

Inhaltsverzeichnis

7 wichtige Punkte	2
Stromverbrauch und Automatisierung: 7 wichtige Punkte	2
Strom in der Industrie	4
40 000 GWh für die Industrie	4
Automation und Stromverbrauch	6
Argumente und Vorurteile	6
Energieanalyse	8
Die 5 Schritte der Energieanalyse	8
Mittel und Konzepte der Automation	10
Sparstrategien	16
Weiterführende Informationen	23

7 wichtige Punkte

Stromverbrauch und Automatisierung: 7 wichtige Punkte

1 Verbrauch erfassen

Die Erfassung des Energieverbrauches ist Grundlage und gleichzeitig Ausgangspunkt jeder systematischen Verbesserungsarbeit. Aus den Verbrauchswerten lassen sich Kennzahlen – beispielsweise kWh pro Stück oder pro Los – ableiten und interpretieren. Bereits eine einfache Tabelle oder Ganglinie zeigt Zusammenhänge. Ziel: Die Anlage besser kennen.

2 Leerlauf eliminieren

Viele Komponenten oder Prozessschritte sind in Betrieb, bringen aber keinen Nutzen. Durch gezieltes Ein- und Ausschalten können Energie- und Wartungskosten reduziert und die Lebensdauer verlängert werden. Voraussetzung ist allerdings, dass der «Leerlauf» – Unterbelegung oder das Prozessende – erkannt und die Wiedereinschaltung unter allen Betriebsbedingungen sanft erfolgt. In die gleiche Richtung zielt auch die Aufteilung einer Produktion auf mehrere Einheiten.

3 Leistung anpassen

Die Leistung dem tatsächlichen aktuellen Bedarf anpassen eröffnet ein grosses Energiesparpotential. Dies gilt ganz besonders für ungergelte Antriebe und Heizelemente.

4 Sicherheitsmargen reduzieren

Sicherheitsmargen können, zumindest teilweise, durch eine zuverlässige Kontrolle und bzw. oder durch eine automatische Überwachung substituiert werden. Da sich Sicherheitszuschläge zum Teil gegenseitig bedingen und dadurch, in der Art einer Spirale, unverhältnismässig erhöhen, resultieren grosse Einsparungen.

5 Ausschuss vermindern

Ausschuss ist hinsichtlich Aufwand an Personal, Zeit, Material und Energie dem Produktionsgut vielfach gleichzusetzen. Das Geld für Voreinstellung, integrierte Qualitätsüberwachung und Trenderfassung zur Reduktion des Ausschusses ist ohne Zweifel sehr gut angelegt.

6 Optimal regeln

Komplexe Anforderungen verlangen mitunter nach komplexen Lösungen, der klassische isolierte Regelkreis genügt jedenfalls nicht in allen Fällen. Vielfach eignen sich Regler, die mehrere Istwerte und Stellwerte gleichzeitig verarbeiten, wie Kennfeldregler oder Fuzzy-Control.

7 Lasten verteilen

Integriertes Lastmanagement zur Verminderung von Lastspitzen zeitigt wegen den hohen Leistungstarifen gute bis sehr gute Kosten-Nutzen-Verhältnisse. Falls eine vollautomatische Produktion eine Verlagerung des Prozesses – oder Teile davon – in die günstige Niedertarifzeit ermöglicht, kann gar zweimal gespart werden.

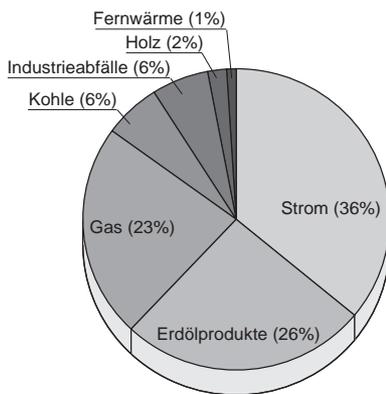
Strom in der Industrie

40 000 GWh für die Industrie

Die industriellen Betriebe der Schweiz verbrauchen 31% des gesamten Landesverbrauchs von 51 000 GWh Strom, also 15 000 GWh. 26 000 GWh gehen in Form anderer Endenergieträger in die Industrie. Mit insgesamt 41 000 GWh ist die Industrie am Schweizer Energieverbrauch von 230 000 GWh mit 18% beteiligt.

Endenergieträger	Verbrauch	Anteil	Tendenz
Elektrizität	14 900 GWh	36.3%	→
Erdölprodukte	10 800 GWh	26.3%	▲
Gas	9300 GWh	22.7%	▼
Kohle	2300 GWh	5.6%	↓
Industrielle Abfälle	2300 GWh	5.6%	↑
Holz	800 GWh	2.0%	→
Fernwärme	600 GWh	1.5%	→
Energieverbrauch	41 000 GWh	100.0%	▼

Tabelle 1: Energieverbrauch der industriellen Betriebe in der Schweiz nach Energieträgern, 1992, gerundete Zahlen.



Grafik: Energieverbrauch in der industriellen Betriebe in der Schweiz nach Energieträgern, 1992.

Die Anteile der Branchen:

Der grösste Anteil des industriellen Elektrizitätsverbrauches fliesst in die Maschinen- und metallverarbeitende Industrie, nämlich rund ein Drittel. Die chemische und pharmazeutische Industrie beziehen 20% und die Aluminium- und die Papierindustrie je 13%. Diese fünf Branchen verbrauchen vier Fünftel des industriell eingesetzten Stromes.

Energiedienstleistungen für die industrielle Produktion:

- Antriebe für mechanische Bearbeitung (spanabhebende Bearbeitung, Pressen, Walzen, Mahlen)
- Wärmetechnische Bearbeitung (Spritzguss, Extrusion, Trockner, Kunstfaserherstellung)
- Elektrochemische Prozesse (Elektrolyse, Metallöfen)
- Klimatisierung, Lüftung (chemische Industrie, Tabak, Elektronik)
- Kühlen (Kompressoren, Kühlmittelpumpen, Wärmepumpen, Peltierelemente)
- Transport von Materialien, Halbfabrikaten und industriellen Gütern (Pumpen, Fördermotoren, Gebläse, Krane, Lagereinrichtungen)
- Hilfsbetriebe von industriellen Prozessen (Kompressoren, Vakuumeräte, Aspirationen, Reinigungsanlagen)
- Anlagen für den Umweltschutz (Filter, Rauchgasreinigungen, Abwasseraufbereitung)
- Raumwärme, Beleuchtungen, Büro und Bürogeräte
- Steuerungen, Regelungen, Leitsysteme

Zum industriellen Energieverbrauch im weitesten Sinne zählen naturgemäss auch die Aufwendungen für die Infrastruktur, wie Strassen und Telekommunikationsnetze, sowie die in den eingesetzten Rohstoffen, Materialien und Halbfabrikaten enthaltene sogenannte graue Energie. Der Anteil der grauen Energie ist grösser, als dies allgemein vermutet wird (Kasten). Meistens sind mehrere Energieträger in einem industriellen Prozess oder Betrieb im Einsatz. Ob Öl, Gas oder Holz zu Wärme oder mechanischer Arbeit konvertiert wird, Strom ist bei allen Energieumwandlungen und bei allen industriellen Aktivitäten dabei.

