

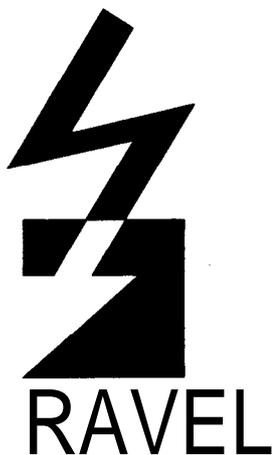
1996 724.397.43.03 D

Materialien zu RAVEL

Energie- Kontroll-Systeme

Grundlagen, Funktion,
Potentiale, Vorgehen

Georg Züblin



Ressort 43: Elektronik

Bundesamt für Konjunkturfragen

Adressen:

Herausgeber: Bundesamt für
Konjunkturfragen (BFK)
Belpstrasse 53
3003 Bern
Tel.: 031/322 21 39
Fax: 031137182 89

Geschäftsstelle: RAVEL
c/o Amstein+ Walthert AG
Leutschenbachstrasse 45
8050 Zürich
Tel.: 01/305 91 11
Fax: 01/305 92 14

Ressortleiter
und Autor: Georg Züblin
EPS AG für Elektronische
Prozesssteuerungen
Gallusstrasse 10
9500 Wil
Tel.: 073/20 31 91
Fax: 073122 13 87

Projektleiter: Urs Fischli
Energie Consult Fischli
Rosengasse 24
8750 Glarus
Tel.: 055/640 79 74
Fax: 0551640 79 77

Diese Studie gehört zu einer Reihe von Untersuchungen, welche zu Händen des Impulsprogrammes RAVEL von Dritten erarbeitet wurde. Das Bundesamt für Konjunkturfragen und die von ihm eingesetzte Programmleitung geben die vorliegende Studie zur Veröffentlichung frei. Die inhaltliche Verantwortung liegt bei den Autoren und der zuständigen Ressortleitung

Copyright Bundesamt für Konjunkturfragen
3003 Bern, März 1996

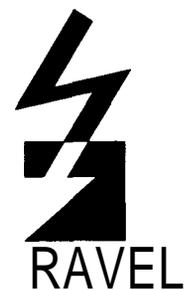
Auszugsweiser Nachdruck unter Quellenangabe erlaubt. Zu beziehen bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, 3000 Bern (Best.-Nr.724.397.43.03 D)

Materialien zu RAVEL

Energie- Kontroll-Systeme

Grundlagen, Funktion,
Potentiale, Vorgehen

Georg Züblin



Impulsprogramm RAVEL
Bundesamt für Konjunkturfragen

Der Bezug von elektrischer Spitzenleistung ist teuer, oft teurer als die bezogene elektrische Energie. Da helfen Energiekontrollsysteme, auch Energiemanagementsysteme genannt, Bezugsspitzen zu brechen, die Last zu verteilen und meist auch den Verbrauch generell zu mindern. Sie sind also (ökonomisch und ökologisch sinnvolle Investitionen, die sich in sehr kurzer Zeit bezahlt machen.

Grundlagen

Der Strom-Markt

Der Strommarkt ist durch einige Besonderheiten gekennzeichnet:

Das produzierte Gut ist nicht speicherbar.

Der Anspruch an die Verfügbarkeit ist absolut. Engpässe dürfen nicht entstehen. Daraus folgt, dass die gesamte Infrastruktur für Produktion und Verteilung für die grösste Last dimensioniert werden muss, die innerhalb der gesamten Lebensdauer voraussehbar ist.

Die Produktionsleistung lässt sich heute nur noch mit unverhältnismässig hohen Investitionen steigern. Der Konsument hat deshalb ein Interesse daran, in Sparmassnahmen zu investieren. Ansonsten muss er längerfristig die teuren Mehrinvestitionen der Produzenten über den Strompreis finanzieren.

