

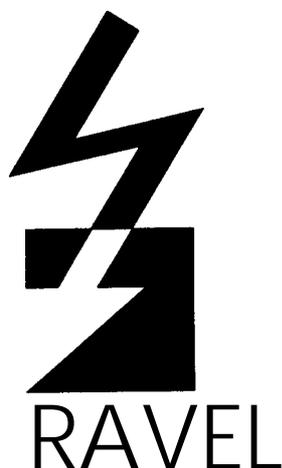
1995 724.397.21.09 D

Materialien zu RAVEL

Leistungsreduktion bei Umwälzpumpen

Sparpotentiale,
Dimensionierungsgrundlagen,
Betriebserfahrungen

René Sigg
Lucien Keller



Ressort 21: Kraft

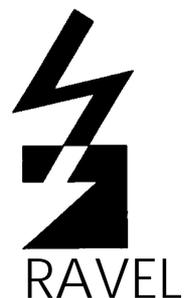
Bundesamt für Konjunkturfragen

Materialien zu RAVEL

Leistungsreduktion bei Umwälzpumpen

Sparpotentiale,
Dimensionierungsgrundlagen,
Betriebserfahrungen

René Sigg
Lucien Keller



Impulsprogramm RAVEL
Bundesamt für Konjunkturfragen

Adressen:

Herausgeber: Bundesamt für
Konjunkturfragen (BfK)
Belpstrasse 53
3003 Bern
Tel.: 031/322 21 39
Fax: 031/371 82 89

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

Ressortleiter: Jürg Nipkow
ARENA
Schaffhauserstrasse 34
8006 Zürich
Tel.: 01/362 91 83
Fax 01/363 38 50

Autoren: René Sigg
Intep AG
Lindenstrasse 38
8034 Zürich
Tel.: 01/383 63 64
Fax: 01/383 65 66

Lucien Keller
Keller-Burnier
1175 Lavigny
Tel.: 021/808 64 29
Fax: 021/808 53 30

Diese Studie gehört zu einer Reihe von Untersuchungen, welche zu Handen 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, Oktober 1995

Auszugsweiser Nachdruck unter Quellenangabe erlaubt. Zu beziehen bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern (Best. Nr. 724.397.21.09 D)

Form. 724.397.21.09 D 10.95 1000

RAVEL - Materialien zu RAVEL

Inhaltsverzeichnis

1	RAVEL-Untersuchungen zur Pumpen-Überdimensionierung	1
2	Das Stromsparpotential ist gross	1
3	72 Pumpen-Auswechslungen und was dabei herauskam	2
4	Typische Beispiele	4
5	Häufigste Fragen und die Antworten dazu	8
6	Einige wichtige Punkte zum Abschluss	10
7	Anhang	12

Wir danken RAVEL für die finanzielle Unterstützung dieses Projekts und Herrn J. Nipkow für die fachliche Beratung.

1 RAVEL-Untersuchungen zur Pumpen-Überdimensionierung

Heizungsumwälzpumpen sind erfahrungsgemäss überdimensioniert. Die Gründe dazu sind mannigfaltig: Angstzuschläge, Präferenzen, Unkenntnis, ja sogar ästhetische Überlegungen spielen eine Rolle (eine Verteilergruppe mit gleichen Pumpentypen sieht doch schöner aus als eine mit verschiedenen!). Eine Neudimensionierung anlässlich einer Sanierung zahlt sich meist aus und ist aus betrieblichen Gründen sogar zwingend notwendig.

Dieser Beitrag fasst die Erfahrungen und Ergebnisse verschiedener Ravel-Untersuchungen [1], [2], [3] der letzten Jahre zusammen. Speziell wird auf die angetroffenen Schwierigkeiten und die gefundenen Lösungen eingegangen. Mit einer einfachen Methode kann die elektrische Leistung der Pumpe stark reduziert werden, ohne das Risiko einer Unterdimensionierung einzugehen. Zum gesamten Problemkreis findet man einfache Lösungen, vorausgesetzt man geht zielsicher und mit einer gewissen Erfahrung zur Sache. Manchmal ist auch etwas psychologisches Fingerspitzengefühl nötig.