Graue Energie

In der industriellen Güterproduktion muss mit einem durchschnittlichen Energieaufwand von 1,5 bis 2 kWh je Franken Güterwert oder Wertschöpfung gerechnet werden. Beispiel: Ein Mittelklasseauto für 30 000 Franken hat demnach schon vor der ersten Fahrt 50 000 kWh an Energie verbraucht – entsprechend einer Fahrleistung von 50 000 km. Selbstverständlich gilt die Faustregel auch für Halbfabrikate und Materialien: Ausschuss «vernichtet» sehr viel graue Energie, die nicht oder nur zu einem geringen Teil zurückgewonnen werden kann.

Automation und Stromverbrauch

Automation an sich spart keine Energie. Aber: Mit Automation lässt sich Energie sparen.

Argumente und Vorurteile

Automation hat einen Einfluss auf den Energieverbrauch

Energiebedarf des automatisierten Verfahrens ist zu klein.

→ Bei industriellen Prozessen ein äusserst seltener Fall.

Die Wirkungsgrade von Komponenten in einem Prozess sind nicht von der Steuerung abhängig.

→ Energieverbrauch ist keineswegs nur eine Frage der Wirkungsgrade, sondern auch von der Auslastung und anderer Faktoren des Prozesses.

Automation nützt die Sparpotentiale nicht.

→ Häufig zutreffend, kann aber verbessert werden.

Automation hat nur negativen Einfluss auf den Energieverbrauch

Es werden Abläufe automatisiert, die ursprünglich von Hand vorgenommen wurden.

→ Der spezifische Verbrauch kann – dank optimiertem bzw. grösserem Durchsatz – trotzdem niedriger sein.

Steuerung funktioniert nicht störungsfrei und verursacht Standzeiten und Ausschuss.

→ Derartige Missstände können saniert werden.

Automation hat positiven Einfluss auf den Energieverbrauch

Gesamtenergiebedarf nur unwesentlich höher, aber grösserer Ausstoss bei gleicher Infrastruktur, damit ist der spezifische Energiebedarf niedriger.

→ Der Prozess wird durch intelligente Steuerung optimiert.

Physik

Der Elektrizitätsverbrauch entspricht dem Produkt aus Leistung und Betriebszeit (auch Bearbeitungszeit oder Vollbetriebsstunden). Der einfachste Lösungsansatz für Stromsparmassnahmen heisst deshalb: Entweder muss die Leistung oder die Betriebszeit – oder beides! – reduziert werden. Automation passt den Leistungsbedarf den momentanen Bedingungen an und optimiert den zeitlichen Einsatz der Anlagekomponenten.

Automation mit positiver Nebenwirkung

Stromsparen ist meist nicht das Motiv zur Automatisierung von Abläufen, sondern Reduktion des Personal- und Materialeinsatzes sowie die Verkürzung der Durchlaufzeiten. Diese Bestrebungen haben aber in der Regel einen geringeren Stromeinsatz zur Folge. Gleiches gilt aber auch für Massnahmen mit dem erklärten Ziel der Stromeinsparung: Personal-, Material- und Unterhaltskosten sinken in der Regel. In den letzten 10 Jahren entstandene oder nachträglich automatisierte Anlagen sind schon aus betrieblichen Gründen keine Energieverschwender. Allerdings ist auch das an sich grosse Potential der Automation zum Stromsparen meist nicht ausgenützt. Stromsparen als Kriterium ist nicht einmal Gegenstand üblicher Pflichtenhefte im Anlagenbau. Der gleiche Mangel ist auch in der Fachliteratur zu erkennen: Im Gegensatz zu Anwendungen von Wärmeenergie sind zum Thema *Automation und Stromverbrauch* wenig Informationen verfügbar.

Energieanalyse

Die 5 Schritte der Energieanalyse

1. Ziele formulieren
2. Bereich abgrenzen
3. Messungen durchführen
4. Werte interpretieren
5. Erkenntnisse umsetzen

Merkpunkte zur Energieanalyse

- Nah am Prozess analysieren
- Wenige Grössen bewerten
- Zielorientiert messen
- Konsequenzen ziehen
- «Psychologie» beachten

Die 5 Schritte der Energieanalyse

1. Schritt: Ziele formulieren

Die Formulierung der Ziele definiert erst Umfang und Genauigkeit einer Energieanalyse. Typische Ziele einer Energieanalyse sind:

- Topographie des Energieverbrauches: Wo geht wieviel Energie verloren?
- Orten von Schwachstellen: Wo sind die Energieverluste überdurchschnittlich? (Energetische Schwachstellen korrelieren sehr oft mit organisatorisch-betrieblichen.)
- Bewerten von Prozessen, Anlagen und Komponenten (beispielsweise durch Zuordnung zu Qualitätsklassen).
- Energieeffizienz quantifizieren: Resultieren Kennzahlen in Form des spezifischen Elektrizitätsverbrauches? (kWh oder MJ pro Stück oder pro kg)
- Auslastung verbessern: Wo kann der Durchsatz erhöht werden bei gleichzeitiger Reduktion der Durchlauf- oder Betriebszeiten?
- Energiekostenverteilung: Welche Energiekostenanteile können einzelnen Produkten oder Kostenstellen zugeteilt werden?