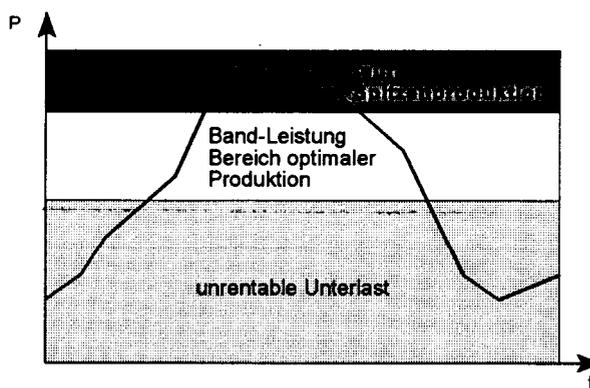
Der Konsum schwankt kurzfristig stark (über den Tages- und Wochenablauf) und ist auch unter Ausnutzung von Erfahrungswerten nicht exakt planbar.

Die Produktionsleistung ist je nach dem Herstellungsverfahren besser oder schlechter regelbar.

Die Lieferkonditionen können weitgehend von den Produzenten bestimmt werden, der Kunde hat wenig bis gar keinen Einfluss auf die Preisgestaltung.

Die Produzenten müssen aber marktgerechte Preise und eine absehbare Preispolitik anbieten, um nicht längerfristig eine Abwanderung zu anderen Energieträgern (z.B. zu Brennstoffen) oder zu anderen Stromlieferanten zu provozieren.

Die Strom-Nachfrage schwankt deutlich stärker als die Bandbreite, innerhalb der ökonomisch produziert werden kann. Hohe Spitzen verlangen eine Infrastruktur für Produktion und Verteilung, die im Vergleich zum Erlös durch die verkaufte Energie krass überdimensioniert werden muss und umgekehrt in den flauen Zeiten schlecht ausgelastet ist.

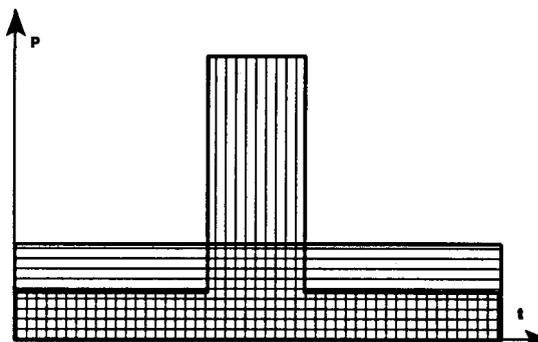


Figur 1: Leistungsbezug im Band und bei Spitzen- und Unterdast

Die Produzenten versuchen deshalb, die Nachfrage durch technische Mittel einerseits und durch tarifliche Anreize/Strafen andererseits so auszugleichen, dass eine einigermaßen ausgeglichene Produktion resultiert. Und die Konsumenten tun gut daran, einerseits ihren Verbrauch zu minimieren und andererseits dem Anliegen der Produzenten für einen ausgeglichenen Konsum weitestgehend zu entsprechen, da sie damit schlicht und einfach Geld sparen.

Damit gilt also:

Wer den Energiebezug ausgleichen kann, spart Geld. Denn wie Figur 2 zeigt, kostet der senkrecht schraffierte Bezug etwa das Doppelte des Waagrechten (über's Jahr gerechnet), obschon in beiden Fällen die gleiche Energie bezogen wird (Fläche).



Figur 2: unterschiedliche Leistungsverläufe gleicher Energie

Leistungsanpassung bei Produktion + Verteilung

Kurzfristig in der Leistungsabgabe regelbar sind Pumpspeicherwerke und hydraulische Hochdruckkraftwerke, wobei erstere in Überschusszeiten sogar elektrische Energie aufnehmen können und diese in Form von potentieller Energie speichern können, allerdings unter wirkungsgradbedingten Verlusten.

Da ein Kraftwerk auch dann überwacht, gewartet und amortisiert werden muss, wenn es nicht produziert, ergeben sich zur Deckung der Spitzen zwangsläufig höhere Kosten. Immerhin kann das zur Verfügung stehende Wasser optimal in Energiepreis umgesetzt werden.

Flusskraftwerke sind zwar regelbar, aber überschüssiges Wasser ist bei tiefer Leistungsabgabe verloren, da der Pegelstand im Staubebereich konstant gehalten werden muss. Wasserfälle im Überlauf lösen Tränen in den Augen der EW-Direktoren aus. Flusskraftwerke sind dann am rentabelsten (bzw. produzieren dann den billigsten Strom), wenn der Wasserzufluss etwa der Nennkapazität der Turbinen entspricht und die Konsumenten den Strom auch tatsächlich abnehmen.