2 Das Stromsparpotential ist gross

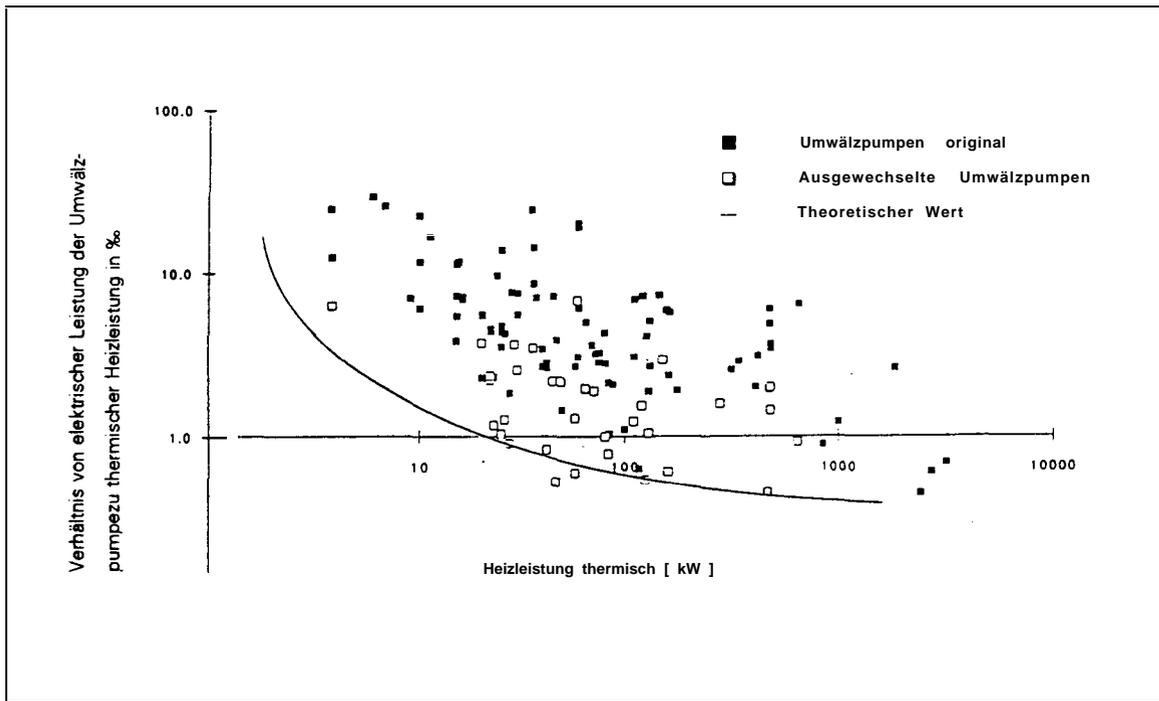
Der Zusammenhang von thermischer Leistung eines Gebäudes oder einer Heizgruppe und elektrischer Leistung der eingesetzten Umwälzpumpen wurde von M. Appelt untersucht. Oberhalb 80 W sollte die Pumpenleistung nicht mehr als 1 Promille der thermischen Leistung ausmachen, wobei der Wert bei grossen Pumpen bis auf 0.5 oder sogar 0.3 Promille sinken kann. Unterhalb 80 W elektrischer Pumpenleistung wird eine Verschlechterung des Wirkungsgrades der Umwälzpumpen spürbar und der Wert 1 Promille ist nur noch schwierig erreichbar.

Die etwa sechs Millionen installierten Umwälzpumpen in der Schweiz machen rund 3.5% des schweizerischen Stromverbrauches aus. Die folgende Graphik macht deutlich, welches Optimierungspotential bei den Umwälzpumpen besteht.

Im RAVEL Projekt "Pompes de circulation - approche pragmatique pour diminuer la puissance installée et l'énergie consommée" wurde die elektrische Leistung vor und nach der Neudimensionierung untersucht. Sorgfältig ausgeführte Installationen sollten den theoretischen Wert (die Linie in der nachfolgenden Figur) beinahe erreichen.

Auch nach der Neudimensionierung liegt die elektrische Leistung der Pumpen meist noch weit höher als theoretisch möglich. Dies ist aus zwei Gründen der Fall.