2. Schritt: Bereich abgrenzen

Bei diesem Schritt geht es um die Begrenzung des zu analysierenden Bereiches. Dabei können folgende Kriterien für die Abgrenzung dienen:

- Örtlich differenzierte Bereiche (Bauten, Geschosse, Standorte)
- Organisatorisch differenzierte Bereiche (Profitcenter, Abteilungen, Produktebereiche)
- Nach einzelnen – allenfalls energieintensiven – Prozessen differenzierte Bereiche
- Nach Energieträgern differenzierte Bereiche (Elektrizität, Erdöl, Erdgas, Holz, etc.)
- Nach Einsatzstufe der Energie differenzierte Bereiche (angelieferte Endenergie, Einsatzenergie, Nutzenergie)

3. Schritt: Messungen durchführen

Selbstverständlich richtet sich der Messumfang nach den bereits definierten Zielen und dem abgesteckten Bereich. Grundsätzlich sollen die Messpunkte so nah wie möglich beim Prozess oder beim Verbraucher liegen. Erfahrungen zeigen, dass Messungen vielfach zu umfangreich oder gar gänzlich überflüssig sind, weil verlässliche Daten aus anderen Quellen verfügbar sind. Falls möglich, soll die Messwernerfassung automatisiert werden.

4. Schritt: Werte interpretieren

Übersicht ist eine wesentliche Voraussetzung zur Interpretation von Energieverbrauchsdaten. Ob diese Systematik tabellarisch oder grafisch ermöglicht wird, hängt wohl vom Fall ab. Der Vergleich von Ganglinien (Leistungswerte über die Zeit dargestellt) ist für das Eruiere von Korrelationen sehr ergiebig. Der Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und einer Energiedienstleistung muss plausibel sein. Beispiel: Die Ganglinie eines Druckluftkompressors zeigt auch am Wochenende – also während der Produktionspause – Verbrauchsspitzen. Das Druckluftsystem leckt und benötigt periodisch Strom, ohne dass überhaupt Druckluft verbraucht wird.

Die an sich sehr praktischen Energieflussbilder haben den Nachteil, dass die Dynamik des Energieverbrauches, aber auch die Wertigkeit und der Geldwert des Energieträgers nicht zum Ausdruck kommen. Besondere Vorsicht ist bei der Dokumentation und der Bewertung von sogenannten Elektrothermoverstärkern angezeigt (Geräte zur Abwärmenutzung und Wärmerückgewinnung sowie Wärmepumpen), da diese über den Elektrozähler «abrechnen», aber Wärme liefern.

5. Schritt: Erkenntnisse umsetzen

Die Analyse ist nur sinnvoll, wenn die gewonnenen Erkenntnisse auch umgesetzt werden, was keineswegs immer der Fall ist. Üblicherweise entsteht aus den bewerteten Erkenntnissen ein Massnahmenkatalog. Die einzelnen Massnahmen sind aufgrund des Kosten-Nutzen-Verhältnisses zu rangieren. Neben rein buchhalterischen sind dabei auch ökologische Kriterien zu berücksichtigen, weil die dadurch präferierten Massnahmen auch indirekte Vorteile bringen. Vorteilhafterweise sind beim Auflisten und Bewerten der Massnahmen verschiedene betriebliche Stufen und Bereiche beteiligt: Die Akzeptanz und dadurch auch die Erfolgchancen von Energiesparmassnahmen werden verbessert.

Mittel und Konzepte der Automation

Anlageelemente *Unter Anlageelementen sind Motoren, Positionierelemente, Klappen, Ventile, Lampen, aber auch – als Teil der Rückmeldung – Schalter, Sicherungselemente, Sicherungskreise sowie Sensoren jeglicher Art zu verstehen.*

- Die richtige Dimensionierung dieser Elemente sowie die Unterstützung von Steuerungen durch Sensoren haben auf den Elektrizitätsbedarf einen wesentlichen Einfluss.
- Beispiel: Eine pressluftbetätigte Klappe soll in der Endposition vollständig schliessen und nicht sekundenlang lecken.

Sensoren *Sensoren sind für viele Energiesparmassnahmen unverzichtbar.*

- Sensoren oder Detektoren
 - schalten Antrieb und Geräte präzise ein und aus.
 - erkennen das Prozessende.
 - kontrollieren den Prozess und vermindern die Sicherheitsmargen und den Ausschuss.
 - ermöglichen erst optimale Regelungen.

Schnittstellen zur Anlage *Die Schnittstelle ist Scharnier zwischen Steuerung und Anlage – die Verbindung muss in beiden Richtungen klappen. Schnittstellen funktionieren auch als Schutzelement, in dem eine galvanische Trennung oder ein EMV-Schutz eingebaut ist.*

- Softstarter ermöglichen einen sanften Anlauf von Antrieben. Dadurch können kleinere Motoren eingesetzt werden (Dauerlast statt Anfahrlast), die während der gesamten Einschaltdauer mit einem besseren Wirkungsgrad arbeiten.
- Drehzahlregelung von Motoren spart Strom. Schützen (und Schützenkästen) erzeugen viel Abwärme: Lüftung statt Klimatisierung spart Strom.
- Elektronische Schützenansteuerung in Kombination mit der Messung des Motorstromes dient der Verbrauchserfassung.

Vorort-Elektronik *Vorort-Elektroniken erfüllen Aufgaben an einem bestimmten Punkt innerhalb des Prozesses und unmittelbar – vor Ort.*

- Diese Elemente sind besonders wertvoll, weil sich Prozesse dadurch mit vergleichsweise geringem Aufwand optimieren lassen.
- Beispiele: Waagen, Maschinensteuerungen, Analysegeräte.

Regler sind nach wie vor am häufigsten als Einschubkarten und Kompaktgeräte im Einsatz (diskrete Einheiten). Wenn die Regler nicht optimal arbeiten oder falsch eingestellt sind, wirkt sich dies auf den Stromverbrauch verheerend aus.

- Regler einstellen oder allenfalls auswechseln.
- Beispiel: Weil der Thermostat eines elektrisch beheizten Dampfboilers falsch eingestellt war, wurde die Stromzuführung erst nach dem Ansprechen des Überdruckventils unterbrochen. Dabei entwich naturgemäss eine grosse Menge Dampf.
- Das erwähnte Beispiel des Dampfboilers weist einen weiteren Schwachpunkt auf: Ein Pressostat ist in diesem Fall eine intelligentere Sonde, weil oberhalb des Siedepunktes der Druck sehr stark – auch aufgrund geringer Temperaturänderungen – steigt.

