die Vermeidung von unnötigem Energieverschleiss. Und zwar solchem, der ohne Investitionen, ohne Produktionseinbusse und ohne Mehrarbeit, der schlicht und einfach durch ein bisschen Nachdenken, und einige einfache Handgriffe eliminiert werden kann.

Ist diese Möglichkeit einmal ausgereizt, so wird man Anstrengungen unternehmen müssen, um den Verbrauch weiter zu reduzieren. Dazu sind die folgenden Erwägungen nützlich:

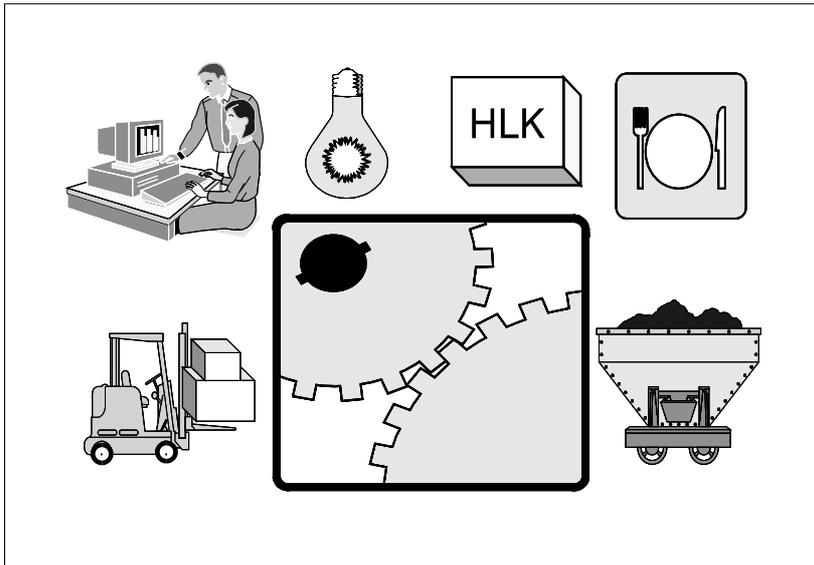
5.1.1 Die Industrie als Black Box



5.1.1

In dieser Betrachtung ist der Industriebetrieb nur als Ganzes relevant, mit Rohstoffen, Halbfabrikaten und Energieträgern als Input und Produkten und Verlusten als Output. Die einzelnen Verbraucher und ihre Gegebenheiten interessieren (noch) nicht.

5.1.2 Die Industrie als Puppenstube



5.1.2

Bei dieser Betrachtung sieht man, dass sehr viel mehr Verbraucher als nur die eigentliche Herstellung an der industriellen Tätigkeit teilhaben, so auch die ganze Administration, Beleuchtung, Heizung, Lüftung, Klimatisierung, Verpflegung sowie Lagerung und Transport.

5.1.3 Optimierungsziel

Ziel der Optimierung muss es deshalb sein, die Ausgangsleistung gegenüber den Inputs zu optimieren, und zwar generell für alle Verbraucher, nicht nur für die eigentliche Fabrikation. Ein Fabrikationsverfahren aber, das aus der gleichen Hülle mehr produziert (oder aber eine kleinere Hülle erlaubt) ist ein Basiselement der Sparstrategie.

Anzustrebendes Ziel ist also die Optimierung der «Black-Box». Da deren Charakteristiken jedoch eine Summe der in der ‚Puppenstube‘ angedeuteten Eigenschaften ist, so lautet das Ziel präziser:

Optimierung der Gesamtheit aller Einrichtungen durch ganzheitliche Betrachtungsweise.

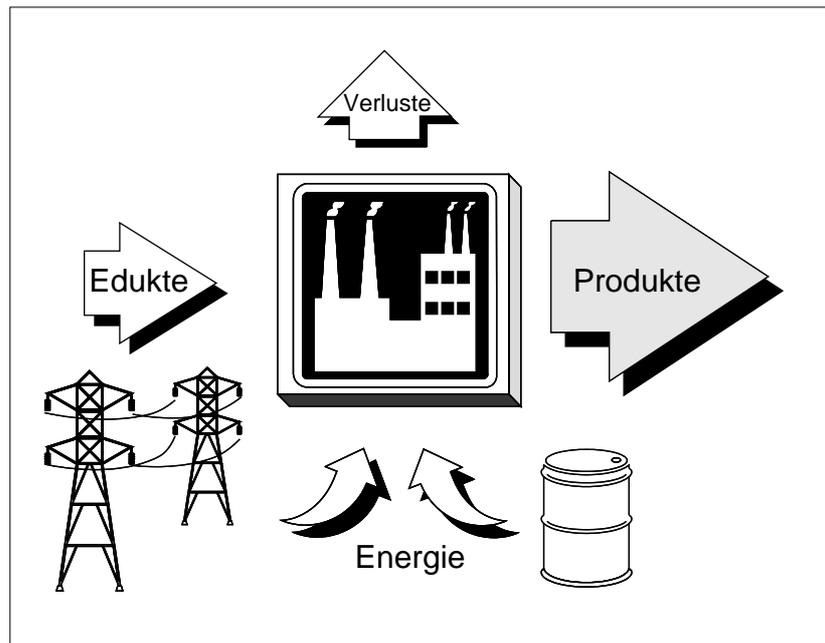
Oder negativ ausgedrückt: Die Optimierung eines Teilbereiches ist sinnlos, wenn dessen Auswirkungen auf die ganze industrielle Operation keine Verbesserung bringt.

Als Zweites sei an die Aussage im Kapitel «Einstieg» erinnert:

Um Arbeit zu minimieren, muss man

- entweder die Leistung senken oder
- die notwendige (Bearbeitungs-) Zeit verkürzen
- oder noch besser beides tun.

Wenig Input,
viel Output



5.1.3

Falls die Automation bei der Verfolgung dieser globalen Ziele ein Thema ist (und das ist sie meistens), so können eine Reihe weiterer Aspekte geprüft werden:

- Realisierung
- Inbetriebnahme
- Betrieb und Unterhalt

ferner als zeitlich unbegrenzt einsetzbare Mittel

- Energiekontrollsysteme und
- Offline-Strategien

Abschliessend erfolgt eine Zusammenfassung unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit.

5.2 Realisierung

Die Projektierungs- und Realisierungsphasen kommen nicht nur zeitlich zuerst, sie sind auch mit Abstand die wesentlichsten Phasen in bezug auf die allgemeine Leistungsfähigkeit einer Anlage. Hier werden die Weichen gestellt, hier ist Vorausdenken am wichtigsten und am dankbarsten, oder negativ ausgedrückt: Hier sind die Fehler am teuersten.

Ganzheitliche Betrachtung

Betrachten wir vorerst die technischen, durch Automation ermöglichten Strategien in dieser Phase. Obwohl die Massnahmen hier klassifiziert sind, wird man in der Realität sowohl «Symptome» wie «Medizin» immer einer gesamtheitlichen, **kombinierten Betrachtung** unterziehen müssen.

Die einzelnen Themen sind in folgende Abschnitte gegliedert:

- Verbrauchserfassung
- Eliminieren von Leerlauf
- Bessere Leistungsanpassung
- Reduktion von Sicherheitsmargen
- Ausschussverminderung
- Optimale Regelungen
- Lastverteilung und -Management

5.2.1 Verbrauchserfassung

Die integrierte Erfassung der Leistungs- und Verbrauchsdaten in Steuerungen macht es möglich, diese Daten direkt in Relation zu setzen mit den anderen Produktionsvariablen wie etwa Stückzahlen, Betriebseinstellungen etc. Damit können Resultate innert kürzerer Frist zur Verfügung gestellt werden, als wenn die Werte von Hand erfasst werden. Die Präsentation der Resultate kann sowohl durch Ausdruck als auch durch Darstellung auf einem Bildschirm erfolgen.

Integrierte Erfassung

Die Verfügbarkeit von on-line Verbrauchsdaten ist eine notwendige Voraussetzung für ein automatisiertes Energiemanagement.

In einer weiteren Stufe können Verbrauchsdaten durch Werkzeuge der technischen Informatik in Statistiken und Bilanzen verarbeitet werden. Die Resultate können wiederum für die Erarbeitung von Optimierungsmassnahmen verwendet werden.

Integrierte Auswertung

5.2.2 Eliminieren von Leerlauf

5.2.2.1 Zu- und Abschalten von nur teilweise benützten Verbrauchern

Ein wesentliches Sparpotential liegt in der automatischen Stilllegung und des Wiederstarts von nur teilweise benützten Verbrauchern, Antrieben und ganzen Prozessketten. Dazu müssen folgende Voraussetzungen geschaffen werden:

Unnötige Verbraucher abschalten

- Die Unterbelegung eines Prozesselementes muss automatisch erkannt werden (Sensorik)
- Die Steuerung muss einzelne Prozesselemente sanft starten und stoppen können.
- Die Anlagenmechanik muss so konstruiert sein, dass ein Start/ Stopp- Betrieb ohne Verschleissprobleme möglich ist.

Diese Strategie sollte bei Transportsystemen, Lüftungen, Heizungen und Hilfsbetrieben wie Kompressoren, Dampferzeugung etc. angewendet werden. Dazu ein typisches Beispiel:

Die wohl allen bekannten Förderbänder für Gepäck von Flugreisenden, die die Gepäckstücke vom Terminal in die Gepäckausgabe transportie-

ren, laufen erst an, wenn ein Flugzeug entladen wird. Das ist an sich richtig so. Jeder aufs Gepäck Wartende bemerkt jedoch, dass der Entladekreislauf schon lange anluft, bevor das Gepäck erscheint. Das lässt vermuten, dass die ganze Strecke miteinander gestartet wird, obwohl ein gestaffeltes Einschalten einer 500 m langen Förderstrecke durchaus sinnvoll und mit einfachen Mitteln realisierbar wäre.

Dort, wo der Start/Stopp-Betrieb Probleme macht, kann eine vorausschauende Automatik (unter Einbezug von Erfahrungswerten) eine wesentliche Verbesserung erzielen:

Die Wartungsintervalle einer Gasturbine in einer Wärme-Kraftkopplungsanlage werden mehrheitlich von der Anzahl Start/Stopp-Zyklen und nicht von der Laufzeit bestimmt. Entscheide über Start und Stopp einer solchen Turbine sollen deshalb den erwarteten Bedarf an Wärme oder Elektrizität einbeziehen (z.B. nach einer Tages- und Wochengangstatistik). Ähnliche Resultate lassen sich durch Trend-Verfolgung und -Extrapolation erzielen.

5.2.2.2 Erkennen eines Prozess-Endes



5.2.2.2

In vielen, vor allem mit der Chemie verwandten Prozessen, muss man einem Vorgang Zeit lassen. Während dieser Zeit laufen Verbraucher wie etwa Heizungen, Kühlungen, Pumpen, Rührwerke etc. Das Bedienpersonal schaut nur gelegentlich nach, ob der Prozess vielleicht schon fertig sei, und setzt sehr oft eine gehörige Portion Sicherheitsmarge dazu. Dabei wird Energie verschleudert.

Das automatische Erkennen des Prozessendes anhand gemessener Produkteigenschaften ist aber zumeist möglich und dürfte sich aus verschiedensten Gründen lohnen. Denn es wird nicht nur Energie gespart, man kann auch mit der gleichen Einheit mehr produzieren oder, falls mehrere vorhanden sind, nicht mehr benutzte Einheiten abschalten.

Typische Beispiele dazu finden sich vor allem aus der batch-orientierten Chemie und Lebensmittel-Industrie. Aber auch bei Kläranlagen führt dieser Ansatz zum Erfolg:

In biologischen Klarstufen sorgt ein Rührwerk für die ausreichende Belüftung der Stufe mit Sauerstoff. Während früher dieses Rührwerk einfach dauernd lief, wird es heute über eine Sauerstoff-Sonde gesteuert, die das Rührwerk abschaltet, wenn die bakterielle Sauerstoffversorgung gesichert ist (Quelle Regatron AG).

5.2.2.3 Zeitliche Belegung optimieren

Es ist gewiss keine Neuigkeit, dass die zeitliche Belegung einer Anlage einen wesentlichen Einfluss auf den Wirkungsgrad hat. Anlagen mit grossen Start-, Stand-by- und Abfahrverlusten müssen zeitlich möglichst ausgeglichen belastet werden. Vor allem die folgenden vier Massnahmen versprechen hier Erfolg:

- | | |
|--|--|
| <p>1 Eine Aufteilung der Produktion auf mehrere kleinere Produktionseinheiten statt einer einzigen grossen Fertigungsstrasse. Eine grosse, unausgelastete Anlage wirkt unter den oben genannten Bedingungen als Energieschleuder. Bei der Firma Von Roll beispielsweise bewirkte die Aufteilung der Schrotteinschmelzung auf zwei kleinere Öfen eine eklatante Energieverbrauchsminderung gegenüber der einzigen alten Anlage.</p> | <p>Small is beautiful</p> |
| <p>2 Eine dem Prozess und nicht dem menschlichen Arbeits-Ruhe-Zyklus angepasste Produktionsweise. Gerade beim Betrieb rund um die Uhr hilft Automation, die uns Menschen angepassten Arbeitszeiten vom Produktionsrhythmus abzukoppeln. In etlichen Betrieben ist man zum Beispiel dazu übergegangen, bei Tage die anspruchsvollen Produktionen zu fahren und nachts die einfacheren Produkte auf der gleichen Produktionseinheit vollautomatisch zu produzieren. Es gibt aber auch Prozesse, die man dann am besten fährt, wenn sie z.B. pro Woche nur während einer zusammenhängenden Periode von ein paar Schichten gefahren werden und die Anlage für den Rest der Zeit völlig abgeschaltet wird. Auch hier hilft die Automation, Härten bezüglich der Arbeitszeiten zu vermeiden.</p> | <p>Aufteilung anspruchsvolle/unempfindliche Produktion</p> |
| <p>3 Die automatische Voreinstellung von Fertigungseinheiten bei häufigem Produktwechsel. Unter Voreinstellung kann man sowohl die rezeptgesteuerte Vorgabe von Maschinenparametern wie Temperaturen, Konzentrationen, Fördermengen, Drehzahlen etc. verstehen als auch die optimale Auswahl von Werkzeugen. Beispiel: Eine gute Voreinstellung der Druckwerke spart Zeit, Papier und Energie im Zeitungsdruck, alles wichtige Kostenfaktoren in diesem Gewerbe.</p> | <p>Schneller Produktwechsel</p> |
| <p>4 Koordination von ganzen Prozessen für eine möglichst gute «Verzahnung» der einzelnen Fertigungsschritte. Auch hier hilft Automation auf übergeordneter Ebene, Planung, Disposition, Produktbereitstellung und Produktion so zu unterstützen, dass die Wartezeiten minimiert werden. Gut koordinierte Produktionen helfen ausserdem das Lager zu minimieren, was eine Kosten- und Energieersparnis mit sich bringt.</p> | <p>Prozesskoordination</p> |

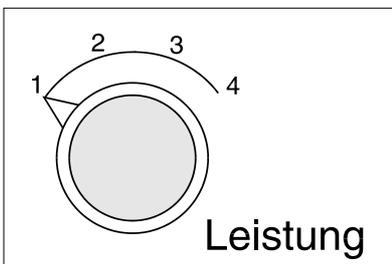
5.2.3 Bessere Leistungsanpassung

Die älteren Semester unter uns kannten noch die Werkstätten (etwa des Schumachers), wo ein einziger grosser Motor alle Verbraucher über Transmissionsriemen antrieb. Das Höchste der Gefühle war eine mechanische Kupplung, mit der man z.B. eine Ledernähmaschine an die Transmission koppeln konnte. Die Arbeitsgeschwindigkeit einzelner Vorgänge liess sich nur durch Wechsel der Rollen mit anderem Durchmesser verändern.