1. Die erhaltenen Resultate der ersten Messungen haben uns so sehr überrascht, dass wir nicht wagten, bis auf den theoretischen Wert herunterzugehen. Wer wurde schon wagen, z.B. eine 2500 W Umwälzpumpe durch eine 50 W zu ersetzen? So machten auch wir den Angstzuschlag und ersetzten die ersten Pumpen durch noch immer zu gross dimensionierte. Erst nach mehreren positiven Erfahrungen wagten wir uns an die installation von Umwälzpumpen ohne Sicherheitszuschlag.
2. Auf dem Markt sind keine Umwälzpumpen mit sehr kleiner Leistung und vernünftigen Wirkungsgrad erhältlich. Je kleiner die Pumpenleistung wird, umso tiefer sinkt ihr Wirkungsgrad. Eine 25 W Pumpe hat nur noch 4% Wirkungsgrad! Unterhalb dieser Leistung ist zur Zeit keine Pumpe auf dem Markt erhältlich.



Zusammenhang von thermischer Leistung der Heizungsanlage und elektrischer Pumpenleistung bestehender und neu dimensionierter Umwälzpumpen

3 72 Pumpen-Auswechslungen und was dabei herauskam

Auf 72 Anlagen wurden die Umwälzpumpen ausgewechselt. Die folgenden Effekte sind dabei eingetreten:

- Nachträgliche Wahl einer höheren Drehzahlstufe 7
- Nachträgliche Wahl einer grosseren Umwälzpumpe 0
- Nachträgliche Komforteinbusse 0
- Verbesserung des thermischen Komforts 2
- Keine Pfeifgeräusche an den Thermostatventilen mehr 2
- Reduktion des Brennstoffverbrauchs 71
(die Heizkurve wurde nicht angepasst nach dem Pumpentausch)

Auf 7 Anlagen musste nachträglich die Drehzahl erhöht werden. Die Gründe dazu sind verschieden:

- Anlagekonzeption (2 Anlagen): die Ladepumpe des Wassererwärmers erzeugte im Heizkörpernetz hörbare Störungen, welche nur durch die höhere Drehzahl ausgeglichen werden konnten.

- Mangelhafter hydraulischer Abgleich (2 Anlagen): Die Neudimensionierung der Umwälzpumpe kann in schlecht abgeglichenen Systemen verschiedene Effekte auslösen. Im negativen, wenn ein bereits schlecht durchströmter Heizkörper noch weniger durchströmt wird oder im positiven, wenn ein schlecht durchströmter Heizkörper plötzlich besser durchströmt wird. Wir beobachteten, dass sich dieses Problem nie in Extremfällen zeigte (oberstes Stockwerk). Wurde korrekt abgeglichen, so treten auch bei veränderter Pumpenleistung keine neuen Probleme auf.
- Zu grosses Anlaufmoment für Stufe 1 nach längerem Stillstand (1 Anlage).
- Schallprobleme (2 Anlagen): Das Leitungssystem steht in Resonanz zu der gewählten Drehzahl und entwickelt so störende Geräusche. Diese verschwinden bei höherer und niedriger Drehzahl.
- Dort, wo wir die Pumpendrehzahl verändern mussten, war es erfreulicherweise kaum jemals nötig, die Heizkurve anzuheben, um den Effekt der tieferen Mitteltemperatur zu kompensieren. Dies zeigt, dass die Heizkurven generell zu hoch lagen und nach dem Pumpenwechsel tiefer gesetzt werden konnten. Damit konnte eine Brennstoffeinsparung auf einigen Anlagen bis gegen 10% des Jahresverbrauchs erreicht werden.

Die getroffenen Massnahmen in Zahlen

Damit die Zahlen aussagekräftig und marktkonform bleiben, werden die ersten Erfahrungen des Ravel Projekts 11.55 nicht mit einbezogen. Tabelle 2 zeigt die finanzielle Bilanzen, welche den Verwaltungen bzw. EigentümerInnen anlässlich der Instandsetzungen abgegeben wurden. Es sind die Summe, der Durchschnittswert sowie die finanziell lohnendste und schlechteste Erneuerung angegeben.