Einfache Regler

Programmierbare Regelsysteme können auch mit zustandsabhängigen – also wechselnden – Parametern arbeiten, weil sich die Regler aufgrund von Betriebsdaten voreinstellen lassen.

Die Arbeitspunktregelung – als Variante der optimierenden Regelung – nähert sich durch schrittweise Approximation dem optimalen Arbeitspunkt (auch: adaptiver oder lernfähiger Regler)

In programmierbaren Regelsystemen lassen sich Zustände und ihre regeltechnischen Folgen kombinieren (wenn Zustand A und Zustand B, dann Charakteristik X, sonst Charakteristik Y, etc.).

- Einstellanleitungen für programmierbare Regelungen unbedingt prozessorientiert erstellen und anwenden.
- Fuzzy-Logic anwenden: Die in Kameras und Kopiergeräten angewandte Technik bringt in der industriellen Anwendung grosse Vorteile. Einzelne Tools sind auf dem Markt und erlauben den Einsatz von Fuzzy-Logic mit relativ einfachen Mitteln.

Programmierbare Regelsysteme

Numerische Steuerungen erlauben das koordinierte Bewegen in drei Dimensionen des Raumes. Die häufigste Anwendung von NC ist die spanabhebende Verarbeitung in der Metall- und Holzindustrie.

- NC-bearbeitete Produkte benötigen weniger Fertigungsschritte bei gleichzeitig kürzeren Stillstands- und Umrüstzeiten.
- Der Effekt der NC-Steuerung kann durch die Kombination mit CAD- und CIM-Systemen gesteigert werden.

Numeric Control (NC, CNC)

Geräte- und Maschinensteuerungen optimieren vorgang- und prozessorientiert einzelne Komponenten einer Anlage. In vielen Fällen muss eine Synchronisation mit Eingriffen ausserhalb der Komponente erfolgen.

- Die Synchronisation einer Maschine mit externen Ereignissen hat viel mit dem Verbrauch von Strom zu tun. Maschinen oder Geräte, die auf ein Ereignis warten müssen, verbrauchen in dieser Zeit unnötigerweise Strom. Eine geschickte Steuerung mindert die Wartezeit oder macht sie überflüssig.

Geräte- und Maschinensteuerungen

- Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS, PLC)** *Die speicherprogrammierbare Steuerung ist die wichtigste Anwendung in der industriellen prozessnahen Automation, speziell für massgeschneiderte Lösungen und kleine Serien. In einem raschen Zyklus – in der Regel Zehntelsekunden – werden Eingänge bezüglich Prozesszustand oder Bedienung abgefragt, miteinander logisch verknüpft und wieder an den Prozess bzw. an die Bedienung ausgegeben.*
- Strategien zur rationellen Verwendung von Strom können in SPS-Einheiten implementiert werden.
 - Der Eigenverbrauch einer SPS-Einheit und deren Peripherie ist im Vergleich zu den geschalteten Arbeitselementen sehr klein.
 - Eine SPS kann nach einem Stromausfall problemlos starten und arbeiten, sodass eine zusätzliche Sicherung durch eine USV-Anlage unsinnig ist.
 - SPS mit Momentanwerterfassung der angeschlossenen Verbraucher sind auf dem Markt erhältlich – eine einfache Methode zur Integration der Verbrauchserfassung.
- Leitsysteme** *In der Regel sind Leitsysteme mit Einrichtungen zur Erfassung, Speicherung und Auswertung von energierelevanten Daten – in Relation zu den Produktionsdaten – ausgerüstet.*
- Wo immer Produktionsdaten erfasst werden, sollte die Option der Energiedatenakquisition geprüft werden.
 - Wichtig ist die Festlegung der Energiedatenerfassung – in Kombination mit den Produktdaten – bereits im Pflichtenheft bzw. im Werkvertrag.
 - Die Datenauswertung kann später nachgerüstet werden; die Datenakquisition dagegen ist kaum nachrüstbar.
- Übergeordnete Leitsysteme** *Auf dieser oberen Leitebene werden Funktionen wahrgenommen wie Planungsaufgaben und langfristige Datenerhebungen, die mit dem unmittelbaren Betrieb der Anlage nichts zu tun haben.*
- Für die technische Betriebsleitung bilden diese Leitsysteme eine kompakte Informationsquelle, aus der griffige Kennzahlen bezüglich saisonaler Unterschiede und Marktbewegungen resultieren. Diese Kennzahlen bilden die Basis für strategische Energiesparmassnahmen.
- Planungs- und Verwaltungssysteme (PPS)** *Die Produktionsplanungs-, Lager- und Materialverwaltungssysteme sind keine Elemente der industriellen Automation, sondern sind Instrumente der Betriebsführung, ohne direkte Anbindung an Prozesse.*
- Systeme zur Verbesserung des Durchsatzes in der industriellen Produktion haben meist – als «Nebenwirkung» – einen rationelleren Einsatz von Energie zur Folge. Insofern sind diese Systeme auch bezüglich Energieverbrauch interessant.
 - Die Betriebsdatenerfassung (BDE) leistet besonders wertvolle Dienste, sofern auch Energiedaten einbezogen werden.

Mit flexibler Fertigung lassen sich auf einer Fertigungsstrasse durch Veränderung der Parameter verschiedene Produkte herstellen. Einerseits hat die flexible Fertigung immense Produktionsvorteile, andererseits besteht die Gefahr, dass die Anpassung des Prozesses an die unterschiedlichen Stückgüter zu wenig weit geht und damit Tot- und Wartezeiten entstehen.

- Untersuchungen zeigen, dass in vielen Abläufen der flexiblen Fertigung ein hohes Energiesparpotential brachliegt, das durch optimierte Voreinstellungen ausgenützt werden kann.

Flexible Fertigung

Just-in-Time in der Produktion bedeutet die zeitlich präzise Anlieferung oder Integration in den Prozess, «Zwischenlagerungen» von Materialien, Halbfabrikaten und Produkten entfallen.

- JIT hat auf den Energieverbrauch einer Fertigung in der Regel einen positiven Einfluss. Pannen und zu wenig Konsequenz in der Umsetzung der JIT-Philosophie können aber einen relativen Mehrverbrauch zur Folge haben.

Just in Time (JIT)

Lean Production wird mitunter als «schlanke» Produktion bezeichnet – alles Überflüssige ist weg. Lean Production hat nicht zwingend einen grösseren oder kleineren Energieverbrauch zur Folge; die jeweiligen örtlichen und prozessualen Verhältnisse sind ausschlaggebend.