Nach wie vor ist die überwiegende Zahl von industriellen Antrieben nicht regelbar und wird immer mit der gleichen Drehzahl betrieben. In vielen Fällen ist dies auch durchaus adequat und eine einfache und billige Lösung. Für andere Fälle ist jedoch eine Leistungsanpassung zur effizienten Produktion unumgänglich.

Die drehzahlgeregelte Ausrüstung von grossen Antrieben mit variablem Leistungsbedarf (z.B. Gebläse, Transportbänder) ist beim heutigen Stand der Halbleitertechnik kein Problem mehr. Sehr viel eher liegt das Problem noch in der Bedarfserfassung (Sensorik) und der Regelung. Denn eine Leistungsnachführung nützt nur dann etwas, wenn sie automatisch ist. Sonst stehen die Sollwerteingaben einfach überall auf dem Maximum, und die teure Elektronik nützt gar nichts.

Bei gekoppelten Verfahren muss die Drehzahl natürlich in allen gekoppelten Antrieben koordiniert werden («elektronische Welle»). Moderne Elektronik erlaubt aber durchaus, auch heikelste Koppelungen elektronisch (und nicht mechanisch) durchzuführen, so z.B. für die Walzantriebe von Druckwerken (Papier, Folie, Karton, Textilien etc.). Wenn man die Zugkräfte auf dünnes Papier durch eine Maschine mit derartigen Trägheitsmomenten regeln kann, dann sollte dies auch bei den meisten anderen Prozessen gelingen.



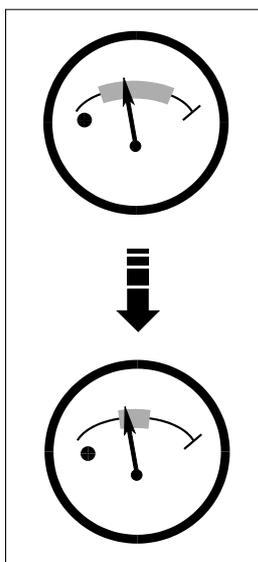
5.2.3

Oft nützt aber auch schon eine einfache, unregelmässige Umschaltung eines Antriebs auf zwei Leistungsstufen (z.B. Polumschaltung) oder zwischen zwei Antrieben unterschiedlicher Leistung und/oder Drehzahl.

Eine weitere Leistungsregulierung kann durch variables Zuschalten mehrerer Antriebe erreicht werden (z.B. Ventilatoren). Die Anforderungen an die Steuerelektronik sind hier nicht gross.

Interessante Hinweise auf einzelne Möglichkeiten werden in den RAVEL-Ressorts «Kraft», «Industrie» und «Gebäudeautomation» gegeben.

5.2.4 Reduktion von Sicherheitsmargen



5.2.4

Viele Prozesse werden mit grosszügigen Sicherheitsmargen gefahren, die immer auch einen Mehrverbrauch gegenüber der optimierten Produktion verursachen. Vom Standpunkt des Produktionsverantwortlichen ist dies auch verständlich, denn der Ärger mit einer mangelhaften Produktion wird durch einen Minderverbrauch nicht aufgewogen. Eine Voraussetzung für den Abbau von Sicherheitsmargen ist also eine dauernde, zuverlässige Prozesskontrolle, wie sie nur durch Automationsmittel ermöglicht wird.

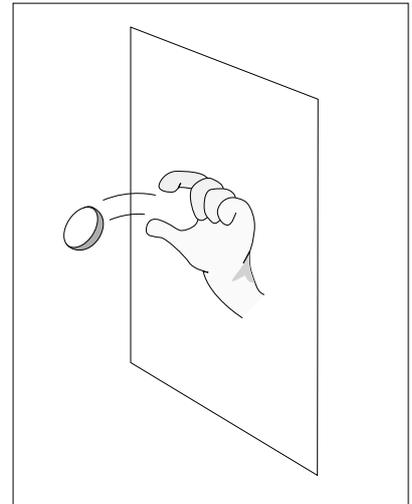
Durch Messung wichtiger Verfahrensparameter und direkte Umsetzung in die Steuerung und Regelung kann dazu ein Beitrag geleistet werden. Typisches Beispiel dafür sind Steuerungen moderner Druckgussmaschinen, bei denen eine Vielzahl von Einstellwerten und dynamischen Charakteristiken wie Schussbewegungen parametrisiert werden können. Der Einsatz geeigneter Sensorik ist aber Voraussetzung für ein solches Unterfangen.

5.2.5 Ausschussverminderung

Ausschuss bedeutet immer auch verschwendete Energie. Die Verminderung von Ausschuss ist eines der attraktiven RAVEL-Themen, weil sie auch unter ganz anderen Gesichtspunkten wünschenswert ist.

Dabei kann Automation sowohl durch integrierte Qualitätskontrolle als auch durch selbsttätig ausgelöste Korrekturmaßnahmen direkt beitragen.

Indirekte Beiträge ergeben sich durch Trenderfassung, Limitüberwachung etc. Dabei wird das Bedienpersonal über ungewöhnliche Vorgänge avisiert. Es kann dann selbst über zu treffende Massnahmen entscheiden und diese auch via die Steuermittel auslösen. In vielen heiklen Verfahren ist es viel erfolgreicher und viel billiger, gute Entschiede des Bedienpersonals herbeizuführen, als für jeden möglichen Fall eine automatische Antwort zu programmieren. Eine gute Überwachung ist deshalb in vielen Fällen der Vollautomation vorzuziehen.



5.2.5

In letzter Zeit wird viel von den Möglichkeiten von Expertensystemen (auch künstliche Intelligenz genannt) zur Diagnoseunterstützung gesprochen. Dabei werden aber zum Teil Erwartungen geweckt, die kaum erfüllt werden können. Denn das Aufsetzen der Regeln, auf denen das Verhalten der Systeme basiert, muss ja seinerseits durch Experten des Verfahrens erfolgen. Das mag sich für die Überprüfung von Massenartikeln lohnen (so z.B. zur Diagnose eines Automotors oder eines Turbinenriebwerks), selten bis nie jedoch bei Einzelanlagen.

Künstliche Intelligenz?

Mit zwei weiteren Möglichkeiten unterstützt die Elektronik die Ausschussminderung:

- Zum einen müssen viele Prozesse bei Produktionsbeginn zuerst eingefahren werden, z.B. die Farbzuführung auf einer Druckmaschine, die ja vom Druckbild der zu druckenden Seite abhängt, oder etwa die Einstellung der Walzenstühle einer Mehlmühle, die von der Weizenqualität und dem zu produzierenden Mehl abhängt. Dabei produzieren sie in der Hochlaufphase Ausschuss. Wenn die zum vornherein bekannten Daten zu einer Voreinstellung der Prozessparameter berücksichtigt werden, kann man den Prozess schneller in die Toleranzlimiten bringen, als wenn die Parameter jedesmal bei laufender Produktion aus einer Grundeinstellung durch das Personal ermittelt werden müssen.

Im konkreten Falle der oben erwähnten Druckmaschine (z.B. Zeitungsoffset) kann in der Anlaufphase der Ausschuss (Makulatur) von ca. 4000 durch Voreinstellung auf ca. 500 Exemplare reduziert werden. Die Druckkosten inklusive Papier betragen dabei über einen Franken pro Exemplar, eine Tageszeitung mit mehreren hunderttausend Exemplaren wird auf mindestens drei Maschinen gleichzeitig gedruckt. Es können also mehr als 10'000 Exemplare pro Erscheinungsdatum gespart werden (mehr als 10'000 Franken). Neben den Einsparungen an Papier und Farbe (Holz, Chlor, graue Energie etc.) wird Produktionsenergie und die beim Zeitungsdruck

besonders wichtige Zeit zwischen Redaktionsschluss und Auslieferung gespart.

- Zum anderen erlaubt die moderne Elektronik im Zusammenhang mit der entsprechenden Sensorik Qualitätsmerkmale on-line, d.h. bei laufendem Prozess, zu messen, die früher nur durch eine umständliche Nachkontrolle ermittelt werden konnten. Damit wird es möglich, Qualitätsabweichungen sehr viel früher festzustellen und damit potentiellen Ausschuss zu vermindern. Wo immer heute noch ein Labor für die begleitende Qualitätskontrolle eingesetzt wird, muss man sich ernsthaft fragen, ob diese Kontrolle nicht in den laufenden Prozess integriert werden könnte.

5.2.6 Optimale Regelungen

Dass die Optimierung des Regelverhaltens Sparpotential beinhaltet, ist offensichtlich. Ferner sind stabile Regelstrecken energieeffizienter als instabile.

Durch die Vielzahl der angebotenen Regler kann man fast für jedes klassische Regelproblem eine Lösung finden. Lange Zeit war man jedoch zufrieden, sobald man eine Regelung stabil betreiben konnte.

Komplexe Vorgänge benötigen komplexe Regelungen

Leider genügt der klassische, isolierte Regelkreis für viele moderne Anwendungen nicht mehr. Zur Optimierung braucht es Regelungen, die nicht nur einen Messwert, sondern eine Vielzahl von gemessenen Werten verarbeiten und dabei auch eine Vielzahl von Stellwerten berechnen und ausgeben können (z.B. die Motorelektronik eines Verbrennungsmotors oder die Antriebselektronik einer modernen Umrichterlokomotive).

Für eine Einzelanwendung kommt aber die Entwicklung eines Steuerchips oder einer komplexen computergestützten Regelvorrichtung aus Preisgründen kaum in Frage. In einfacheren Fällen genügt es jedoch, eine Mehrzahl von Reglern durch eine zentrale Einrichtung wie etwa eine SPS oder einen PC zu koordinieren, um übergeordnete Verfahrenscharakteristiken zu beeinflussen. Dazu ein einfaches Beispiel:

Bei der Herstellung von Platinen für gedruckte Schaltungen ist eine exakte Klimatisierung der Fabrikationsräume besonders wichtig, weil sich sonst Filme und Plattenschichten verziehen. Dies wird heute durch zahlreiche parallel arbeitende Klimanlagen bewerkstelligt. Ein namhafter schweizerischer Print-Hersteller hat entdeckt, dass diese Klimanlagen sich in ihrer Wirkung teilweise konkurrenzieren und durch Störeinflüsse die Anlagen gegeneinander arbeiten können (z.B. trocknet die eine Klimaanlage, die Nachbaranlage befeuchtet, wieder eine heizt, und deren Nachbaranlage kühlt). Deshalb koordiniert er jetzt die Anlagen mit einer übergeordneten Steuerung.

Plazierung der Sensoren wichtig

Für eine gute Regelung ist aber auch die Auswahl und Plazierung von Sensoren und Stellgliedern wesentlich [7]. Dies sei an einem kleinen Beispiel aus dem Alltag erläutert:

Moderne Hausheizungen verfügen über elektronische Regelsysteme, die kaum Wünsche offen lassen. Dennoch werden bei Fussbodenheizungen die Aussentemperatursonden meist falsch platziert, nämlich auf der Nordseite des Hauses statt an der Morgensonnenseite. Damit nimmt die Regelung bei schönen Wetter den Sonnenschein nicht zur Kenntnis, was meist zur Folge hat, dass man ab Mittag alle Fenster aufreissen muss. Wäre die Sonde auf der Morgensonnenseite platziert, so würde sie der Heizung rechtzeitig (was bei der Wärmeträgheit wichtig ist) eine entsprechende Verminderung der Heizleistung befehlen. Dieser Effekt hört ab Mittag auf, so dass mit der entsprechenden Verzögerung der Fussboden abends wieder warm ist.

Entsprechende Beispiele aus der Industrie dürften dutzendweise vorhanden sein.

In letzter Zeit wurde die Anwendung von «fuzzy logic» bekannt. Die Grundidee hinter diesem Regelkonzept ist die Anwendung von qualitativen statt numerischen Kriterien. Diese Theorie ist dort besonders interessant, wo gewisse Kriterien sich der exakten numerischen Erfassung entziehen oder diese doch sehr aufwendig machen. Eine typische Anwendung ist die Evaluation von Kontrasten bei optischen Abbildungsverfahren wie etwa der Fotografie oder beim Fotokopieren oder etwa zur Programmauswahl von Waschautomaten. Es ist durchaus anzunehmen, dass sich auch Anwendungen in der Industrie ergeben, bei denen «fuzzy logic» erfolgreicher ist als die klassische Regeltheorie. Anwendungen mit vielen Eingangswerten oder mit matrixartig angeordneten oder funktionierenden Sensoren sind dafür besonders geeignete Kandidaten.

Fuzzy Logic

Und noch ein Wort zum Stabilitätsproblem: Es gibt tatsächlich Vorgänge, bei denen Stabilität durch Mehrverbrauch «erkauft» wird. Klassisches Beispiel ist der induzierte Luftwiderstand eines konventionell ausgelegten Flugzeuges. Hier ist der Abtrieb des Höhenleitwerks notwendig, um Geschwindigkeitsstabilität zu erreichen (Andernfalls würde ein Flugzeug bei Fahraufnahme noch kopflastiger, was die Geschwindigkeitsaufnahme noch verstärken würde). An einem Flugzeug ist jedoch niemand am Abtrieb, sondern nur am Auftrieb interessiert. Um den Wirkungsgrad zu verbessern, wird heute zur Optimierung eine absichtlich instabile Auslegung durch Mittel der Automation künstlich stabilisiert. Es ist durchaus denkbar, dass solche Fälle auch in industriellen Prozessen vorkommen könnten, z.B. dort wo für die Stabilität grosse Massenträgheit in die Konstruktion eingebaut werden müssen. Grosse Massen bedeuten aber immer auch grosse Arbeit für die Beschleunigung, höhere Reibungsverluste etc.

Künstliche Stabilität

5.2.7 Ursachen statt Symptome bekämpfen

Auch dazu ein Beispiel:

Eine Steuerung mit ihren Schaltschränken wird an einem ungeeigneten Ort, z.B. in einem zu kleinen Raum unter einem schlecht isolierten Dach untergebracht. Die Verlustwärme heizt die Steuerung auf, bis sie wegen

Wärmeproblemen nicht mehr richtig funktioniert. Übliche Abhilfe: Klimatisieren! Damit verdreifacht sich der Verlust.

Empfohlene RAVEL-Abhilfe: Es gar nicht soweit kommen lassen! Dass auch Steuerungen und Schaltschränke Abwärme produzieren, ist längst bekannt, die einschlägigen Werte können von jedem Hersteller bezogen werden. Also plaziert man Steuerungen an einem Ort, wo die natürliche Lüftung ausreicht, um alle Elemente innerhalb deren normalen Umgebungsbedingungen zu betreiben. Falls dies nicht ausreicht ist eine Zwangslüftung (thermostatgesteuert natürlich) immer noch besser als eine Kühlung.

5.2.8 Integriertes Lastmanagement

Die Übersicht wäre unvollständig, wenn hier nur von Minimierung der elektrischen Arbeit die Rede wäre. Auch die maximal notwendige Leistung bedarf der Glättung, dies sowohl beim Energieproduzent, bei der Energieverteilung als auch beim Konsumenten, in unserem Falle also dem Industrie- oder Gewerbebetrieb.

Da ungeglätteter, stochastischer Leistungsbedarf den Energielieferanten in grosse Schwierigkeiten bringt, bestraft er den Konsumenten dafür mit einem Spitzenleistungstarif. Der Konsument bestraft sich überdies noch selbst, weil er in seine eigene Leistungsinfrastruktur (z.B. Transformatoren, Zuleitungen) mehr investieren muss, als bei einem geglätteten Betrieb notwendig wäre.