Thermische Kraftwerke, in der Schweiz fast ausschliesslich Kernkraftwerke, sind kurzfristig überhaupt nicht ökonomisch zu regeln, da ihre Wärmezeitkonstanten viel zu lange sind.

Strom wird heute in einem grossen Netzwerk europaweit produziert, verteilt und konsumiert. Die Schweiz ist in bezug auf regelbare Produktion gegenüber den meisten Partnern im Verbundnetz privilegiert: Sie betreibt sehr viel mehr Wasserkraftwerke als ihre Nachbarstaaten, die überwiegend bis ausschliesslich auf thermische Produktion angewiesen sind. Für den Schweizer Konsumenten ist dieser Vorteil aber nicht sonderlich relevant, da die Marktkräfte eben im ganzen europäischen Verbundnetz wirksam sind und wir auch bezüglich der elektrischen Energie nicht auf einer Insel sitzen.

Die Möglichkeiten der Regelung der Produktion sind also beschränkt. Neue Technologien wie etwa die Elektrolyse von Wasser zu Wasserstoff und Sauerstoff mit Überschussstrom sind grosstechnisch noch nicht verfügbar, beziehungsweise laufen noch mit zu schlechtem Wirkungsgrad.

Anpassungsmöglichkeiten **beim Konsum**

Schon seit langer Zeit werden Verbraucher wie etwa Boiler nachts mit überschüssigem Strom aufgeladen und untertags gesperrt. Die EWs besitzen mit den Rundsteuerungen eine Infrastruktur zur Optimierung der Nachtlast.

Bei der Verhinderung von Spitzenlasten wird es schon schwieriger. Im einfachsten Falle werden (ebenfalls über die Rundsteuerungen) gewisse Verbraucher zu den Spitzenzeiten gesperrt oder nur alternativ betriebsfähig installiert. (z.B. Waschautomaten, Wäschetrockner, Herd und Backofen und Ähnliches). Diese Massnahme kommt jedoch bei Industrie und Gewerbe nur selten zur Anwendung, da ein Eingriff des liefernden

Elektrizitätswerk in den Produktionsablauf eines Betriebes nur im Ausnahmefall tolerierbar ist.

Weitergehende Massnahmen zur Spitzenlastvermeidung müssen auf Verbraucherseite und auf Verbraucherinitiative hin getroffen werden. Ein Werkzeug dazu sind Energiekontrollsysteme. Und die Motivation ist **durch die Tarifstrukturen gegeben:**

Beeinflussung des Konsums durch Tarife

Aus den genannten Gründen verrechnen die Elektrizitätsversorgungsunternehmen ihren Grosskunden nicht nur die verbrauchte Energie, sondern auch die in einer definierten Zeitspanne (z.B. während einer Viertelstunde) höchste bezogene Leistung innerhalb der Abrechnungsperiode (z.B. eines Monats). Dabei kostet ein Kilowatt Leistung in der Jahresabrechnung etwa tausendmal soviel wie eine Kilowattstunde, nämlich etwa hundertfünfzig Franken. Das bedeutet, dass der Betrieb eines Verbrauchers in der flaschen Viertelstunde - also während einer Lastspitze - gleichviel kostet, wie wenn der nämliche Verbraucher 1000 Stunden in einer Schwachlastzeit läuft!

Neben dieser individuellen Verrechnung der Spitzenlast verkaufen die Elektrizitätswerke ihre Energie zu Zeiten kleinerer Nachfrage billiger, um damit einen Anreiz zur Verlagerung des Konsums zu schaffen. So unterscheiden heute die meisten zwischen Tag- und Nacht- sowie zwischen Sommer- und Wintertarifen.