- Investitionen in diese Art der Produktion sollten tunlichst die Postulate der rationellen Verwendung von Energie berücksichtigen.

Lean Production

Integrierte Fertigung (CIM) ist nicht eine Technik, sondern vielmehr eine Strategie, die auf Technologien angewiesen ist. Der Wert von CIM in der industriellen Produktion ist vor allem von der konsequenten Umsetzung auf allen Ebenen abhängig.

- CIM birgt auch die Gefahr zusätzlicher, allenfalls unnötiger Installationen: nicht die Computer maximieren, sondern den Nutzen.

Computer integrated manufacturing (CIM)

CAQ bindet die Qualitätskontrolle in den automatisierten Betriebs- oder Prozessablauf ein. Nicht den Ausschuss messen, sondern verhindern, heisst die Devise.

- Verhinderung von Ausschuss ist ein hochwirksames Mittel zur Einsparung von Energie.
- In Materialien, Halbfabrikaten und Produkten ist viel graue Energie enthalten – auch im Ausschuss.

Computer aided quality control (CAQ)

CAD unterstützt mittels Computer das Konstruieren und Planen von Produkten und Anlagen.

- Effizientes CAD verhindert Überdimensionierungen und unnötige Komplexität und verringert damit den Material- und Bearbeitungsaufwand.

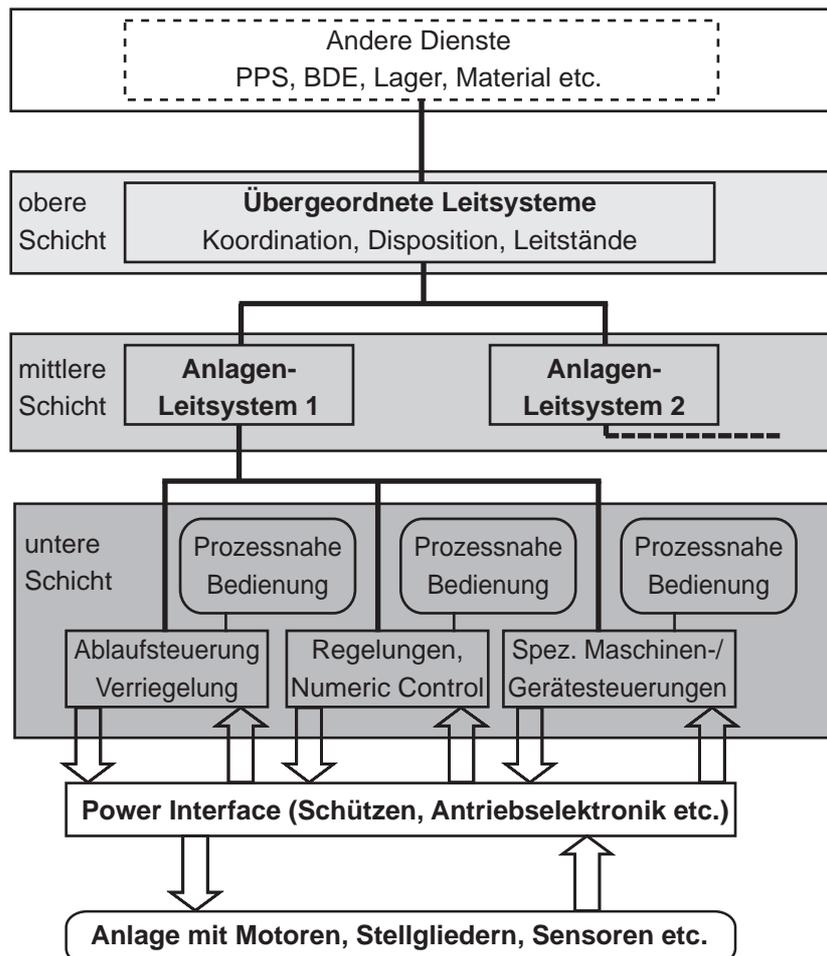
Computer aided design (CAD)

Betriebsdatenerfassung (BDE) *Traditionell dient die BDE auch der Erfassung von Maschinenbelegungen, um die Fertigungsplanung zu optimieren.*
 → Maschinenbelegung und Stillstandzeiten beeinflussen den spezifischen Energieverbrauch sehr stark.
 → Die BDE muss auch Energiedaten umfassen, um den Energieverbrauch zu optimieren.

Produktions-Planungs-System (PPS) *PPS ist ein Bindeglied zwischen Planung, Administration und Produktion.*
 → PPS erleichtert die Auslastung einer Anlage und das Erkennen organisatorischer Probleme. Beides spart Energie.

Netzwerke *Die Darstellung von automatisierten Prozessen als Netzwerke verschafft Übersicht und unterstreicht den Integrationscharakter jedes einzelnen Elementes.*
 → Eine Steuerung muss in allen ihren Teilen, vom Sensor bis zum Rechner, den Postulaten des Stromsparens folgen.

Schichtenmodell *Sehr viel stärker strukturiert als Netzwerke sind Darstellungen im Schichtenmodell. Schichtenmodelle werden der Automation eher gerecht, weil deren Elemente in eine hierarchische Struktur eingebunden sind.*



Schichtenmodell einer Automation

- Die Bedienung und die Einflussnahme auf den Elektrizitätsbedarf eines Prozesses hängt von der Schicht ab.
- Untere Schicht: Verbesserung der Effizienz direkt am Prozess, das heisst durch Anpassung von eigentlichen Geräte-, Maschinen- und Ablaufsteuerungen.
- Mittlere Schicht: Aufgrund einer grossen verfügbaren Menge an Daten – Produktions- und Energiedaten – liegt der Schwerpunkt der Einflussnahme in der verbesserten Koordination.
- Obere Schicht: Auf dieser Ebene können Anlagekennzahlen gebildet und Strategien entwickelt werden.

Die richtige Information an den Adressaten zu bringen ist keinesfalls nur eine Frage der Übertragungsleistung. Datentransfer ist heute kein technisches Problem, wohl aber die Definition der Bedürfnisse und des Informationsflusses.

Kommunikation

- Der Transfer von energiespezifischen Daten von unten nach oben ist eine wesentliche Voraussetzung von Energiesparmassnahmen.

Das Pflichtenheft formuliert eine schwierige Aufgabe, ohne bereits Lösungsansätze aufzuzeigen.