	Anzahl Pumpen	Einsparung in kWh/Jahr	Einsparung in Fr. /Jahr *	Kosten der Massnahme in Fr.
Summe aller Massnahmen	39	125'000	25'000	50'000
davon:				
Finanziell lohnendste	6	30'000	6'000	6'630
Finanziell schlechteste	5	1'900	380	4'040
Durchschnittswert	(1)	3'200	640	1'280

* hier wird mit 1 kWh = 0.20 Fr. gerechnet. der effektive Wert liegt zwischen 0.10 und 0.30 Fr.

Bemerkung: In einigen Fällen scheint eine Massnahme auf den ersten Blick nicht rentabel zu sein. In der Bilanz sind alle Anlagenbesuche enthalten, auch weniger oder gar nicht erfolgreiche.

4 Typische Beispiele

Vorgehen und Berechnungsgrundlagen vgl. Anhang.

4.1 Vermeidung von Pfeifgeräuschen in den Radiatoren

Gebäude mit 35 Wohnungen, Einrohrheizung. In einigen Wohnungen traten starke Belastigungen durch Pfeifgeräusche auf. Die 505 W Pumpe konnte durch eine 52 W ersetzt werden. Nach dem Pumpenwechsel traten nirgends mehr Pfeifgeräusche auf und der thermische Komfort blieb in allen Wohnungen unverändert. Da die Pumpe auf der Stufe 1 nicht mehr anliefe (zu grosses Anlaufmoment), musste sie auf Stufe 2 (67 W) gestellt werden.

4.2 Radiatorengruppe, Zweirohrsystem, Änderung der Drehzahl

Messungen der Temperaturdifferenz und Berechnungen des Druckverlusts über die ganze Gruppe ermöglichten es, den Betriebspunkt dieser Gruppe neu festzulegen. Wo jeweils möglich, soll versucht werden, diesen neuen Betriebspunkt durch geeignete Drehzahlwahl zu fahren. Diese Lösung ist die kostengünstigste, da lediglich die Messung, Berechnung und Erfolgskontrolle bezahlt werden müssen.

Ausgangslage

Radiatorengruppe. Umwälzpumpe läuft auf Stufe 2. Es treten vereinzelt Pfeifgeräusche auf.

- Abschätzung des Wärmebedarfs aus dem jährlichen Brennstoffverbrauch ergibt 70 kW pro Gruppe. Bei einer Soll-Temperaturdifferenz zwischen Vorlauf und Rücklauf von 20 K (ΔT_{soll}) der Förderstrom rund 3m³/h (nach [31]).
- Bei 4°C Aussentemperatur ($T_{\text{A mess}}$) beträgt die effektive Temperaturdifferenz zwischen Vorlauf und Rücklauf (ΔT_{mess}) lediglich 6.2 K (53.4° C - 47.2 °C).

Massnahmen

- Die Überdimensionierung bezüglich Förderstrom \dot{U}_v beträgt nach der folgenden Formel (vgl. Anhang bzw. [1]):
(T_R = Raumtemperatur 20°C und $T_{\text{A min}}$ = Auslegungs-Aussentemperatur -10°C)