Vier Massnahmen zur Optimierung sollen hier erwähnt werden:

- 1 Spitzenbrecher: Sanftanlauf und verzögerter Anlauf ganzer Antriebsketten verringern Spitzenkonsum.
- 2 Für manche Betriebe ist ein Lastabwurf nicht absolut notwendiger Verbraucher in Grenzsituationen eine sinnvolle Massnahme.
- 3 Lastmanagement grosser Verbraucher durch die Elektrizitätswerke, entweder zur Erzielung günstigerer Tarife oder als subtile Art der Rationierung, sollte eine solche nötig werden.
- 4 Verschiebung von energieintensiven, vollautomatisierten Prozessen in die Niedertarif-Perioden. Beispiel:

Bei den Eberle-Mühlen in Rickenbach, Thurgau, ist ein Leitsystem seit 1975 im Betrieb, das alle vollautomatisch kontrollierbaren Nachfüll- und Mischvorgänge im Mehlsilo hauptsächlich nachts, unbewacht durchführt. Die Startzeit dieser Vorgänge ist mit dem Umschalten auf Nachttarif synchronisiert [6].

Bitte beachten Sie auch den Abschnitt über separate Energie-Kontrollsysteme (Kap 5.6).

5.3 Inbetriebnahme

Die Wichtigkeit einer effizienten Inbetriebnahme mit rascher Überführung eines Projektes in einen stabilen, zuverlässigen Zustand muss hier nicht weiter erörtert werden. Besonders wichtig ist aber der folgende Aspekt:

Bis dahin waren die Ingenieure und Planer am Werk. Sie übergeben dieses nun an die Betreiber. Die im Design enthaltenen guten Ideen, auch bezüglich des Energieverbrauchs, nützen nur etwas, wenn sie von den Betreibern verstanden und ausgenutzt werden.

Nur eine mit schriftlichen Unterlagen unterstützte Einweisung kann diesem Umstand Rechnung tragen, eine mündliche Erklärung verpufft wirkungslos. man darf nicht vergessen, dass eine industrielle Anlage oder Maschine im Laufe ihrer Lebensdauer Bedienungspersonal kommen und gehen sieht. Mit Vorteil werden heute die Unterlagen in einer Art erstellt und übergeben, die das Bedienungspersonal später selber ergänzen und korrigieren kann. Mit PC-Textverarbeitung ist das kein Problem mehr. On-line-Hilfen von Leitssystemen sollten vom Betreiber editierbar sein.

Schriftliche Unterlagen

Editierbare On-Line-Hilfen

Neben der Überprüfung der allgemeine Projektziele hat man nun auch die Gelegenheit, die bisher nur geschätzten Energiedaten zu verifizieren und zu optimieren.

5.4 Taktiken während des Betriebs

Während des Betriebs einer Anlage ist die Beobachtung der bedeutenden Parameter wie Energieverbrauch, Laufzeiten, Belegung etc. wichtig. Die Beobachtungen, ihre Interpretation und die daraus abgeleiteten Massnahmen sind unabhängig vom Automationsgrad und werden deshalb auch in anderen Bereichen von RAVEL eingehend erwähnt und erläutert, so dass man sich hier auf einige Besonderheiten von automatisierten Anlagen beschränken können:

- 1 Eine gut geplante und in Betrieb genommene, automatisierte Anlage erlaubt die Ermittlung und Darstellung der wichtigen Betriebsparameter und unterstützt damit das **Optimieren bei laufendem Betrieb** einer Anlage.
- 2 Eine gut geplante Anlage kann optimiert werden, ohne dass man das ganze Steuerungskonzept auf den Kopf stellen und die Software neu schreiben muss. Wichtige Parameter müssen deshalb einfach veränderbar sein. Die Aenderungsmöglichkeiten müssen aber auch vor Unbefugten geschützt werden, denn optimieren darf und kann nur, wer die Zusammenhänge kennt.
- 3 Kommt man zum Schluss, dass an der Steuerung etwas im Ablauf – nicht in den Parametern – geändert werden muss, so sind die Konsequenzen in bezug auf alle Belange, auch die energetischen,

durchzudenken, bevor eine Änderung der Software implementiert wird. Es gibt viele negative Beispiele von undurchdachten Änderungen, bei denen das Resultat schlechter war als der vorherige Zustand.

5.5 Einfluss des Unterhalts

Dass der Energieverbrauch einer Anlage vom Wartungszustand abhängig ist, ist eine Tatsache, die an sich nichts mit dem Thema Automation zu tun hat. Die meisten Anlagen werden von engagiertem Personal gewartet und die Kenntnisse eines Wartungsangestellten über «seine» Anlage sind oft auch für Vorgesetzte überraschend gut.

Automatisierte Anlagen haben jedoch besondere Empfindlichkeiten, aber auch besondere Chancen, auf die kurz eingegangen werden soll:

Probleme:

- 1 Alle allfällig angewandten Sparstrategien werden durch eine unzuverlässig arbeitende Automation zunichte gemacht. Unzureichende Zuverlässigkeit kann entstehen durch:
 - mangelhaft projektierte und/oder ausgeführte Automationselemente,
 - Unklare Betriebsanleitungen und Wartungsvorschriften,
 - Unzureichende Einweisung des Bedienungspersonals,
 - Verfahrensfehler,
 - schlechten Unterhalt der Anlage,
 - schlechten Unterhalt der Automationselemente.
- 2 Verfahrensoptimierende Elemente wie z.B. Sensoren können ihre Wirkung nur dann entfalten, wenn sie regelmässig kontrolliert und justiert werden. Es ist leider ein Kennzeichen jeder fein geregelten Anlage, dass sie – falsch justiert – schlechter läuft als eine unregelte.

Chancen:

Reproduzierbares Verhalten Ein eminenter Vorteil von automatisierten Anlagen ist ihr reproduzierbares Verhalten. Abweichungen vom Normalfall sind deshalb auf Störungen von aussen und nicht auf Bedienungsunterschiede zurückzuführen.

Durch Automationselemente kann der Anlagenzustand dauernd überwacht werden. Dabei können insbesondere erkannt werden:

- 1 das Überschreiten von zulässigen Limiten, in vielen Fällen auch schon die Annäherung an Limiten,
- 2 das «Abschleichen» von ursprünglich optimalen Werten durch Trendanalyse,
- 3 das Erreichen von vordefinierten Wartungsintervallen bei laufzeitabhängigen Anlageteilen,

- 4 das Erreichen von vordefinierten Zykluslimiten, ebenfalls für die präventive Wartung,
- 5 Störungen, die ohne geeignete Reaktion der Steuerung zu Schaden am Produkt, an der Anlage, der Umwelt oder gar an Personen führen könnten.
- 6 Automationselemente können den Unterhalt unterstützen und ihm wertvolle Hinweise geben durch Trenderfassung und/oder Laufzeit- bzw. Zyklenerfassung.

Für grössere Anlagen kann es durchaus erwägenswert sein, ein computergestütztes Wartungssystem einzusetzen. Diese Systeme erlauben einerseits die Planung aller präventiven Wartungsaktionen, unterstützen aber auch die spontanen Aktionen durch Vermittlung von vorgeschichteten Informationen und durch Dokumentation der Aktion und der ganzen Wartungsgeschichte. Im weiteren erlauben diese Systeme meist auch die Verwaltung der Ersatzteile.

Als höchste Stufe der computergestützten Wartung ist die Diagnose auf Basis von Expertensystemen zu erwähnen. Da der Aufwand zum Aufsetzen der Regeln jedoch ausserordentlich hoch ist, kommen solche Systeme nur für wenige besondere Anwendungen (wie z.B. in Kernkraftwerken) in Frage oder dort, wo komplexe Systeme in grosser Zahl gewartet werden müssen.

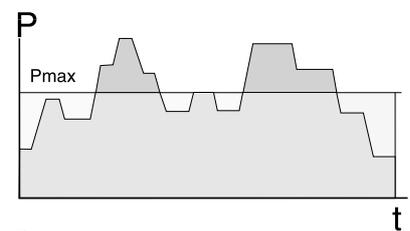
5.6 Energie-Kontrollsysteme

Energie-Kontrollsysteme (auch Energiemanagement-Systeme genannt) erlauben das koordinierte Ein- und Ausschalten der unter bestimmten Bedingungen schaltbaren Energieverbraucher. Damit wird automatisch ein Lastmanagement durchgeführt, dass in Spitzensituationen Lasten abwirft und diese später wieder zuschaltet. Das primäre Ziel ist die Senkung der Kosten des Leistungstarifes, der sich ja bekanntlich aufgrund der bezogenen Leistungsspitzen berechnet (heute ca. 150 Franken pro Kilowatt).

Sie eignen sich besonders dort, wo eine Vielzahl von Verbrauchern nicht dauernd eingeschaltet sein müssen oder wo in den Stillstandszeiten (zum Beispiel übers Wochenende) bis anhin nicht abgeschaltet wurde, weil sonst jemand zu nachtschlafener Zeit wieder einschalten sollte, um rechtzeitig für die Montag-Morgenschicht bereit zu sein. Sie werden also nicht parallel zu Steuersystemen eingesetzt, sondern übergeordnet für die nicht einer Steuerung unterliegenden Verbraucher oder übergeordnet zu in sich gesteuerten Systemen. Sie können deshalb in fast jedem Betrieb ohne wesentliche Eingriffe in die bestehenden Automatismen nachgerüstet werden.

Der Nutzen einer solchen Anlage geht jedoch weit über die Senkung der Spitzenlastkosten hinaus. Durch die bildliche Darstellung des Stromverbrauchs, über beliebige Zeitperioden gemessen, werden vorher unbekannt Zusammenhänge klar. Das erlaubt auch eine Verbrauchsanalyse und ist damit Basis für weitere verbrauchssenkende Massnahmen. Es verringert sich somit nicht nur die bezogene Spitzenleistung sondern auch die bezogene elektrische Arbeit massiv.

Computergestützte Wartung?



5.6

Ohne Automation einsetzbar!

Nicht nur bei der Leistung, auch bei der Arbeit wird gespart

Dazu ein Beispiel [6]:

Die Firma Bernina Fritz Gegauf AG in Steckborn produziert Nähmaschinen. Dazu sind nicht nur mechanische Verarbeitungen nötig, sondern auch diverse elektrisch beheizte Bäder für die Oberflächenbehandlung und Reinigung der Teile. Mit Roboter hochautomatisierte Fertigungen existieren zusammen neben weitgehend manuell zu verrichtenden Arbeiten mit niedriger oder fehlender Automatisierung. Die Firma Bernina gibt pro Jahr zirka eine Million Franken für elektrische Energie aus.

Die Einführung eines Energie-Kontrollsystemes wurde in einer Studie geplant (Energieanalyse) und evaluiert. Die Verhältnisse seit der Einführung können nun ständig weiter verfolgt werden. Die wesentlichsten Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle vereinfacht dargestellt:

	Vor Einführung EKS		Nach Einführung EKS		Einsparung	
	Strom ca.	Kosten ca.	Strom ca.	Kosten ca.	Franken	%
Leistung	2.3 MW	300'000	1.9 MW	250'000	50'000	16.6
Arbeit	7 GWh	750'000	6 GWh	650'000	100'000	13.6
Insgesamt		1'050'000		900'000	150'000	14.6

Das Resultat ist erstaunlich! Schon die Reduktion des Spitzentarifs um 50'000 Franken ist beträchtlich. Aber die doppelt so grosse Einsparung bei der elektrischen Arbeit war in dieser Grössenordnung unerwartet.

ROI weniger als ein Jahr!

Die Investitionskosten für das Systems von ca. 100'000 Franken wurden innerhalb eines Jahres amortisiert. Wer kann da noch behaupten, dass Stromsparen nur eine Angelegenheit idealistischer Träumer sei? Auch wenn der nicht unerhebliche Aufwand für die Betreuung des Systems hinzugerechnet wird, so ist der Return-on-Investment immer noch erstaunlich. Interessanterweise weist Bernina darauf hin, dass nicht nur das EKS, sondern die grundsätzlich intensive Befassung mit dem Energiethema die Einsparungen auf dieses vorzügliche Resultat brachten.

Dieses Beispiel widerspiegelt die Verhältnisse eines Grossverbrauchers. Aber mit ähnlichen Ideen kann auch in kleineren Betrieben und im Gewerbe gespart werden.

Klein-SPS als intelligente Schaltuhr

So können gewisse Verbraucher auch mit einfachen Zeitschaltuhren ein- und ausgeschaltet werden. Für viele Anlagen reicht dies jedoch nicht, weil eine einfache Schaltuhr keine Bedingungen verküpfen kann. Einfache anwendungsspezifische EKS (für einige wenige Verbraucher) können auch mit einer Klein-SPS für weniger als 1000 Franken realisiert werden können. Ein pfiffiger Betriebselektriker ist durchaus in der Lage, ein solches Klein-EKS selbst zu realisieren. Für komplexere Anlagen ist jedoch der Beizug von Spezialisten notwendig und die ökonomische Lösung.

5.7 Offline-Strategien

Bei vielen heute bestehenden industriellen Anlagen muss auch die bestehende Steuerung ihre Lebensdauer «absitzen», bevor an eine Erneuerung gedacht wird. In solchen Fällen kann dennoch eine Verbesserung der Energieeffizienz durch vom Steuersystem getrennte, stützende Massnahmen getroffen werden. Der Einsatz von Energiekontrollsystemen wurde ja bereits erwähnt, es gibt aber noch andere Möglichkeiten:

Produktionsverantwortliche haben zu recht ein ausgesprochenes Sicherheitsbedürfnis. Viele Betriebe fahren deshalb ihre Produktion so, dass sie mit Sicherheit auf der problemlosen Seite sind (vgl. Kap 5.2.4). Auch wenn gelegentlich Praktiken als uneffizient verdächtigt werden, so fehlt die Motivation zum Experimentieren, weil die Resultate nicht immer kurzfristig erhältlich sind und Qualitätsmängel oft erst nach Jahren zu Tage treten.

Eine besondere Bedeutung kommt daher der Auswertung und Interpretation von Daten zu, die zumeist in den EDV-Systemen der Betriebe anfallen.

EDV-generierte Daten

So wurde zum Beispiel in Baumwollspinnereien anhand der separat erfassten EDV- und Qualitätsdaten zweifelsfrei nachgewiesen, dass die Klimatisierung der Produktionshallen mit einer viel grösseren Toleranz den natürlichen Gegebenheiten (äusseres Klima, Abwärmeeinflüsse) nachgeben darf, als dies jahrelang praktiziert wurde. Eine gut ausgenützte Betriebsdatenerfassung (BDE) gibt eine wesentliche Grundlage für die Ermittlung der wichtigen Kennzahlen und lässt auch die Auswirkung von veränderten (optimierten) Energieparametern zu.

Gesammelte Betriebsdaten geben aber auch einen guten Überblick über die Belegung einer Produktionseinheit. Erkenntnisse aus solchen Überlegungen helfen einerseits, eine bestehende Anlage besser zu betreiben. Andererseits sind sie auch wichtige Ausgangspunkte für die punktuelle Verbesserung eines Teilbereichs oder gar die Gestaltung einer neuen (Nachfolge-) Anlage.

Das Ausnutzen sämtlicher Informationen eines Betriebes, also auch von Informationen aus kommerziellen EDV-Anlagen, Qualitätssicherungssystemen und Management-Informationssystemen kann jederzeit ohne (oder nur mit geringen) Investitionen erfolgen.

5.8 Wirtschaftlichkeit

Sowohl bei Planung, Unterhalt wie auch während dem Betrieb ergeben sich eine Vielzahl von Massnahmen, die – meist auch in Kombination miteinander – das Verhalten einer Anlage positiv beeinflussen können. Dabei kann man erfreulicherweise feststellen, dass bei fast allen geschilderten Massnahmen die Effizienz im kommerziellen Sinne und im energetischen Sinne Hand in Hand verbessert werden und sich die Massnahmen deshalb doppelt lohnen.