Pflichtenheft

- Energietechnische Vorgaben sind Teil des Pflichtenheftes.

Disposition eines Pflichtenheftes

1. Zielsetzung
2. Aufgabenstellung
3. Begriffe, Qualitätsansprüche, Zuverlässigkeit
4. Aufgabenstruktur (Schichtenmodell)
5. Bedienung, Betriebszustände
6. Aufgaben der einzelnen Schichten
7. Detailaufgaben
8. Störungsfälle
9. Energietechnische Vorgaben

Automationslösungen sollen möglichst gleichartige Elemente verwenden. Gerätevielfalt schafft Probleme. Auf der anderen Seite muss jedes Gerät die geforderten Funktionen erfüllen.

Systemkonzept

- Zwischen Gerätevielfalt und optimaler Übereinstimmung, zwischen Anforderung und Leistung ist ein Kompromiss zu erzielen.

Sparstrategien

- Der einfache Handgriff** *Eine triviale, aber meist ergiebige Massnahme sind einfache Handgriffe, die ohne Investitionen, ohne Produktionseinbusse und ohne Mehrarbeit Elektrizität sparen.*
- Unbenutzte Geräte von Hand oder über einen einfachen Zeitschalter ein- oder ausschalten (z.B. Kompressoren, Lüfter, Beleuchtung).
- Leistung senken** *Der Energieverbrauch kann durch Reduktion installierter oder momentaner Leistungen verringert werden. Der an sich lapidare Satz weist auf ein sehr grosses Energiesparpotential hin.*
- Leistungsreserven hinterfragen (korrekte Dimensionierung).
 - Antriebe und Geräte mit gutem Wirkungsgrad verwenden.
 - Aufteilen der Leistung auf mehrere, nach Bedarf gestartete Geräte (sogenannte Kaskade, z.B. Ventilatoren).
 - Optimierte Prozessparameter verwenden (z.B. Temperatur beim Spritzguss oder beim Extrudieren dem Material und der Form anpassen)
- Bearbeitungszeit senken** *Durch Verkürzung der Bearbeitungszeit sinkt der Energieverbrauch ebenfalls. Die Bearbeitungszeit lässt sich am ehesten durch Eliminierung von Tot- und Wartezeiten reduzieren.*
- Ein moderner bahngesteuerter Automat kann ein kompliziertes Werkstück innert drei Stunden und ohne Umspannen fertigen, für das früher 47 einzelne Fertigungsschritte und eine Gesamtdurchlaufzeit von viereinhalb Tagen notwendig war (mit Zwischenlagerung).
 - Misch-, Rühr-, Spül-, Heiz- und Kühlvorgänge automatisch beenden lassen und nicht Abwarten, bis das Überwachungspersonal das nächste Mal vorbeikommt.
- Ganzheitliche Betrachtung** *Eine ganzheitliche Betrachtung eines Prozesses ist Voraussetzung für Massnahmen mit positiver Energiebilanz. Insbesondere sind die Anteile der grauen Energie sowie «versteckte» Energieverbräuche einzubeziehen.*
- Für eine gesamtheitliche Betrachtung sind alle Energieträger und zudem die in Halbfabrikaten und Materialien enthaltene graue Energie zu berücksichtigen.
- Verbrauchserfassung** *Die integrierte Erfassung von Leistungs- und Verbrauchsdaten gewährt die kontinuierliche Bewertung bezüglich anderer Produktionsvariablen, wie Stückzahlen, Betriebseinstellungen, etc.*
- Die Verfügbarkeit von On-line-Daten ermöglicht automatisches Energiemanagement.
 - In einer weiteren Stufe lassen sich mittels EDV-Tools Rohdaten in Statistiken und Bilanzen überführen (Grundlage für Optimierungen).

Das Zu- und Abschalten von nur teilweise benützten Verbrauchern, Antrieben und ganzen Prozessketten spart Energie.

- EIN und AUS automatisieren, indem über einen Sensor eine Unter- oder Nichtbelegung erkannt wird.
- Die Steuerung muss einzelne Prozesselemente sanft starten und stoppen. Beispiel: Das Gepäck von Flugreisenden wird über Förderbänder vom Flugzeug oder Zubringerfahrzeug an einen Entladekreis transportiert. Förderband und Kreisell werden gleichzeitig in Betrieb gesetzt, obwohl die Gepäckstücke während mehreren Minuten auf der 500 m langen Förderstrecke sind, bevor sie in den Kreisell gelangen. Ein gestaffeltes Einschalten von Band und Kreisell wäre indessen mit äusserst einfachen Mitteln möglich.

Unnötige Verbraucher abschalten

Das (automatische) Erkennen des Prozessendes aufgrund von Produkt- oder Materialcharakteristiken spart Zeit, Material und Energie.

- Beispiel: In biologischen Klärstufen von Kläranlagen sorgt ein Rührwerk für ausreichende Belüftung mit Sauerstoff. Diese Rührwerke laufen vielfach ohne Unterbruch. Eine Steuerung schaltet das Werk aus, wenn die Sonde eine ausreichende bakterielle Sauerstoffversorgung meldet.

Erkennen des Prozessendes

Die zeitliche Belegung von Anlagen hat wesentlichen Einfluss auf den Wirkungsgrad und damit auf den Energieverbrauch.

- Aufteilung der Produktion in mehrere kleinere Produktionseinheiten statt einer einzigen grossen Fertigungsstrasse.
- Produktionsweise dem Prozess und nicht dem Arbeits-Ruhe-Zyklus des Menschen anpassen. Automation hilft dabei, ohne die Belastung des Menschen zu erhöhen.
- Vielversprechend ist auch die Aufteilung von anspruchsvoller und weniger empfindlicher Produktion auf zwei Zeiten, beispielsweise Tages- und Nachtzeiten.
- Automatische Voreinstellung von Fertigungseinheiten bei häufigem Produktewechsel spart Zeit, Material und Energie.

Zeitliche Belegung optimieren

Nach wie vor ist die überwiegende Zahl von industriellen Antrieben nicht regelbar.

- Drehzahlregelung von Antrieben mit variablem Leistungsbedarf ist heute kein Problem mehr.
- Drehzahlregelung muss automatisch sein, andernfalls besteht die Gefahr, dass die Sollwerte auf dem Maximum stehen und die Elektronik sinnlos ist.
- In gekoppelten Verfahren muss die Drehzahl durchgängig reguliert werden können (elektronische Welle).
- Eine einfache Umschaltung zwischen zwei Leistungsstufen oder zwei Antrieben verschiedener Leistung genügt in vielen Fällen.