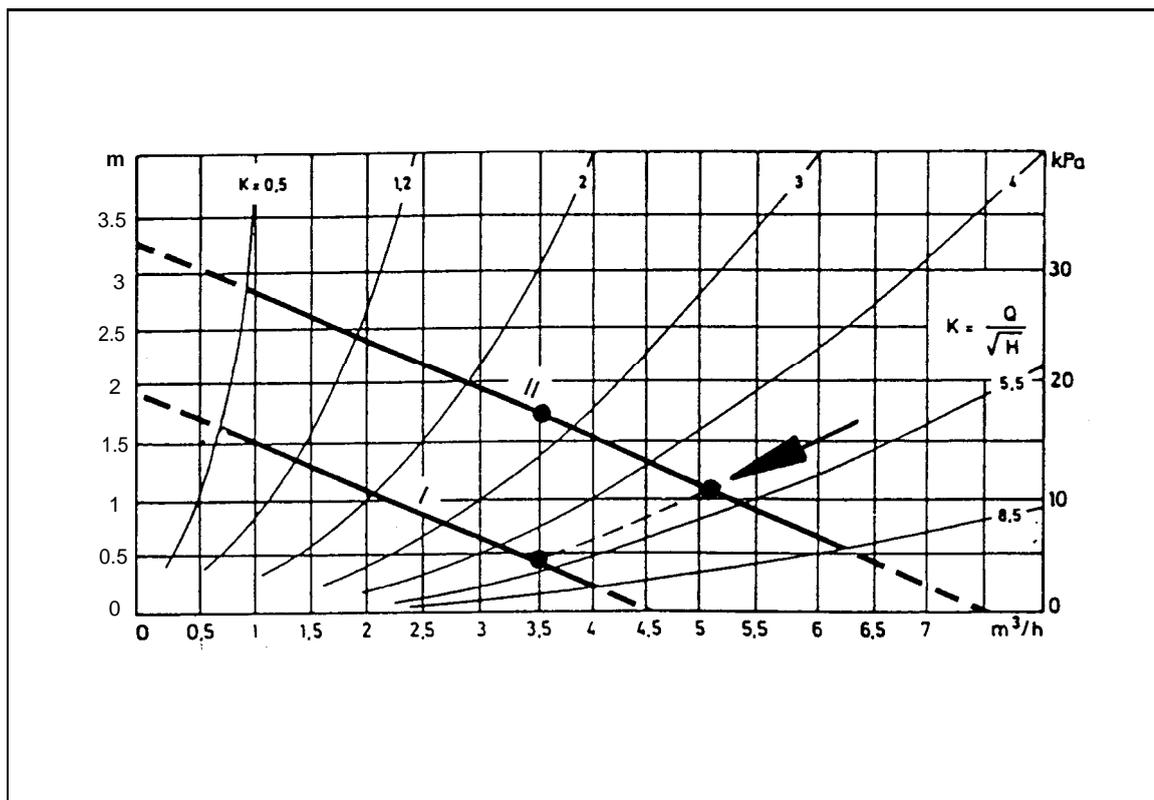
$$\dot{U}_v = \frac{\Delta T_{\text{soll}} * (T_R - T_{\text{A mess}})}{\Delta T_{\text{mess}} * (T_R - T_{\text{A min}})}$$

$$\text{Im Beispiel resultiert: } \dot{U}_v = \frac{20 * (20 - 4)}{6.2 * 30} = 1.7 \text{ fach.}$$

- Abschätzung des effektiven Förderstromes:
3 m³/h x 1.7 = 5.1 m³/h bei 1.1 m Wassersäule Druckverlust.

Resultat

- Wird statt Stufe 2 die Stufe 1 gewählt, fördert die Pumpe statt der 5.1 nur noch 3.5 m³/h mit einem Förderdruck von 0.5 mWs (vgl. Pumpendiagramm). Statt 110 W braucht sie nur noch 55 W. Dies ergibt Einsparungen von 300 kWh/a. Die Pfeifgeräusche sind nach Umschalten auf Stufe 1 verschwunden!



Betriebspunkt vor und nach der Drehzahlreduktion.

4.3 Radiatorengruppe, Zweirohrsystem, Auswechseln der Pumpe

Um den optimalen Betriebspunkt erreichen zu können, reicht eine Drehzahländerung oft nicht aus. Dann muss eine neue, passendere Umwälzpumpe eingebaut werden.

Ausgangslage

Radiatorenkreis der Gruppe Nord eines Bürobaus. Die Pumpe DN 80 läuft auf Stufe 2.

- Abschätzung des Wärmebedarfs aus dem jährlichen Brennstoffverbrauch ergibt 140 kW pro Gruppe. Bei einer Temperaturdifferenz zwischen Vorlauf und Rücklauf von 20 K beträgt der Förderstrom rund 6 m³/h (nach [3]).
- Bei 5°C Aussentemperatur beträgt die effektive Temperaturdifferenz zwischen Vorlauf und Rücklauf 4.7 K (52.6°C - 47.9°C).