Aufspuren von Sparmöglichkeiten

In den wenigsten Betrieben ist der Anteil der Kosten für elektrische Energie so hoch, dass es sich lohnen würde, den Produktionsablauf an die Tarifstruktur des Elektrizitätslieferanten anzupassen: Nachtarbeit zum Beispiel kostet allemal viel mehr als sich durch die Ausnutzung des Niedertarifs einsparen lässt. Hingegen lassen sich in vielen Betrieben Prozesse finden, die ein gewisses natürliches Speichervermögen verfügen, die aus Kapazitätsgründen nicht während der ganzen Arbeitszeit laufen müssen oder die mit geringer Kornforteinbusse kurzfristig ausgeschaltet werden können: Thermische Prozesse wie öfen, beheizte Bäder oder Kuhlantagen, Kompressoren, Lüftungen und Klimaanlage gehörten dazu.

Auch zeigt die Erfahrung, dass jede Untersuchung der Verbräuche auch Sparmöglichkeiten aufzeigt, die nicht primär mit der Lastverteilung sondern mit dem kumulierten Verbrauch etwas zu tun haben.

Es leuchtet ein, dass solche Möglichkeiten in einer Energieverbrauchsanalyse individuell geprüft werden müssen. Wie eine solche aussehen kann, soll kurz im folgenden gezeigt werden.

Die Stromverbrauchsanalyse

Eine Stromverbrauchsanalyse im Hinblick auf Spitzenlasten kann in folgende Hauptaktivitäten unterteilt werden:

die Messung des täglichen Verlaufs der bezogenen elektrischen Leistung

die Erfassung der Verbraucher, die ohne Schaden für eine gewisse Zeit abgeworfen werden können

die Identifikation von energetisch problematischen Verbrauchern, Verbrauchergruppen und/oder Verfahren

Schlussfolgerungen

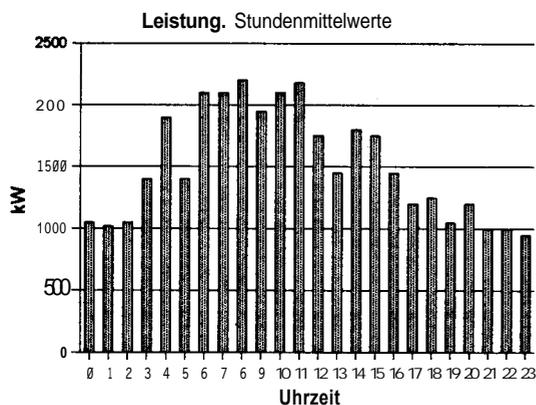
Massnahmenkatalog

Schätzung des Sparpotentials

In den Materialien zu RAVEL gibt es eine Vielzahl weiterführender Publikationen und Hilfsmitteln. Siehe dazu das Literaturverzeichnis auf der Rückseite.

Täglicher Verlauf der Leistung

Die untenstehende Abbildung zeigt einen typischen Leistungsverlauf in einem metallverarbeitenden Betrieb werktags im Sommer.



Figur 3: Beispiel eines 24-Stunden-Lastverlaufs

Der Verlauf zeigt eine erste Spitze mit gut 1900 kW am frühen Morgen um 4 Uhr (Anheizen der Bäder), ein Abfallen auf knapp 1400 kW vor Arbeitsbeginn und darauf folgend hohe Verbrauchswerte bis über 2200 kW während des Vormittags, die um 9 Uhr arbeitspausenbedingt vorübergehend auf gut 1900 kW abfallen. Gut sichtbar ist die Mittagspause mit einem Rückgang auf gegen 1400 kW. Der Energieverbrauch des frühen Nachmittags liegt mit etwa 1800 kW deutlich unter dem des Vormittags und fällt ab 16 Uhr langsam bis auf die Nachtwerte von ungefähr

1000 kW ab. Die Leistungsganglinie eines Werktags im Winter liegt generell um etwa 200 kW höher, bedingt durch den Mehraufwand für Beleuchtung und den elektrischen Anteil für den Betrieb der Heizungen.

An Samstagen (im Diagramm nicht ersichtlich) wird nur teilweise gearbeitet; deshalb betragen die Vormittagswerte etwa 1300 kW. Nach dem Samstagmittag fällt der Verbrauch auf rund 600 kW ab und verharrt während des ganzen restlichen Wochenendes auf diesem doch recht hohen Niveau.