Bessere Leistungsanpassung

Reduktion von Sicherheitsmargen	<p><i>Viele Prozesse werden mit grosszügigen Sicherheitsmargen gefahren, die immer einen Mehrverbrauch an Material und Energie zur Folge haben.</i></p> <ul style="list-style-type: none">→ Eine dauernde und zuverlässige Prozessüberwachung bringt gute Produkte bei geringen Sicherheitsmargen.→ Rationelle Prozessüberwachung ist nur mit Mitteln der Automation möglich.→ Die Messung wichtiger Prozessparameter und die direkte Umsetzung in der Steuerung und Regelung leisten einen wichtigen Beitrag zur Prozesskontrolle.
Ausschussverminderung	<p><i>Ausschuss bedeutet immer einen Energieverlust (Energieinput während der bisherigen Bearbeitung und graue Energie des Ausgangsmaterials oder Halbfabrikates).</i></p> <ul style="list-style-type: none">→ Durch Voreinstellung von Prozessparametern können Anfahrluste reduziert oder vermindert werden. Beispiel: Bei einer Druckmaschine für eine Tageszeitung konnte der Ausschuss in der Anlaufphase von 4000 auf 500 Exemplare durch Voreinstellung der Farbzuführung reduziert werden.
Optimale Regelungen	<p><i>Für viele Anwendungen ist der klassische isolierte Regelkreis ungenügend, weil viele verschiedene Messwerte verarbeitet und Stellwerte ausgegeben werden müssen.</i></p> <ul style="list-style-type: none">→ Beispiel: Eine Anzahl Fabrikationsräume werden von einigen parallel arbeitenden Anlagen klimatisiert. Untersuchungen zeigten, dass diese Klimaanlage sich in ihrer Wirkung teilweise konkurrenzieren oder sogar kompensieren (eine Anlage befeuchtet, die andere entfeuchtet). Durch eine übergeordnete Regelung wurde dieser Mangel behoben.
Plazierung von Sensoren	<p><i>Für eine gute Regelung ist die Auswahl und Plazierung von Sensoren und Stellgliedern sehr wichtig.</i></p> <ul style="list-style-type: none">→ Beispiel: Moderne Raumheizsysteme verfügen über leistungsfähige elektronische Regler. Falls aber die Aussentemperatursonde auf der Nordseite des Hauses – statt auf der Morgensonnenseite – montiert ist, «weiss» die Regelung vom Sonnenschein nichts und lässt heizen. Bei Fussbodenheizungen mit der relativ grossen Trägheit ist dieser Effekt besonders drastisch.
Ursachen statt Symptome bekämpfen	<p><i>Symptome statt Ursachen zu beheben, kostet Geld und verbraucht viel Energie.</i></p> <ul style="list-style-type: none">→ Beispiel: Eine Steuerung in mehreren Schaltschränken steht in einem kleinen Raum unter einem nicht gedämmten Dach. Die Verlustwärme heizt zusätzlich, bis die Steuerung wegen den hohen Raumtemperaturen nicht mehr richtig funktioniert. Die übliche Abhilfe – Klimatisierung – verdreifacht den Verlust.→ Steuerungen so plazieren, dass natürliche Lüftung ausreicht. Wo dies nicht genügt, Räume thermostatgesteuert mechanisch belüften, statt klimatisieren.

Neben der eigentlichen elektrischen Arbeit ist die Leistung zu minimieren

- Mit sanftem oder verzögertem Anlauf von einzelnen Komponenten oder ganzen Antriebsketten können Leistungsspitzen gebrochen werden.
- Für viele Betriebe ist der Lastabwurf nicht unbedingt notwendiger Verbraucher eine sinnvolle Massnahme.
- Energieintensive, vollautomatisierte Prozesse lassen sich in die Niedertarifzeit verschieben.
Beispiel: In einer Mühle werden Misch- und Nachfüllvorgänge vollautomatisch in der Nacht vorgenommen. Mit dem Umschalten auf den Nachttarif starten diese Arbeiten.

Integriertes Lastmanagement

Allfällig angewandte Sparstrategien werden durch unzuverlässig arbeitende Automation zunichte gemacht.

- Unklare Betriebsanleitungen und Wartungsvorschriften reduzieren die Zuverlässigkeit.
- Unzureichende Einweisung des Bedienungspersonals rächt sich.
- Ungenügender Unterhalt der Anlage macht sich nicht bezahlt.
- Sensoren, Fühler, etc. bedürfen einer regelmässigen Kontrolle und Justierung. Geregelt, aber falsch justierte Anlagen funktionieren weniger gut als ungeregelt!

Einfluss des Unterhaltes

Energiekontrollsysteme erlauben das koordinierte ein- und Ausschalten der unter bestimmten Bedingungen schaltbaren Verbraucher. Damit ist ein Lastmanagement sichergestellt. EKS gehen aber weit darüber hinaus, indem aufgrund von Verbrauchsanalysen auch verbrauchsenkende Massnahmen bewertet und realisiert werden können.

- Fast jeder Betrieb lässt sich mit einem Energiekontrollsystem nachrüsten.
- EKS eignen sich vor allem dort, wo eine Vielzahl von Verbrauchern zeitlich gestaffelt zu schalten sind.
- EKS arbeiten nicht parallel zu Steuersystemen, sondern sind diesen übergeordnet.
- Für gewisse Verbraucher sind einfache Schaltuhren ausreichend.
- Einfache EKS für einige wenige Verbraucher kosten weniger als 1000 Franken.

Energiekontrollsysteme (EKS)

Unter Off-line-Strategien werden Massnahmen ausserhalb der eigentlichen Steuersysteme verstanden.

- Die Angst vor Qualitätseinbussen schreckt viele Betriebsverantwortliche vor energiesparenden Innovationen ab. Verlässliche Daten als Grundlage können Unsicherheit beheben.
Beispiel: In Baumwollspinnereien wurde anhand separater Qualitätsdaten nachgewiesen, dass die Produktionshallen nicht zwingend in den üblichen engen Grenzen klimatisiert werden müssen. Dieser Befund hatte enorme Stromeinsparungen zur Folge.