Doppelter Lohn Eben dieses «Doppelt lohnen» ist das Schlüsselwort zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit für eine Investition. Wie viele Beispiele zeigen, bringt eine intensive Befassung mit dem Thema Effizienz unerwartete Erfolge, die sich nicht nur durch die angeschafften Geräte erklären lassen. Der Erfolg einer effizienten Anlage lässt sich nicht nur an den erzielten Verbrauchseinsparungen messen, sondern an einer Vielzahl von im einzelnen schlecht quantifizierbaren, positiven Veränderungen (vgl. Beispiel Offsetdruck, Kap 5.2.5).

Von einer Wirtschaftlichkeitsrechnung sollte man aber keineswegs absehen, nur weil möglicherweise nicht alle positiven Aspekte **quantifizierbar** sind. **Es darf auch qualifiziert werden!** Für eine einwandfreie Wirtschaftlichkeitsrechnung sei die RAVEL-Broschüre «RAVEL zahlt sich aus» als Leitfaden empfohlen [10].

Eine einfache (und durchaus realistische) Wirtschaftlichkeitsrechnung wird hier als Beispiel und «Fingerübung» aufgeführt:

Beispiel zur Wirtschaftlichkeitsrechnung:

(die Zahlen sind vereinfacht, entsprechen aber in der Grössenordnung der Wirklichkeit)

Eine Mühle produziert heute mit einer konventionellen Steuerung 400 t Mehl pro Tag aus 500 t Weizen, das heisst mit einer Ausbeute von 80%. Der Markt erlaubt ein volles Ausschöpfen einer Produktion rund um die Uhr während sieben Tage in der Woche und an 350 Tagen im Jahr. Die Tonne Weizen kostet im Einkauf 500 Franken, die Tonne Mehl im Verkauf 1000 Franken.

Für die Bedienung der bestehenden Anlage sind durchgehend zwei Mann (zu je 100'000 Franken pro Jahr) erforderlich, d.h. für eine durchgehende Besetzung während 168 Stunden pro Woche sind 8 Personen nötig (800'000 Fr. pro Jahr).

Eine Vollautomation erlaubt nun

- die Überwachung auf eine Schicht zu reduzieren, d.h. es arbeiten zwei Mann je eine 5-Tage-Woche.
- die Ausbeute wegen besserer Prozesskontrolle um 1% zu steigern (404 Tonnen Mehl pro Tag, ohne Weizenmehrverbrauch).
- alle anderen Parameter unverändert zu belassen, insbesondere der Stromkonsum von 2 MW.

Wie viel darf nun die Steuerung maximal kosten, wenn sie sich in 5 Jahren amortisiert haben soll bei einem Kalkulationszinssatz von 6%? Unterhaltskosten, Teuerung und steuerliche Aspekte werden der Einfachheit halber nicht berücksichtigt.

Als zweiter Schritt ist zu berechnen, wie viel Geld unter den gleichen Voraussetzungen für Massnahmen ausgegeben werden kann, um 10% Strom einzusparen (1 kW = 140.-/p.a., 1 kWh = 10 Rappen).

Lösungsweg

Vorerst zum spezifischen Energieverbrauch pro Einheit Mehl: Dieser wird sich um ca. 1.5% verbessern, da kein anderer relevanter Parameter als die Ausbeute geändert wird.

Der Mehrstromverbrauch der Steuerung gegenüber einer konventionellen (ca. plus 10 kW) fällt bei einem Gesamtverbrauch von ca. 2 MW nicht wesentlich ins Gewicht (0.5%).

Der Mehrertrag rechnet sich wie folgt:

350 Tage mal 4 zusätzliche Tonnen Mehl mal 1000 Franken = 1'400'000 Franken.

Die Personalkosten senken sich um $6 * 100'000$ Franken; die Einsparung beträgt hier 600'000 Franken.

Das Bruttoergebnis verbessert sich also um 2'000'000 Franken pro Jahr.

Man nehme nun die Broschüre «RAVEL zahlt sich aus» zur Hand. Aus Anhang A ergibt sich ein Annuitätsfaktor von 0.237 (bei 6% und 5 Jahre Laufzeit). Die maximalen Kosten der Steuerung inklusive Sensorik, Starkstromteil und Verkabelung betragen demnach:

2'000'000 Franken geteilt durch 0.237 = 8'439'000 Franken.

Für dieses Geld lässt sich eine solche Steuerung realisieren. Arbeitet die Steuerung während 10 Jahren ohne Ersatzbedarf (ebenfalls realisierbar), so erzielt sie einen Bruttogewinn von 10 Millionen Franken während der Nutzungsdauer!

Einbezug der Strom-Verbrauchs-Reduktion

Bis jetzt wurde nur eine Effizienzverbesserung bei gleichem Stromverbrauch in Betracht gezogen. Lässt sich der Stromverbrauch durch Anwendung von hier besprochenen Strategien noch um 10% reduzieren, so ergibt sich bei einem Leistungspreis von 140 Franken pro kVA und einem Arbeitspreis von 10 Rappen pro kWh eine weitere Ersparnis von

$0.10 * 2000 \text{ kVA} * 140 \text{ Franken} = 28'000 \text{ Franken}$ und

$0.10 * 350 \text{ Tage} * 24\text{h} * 2000 \text{ kVA} * 0.1 \text{ Franken} = 168'000 \text{ Franken}$

insgesamt also zusätzliche 196'000 Franken pro Jahr, dies bei äusserst konservativen Annahmen!

Immer noch unter der Annahme einer Amortisationsdauer von fünf Jahren bedeutet dies, dass **weitere 830'000 Franken für entsprechende verbrauchsmindernde Massnahmen zur Verfügung stehen**. Damit lässt sich viel machen.

RAVEL und Automation zahlen sich aus!

Die ganze Rechnung wurde bis jetzt unter der stillschweigenden Voraussetzung durchgeführt, dass der Strom in der betrachteten Einsatzdauer nicht teurer würde. Nachdem der Strompreis durch die Politik beeinflusst wird und nicht den freien Marktgesetzen gehorcht, kann ihn höchstens eine Revolution verbilligen. Und weil dies nicht sehr wahrscheinlich ist, wird der Hebel von RAVEL-Massnahmen noch länger.

6 Automationsprojekte

Automationsprojekte sind schwierig zu realisieren und erreichen nicht immer alle gesetzten Ziele. Und nun sollen auch noch die Ziele von RAVEL dazukommen?

Ja, das sollen sie! Dafür soll aber hier auch eine kleine Hilfestellung gegeben werden, wo die gefährlichsten Klippen liegen und wie sie umschifft werden sollten, damit diese Aufgabe gelöst werden kann.

6.1 Problemanalyse

Projekte der Automation unterscheiden sich in folgenden Eigenschaften von anderen Branchen:

- | | | |
|---|--|------------------------------------|
| 1 | Der Projektfortschritt ist nicht sichtbar (vgl. mit Bau) und der Stand der Dinge damit nicht augenfällig. | Fortschritt nicht sichtbar |
| 2 | Es gibt keinen dauerhaften (und damit ausgereiften) Stand der Technik; d.h. in (fast) jedem Projekt werden unbekannte Komponenten, Verfahren und/oder Module eingesetzt, über deren Einsatz keine Erfahrungen vorhanden sind. | Kein dauerhafter Stand der Technik |
| 3 | Störungen treten nicht nur in der gesteuerten Maschine oder Anlage auf, sondern auch in der Erfassung, Übertragung, Verarbeitung und Ausgabe von Signalen. | Störungen |
| 4 | Unser Denktraining in den Schulen ist für Lösung von Automationsaufgaben ungeeignet, weil wir
a) statische Probleme lösen lernen (z.B. Algebra, Geometrie, Grammatik) und nicht in Abläufen denken und
b) mehrheitlich gestellte Aufgaben lösen lernen, aber nicht das Suchen der Aufgaben selbst. | Falsches Denktraining |

Was kann man dagegen tun? Wichtigstes Hilfsmittel ist das Sichtbarmachen aller Vorgänge durch geeignete Methoden und ein in abgegrenzte Teile zerlegtes Vorgehen. Dieses Kapitel soll dazu einen Leitfaden geben.	Vorgänge sichtbar machen
	Vorgehen strukturieren

6.2 Spielregeln

Den letzten beißen die Hunde. Bei vielen Neuerungen sind dies die Automationsingenieure. Gerade deshalb ist es für diese besonders wichtig, der Zeitnot durch gute Planung und Organisation entgegenzuwirken. Im letzten Kapitel wurde schon dargetan, dass die Planungsphase eines Projektes die wichtigste ist bezüglich des späteren Kosten/Nutzenverhältnisses, der Effizienz im allgemeinen und der Energieeffizienz im speziellen.



6.2

Alles Planen nützt nichts, wenn die guten Ideen schliesslich nur teilweise oder gar nicht umgesetzt werden. Und Automationsprojekte haben es gelegentlich in sich, dass gute Ideen nicht bis zum Projektende überleben.

Damit dem fortan nicht mehr so ist, möchten wir Sie auf einige Spielregeln aufmerksam machen, die den Erfolg eines Automationsprojektes massgeblich positiv beeinflussen können. Die kursive gedruckten Einwände der Marginalien sind durchaus ernst zu nehmen ...

Diese Spielregeln sind im übrigen keinesfalls eine Erfindung der Automatiker, sondern werden in anderen Sparten schon seit langer Zeit erfolgreich angewandt.

Ich suche also den Erfolg, indem ich als Projektverantwortlicher ...

Kä Ziit zum Tänke, i mue schaffe!

1 jede **Tätigkeit** ausreichend **definiere**, bevor ich sie ausführe oder delegiere. Je stärker der Zeitdruck, umso sorgfältiger muss die Aufgabenverteilung organisiert sein;

Hör emal uf studiere, mir sind scho vil wiiter!

2 das Projekt in möglichst sauber trennbare **Phasen** (siehe Phasenplan) teile und die Kriterien des Phasenübergangs definiere;

Planung ist der Ersatz des Zufalls durch den Irrtum!

3 mein Projekt im Hinblick auf Aufwandabschätzung, Personaleinsatz, Qualifikation, Einsatz der Mittel, Finanzierung, Koordination mit anderen Teams und anderem mehr gründlich **plane**;

Uufschriibe, warum au, s' lists ja doch niemerd!

4 auf der Basis von **schriftlichen Unterlagen** arbeite;

Häsch g'hört, i drü Mönät chunnt scho de Beta-Reliis vom X-füf vor zwölfi use!

5 mein Konzept auf **bewährten Lösungen** basieren lasse und nur dort Neuland betrete, wo es die Aufgabe erfordert;

Wie hät's im Militär ammeds gheisse: Kommandiere, Kontrolliere, Zämmeschüsse!

6 eine **Projektkontrolle führe**, die mir jederzeit einen Überblick über das Projekt ergibt;

Wär wot dänn scho wüsse, wie tüf das mer i de Sch... stecked?

7 die **Aufwandabschätzung** in regelmässigen Intervallen **überarbeite**;

Wänn däh das nu nöd a de nächste Sitzig erfahrt, susch gits schön Lämpe!

8 den Auftraggeber unaufgefordert über den **Projektfortschritt orientiere** und Probleme zur Diskussion bringe, solange noch etwas dagegen unternommen werden kann;

Amene Riviuh wird ich ja kontrolliert, das isch ä schöni Schigane!

9 die Möglichkeit schätze, meine Kollegen oder mein QS-Team über meine bisherigen Resultate zu informieren und ihren **Rat einzuholen**;

Aber ich ha doch g'meint gha, die chli Änderig seig in ere Stund g'macht!

10 **Projektänderungen** nur akzeptiere, wenn alle einverstanden sind und die Konsequenzen kennen. Ich lasse mir dies **schriftlich bestätigen**;

oder indem ich als Auftraggeber ...

- | | |
|--|--|
| <p>1 meine Anforderungen in bezug auf die Leistungen und Charakteristiken einer Anlage klar äussere und auf deren schriftliches Festhalten (und Nachführen) beharre;</p> | <p><i>Die werded scho verstande ha was ich meine, s'sind ja d' Fachlüt</i></p> |
| <p>2 die einfache, klare Lösung fordere;</p> | <p><i>Ja aber dä Schalter da chönnted mer doch dur üseri neu Wöörk-Steischen ersetze, mit de Berkeley Sockets unterem System feif foor gäb das ganz en'eleganti Lösig!</i></p> |
| <p>3 den Energieverbrauch der projektierten Anlage zu optimieren suche und den Lieferanten oder internen Abteilungen entsprechende Auflagen überbinde;</p> | <p><i>Die neu Stüüurig choscht sovil, da chunnt's doch uf ä paar Megawattstündli nöd druf aa.</i></p> |
| <p>4 akzeptiere, dass Denken Zeit und Geld braucht;</p> | <p><i>Was, jetzt wänd'die no Geld für's studiere, wo die neu Maschine scho so h... tüür isch!</i></p> |
| <p>5 die Projektplanung studiere und deren Nachführung in regelmässigen Abständen verlange und nachkontrolliere;</p> | <p><i>Die Planig interessiert mich doch nöd, de Chef hät mer ja g'seit, seg alles im Butter!</i></p> |
| <p>6 meinen gesunden Menschenverstand walten lasse und differenzierte Antworten auf meine Fragen verlange;</p> | <p><i>Wie wiit sind Sie mit de Tescht, Herr Stirnimaa? S'laufft beschrens, mer sind zu nüenenünzg Prozänt fertig.</i></p> |
| <p>7 den einzelnen Projektteams eine organisatorische Infrastruktur gebe, die einen effizienten Informationsaustausch und eine gute Koordination ermöglicht;</p> | <p><i>Für d'Projektsitzige händ Sie jetzt ä kä Ziit me, Herr Moser, und uf d'Kafipause müend Sie halt au verzichte!</i></p> |
| <p>8 beachte, dass Ingenieure normalerweise deshalb Ingenieure sind, weil sie schon in der Schule mehr Talente bei der Behandlung von technischen Aspekten aufwiesen als bei sprachlicher oder zwischenmenschlicher Aufgabenstellungen. Ich versuche deshalb, ein mögliches Kommunikationsdefizit zu mildern;</p> | <p><i>Wänns scho mal schnörred, dänn anenand verbii!</i></p> |
| <p>9 In wichtigen ungeklärten Fragen eine möglichst neutrale «second opinion» einhole, aber nie die Meinung eines «Rivalen» oder «Konkurrenten» ausspiele;</p> | <p><i>Fröged'Si doch de Holzer, dä weiss das viil besser als Sie!</i></p> |
| <p>10 ein gutes Team zusammensetze, wo sich eigener Sachverstand und erfahrene fremde Spezialisten ergänzen können</p> | <p><i>Nenei, die i der Abteilig TSI dreied de Tuume, jetzt müend's halt emal Unix statt SPS programmiere!</i></p> |
| <p>und last, not least ...</p> | |
| <p>11 RAVEL durchsetze.</p> | <p><i>Jää nei! Das nöd au no!</i></p> |

Die Entscheidungsträger einer Firma sollen im übrigen dafür besorgt sein, dass ein Energieleitbild entsteht und diesem auch nachgelebt wird.

6.3 Motivationsprobleme

Dem Ziel, RAVEL zu verkaufen, stellen sich einige Probleme in den Weg. Die wichtigsten Probleme sowie Vorschläge zu deren Lösung werden hier diskutiert:

- Angst vor Automation
- Mehrverbrauch durch Automation
- Mehrkosten durch Automation
- Nachrüstungen von bestehenden Anlagen
- Importierte schlüsselfertige Anlagen
- Mehrverbrauch durch Umweltschutz-Anlagen

6.3.1 Angst vor der Automation

Diese basiert entweder auf schlechten Erfahrungen oder auf Mangel an Erfahrung mit entsprechenden Projekten. Keine Frage, dass diese Haltung in der Vergangenheit genügend Nahrung gefunden hat.