Massnahmen

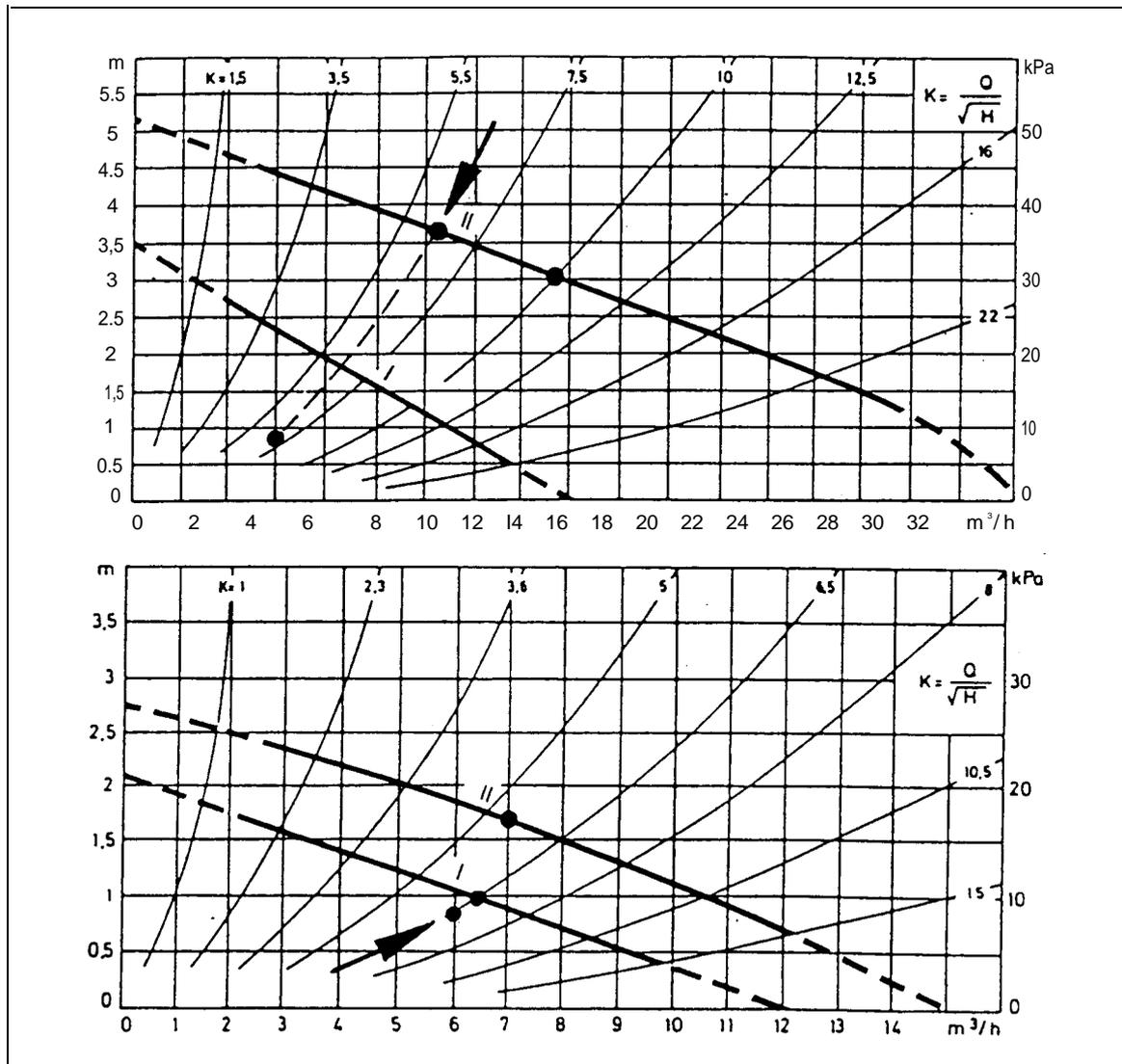
Die Überdimensionierung beträgt nach derselben Formel wie in Beispiel 4.2:

$$\ddot{U}_v = \frac{20 \cdot (20 - 5)}{4.7 \cdot 30} = 2.1 \text{ fach.}$$

- Abschätzung des effektiven Förderstromes: $6 \times 2.1 = 12.6 \text{ m}^3/\text{h}$ bei 3.7 m Wassersäule Druckverlust.

Resultat

- Neuer Betriebspunkt: $6 \text{ m}^3/\text{h}$ bei 0.84 mWS. Ersatz der Pumpe durch eine DN 40 Pumpe, Stufe 1. Neuer Betriebspunkt: $6.5 \text{ m}^3/\text{h}$ bei 1 mWS. Reduktion von 480 auf 90 W, ergibt Einsparungen von 2000 kWh pro Jahr.