Im Kapitel 'Potential' wird aufgezeigt werden, was ein Energiekontrollsystem an dieser Kurve verbessern kann.

Funktion der Energiekontrollsysteme

Obwohl auf dem Markt in einer Vielzahl von Typen und Ausführungen erhältlich, ist das Grundprinzip bei allen Energiekontrollsystemen gleich:

Ein Energiekontrollsystem vergleicht die aktuell bezogene Leistung mit einem voreinstellbaren Grenzwert. Droht der Grenzwert überschritten zu werden, so werden einzelne Verbraucher über eine Art Fernwirk-System abgeschaltet, um wieder Abstand zum Grenzwert zu erhalten. Ist die bedrohliche Situation abgewendet, so werden der oder die abgeschalteten Verbraucher wieder automatisch eingeschaltet.

Messung der Leistung resp. der elektrischen Arbeit.

Die Messung der Leistung erfolgt entweder durch systemeigene Leistungsmessung oder im einfacheren Falle durch Abtasten des oder der installierten Stromzähler. Dabei wird die schwarze Marke auf dem Zählerrad mit einem optischen Fühler abgetastet und als elektrischer Impuls aufgezählt (Messung der elektrischen Energie). Durch Messung des Intervalls zwischen zwei Pulsen kann wiederum auf die aktuelle Leistung geschlossen werden.

Im einfachen Fall wird dabei nur ein einziger Zähler abgetastet. Komplexere Systeme erlauben jedoch die gleichzeitige Messung und Verarbeitung verschiedener Kanäle (und damit auch die separate Kontrolle über verschiedene Gebäude- oder Fabrikationseinheiten). Dies ist insbesondere dort wichtig, wo durch den Betrieb eines Energiekontrollsystems auch Informationen über das Verbrauchsverhalten von Subsystemen geliefert werden müssen. So kann es beispielsweise interessant sein, Kantine, Wäscherei und/oder Bürotrakt vom industriellen Betrieb gesondert zu erfassen, um die Kenntnisse zu erweitern.

Schalten der Lasten

Die Schaltung der Lasten kann über **ein zentrales** Panel oder dezentral über ein Fernwirkssystem bzw. einen Industriebus (Profibus, CAN-Bus etc). erfolgen.

Bedienung und Darstellung der Resultate_.

Hier unterscheiden sich nun die Geräte sehr stark. Im einfachsten Fall benötigt ein Energiekontrollsystem nach erfolgter Parametrierung praktisch keine Bedienung mehr. Solche Geräte sind deshalb nur mit minimalen Bedieneinrichtungen und Displays versehen.

Soll das Energiekontrollsystem jedoch zur laufenden Optimierung verwendet werden können, so sollten mindestens Leistungskurven angezeigt/ausgedruckt werden können. Viele Systeme können mit einem PC ausgerüstet werden, der auch die grafische Darstellung von Leistungsverläufen auf Bildschirm und Drucker sowie die Abspeicherung von Leistungswerten und Schaltprotokollen erlaubt.

Die **Darstellung des Verbrauches führt nachweisbar zu den grössten Einsparungsmöglichkeiten, mehr noch als die automatische Schaltung von Verbrauchern.**