Erfolg ist nicht Glückssache

Aber Fehler passieren nicht, sie werden gemacht. Daraus folgt umgekehrt, dass bei konsequenter Anwendung der Spielregeln der Projektführung in diesem Kapitel nichts zu befürchten ist. Denn auch Erfolg passiert nicht einfach, auch er ist gemacht.

6.3.2 Mehrverbrauch durch Automation

Viele Anlagen benötigen nach der Automatisierung zur Produktion mehr Strom als vorher (in bezug auf den spezifischen Energieverbrauch). Dabei ist offenbar RAVEL, insbesondere die im vorangegangenen Kapitel erwähnten Strategien, bei der Planung zu kurz gekommen. Im Nachhinein ist es schwierig, diesem Umstand ohne durchgreifende Sanierung beizukommen.

Die entsprechenden Gegenmassnahmen sind nun bekannt: Die Prognose eines optimierten Energieeinsatzes und deren Festlegung in den zu erreichenden Projektzielen ist die Wichtigste dazu.

Auch soll in einem Automatisierungskonzept berücksichtigt werden, dass es sich kaum lohnt, nur gelegentlich benötigte und bis anhin manuell durchgeführte Tätigkeiten zu automatisieren. Denn meist sind es die unnötigen Dinge, die die Energiebilanz am nachhaltigsten verderben.

6.3.3 Mehrkosten durch Automation

Automation hat ihren Preis genauso wie alle anderen Massnahmen zur Effizienzsteigerung, und zwar sowohl bei den Investitionen als auch während der Lebensdauer einer Anlage. Eine automatisierte Anlage wird bei der Beschaffung immer teurer sein als eine handgefahrene. Dafür erwartet man ja auch einen «Payback». Nutzen und Kosten

sollten in jedem Falle in einem vernünftigen Verhältnis zu einander stehen. Die mit den Kursmaterialien abgegebene Schrift «RAVEL zahlt sich aus» [10] erläutert die Zusammenhänge der Wirtschaftlichkeitsrechnung auch für Laien.

Ein Vorteil ist, dass die Wirtschaftlichkeit von Automationsprojekten nicht nur im Zusammenhang mit der Stromersparnis geprüft werden muss. Die Verknüpfung der Zielsetzungen der effizienten Produktion und des Energiesparens soll zu einer Verstärkung des Nutzens führen, ohne andererseits die Kostenseite zu strapazieren.

Die rein investitionsmäßige Betrachtung eines industriellen Problems hat noch nie die wirklich starken Lösungen gebracht, für die einige Unternehmer zu recht berühmt geworden sind. In einem Unternehmen sollten auch Visionen möglich sein, nicht nur Bilanzen.

Wie wärs mit einer Vision?

6.3.4 Nachrüstungen bestehender Anlagen

Ein weiteres Problem ist das Nachrüsten von bestehenden Anlagen. Der Einsatz einer Sparstrategie ist meist umso erfolgreicher, je durchgreifender sie angewendet wird. Sie ist aber behindert durch die Vielzahl von bereits bestehenden Einrichtungen und deren meist totale Abschottung zu benachbarten Anlageteilen. Der Aufbau einer Anlage «auf der grünen Wiese» ist meist nur ein glücklicher Ausnahmefall.

Auch wenn hier keine globalen Ratschläge zur Problemlösung erteilt werden können, ist es auch bei einer bestehenden Anlage möglich, den Status quo zu analysieren und allfällige Sanierungsmassnahmen vorzuschlagen.

Für jeden verbrauchsrelevanten Anlageteil ist der Einsatz eines Energie-Kontrollsystems zu erwägen.

EKS-Einsatz prüfen

Eine nähere Abklärung kann aber durchaus auch im Automatisierungsbereich Chancen für die Optimierung aufzeigen, die sich wirtschaftlich vertretbar durchführen lassen. Besonders bei den flankierenden Aspekten kann noch Potential für Verbesserungen und Energieeinsparungen zu Tage kommen. Und wenn der Fall absolut hoffnungslos ist, dann sollte man auch den Mut haben, die alte Steuerung zu ersetzen.

Neue Systeme sollen von Beginn weg offen konzipiert werden, damit sie später einmal überarbeitet und erweitert werden können.

6.3.5 Schlüsselfertige Anlagen

Viele Produktionsanlagen werden schlüsselfertig erstellt oder importiert. Dabei sind der Beeinflussungsmöglichkeiten durch den Besteller auf die Energiedaten der Anlage gewisse Grenzen gesetzt. Gleichwohl und gerade in wirtschaftlich schwierigeren Zeiten sind aber die Anbieter zumeist durchaus bereit, verbesserte Steuerungen und energetisch optimierte Anlagen zu entwickeln. Denn eine mindestens teilweise vom

Kunden mitgetragene Optimierung verbessert auch dessen eigene Marktchancen. Man wahre sich deshalb die Chancen und bespreche die energietechnischen und anderen Anliegen vor dem Vertragsabschluss!

Auch hier soll der Einsatz eines EKS geprüft werden.

6.3.6 Mehrverbrauch durch Umweltschutz-Massnahmen

Die Realisierung von umweltschützenden Einrichtungen wie zum Beispiel Rauchgasreinigungen, Abluftreinigern, Wasseraufbereitungen etc. fordern tatsächlich ihren Tribut beim Energieverbrauch und natürlich auch bei den Investitionen. Im kommerziellen Sinne sind sie deshalb eine «Konkurrenz» zu RAVEL.

Das Eine tun und das Andere nicht lassen!

Tatsächlich ist aber eine solche Konkurrenz Betrachtung unzulässig. Der Schutz der Umwelt ist absolut notwendig, genauso ist es die Energieeinsparung. Man muss deshalb beides tun, und erst recht mit RAVEL versuchen, die energetische Mehrbelastung zu kompensieren.

Aber auch hier gilt, dass eine effiziente Produktion doppelt wirksam ist: Sie verringert die Belastung und spart erst noch Energie!

6.4 Projektführung

Die Projektführung ist das kritischste Element eines ganzen Projektes. Sie steht und fällt mit der Persönlichkeit des Projektleiters.

Viele Tätigkeiten der Projektführung können heute mit Computer-Unterstützung durchgeführt werden. So gibt es eine Vielzahl von guten Softwarepaketen für Zeit-, Aufwand und Ressourcen-Planung.

«Make it» ist wichtiger als «Buy it»

Allen diesen Werkzeugen ist aber eines gemeinsam: Sie helfen, Routinearbeit und Überprüfungen zu rationalisieren. In grossen Projekten ist das eine gewaltige Hilfe und kann viel Geld sparen. Aber sie führen das Projekt nicht selber, und überdies geht es auch ohne Computerhilfe! Dies gilt vor allem dort, wo die Planung nicht ein Full-Time-Job ist. Denn die meisten Planungswerkzeuge entfalten ihre grosse Funktionalität nur in den Händen eines Profi-Bedieners. Ein einfaches Zeitdiagramm ist auf «Hüsli-Papier» wohl etwa 10mal schneller gezeichnet als mit einem Computertool in den Händen eines ungewohnten Bedieners. Für grosse Balken- und Netzplan-Ausdrucke braucht es ausserdem einen Endlos-Plotter, der nicht überall zur Verfügung stehen dürfte.

Der wichtigste in der Projektführung ist ein Projektleiter, der

- a) stets bemüht ist, den Überblick über das ganze Projekt zu behalten und
- b) wie ein Sennenhund auf der Seite kläfft, wo die Kühe abzuwandern beginnen, das heisst, dort in Erscheinung tritt, wo sich Probleme anbahnen.

6.5 Aufwandschätzung und -kontrolle

Hardware- und Software-Entwicklungen seien nicht abzuschätzen, hört man allenthalben. **Dies ist nicht wahr!**

Es ist möglich, Projekte jeglicher Grössenordnung auf ca. 10% abzuschätzen, wenn man folgende Regeln berücksichtigt:

- Eine möglichst ausführliche Tätigkeitsliste erstellen.
- Zu jeder einzelnen Tätigkeit den Aufwand schätzen.
- Zwei unabhängige Schätzungen machen lassen und Abweichungen ausdiskutieren.
- Aufwand und Termin müssen in einem vernünftigen Verhältnis stehen.
- Effektiven Aufwand konform zur Tätigkeitsliste erfassen.
- Schätzung während der Projektdauer rollend überprüfen und Restmenge neu schätzen.
- Überwachen, dass die Vorgaben auch eingehalten werden. Ingenieure haben den Hang zum Perfektionismus, wenn man Ihnen zuviel Zeit lässt.

Aus der Tätigkeitsliste erstellt man den Projektplan als Balkendiagramm oder Netzplan

Vorschlag für eine einfache Aufwandkontrolle:

Zweiter Bedienplatz vom XXXXXXXXXX

Seite 1

Aufwand-Kontrolle per: 18.03.93

Arbeits- Bezeichnung	Code	Ursprüngliche Schätzung (1)	Geleist. Aufwand (2)	Verbleib. h gschztz (3)	Differenz (4) = (2+3-1)
Test 3.xx	T03	10.00	8.00 (0%)	4.00	2.00
Test 4.xx	T04	11.00	0.00 (0%)	11.00	0.00
Test 5.xx	T05	8.00	0.00 (0%)	8.0	0.00
Test 6.xx	T06	1.50	0.00 (0%)	1.50	0.00
Test 7.xx	T07	2.50	0.00 (0%)	2.50	0.00
Test 8.xx	T08	8.50	0.00 (0%)	8.50	0.00
Test 11.xx	T11	2.50	0.00 (0%)	2.50	0.00
Test 12.xx	T12	4.00	0.00 (0%)	4.00	0.00
Test 13.xx	T13	8.50	0.00 (0%)	8.50	0.00
Test 14.xx	T14	12.75	0.00 (0%)	12.75	0.00
Total Test		69.25	8.00 (11%)	63.25	2.00

Solche Kontrolltabellen lassen sich einfach mittels Datenbanken, Tabellenkalkulations- oder sogar Textverarbeitungsprogrammen realisieren

6.6 Phasenplan

Sichtbarmachen der Tätigkeiten Der Phasenplan ist das wichtigste Hilfsmittel zur Unterteilung eines Projektes in überschaubare und kontrollierbare Einheiten, das heisst in Phasen und Teilphasen. Eine Phase soll eine in sich geschlossene Einheit darstellen, welche sich von den umgebenden Phasen durch klare Schnittstellen abgrenzt. Phasenpläne sind natürlich keine Erfindung von RAVEL. Für RAVEL haben sie aber aus zwei Gründen eine besondere Bedeutung:

- Erstens wird ein Projekt nur dann zu einem Erfolg und damit auch nur dann energetisch effizient, wenn die Realisierung sauber geplant und organisiert wurde und die grundsätzlichen Kriterien der Qualitätssicherung beachtet wurden.
- Zweitens wird RAVEL vergessen, wenn man innerhalb des Projektablaufs die Zielsetzungen nicht festhält und deren Einhaltung kontrolliert.

Auf den zwei folgenden Seiten sind Beispiele von Phasenplänen gezeigt.

Der erste ist eine grafische Darstellung, entnommen aus [13]. Man beachte vor allem die Prüfkativitäten (siehe Legende).

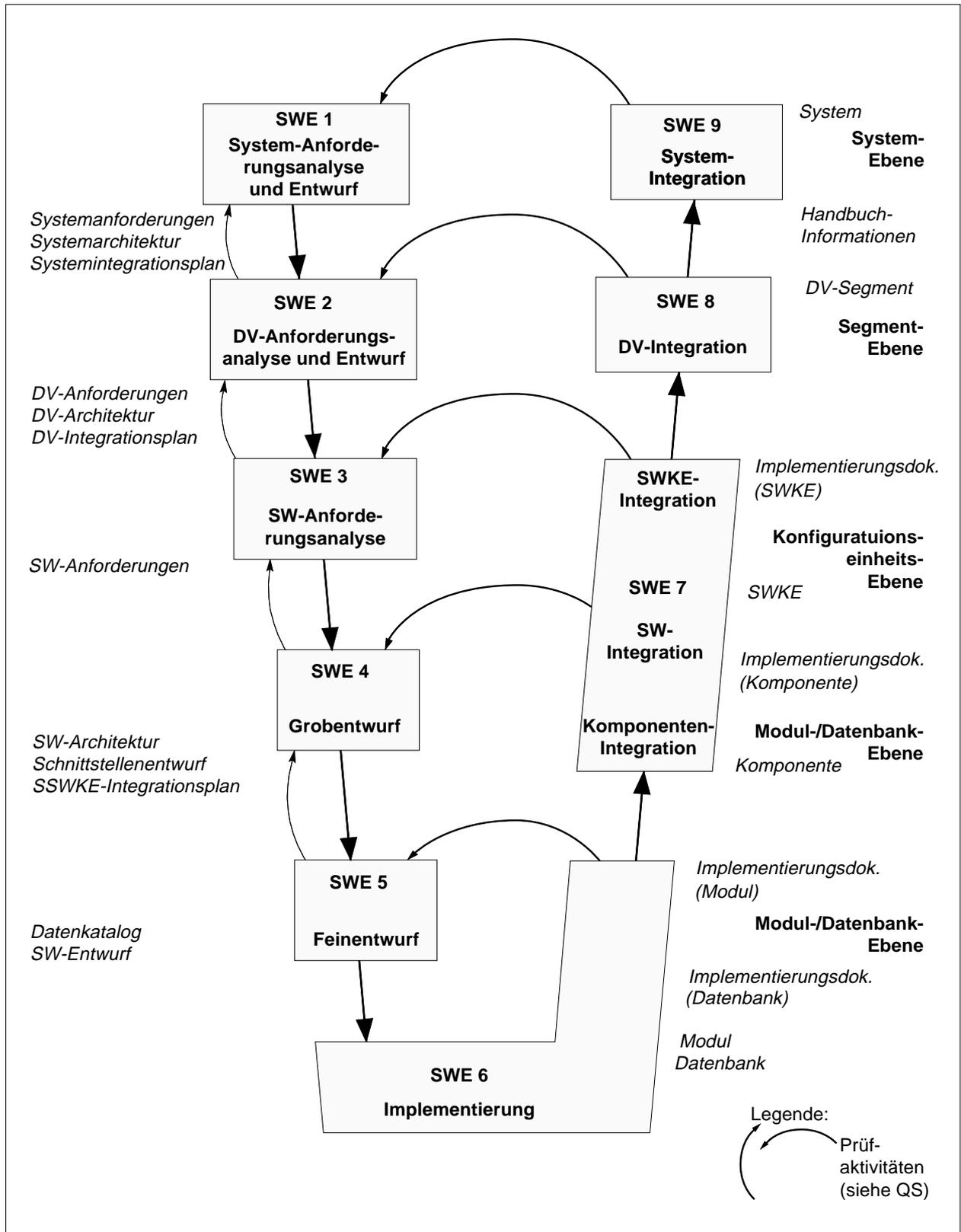
Der zweite ist tabellarisch dargestellt und enthält vor allem auch Aktivitäten und Resultate.

Beide dienen nur als Ausgangsbasis zur Entwicklung eines der eigenen Projektarbeit angepassten Plans. Ist in einer Firma bereits ein Qualitätssicherungssystem eingeführt, so haben die dortigen Vorgaben und Richtlinien natürlich Vorrang. Die für RAVEL relevanten Aussagen sind *kursiv* gesetzt.

Meilensteine Der Übergang von Phase zu Phase wird jeweils als sogenannter «Meilenstein» geplant und terminiert (Erklärung siehe weiter hinten).