Off-line-Strategien

Wirtschaftlichkeit *RAVEL zahlt sich aus, ein Leitfaden für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen (Bezug: EDMZ, 3003 Bern, Bestellnummer 724.397.42.01), ist eine sehr handliche Einführung zu diesem Thema.*

Die Dynamik der Stromkosten ist ein gewichtiges Argument in Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen. Es ist anzunehmen, dass die stetige Teuerung bei der Elektrizität der letzten Jahren auch künftig anhalten wird.

Mehrverbrauch von Strom durch Automation *Viele Anlagen brauchen nach der Automatisierung mehr Strom als vorher. Das bedeutet, dass die in diesem Heft erwähnten Sparstrategien bei der Planung nicht umgesetzt wurden.*

- Der rationelle Einsatz von Elektrizität muss Teil der Projektziele sein.
- Es lohnt sich nicht, nur gelegentlich notwendige und bislang manuell ausgeführte Arbeiten zu automatisieren.

Mehrkosten durch Automation *Automation kostet Geld, einerseits bei den Investitionen und andererseits während der Lebensdauer einer Automation.*

- Die Wirtschaftlichkeit von Stromsparmassnahmen hängt keineswegs allein von den Einsparungen ab. In der Regel sind damit Verbesserungen in der Produktion verbunden.

Nachrüsten bestehender Anlagen *Der Erfolg von Energiesparmassnahmen hängt von ihrer Wirkungstiefe ab; gerade bei Nachrüstungen sind die Massnahmen oft nicht durchgreifend genug.*

- Für jeden verbrauchsrelevanten Anlageteil ist der Einsatz eines Energie-Kontroll-Systems zu prüfen.
- Neue Systeme sollten von Beginn weg offen konzipiert werden, um spätere Nachrüstungen und Erweiterungen zu erleichtern.

Projektführung *Die Führung eines Projektes ist ausschlaggebend für dessen Erfolg.*

- Die Ziele der rationellen Energieverwendung müssen durch den Projektleiter gesetzt und ständig, durch alle Phasen hindurch, vertreten werden.

Phasenplan *Phasenpläne haben für die Belange des Stromsparens eine immense Bedeutung, weil nur eine straffe Organisation die Umsetzung energiesparender Ziele auch garantiert.*

- Nebstehende Abbildung zeigt einen Phasenplan.
- Eine laufende Kontrolle während und nach einzelnen Phasen zeigt frühzeitig allfällige Probleme.

Reviews *Mittels Reviews können Teilziele eines Projektes geprüft werden. In einem Review stellen ausserhalb des Projektes stehende Fragen an das Projektteam. Dabei sollen auch «unlogische» und unkonventionelle Fragen erlaubt, ja erwünscht sein.*

- Reviews zeigen Probleme frühzeitig.

Phasenplan:

Hauptphase	Teilphase	Tätigkeit	Ergebnis
Initialisierung		Aufgaben skizzieren Ideen sammeln Probleme orten <i>Energieformen und Alternativen dazu auflisten.</i>	Projektskizze
Vorbereitung	Vorstudie	Ziele setzen Konzept erstellen Aufwand abschätzen <i>Energiebedarf prognostizieren</i>	Grobkonzept <i>Energieanalyse</i>
	Projekt	Projekt planen wer/wann/was und wie	Grobplanung
	Abschluss	Ausarbeitung der verbindlichen Projektziele <i>Grenzwerte des Energiebedarfs</i>	Vertrag, Bestellung, interner Auftrag
Analyse	Problemanalyse	Aufgaben definieren <i>Energetische Aspekte berücksichtigen</i>	Pflichtenheft
	Systemanalyse	Lösungen entwerfen	Lösungen
	Überprüfung	Aufgabenstellung, Lösung und Aufwand optimieren	Lösung, die Pflichtenheft erfüllt, <i>inkl. Energieziele</i>
Entwurf	Konzept	Ausführung beschreiben	Konzept
	Spezifikation	Funktionen und Daten beschreiben und strukturieren. Tests und die dazu notwendigen Mitteln planen <i>Energieverbrauchsmessung planen</i>	Definierte Ausführung
	Feinplanung	Projekt überarbeiten (nach neuesten Erkenntnissen)	Definierte Projektorganisation
Implementierung		Definierte Entwicklungen ausführen	Testbereites System, allenfalls einzelne Module
Test	Systemtest	Module zusammenbauen und plangemäss testen	Bereinigte Schnittstellen
	Werkabnahme	Alle Komponenten und, soweit möglich, das Gesamtsystem formell testen <i>Massnahmen zur Energieeinsparung überprüfen</i>	Werkabnahmeprotokoll

Phasenplan (Fortsetzung):

Hauptphase	Teilphase	Tätigkeit	Ergebnis
Inbetriebnahme	Installation	Maschine oder Anlage vor Ort oder in geeigneter Testumgebung anschliessen	
	Test	Anlage plangemäss testen, auch unter Produktionsbedingungen <i>Energieverbrauch messen</i>	
	Abnahme	Anlage formell abnehmen <i>Energieverbrauchsziele verifizieren</i>	Verifiziertes Pflichtenheft, Entlastung der Projektausführenden
Abschluss		Projekt kritisieren und Nachkalkulation	Gesicherte Erfahrungen
Betreuung		Mängel beheben, Tuning der Verfahren	Optimierte Anlage oder Gerät

Weiterführende Informationen

	Bestell-Nummer
Automation und RAVEL Industrielle Automation: Projekte rationeller planen und realisieren, 100 Seiten	724.335 d
Sparen mit Automation Beispiele, 50 Seiten	724.397.43.51 d
RAVEL-Industrie-Handbuch Loseblattwerk	724.370 d
Erfassung des Energieverbrauches, 2 Bücher und Gutschein für Diskette	724.371.0 d
Die beiden Bücher sind auch einzeln erhältlich (mit Gutschein für Diskette):	
Erfassung des Energieverbrauches, Buch 1: Leitfaden für Industrie und Gewerbe, 32 Seiten	724.371.1 d
Erfassung des Energieverbrauches, Buch 2: Anleitung für den Beauftragten, 64 Seiten	724.371.2 d
Messen von Leistungen und Energien in der Industrie	724.377 d

Alle aufgeführten Schriften sind unter Angabe der Bestell-Nummer
erhältlich bei:

EDMZ, 3000 Bern, Fax: 031 992 00 23