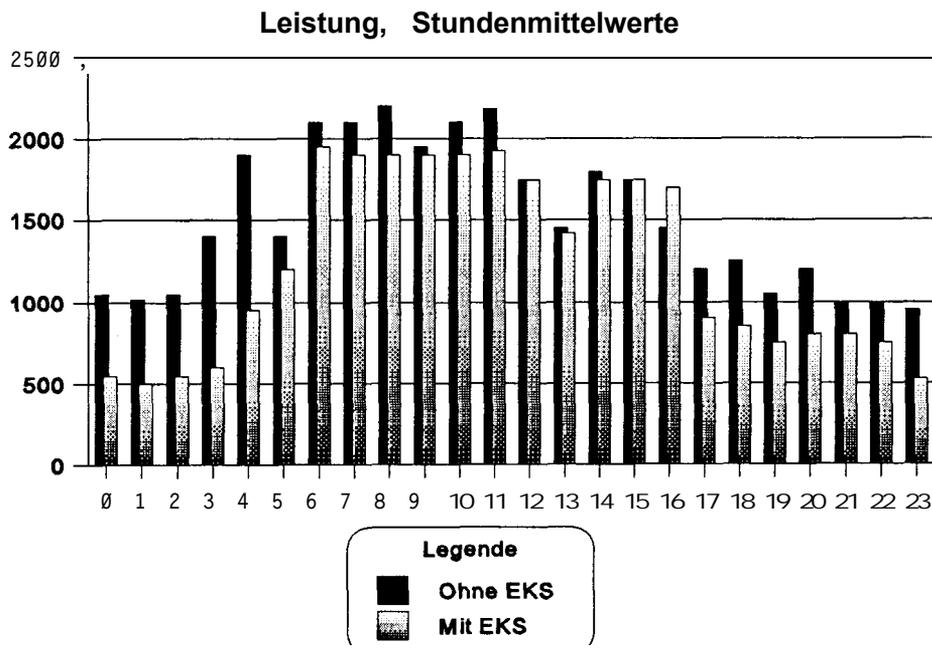
Potentiale von Energiekontrollsystemen

Technische Potentiale

Figur 6 zeigt den Vergleich der Tagesganglinie aus dem Beispiel in Figur 3 mit dem Leistungsverlauf nach Einführung des Energiekontrollsystems. Die Reduktion-der-Spitzenlast beträgt im vorliegenden Fall ca. 1536, entsprechend 300 kW.

Erstaunlich jedoch ist, dass der Reduktion in Spitzenzeiten kein Mehrverbrauch in den Schwachlastzeiten entgegensteht. Auch der Verbrauch an Wochenenden konnte halbiert werden. Das Energiekontrollsystem hat damit ein Sparpotential zutage gefördert, das weit grösser war als vermutet. Insgesamt ist der Verbrauch elektrischer Energie um 13% gesunken, ohne Kompensation durch andere Energieträger!

Dies liegt an der Tatsache, dass das Energiekontrollsystem erst tiefere Erkenntnisse über den Verbrauch an elektrischer Energie lieferte, die für die weitere Optimierung massgeblich sind. Diese Optimierung erfolgt natürlich nicht automatisch, sondern ist **das** Ergebnis von beobachten, nachdenken und handeln. Sie hat mithin auch ihren Preis, aber was gibt es Sinnvolleres und Befriedigenderes, als erfolgreich über mehr Effizienz zu studieren?



Figur 6: Vergleich der Ganglinien mit und ohne Lastmanagement

Wirtschaftliche Potentiale

Etwas bezahlen, um zu sparen, ist das nicht widersinnig?

Sicher nicht! Ob eine Investition zur Erhöhung des Ertrages oder zur Verminderung der Kosten eingesetzt wird, ist für das Resultat nicht relevant. So wird ja bekanntlich auch in die Rationalisierung investiert, um Lohnkosten zu sparen. Die Frage, die sich jeder Betriebswirt stellt, ist lediglich, wie schnell sich das investierte Kapital amortisiert. Und gerade hier glänzen Energiekontrollsysteme mit Payback-Zeiten, die die meisten anderen Investitionen um Jahre schlagen. Je nach Verbrauchssituation, Tarifen und flankierenden Optimierungsmassnahmen ergeben sich in den meisten Fällen Payback-Zeiten von 1 bis 3 Jahren.

Und ab welchem Betrag auf der Stromrechnung lohnt sich ein Energiekontrollsystem? Muss ein Betrieb Hunderttausende für Strom ausgeben, damit sich die Investition rechnet?

In einem kleinen Betrieb mit wenigen Lasten kann ein Energiekontrollsystem schon für wenige tausend Franken installiert werden. Damit lohnt es sich schon bei Einsparungsmöglichkeiten von 1000 Franken pro Jahr. **Jeder Betrieb, dessen Stromrechnung in der Nähe von 10 000 Franken zu liegen kommt, ist damit bereits ein wahrscheinlicher Kandidat für den sinnvollen Einsatz eines Energiekontrollsystems.** Zu diesem Kreis gehören die meisten Gastronomiebetriebe, Heime und Gewerbebetriebe, und selbstverständlich die Mehrzahl der industriellen Betriebe.