Review Die wichtigsten Ergebnisse sollten einem sogenannten Review unterzogen werden. Dazu gehören in praktisch allen Fällen ein Review des Auftrags, des Pflichtenhefts, der Analyse. Ohne hier ins Detail gehen zu wollen, werden bei einem Review vorbereitete Fragen von Personen ausserhalb des Projektteams (das Frage-Team) an die Team-Mitglieder gestellt. Das Review sollte von einem Moderator geleitet werden, der selbst weder dem Frage- noch dem Antwort-Team angehört und nur den Ablauf des Review führt. Es ist erstaunlich, wie viele vergessene Dinge ein Review zu Tage bringen kann, gerade weil das Frageteam üblicherweise nicht von profunder Sachkenntnis geplagt wird und deshalb auch triviale Fragen stellen darf (siehe weiter hinten).

Beispiel Grafischer Phasenplan:



Beispiel Tabellarischer Phasenplan:

Hauptphase	Teilphase	Tätigkeit	Ergebnis
Initialisierung		Aufgaben grob skizzieren Sammeln von Ideen Probleme identifizieren <i>Energieformen und Alternativen auflisten.</i>	Projektskizze, Preisidee
Vorbereitung	Vorstudie	Zielsetzungen Konzeption Aufwandabschätzung <i>Energiebedarfs-Prognose</i>	Grobkonzept, <i>Grobe Energieanalyse</i>
	Projektdefinition	Projektplanung Wer/Wann/Was und Wie	Projekt-Grob-Planung
	Abschluss	Ausarbeitung der verbindlichen Projektziele <i>inkl. Grenzwerte des Energiebedarfs</i>	Vertrag, Bestellung oder interner Auftrag
Analyse	Problemanalyse	Aufgaben werden definiert	Pflichtenheft
	Systemanalyse	Lösungen werden entworfen	Lösungsvorschläge
	Überprüfung	Optimierung von Aufgabenstellung, Lösung und Aufwand	Überprüfte Pflichten und eine verbleibende Lösung. <i>Energieziele überprüft</i>
Entwurf	Konzept	Beschreibung der Ausführung	Konzeptbeschrieb
	Spezifikation	Beschreiben und Strukturieren von Funktionen und Daten Planung von Tests und notwendigen Mitteln dazu <i>Verbrauchsmessung planen</i>	Ausführung definiert, Implementation in Umfang und Vorgehen definiert
	Feinplanung	Überarbeitung des Projektplanes nach neuesten Erkenntnissen, Einführung planen	Projektorganisation klar definiert
Implementierung		Ausführen der definierten Entwicklungen	Testbereites System oder einzelne Module
Test	Systemtest	Module zusammenbauen und nach Plan testen	Schnittstellen bereinigt
	Werkabnahme	Formeller Test aller Komponenten und soweit möglich des Gesamtsystems <i>Massnahmen zur Energieersparnis überprüfen</i>	Werkabnahmeprotokoll

Inbetriebnahme	Installation	Anschluss der Maschine/Anlage vor Ort beziehungsweise in geeigneter Testumgebung	
	Test	Anlage nach Plan testen, auch unter Produktionsbedingungen, <i>Verbrauch messen</i>	
	Abnahme	Formelle Abnahme nach Abnahmeplan. <i>Verifikation der Verbrauchsziele</i>	Pflichtenheft verifiziert, Entlastung der Projektausführenden
Abschluss		Projekt-Rückschau Nachkalkulation	Erfahrungen gesichert
Betreuung		Mängel beheben Tuning der Verfahren	Optimierte Anlage/Gerät

Jede Planung hat in einem gewissen Sinne prophetischen Charakter, und wie wir alle wissen, treffen Prophezeiungen nicht immer ein. Umso wichtiger ist eine laufende Kontrolle, ob der Plan eingehalten wird und wenn nein, warum nicht. Ein frühzeitiges Erkennen von gefährlichen Trends ist die einzige Möglichkeit, spätere massive Probleme im Ansatz zu eliminieren.

6.7 Meilensteine

Ein Meilenstein ist ein vordefinierter Punkt im Projektplan, an welchem ein Teil des Projektes abgeschlossen wird. Hat man einen Meilenstein erreicht, so hat man eine Basis für die Inangriffnahme der nächsten Projektphase.

Die bisherigen Ergebnisse werden überprüft und mit den Projektzielen verglichen. Sind die Ziele nicht erreichbar oder gefährdet, muss man entweder die Ziele modifizieren, das Projekt abbrechen oder dem Projekt eine andere Richtung geben. Die Überprüfung der Ergebnisse erfolgt durch das **Reviewteam**.

Meilensteine sind Phasenübergänge

Für jede Art eines Projektes müssen die Meilensteine vorgängig definiert werden.

Die Realität hält sich nicht immer an die Planung. Gelegentlich ist es notwendig, in einem Projekt in Teilbereichen weiterzufahren, bevor ein Meilenstein erreicht wurde. Dies darf aber nur geschehen, wenn dieser Fall im Ablauf vorgesehen ist und wenn die Kompetenzen und Grenzen abgesprochen sind.

6.8 Reviews

Dokumente als Grundlage Reviews dienen dazu, das Erreichen von Teilzielen in einem Projekt zu überprüfen. Sie können bei allen Entwicklungen verwendet werden, bei denen Dokumente als Grundlage dienen. Für alle, die mit dem Begriff Review noch nicht vertraut sind, folgt hier eine kurze Beschreibung der wesentlichen Vorgänge:

- 1 Im Review gibt es ein Frageteam und ein Antwortteam (letzteres besteht aus Mitgliedern des Projektteams). Das Frageteam soll soweit als möglich ausserhalb des Projektes angesiedelt werden. Das Review wird von einem/r Moderator/in gesteuert.
- 2 Die Unterlagen für ein Review, das heisst die zu überprüfenden Dokumente und die Prüfkriterien sollen frühzeitig abgegeben werden – mindestens eine Woche vor dem Review – damit sich das Frageteam vorbereiten kann. Diese Zeitdauer ist im Projektplan einzubauen.
- 3 Falls sich die Review-Teilnehmer nicht vorbereiten konnten oder nicht vorbereitet haben, ist das Review zu verschieben. Wird dies nicht konsequent befolgt, so wird das Review schnell zu einer Alibi-Übung.
- 4 Die Review-Befunde sind schriftlich festzuhalten und mindestens in die folgenden Kategorien einzuteilen:
 - a) Gravierende Mängel, die nach Korrektur ein neues Review brauchen.
 - b) Mängel, deren Korrektur an einen Termin mit Rückmeldung gebunden sind.
 - c) Mängel, die selbstständig vom Projektteam behoben werden (ohne Rückmeldung).
 - d) Themen, die besonders gut behandelt wurden und auch anderen Teams zugänglich gemacht werden sollten.

Ein Beispiel für eine einfache Checkliste für ein Dokumenten-Review befindet sich auf der Umseite.

Ein Review soll in einer kollegialen Atmosphäre durchgeführt werden. Eine gute Vorbereitung ist eine Frage der Fairness gegenüber dem Projektteam.

Review = Schikane? Reviews werden von den Projektverantwortlichen oft als unangenehm empfunden. Sie wehren sich gegen eine Beurteilung ihres Projektfortschrittes durch Kollegen, denen sie weniger projektspezifische Kenntnisse zutrauen als sich selbst und dem eigenen Projektteam. Dazu kommt meistens eine Portion verletzter Stolz, dass man ihnen eine einwandfreie Projektführung nicht zutraue.

Dieses Gefühl ist natürlich aus diversen Gründen fehl am Platze. Geübte Projektleiter schätzen es, für ihre bisherige Projektführung Entlastung und eine gesicherte Basis für den nächsten Schritt zu bekommen. Ausserdem wissen sie, dass gerade Fachleute, die ausserhalb des Projektes stehen, die erstaunliche Fähigkeit besitzen, die wichtigsten

Fragen zu stellen. Fragen, deren Beantwortung je später desto schwieriger wird. Dies ist gewissermassen eine Folge der Tatsache, dass man den Wald von aussen besser beurteilen kann, als wenn man ihn drinnen vor lauter Bäumen nicht mehr sieht.

Für alle diejenigen unter den Lesern, die sich über das Thema «Vorgehen bei Vorhaben der Informationstechnik» weiter bilden möchten, sei auf [13] hingewiesen. Diese Publikation ist auch auf Diskette erhältlich und kann zu einem eigenen Projekt- und Qualitätssicherungshandbuch für Entwicklungen im Automationsbereich benutzt werden (auch wenn darin nicht alle Aspekte der ISO-9001 Norm berücksichtigt werden).

Alle Mitglieder des Teams, das diese Publikation «RAVEL und Automation» erstellt hat, wünschen nun dem Leser viel Erfolg beim Umsetzen der Theorie in die Praxis.

Beispiel für eine Review-Checkliste (Dokumenten-Review)

Eigenschaft	OK	Bemerkungen (werden beim Review ausgefüllt)	ErlDg bis
Dokument formell i.O			
Dokument entspricht Aufgabe (Pflichtenheft, Analyse, Design, Test, Abnahme ...) in Sache und Umfang			
Dokument ist vollständig und konsistent bezüglich vorangegangener Phasen			
Dokument enthält keine Mehrdeutigkeiten			
Dokument enthält nichts Überflüssiges			
Alle Begriffe definiert			
Angemessener Detaillierungsgrad			
Zuverlässigkeit berücksichtigt			
Sicherheit von Sachen und Personen berücksichtigt			
Massnahmen zur Datensicherheit berücksichtigt			
Effizienter Umgang mit Ressourcen, RAVEL berücksichtigt			
Fehlerbehandlung festgelegt			
Schnittstellen definiert und beidseitig gutgeheissen			
Testkonzept definiert oder berücksichtigt			

Anhang

A Grundbegriffe

Für die meisten Leser waren seit ihrer Grundausbildung andere Themen prioritär. Deshalb enthält der Anhang eine kurze Zusammenfassung der Energietechnik als Repetition.

A.1 Energie und Leistung

A.1.1 Energiebegriff

Energie	Energie wird als Fähigkeit eines Systems bezeichnet, äussere Wirkung hervorzurufen (Max Planck). Man kann sie auch als Vorrat an physikalischem Arbeitsvermögen bezeichnen.
	Zur Repetition der Einheiten (auf die vektorielle Darstellung wird verzichtet):
Geschwindigkeit Beschleunigung	Geschwindigkeit (v) ist zurückgelegter Weg pro Zeiteinheit und wird mit $m \cdot s^{-1}$ ausgedrückt. Beschleunigung ist die Änderung der Geschwindigkeit pro Zeiteinheit, also die erste Ableitung der Geschwindigkeit nach der Zeit und wird infolgedessen in $m \cdot s^{-2}$ ausgedrückt.
Kraft	Kraft (F) ist Masse mal Beschleunigung. Dieser Zusammenhang wird durch die Beziehung der Einheiten $N = kg \cdot m \cdot s^{-2}$ ausgedrückt. Die Einheit der Kraft ist das Newton N.
Arbeit	Arbeit (A) ist Kraft mal Weg (=Energie). Die Einheit ist das Newtonmeter (Nm), das auch Joule (J) oder Wattsekunde (Ws) genannt wird. $Nm = kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$.
Leistung	Leistung (P) ist die auf eine Zeiteinheit bezogene Arbeit (=Energieumsatz), d.h. Energie pro Zeiteinheit. Als Zeiteinheiten sind die Sekunde (s) und die Stunde (h) gebräuchlich. Die Einheit ist das Watt (W). $W = kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}$.

Internationale **Masseinheit der Energie** ist das **Joule**, bzw. seine potenzierten Einheiten wie Kilo-, Mega-, Giga- und Terajoule entsprechend den Dezimalvielfachen 10^3 , 10^6 , 10^9 und 10^{12} .

Weitere gebräuchliche Energieeinheiten sind

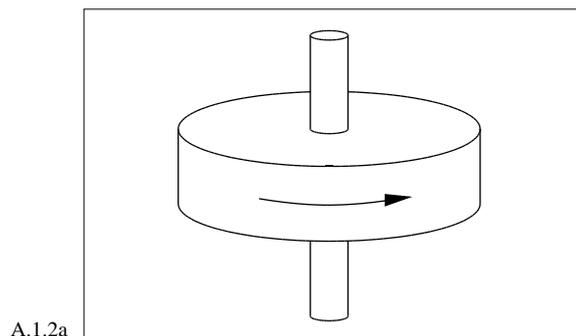
- die Kilowattstunde (kWh), die naheliegenderweise 1000 Joule mal 3600 Sekunden = 3.6 Megajoule (MJ) entspricht.
- Das Megajoule, das 0.278 kWh entspricht (d.h. 1 MWh/3600)
- Die Kilokalorie (kcal), die der Energiemenge entspricht, die 1 kg Wasser um 1 Grad Celsius oder Kelvin erwärmt. 1 kcal entspricht 4.19 Kilojoule, oder 1 kWh entspricht 860 kcal.

Selbstverständlich gibt es noch andere mehr für spezielle Zusammenhänge wie etwa das Elektronvolt eV.

Die **elektrische** Leistung (W) berechnet sich einfach aus Spannung (V) mal Strom (A). Beim Wechselstrom gilt diese Vereinfachung allerdings nur unter noch zu beschreibenden Bedingungen.

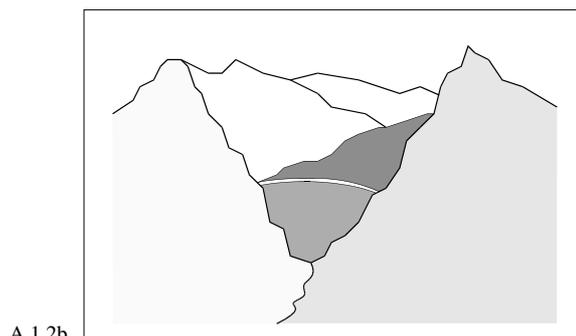
A.1.2 Formen der Energie

Energie tritt in vielen Formen auf, so unterscheiden wir unter anderem:



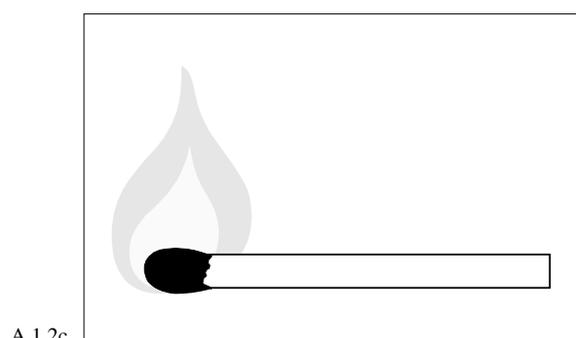
A.1.2a

Kinetische Energie als Bewegungs- und Rotationsenergie



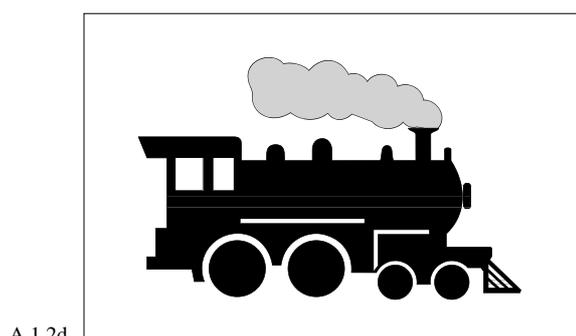
A.1.2b

Gravitationelle (potentielle Lage-) Energie



A.1.2c

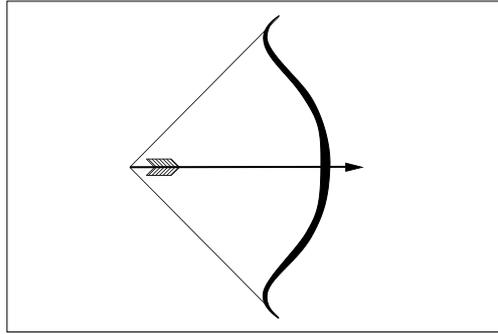
Thermische Energie (Wärme)



A.1.2d

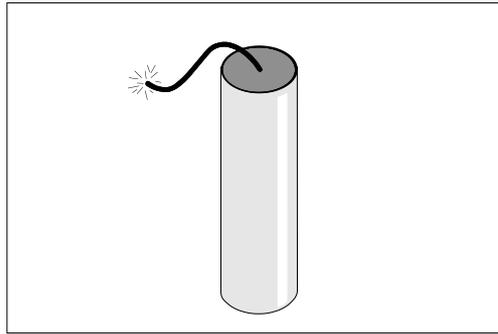
Aggregatzustands-Energie (Schmelz-, Verdampfungs- und Sublimationsenergie) und Kompressionsenergie (Druckspeicher)

Elastische
Formänderungsenergie



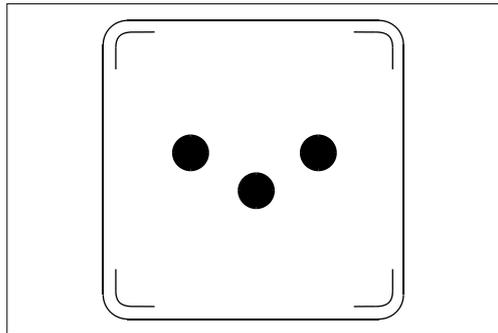
A.1.2e

Chemische Bindungsenergie
(z.B. Brennstoffe, Batterien)



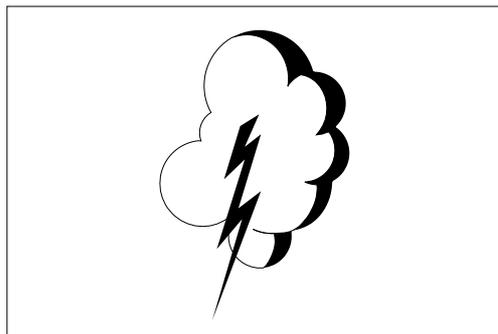
A.1.2f

Elektrische Energie



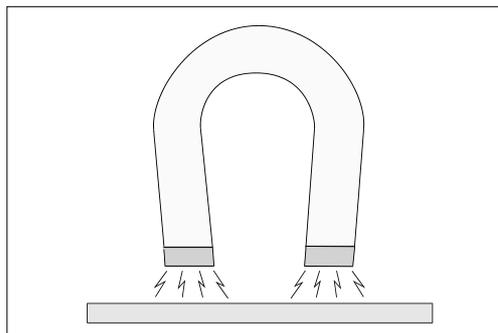
A.1.2g

Energie des elektrostatischen
Feldes

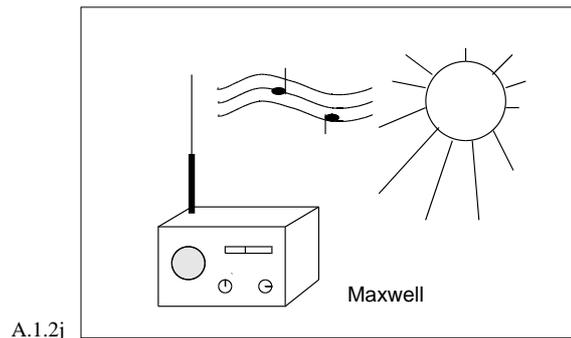


A.1.2h

Energie des magnetostatischen
Feldes (z.B. Supraleitender
Ring)

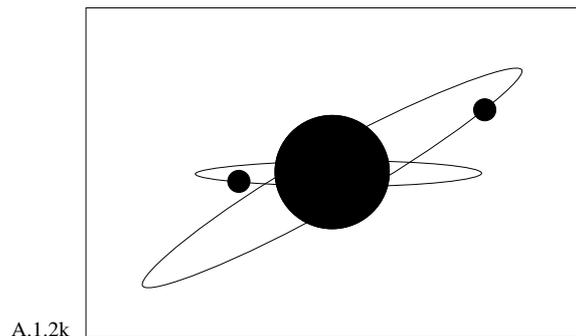


A.1.2i



Energie des elektromagnetischen Wechselfeldes in ihren vielen Erscheinungsformen, je nach Wellenlänge wie etwa Radiowellen, Wärmestrahlung, Licht, Röntgenstrahlung etc. Nukleare Energie (Massenumwandlungen nach der Einstein'schen Formel $E=mc^2$)

A.1.2j



A.1.2k

Energie kann umgewandelt werden und dabei Träger und Erscheinungsform ändern. Unter Berücksichtigung des Einstein'schen Theorems, das die Äquivalenz von Masse und Energie beschreibt, gibt es aber keine Vorgänge, bei denen Energie erzeugt oder vernichtet wird, es findet immer nur eine Umwandlung statt. In einer für industriellen Gebrauch durchaus tolerierbaren Vereinfachung kann man die Massenumwandlung getrost vergessen.

Diese Energieumwandlung verläuft nicht immer wie gewünscht. So sind die meisten Umwandlungen mit «Verlusten» behaftet, die sowohl vom Umwandlungsverfahren als auch von nicht überschreitbaren physikalischen (thermodynamischen) Grenzen abhängig sind. Mit Verlusten ist nicht der Verlust an Energie gemeint, sondern die Tatsache, dass bei der Umwandlung auch andere «unerwünschte» Energieformen entstehen. So wandelt z.B. eine Glühlampe die elektrische Energie nicht ausschliesslich in die gewünschte Erscheinungsform «Licht», d.h. elektromagnetische Strahlung mit einem definierten Spektrum um, es entsteht dabei auch ein beträchtliches Mass an elektromagnetischer Strahlung anderer «unnützer» Frequenzen (Infrarot, Ultraviolett).

Das Verhältnis zwischen Nutzenergie aus der Umwandlung und in die Umwandlung gesteckte Primärenergie nennt man Wirkungsgrad.

Wirkungsgrad

A.1.3 Wertigkeit der Energie

Auf Grund des erwähnten Verhaltens hat man die Energieerscheinungsformen nach Wertigkeit klassiert. Unter hochwertiger Energie versteht man Formen, die sich möglichst vollständig in andere Formen umwandeln lassen. Mass für die Wertigkeit ist die Exergie. **Exergie** ist jener Anteil an Energie, der sich in andere Energieformen umwandeln lässt, **Anergie** ist der Anteil, der sich nicht weiter umwandeln lässt.

Exergie
Anergie

Bei jedem Umwandlungsprozess nimmt die Exergie ab und die Anergie zu, die Summe bleibt konstant. Dies ist die einfach formulierte Folgerung aus Energieerhaltungssatz und den thermodynamischen Hauptsätzen.

Exergie und Anergie sind jedoch keine Konstanten der primären Erscheinungsformen, sie sind abhängig von der geplanten Umwandlung. So enthalten elektrische Energie, mechanische und chemische Energie 100% Exergie, wenn man sie in Wärme umwandeln will. Ist die gewünschte Sekundärenergie jedoch beispielsweise die mechanische, so bietet die elektrische Primärenergie einen wesentlich höheren Anteil an Exergie als die chemische.

Elektrische und mechanische Energie gelten als besonders hochwertige Formen (Vgl. A.3). Wärme enthält umso mehr Exergie, je höher die Temperaturdifferenz zur Umgebung ist. Umgekehrt bedeutet dies, dass bei kleinen Differenzen fast keine Umwandlung mehr möglich ist. So wird man bei der Umwandlung von thermischer zu mechanischer Energie möglichst grosse Temperaturdifferenzen anstreben. Leider ist diesem Ansinnen eine Grenze gesetzt durch die Festigkeit der Materialien bei hohen Temperaturen sowie durch die Isolationsverluste.

A.1.4 Energieinhalte

Damit man sich ein anschauliches, aber keineswegs umfassendes Bild von Energieäquivalenzen machen kann, sei das folgende Beispiel angeführt:

1 kg Heizöl extraleicht enthält ca. 43 MJ = ca. 12 kWh bzw. 10'000 kcal.
Diese Energie entspricht vergleichsweise:

Äquivalente zur Energie eines Kilogramms Heizöl extra-leicht:

Energie-Erscheinungs-Form	Formel bzw. Äquivalenz
Chemische Energie von 1200 l Erdgas unter Normaldruck	1 m ³ unter Normaldruck = 0.8 kg entspricht ca. 9.3 kWh oder 33.5 MJ
Verdampfungswärme von ca. 20 kg Wasser bei Normaldruck	Verdampfungswärme 1 kg Wasser = 512 kcal oder 2.256 MJ
Kompressionsenergie einer 50 l Pressluftflasche bei ca. 90 bar.	$\Delta W = p\Delta V$ p = Druck, V = Volumen
10 Vollladungszyklen eines 12 Volt 50 Ah Akkumulators bei 50% Wirkungsgrad	Eine Ladung entspricht 12 V * 50 Ah = 600 Wh oder 1.2 kWh unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades
Temperaturdifferenz eines 10m ³ grossen Wassertanks um 1 °C.	10'000 l oder kg Wasser * 1 °C = 10'000 kcal
Potentielle Energie von 10 m ³ Wasser in 430 m Höhe (beispielsweise über der Turbine eines Speicherkraftwerkes).	$W_{pot} = mgh$ m = Masse, g = Erdbeschleunigung, h = Höhe
Potentielle Energie von 360 m ³ Wasser bei einem Gefälle von 12 m (Flusskraftwerk). Diese Masse entspricht ungefähr dem Startgewicht eines Jumbojets.	dito
Kinetische Energie eines 5 Tonnen schweren Flugzeugs (kleiner Business-Jet), der mit 470 km/h fliegt.	$W_{kin} = \frac{1}{2} mv^2$
Energieaufnahme einer 20 Watt-Sparlampe während fast eines Monats Dauerbetrieb (25 Tage).	12 kWh / 20 Watt = 600 h
Spaltungsenergie von etwa 0.6 Milligramm reinem Uran 235	1 kg reines Uran 235 enthält ca. 20 Millionen kWh Spaltungsenergie

Die Vergleiche zeigen erstaunliche Resultate. So ist es kein Wunder, dass die Speicherung von Energie in Form von potentieller Energie (Pumpspeicherwerk) eine voluminöse Sache wird. Oder dass beim Bersten einer Pressluftflasche einiges in Bewegung kommt. Oder dass in einer mit Wasserdampf gesättigten Gewitterwolke eine unvorstellbare Energie steckt, sobald diese durch thermische Hebungsvorgänge zum Auskondensieren kommt.

A.2 Wirkungsgrade

A.2.1 Wirkungsgrad der Energieumwandlung

Es ist bereits erwähnt worden, dass bei jeder Energieumwandlung «Verluste» dadurch entstehen, dass ein Teil in die «falsche» Energieform gewandelt wird. «Falsch» bedeutet in der überwiegenden Anzahl von Fällen ungewollte Wärme. Der Wirkungsgrad berechnet sich als Verhältnis von aufgenommener Energie zu nutzbarer Energie und wird zumeist in Prozenten angegeben.

Ein paar Beispiele zur Veranschaulichung:

- Thermische Maschinen – Der maximale Wirkungsgrad einer thermischen Maschine ist gleich der Temperaturdifferenz von Ausgangs- zu Endtemperatur geteilt durch die absolute Ausgangstemperatur in Kelvin (K).

$$\eta_{\max} = \frac{T_o - T_u}{T} \quad \text{wobei } T_o \geq T_u$$

Diese Formel ist auch unter dem Namen «Carnotscher Wirkungsgrad» bekannt.

Da schon unsere Umgebungstemperatur ein hohes T_u liefert (ca. 300 K), ist der thermische Wirkungsgrad nur auf Grund der Temperaturdifferenzen tief (Kondensationsenergie kann die Lage noch zusätzlich verbessern). Der theoretisch erreichbare Wirkungsgrad wird in der Praxis durch diverse nicht ideale Umstände noch weiter reduziert. Für mehr Details sei auf die RAVEL-Unterlagen des Ressorts Wärme hingewiesen.

- Umwandlung in Wärme – Die Umwandlung von anderen Energieformen in Wärme gelingt leider auch nicht zu 100%. Zwar ist es möglich, z.B. elektrische Energie zu 100% in Wärme umzuwandeln, aber alle diese Wärme dem gewünschten Ziel zuzuführen. Bei der Umwandlung von Verbrennungsenergie (z.B. Oelheizung) kann man heute mit einem Wirkungsgrad von über 90 Prozent rechnen. Der Rest verschwindet hauptsächlich als Abwärme durchs Kamin.

- Elektrische Maschinen – Bei der Umwandlung von elektrischer Energie in mechanische durch elektrische Maschinen gilt ferner, dass grosse Maschinen einen besseren Wirkungsgrad haben als kleinere. So büssen grosse Synchrongeneratoren, wie sie in Kraftwerken verwendet werden, nur Bruchteile von Prozenten ein, während ein Kleinstmotor mit einem Wirkungsgrad von deutlich unter 50% keine Seltenheit ist.

Wirkungsgrade elektrischer Maschinen sind im übrigen stark lastabhängig, wobei in der Regel der beste Wirkungsgrad bei Nennlast erreicht wird. Je weiter die Last absinkt, umso schlechter arbeiten die Maschinen und umso grösser wird der Anteil der induktiven Last gegenüber der ohmschen (bei Wechselstrommaschinen), so dass der Anteil an Blindleistung steigt (vgl. A.3.3). Für mehr Details über

Motoren-Wirkungsgrade sei auf die verschiedenen RAVEL-Publikationen hingewiesen, vor allem aus dem Ressort «Kraft» oder auch auf das Ravel-Handbuch. Diese vertiefen auch die Kenntnisse über den Einsatz elektronisch geregelter Antriebe.

Wirkungsgrad-Vergleiche sind immer etwas gefährlich, sofern sie nicht alle Randbedingungen berücksichtigen. So ist der Wärmeverlust einer Einrichtung besonders schlimm, wenn man die Wärme zusätzlich mit Kühlaggregaten wegbringen muss. Auf der anderen Seite tut der Wärmeverlust nicht so weh, wenn man die Umgebung ohnehin heizen müsste. Berücksichtigt man die sogenannte **graue Energie**, die in die Produktion und Entsorgung einer Einrichtung gesteckt werden müssen, so sehen manche Vergleiche plötzlich weniger vorteilhaft aus.

Graue Energie

Die technischen Wirkungsgrade sind dort besonders wichtig, wo ein Prozess ohne wesentlichen Änderungen rund um die Uhr an allen Wochentagen abläuft. Die überwiegende Zahl der industriellen Prozesse ist jedoch mehr oder weniger mit Unterbrüchen durchsetzt. Dabei entstehen Verluste durch die nicht 100%ige Ausnutzung der gesamten Infrastruktur. Wie gezeigt wurde, können diese noch viel wichtiger werden als die wirkungsgradbedingten Verluste einer rund um die Uhr belegten Maschine.

Wirkungsgrad nicht überschätzen

Ein Vorteil der Automation liegt im vergleichsweise kleinen Anteil an grauer Energie (im Vergleich zum Anteil grauer Energie in der Mechanik der gesteuerten Anlagen). Damit erzielen Verbesserungen, die durch Automation an einer Anlage erzielt wurden, gesmathaft eine rationelle Verwendung der Energie.

A.2.2 Spezifischer Energieverbrauch

Damit ist der Energieverbrauch eines (industriellen) Prozesses in bezug auf eine charakteristische Kenngrösse der Produktion gemeint (Menge oder Gewicht eines produzierten Gutes, Menge oder Gewicht pro verarbeitetes Material).

Beispiele:

- Spezifischer Stromverbrauch einer Zementproduktion in kWh/t
- Spezifischer Verbrauch eines Boilers in J oder kWh pro Liter bei 60 °C Heisswasser
- Spezifischer Dieselverbrauch pro Tonnenkilometer (Lastwagen)

In der Verbesserung des **spezifischen Energieverbrauchs**, d.h. der pro produzierten Einheit verwendeten Energie, liegt das allergrösste Potential, das durch Automation ausgenutzt werden kann.