Anbieter von Energiekontrollsystemen oder auch unabhängige Berater sind gerne bereit, eine Potentialanalyse und eine Wirtschaftlichkeitsrechnung für den einzelnen Fall auszuarbeiten.

Etappen zum erfolgreichen Vorgehen

Für die erfolgreiche Einführung von Energiemanagement sind die folgenden Etappen zu durchlaufen, gelegentlich auch repetitiv. In der Regel lohnt es sich, die betriebsspezifischen Fragen selber zu beantworten.

- 1 Den Verbrauch im Betrieb und die Zusammenhänge erfassen wann brauche ich am meisten, am wenigsten Strom und warum, wie war der Trend in den letzten Jahren und Antworten auf andere Fragen mehr).
- 2 Die schaltbaren Lasten eruieren und eine grobe Abschätzung des Sparpotentials vornehmen. Den Entscheid für das weitere Vorgehen fällen.

- 3 Einen vertrauenswürdigen Lieferanten und/oder Berater auswählen.
- 4 Eine sorgfältige Projektplanung machen und die von Schaltungen betroffenen Leute im Betrieb frühzeitig informieren und mit Ihnen die geplanten Massnahmen und ihre Auswirkungen erörtern.
- 5 Die Erfüllungskriterien für die Abnahme gegenüber dem Lieferanten festlegen (z.B. Leistungsmaximum, funktionale Anforderungen, Zuverlässigkeit etc.)
- 6 Anstehende Probleme mit Verbrauchern sofort und fundiert lösen. 'Enten', also Falschmeldungen, auf den Grund gehen und mit Fakten kontern.
- 7 Dem Vorurteil: <Das geht sowieso nicht> mit fundierter, gesamtbetrieblicher Information entgegengetreten.
- 8 Nach der Inbetriebnahme nicht auf den Lorbeeren ausruhen sondern das Energiekontrollsystem erst recht nutzen und beobachten.
- 9 Nicht nur die Suche nach den grossen sündenböcken, sondern vor allem die Summe vieler kleiner Lecks führt zum Sparerfolg.



Literaturverzeichnis von RAVEL-Publikationen

- [1] Ravel Industrie-Handbuch.. Begriffe und Daten der Energiebetriebswirtschaft EDMZ 724.3704
- [2] Kompetent antworten auf Energiefragen, EDMZ 724.386
- [3] Automation und RAVEL, Industrielle Automation : Projekte rationeller planen und realisieren. EDMZ 724.335 d
- [4] Ravel Handbuch 'Strom rationell nutzen', ISBN 3-7281-1830-3
- [5] Ravel zahlt sich aus: 11 Praxislehrstücke, EDMZ 724.387, ISBN 3-905233-17-7
- [6] Sparen mit Automation: Beispiele, EDMZ 724.397.43.51 d
- [7] Erfassung des Energieverbrauchs, Leitfaden und Tabellenkalkulationsprogramm, EDMZ 724.371 .1 d und neu als update 1996 PC-Programm RAVEL-Energieverbrauchserfassung, zu beziehen bei INFEL, Lagerstrasse 1, Postfach, 8021 Zürich, Tel 01/921' 01'02, Fax 01/291'09'03
- P1 Analyse des Energieverbrauches, EDMZ 724.318d
- P1 RAVEL zahlt sich aus. Ein Leitfaden für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen, RAVEL-Materialien, EDMZ 724.397.42.01

Bezüge beim Herausgeber:
Bundesamt für Konjunkturfragen (BFK)
Belpstr. 53
3003 Bern
Tel: 0311322 21 39 Fax: 031/37 82 89

Geschäftsstelle RAVEL
c/o Amstein und Walther-t AG
Leutschenbachstrasse 45
8050 Zürich
Tel: 01/305 91 11 Fax: 01/305 92 14

Projektleiter der Veranstaltung Energiekontrollsysteme:
Urs Fischli, dipl. El. Ing ETH
Energie Consult Fischli, Glarus, Rosengasse 24, 8750 Glarus

Autorenadresse:
G. Züblin, dipl El. Ing. ETH
Geschäftsleiter der EPS AG, Gallusstr. 10, 9500 Wil