A.3 Die Besonderheiten der elektrischen Energie

A.3.1 Wertigkeit

Elektrische Energie ist wohl die wertvollste, weil sie das grösste Spektrum an möglichen Umwandlungen in sekundäre Energieformen mit gutem Wirkungsgrad bietet. Ausserdem lässt sie sich gut transportieren. Allerdings ist sie nicht in benötigter Masse speicherbar (Kondensator), dazu ist eine erneute Umwandlung (z.B. in chemisch gebundene Energie) nötig.

Sie besitzt also eine hohe Exergie. Was sie noch wertvoller macht, ist die Tatsache, dass sie in der Natur nicht vorhanden ist. Sie muss deshalb durch alle möglichen Umwandlungsprozesse, die ihrerseits mit Verlusten behaftet sind, «erzeugt» werden. Am häufigsten tun wir dies heute in der Schweiz durch Umwandlung aus potentieller Energie (Wasserkraftwerke).

Eine weitere Eigenschaft der elektrischen Energie ist die geradezu unglaubliche **Verfügbarkeit**, die sie in unserem Land erreicht hat. Innerhalb von Gebäuden ist man kaum je mehr als ein paar Meter von der nächsten Steckdose entfernt, und man kann sich darauf verlassen, dass diese rund um die Uhr unter Spannung steht.

Hohe Verfügbarkeit = Risiko der Verschleuderung

Diese Verfügbarkeit beinhaltet natürlich auch das Risiko, dass mit dieser Energie verschwenderisch umgegangen wird. Ebenso ist sie zusammen mit der einfachen Umwandlung dafür verantwortlich, dass alternative Formen mit kleinerer Wertigkeit oft nicht verwendet werden, wo sie sich durchaus eignen würden.

A.3.2 Entstehung

Elektrische Energie wurde gemäss [1] 1992 in der Schweiz umgewandelt aus 59% Wasserkraft und 38% Kernkraft. Nur 3% stammen aus der Verbrennung fossiler Stoffe.

Die Landeserzeugung betrug 1992 knapp 60'000 GWh. Im Jahrestotal resultierte ein Ausfuhrüberschuss von etwas mehr als 4000 GWh, wobei jedoch im Winterhalbjahr 800 GWh importiert werden mussten (2.7% des Landesverbrauchs).

Von der Nettoerzeugung gingen fast 7.5% auf dem Weg zum Abnehmer und bei der Pumpspeicherung verloren. Nach Abzug des Exportüberschusses resultiert ein Endverbrauch von 48'000 GWh.

Ein Drittel verbraucht Industrie und Gewerbe

Definiert man als «**Industrie**» alle Betriebe mit mehr als 20 Mitarbeitern und einem Jahresverbrauch von mehr als 60 MWh, so verbrauchten diese Betriebe gemäss Statistik etwa **einen Drittel des Gesamtverbrauchs**. Fast zwei Drittel gehen in Haushalt, Gewerbe und Dienstleistung und rund 5% in Bahnbetriebe.

Interessant ist auch die Zusammensetzung des Grundkapitals, das in die Energieerzeugung investiert ist:

- Privatkapital 27%
- Gemeinden 31%
- Kantone 40%
- SBB (Bund) 2%

Wir, die Steuerzahler nehmen also an der Produktion zu fast drei Vierteln teil.

Der Wert der Stromerzeugung beträgt bei einem angenommenen durchschnittlichen Kilowattstundenpreis von 14,5 Rappen und einer Nettoerzeugung von 47,7 GWh ungefähr 8 Milliarden Schweizerfranken.

Wasserkraftwerke können ihre Leistung der Nachfrage anpassen, die Flusskraftwerke am wenigsten, die Speicherkraftwerke schon besser und die Pumpspeicherwerke sogar mit umgekehrtem Vorzeichen, letztere können also überschüssige elektrische Energie in potentielle Energie zurückwandeln, allerdings nur unter wirkungsgradbedingten Verlusten.

Kernkraftwerke haben eine riesige thermische Trägheit und sollen auch aus anderen Gründen (z.B. Wirkungsgrad) wenn immer möglich auf Vollast gefahren werden. Sie liefern deshalb sogenannte Bandenergie, das heisst den konstanten Anteil der Stromlieferungen. Die Lieferungen der Wasserkraftwerke, vor allem der Speicherkraftwerke, werden hingegen verwendet, um den variablen Bedarf abzudecken. Auch diese Bedarfsabdeckung hat ihre Grenzen und so müssen die Lieferanten durch gewisse Massnahmen dafür sorgen, dass bestimmte Verbraucher zu den Spitzenzeiten nicht eingeschaltet werden können (z.B. Sperrung der Waschmaschinen und Tumbler während der Kochzeit in Haushalten).

Steigt der Strombedarf weiter, ohne dass mehr Kapazität für Spitzenenergiendeckung zur Verfügung steht, so sind weitergehende Einschränkungen unumgänglich. So ist es durchaus möglich, dass in Zukunft auch massive industrielle Verbraucher zu bestimmten Zeiten gesperrt werden oder dass sie verpflichtet werden, ein Energiemanagementsystem einzusetzen, das Spitzen bricht. Dies wird zuerst in Ländern der Fall zu sein, wo mehrheitlich Bandenergie zur Verfügung steht. Da die Schweiz aber in diese Länder stromverbrauchende Anlagen exportieren möchte, ist dies auch bei uns ein Thema.

A.3.3 Tarifierung

Für die Verrechnung von Stromlieferungen kommen neben Anschlussgebühren und Grundpreis vor allem folgende Preiskomponenten zum Zuge (vgl. [2]):

- **Arbeitspreis**
Preis für bezogene Energiemenge (z.B. Rp/kWh). Die Tarifierung kann weiter unterteilt werden nach Tageszeiten (Hoch- und Niedertarif), nach Saison und nach Verwendungszweck. Im übrigen ist auch eine Zonung oder Staffelung des Tarifs möglich, d.h. eine Art Mengenrabatt oder Überbezugs- «Strafe». Saisonale Tarifierung wird besonders deshalb aktuell, weil im Sommerhalbjahr ein Überschuss, im Winter aber ein Engpass in der Energieversorgung besteht, und dies im ganzen europäischen Verbundnetz.
- **Blindenergiepreis**
Bei grossen Verbrauchern mit reaktiven Lasten wird auch die Blindenergie (in kvarh) nach einem eigenen Tarif verrechnet werden. Der Verbraucher kann diesen Tarif umgehen, wenn er selbst für die Einhaltung eines minimalen $\cos \phi$ (in der Regel > 0.9) besorgt ist (mit Blindstromkompensationsanlagen oder durch Elimination von unnötig hohen induktiven Lasten).
- **Leistungspreis**
Preis für die zur Verfügung gestellte Leistung. Sehr oft wird dabei die maximale bezogene Leistung innerhalb einer Viertelstunde als Berechnungsgrundlage herbeigezogen. Dieser wird vor allem für Grossverbraucher in Industrie und Gewerbe angewendet. Kurze Sünden können auch hier also sehr teuer zu stehen kommen. Vergleiche den Abschnitt über Energiekontrollsysteme in Kap 5.6.6.

Diese Tarifkomponenten können nun verschieden kombiniert werden.

A.3.4 Elektrische Arbeit und Leistung

Industriebetriebe werden mit Wechselstrom 50 Hz und unterschiedlichen Spannungen (je nach Art des Anschlusses ans öffentliche Netz) beliefert. Im Gegensatz zur Gleichspannung kann die Wechselspannung ohne Elektronik, das heisst nur mit Transformatoren, auf jede beliebige Spannung transformiert werden.

Bei rein ohmscher Last berechnet sich die Leistung (in Watt) einer mit einphasigem Wechselstrom betriebenen Einrichtung als Produkt des Effektiv-Wertes der Spannung (Volt) und des Effektiv-Wertes vom Strom (Ampère). Sinusförmiger Spannungsverlauf vorausgesetzt, entspricht der Effektivwert (Spannung oder Strom) jeweils dem Spitzenwert geteilt durch $\sqrt{2}$, also etwa Spitzenwert mal 0.7. Die meisten einfacheren Messgeräte messen den Effektivwert, so dass die Leistungsberechnung aus ermittelter Spannung und Strom einfach ist.

Dieser einfache Zusammenhang zwischen Leistung, Effektivwert von Spannung und Effektivwert von Strom ist jedoch nur solange gültig, als Spannung und Strom in linearem Zusammenhang stehen. Zwei Effekte können diese lineare Abhängigkeit stören:

- Der Widerstand der Last ändert sich mit angelegter Spannung (z.B. Gleichrichter). Bei sinusförmiger Spannung wird damit der Stromverlauf nichtlinear, was die Messung des Effektivwertes verfälscht.
- Der Strom folgt einer Spannungsänderung nur mit zeitlicher Verzögerung (Feldaufbau in induktiver Last) oder die Spannung folgt einer Stromänderung nicht sofort (Ladungsaufbau in kapazitiver Last). Strom und Spannung sind also über eine zeitabhängige Funktion verknüpft. Bei Wechselspannung ergibt sich deshalb eine Phasendifferenz zum Stromverlauf.

Kapazitive und induktive Lasten (sog. Reaktanzen) beeinflussen also den Phasenwinkel zwischen Spannung und Strom. In der Industrie ist der überwiegende Anteil der Reaktanzen induktiv, er resultiert aus Spulen und Wicklungen auf Transformatoren und Motoren. Die Phasenverschiebung wird üblicherweise mit dem Cosinus des Phasenwinkels φ (phi), dem sog. Leistungsfaktor, und nicht mit dem Winkel selber angegeben.

Dieses Vorgehen erlaubt eine einfache Berechnung der Wirkleistung, sie bestimmt sich durch $U_{\text{eff}} * I_{\text{eff}} * \cos \varphi$. Für einen Phasenwinkel von 0° ist der cosinus = 1, bei 45° beträgt er ca. 0.7, bei $60^\circ = 0.5$ und bei $90^\circ = 0$.

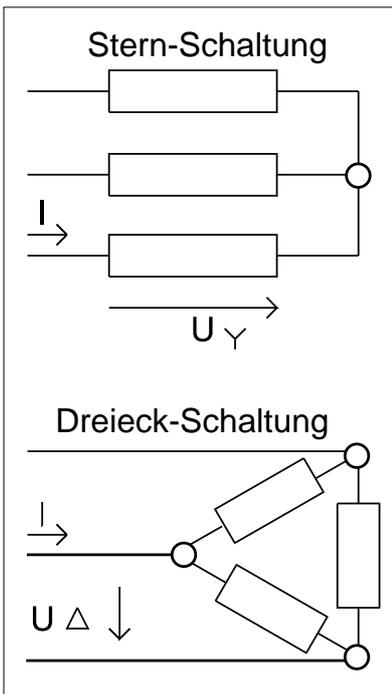
Das Produkt von $U_{\text{eff}} * I_{\text{eff}}$ alleine (ohne Berücksichtigung des Phasenwinkels, nennt man Scheinleistung. Es wird statt in Watt in Voltampère, abgekürzt VA angegeben.

Bei gleichbleibender Wirkleistung und Spannung steigt also der Strom mit zunehmendem Phasenwinkel = abnehmendem $\cos \varphi$, der durch induktive Last entsteht. Daran haben die Stromlieferanten keine Freude, weil dadurch z.B. höhere Übertragungsverluste und Schaltprobleme entstehen. Sie verlangen deshalb einen hohen $\cos \varphi$, der unter Umständen mit aufwendigen Kondensatorbatterien innerhalb des Betriebs durch kapazitiven Ausgleich erreicht werden muss.

Grössere Verbraucher werden nicht einphasig sondern dreiphasig gespeist. Die Zusammenhänge können wie folgt dargestellt werden:

Die Last kann entweder zwischen die Leiter gelegt werden (Dreieckschaltung) oder auf einen Lastmittelpunkt (Sternschaltung). Die Spannung zwischen den einzelnen Phasen (Leiterspannungen), also beispielsweise zwischen R und S, betragen das $\sqrt{3}$ -fache (1,732) der Sternspannung (also Phase gegen Mittelpunktleiter gemessen).

Bei asymmetrischer Belastung der einzelnen Phasen sind die genauen Verhältnisse recht kompliziert. Man löst die Berechnung von Spannung, Strom, Leistung und Phase mittels vektorieller Berechnungsmethoden (sog. «Stromdreieck»).



A.3.4

Als Vereinfachung gilt jedoch zumeist annähernd, dass der Strom in den drei Phasen gleich nach Betrag ist (mit einer Phasenverschiebung von 120°) und dass der Phasenunterschied zwischen Spannung und Strom in allen drei Phasen gleich ist. Für die Leistungsmessung genügt es in diesem Falle, **Spannung**, **cos φ** und den **Strom in einer der drei Phasenzuleitungen Lasten** zu kennen.

Die Leistung (aller drei Lasten zusammen) berechnet sich dann mit:

bei Sternschaltung: $P_{tot} = U_Y * I * 3 * \cos \varphi$
 bei Dreieckschaltung: $P_{tot} = U_{\Delta} * I * \sqrt{3} * \cos \varphi$

wobei I der Strom durch eine Phase ist (einfach zu messen) und U die Spannung über der Last ist. In der Sternschaltung muss also die Spannung auf den Mittelpunkt gemessen und in die Gleichung einbezogen werden. Bei der Dreiecksschaltung muss die Spannung zwischen zwei Phasen gemessen und in die Gleichung eingesetzt werden. Der Phasenwinkel **cos φ** wird über einer Last ermittelt.

B Literatur-Verzeichnis

- [1] **Schweizerische Elektrizitätsstatistik 1992**,
erstellt vom Bundesamt für Energiewirtschaft,
veröffentlicht im Bulletin SEV/VSE 8/93
- [2] **Grundbegriffe der Energiewirtschaft**
RAVEL-Materialien, EDMZ 724.397.12.51.1
- [3] **Erfassung des Energieverbrauchs**
Leitfaden für Industrie und Gewerbe sowie Anleitung für den
Beauftragten und zugehörige PC-Software
RAVEL-Materialien, EDMZ 724.371.1
- [4] **RAVEL Handbuch «Strom rationell nutzen»**
ISBN 3-7281-1830-3
- [5] **Elektroantriebe in der Industrie**
RAVEL-Materialien EDMZ 724.397.21.08
- [6] **Beispiele des erfolgreichen Einsatzes von Automation**
RAVEL-Materialien, EDMZ 724.397.43.51
- [7] **Sensorik zur Einsparung elektrischer Energie**
RAVEL-Materialien, EDMZ 724.397.43.52
- [8] **Analyse des Energieverbrauches**
RAVEL Materialien. EDMZ 724.318d
- [9] **Structured Analysis and System Specification**
Tom DeMarco, Yourdon Press
- [10] **RAVEL zahlt sich aus**
Ein Leitfaden für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen
RAVEL-Materialien, EDMZ 724.397.42.01
- [11] **Methoden der Programmierung von SPS**
Vogel Fachbuch, B. Plagemann, ISBN 3-8023-0272-9.
- [12] **Kennwerte betrieblicher Prozessketten**
RAVEL-Materialien, EDMZ 724.397.12.54
- [13] **Planung und Durchführung von IT-Vorhaben**
Koordinierungs- und Beratungsstelle der (deutschen) Bundes-
regierung, zu beziehen (auch auf Diskette in Winword Format)
bei Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft mbH,
Einsteinstrasse 20, D-85521 Ottobrunn.
- [14] **Elektronantriebe**
RAVEL Materialien, EDMZ 724.397.21.08d
- [15] **Gesamtwirkungsgrad von Werkzeugmaschinen**
RAVEL Materialien, EDMZ 724.397.21.55