Betriebspunkte vor und nach dem Pumpenwechsel

4.4 Schlecht abgegliche Anlage mit unkontrollierten Änderungen

Vor unserem Eingriff war eine ganze Wohnung eines Hauses schlecht heizbar. Die Hauptpumpe förderte 31 m³/h mit einem Förderdruck von 8 mWS und benötigte eine elektrische Leistung von 2695 W.

Die neue Pumpe leistet auf Stufe 2 11m³/h mit 1 mWS Förderdruck bei 105 W elektrischer Leistung.

Danach konnte die Wohnung normal geheizt werden, jedoch blieb nun ein Heizkörper in der Mitte des Gebäudes plötzlich kalt.

Mit Stufe 3 fördert die Pumpe 14 m³/h mit einem Förderdruck von 1.6 mWS bei 207 W Leistung. Auf dieser Stufe konnte das gesamte Gebäude problemlos beheizt werden.

Einige Heizperioden später wechselte ein Installateur ohne jede Anweisung und Rückmeldung die Pumpe aus und setzte statt dessen zwei Pumpen a 15 m³/h mit einem Förderdruck von 7 mWS ein. Leistung: 800 W pro Pumpe!

4.5 Instandsetzung

Es war immer möglich, die Pumpendrehzahl zu reduzieren oder die Pumpen durch kleinere zu ersetzen. Zwei speziell lohnende Beispiele:

- Gebäude mit 30 Wohnungen:

3 Pumpen a 3'900 W werden ersetzt durch 1 Pumpe 80 W

Jährliche Einsparung:

Fr. 5'640.-

- Gebäude mit 67 Wohnungen:

3 Pumpen a 2'900 W werden ersetzt durch 3 Pumpen à 700 W

Jährliche Einsparung:

Fr. 3'630.-

Instandsetzung: Gegenbeispiel!

In einem Ingenieurbüro konnten wir zufälligerweise eine Instandsetzung besonderer Art beobachten: Das Büro erstellte eine komplexe Lösung. Dabei stiegen sowohl die Instandsetzungskosten wie die jährlichen Betriebskosten gegenüber der alten Lösung an. Wer kennt wohl die Begründung...

- Heizungserneuerung in einem Gebäude mit 16 Wohnungen:

1 Pumpe à 75 W wird ersetzt durch 3 Pumpen mit total 570 W (Primärpumpe, Gruppe West und Ost).

Mehrkosten Betrieb

Fr. 600. -/Jahr

Mehrkosten Umbau

Fr. 13'500.-

5 Häufigste Fragen und die Antworten dazu

“Mit einer so kleinen Pumpe lässt sich auf einem so grossen Netz unmöglich selbst der hinterste Heizkörper genügend versorgen!”

Bei einer schlecht abgeglichenen Installation ist der Effekt von Volumenstromänderungen schwer voraussehbar. Wir haben jedoch nie beobachtet, dass die entferntesten Heizkörper besonders schlecht durchströmt wurden.

Die Heizkörper oder die Heizkreise eines Einrohrsystems sind parallel durchflossen. Der Druckverlust verteilt sich somit automatisch proportional zum Widerstand. Eine überdimensionierte Pumpe baut ihren Überdruck somit durch Erhöhen des Druckverlusts über den einzelnen Heizkörper oder Heizkreisen ab. Diese werden schneller durchströmt, dabei verkleinert sich die Temperaturdifferenz zwischen Vorlauf - und Rücklauf. Die mittlere Temperatur des Systems steigt an. Will man den letztgenannten Effekt erreichen, passt man besser die Heizkurve an! Das kostet weniger und macht erst noch keinen Lärm.

“Je grosser die Pumpe, umso kleiner die Abgleichprobleme!”

In der Regel nicht! Ein erhöhter Druckverlust tritt in allen Heizkörpern auf. Die Durchströmung sämtlicher Heizkörper wird dadurch verändert, Dabei werden störende Effekte ebenfalls verstärkt. Der einzige Effekt einer grossen Pumpe ist normalerweise eine Verkleinerung der Temperaturdifferenz und das Risiko von Strömungsgeräuschen.

“Mit neuen intelligenten Pumpen muss man nicht mehr berechnen, sie regeln sich selbst!”

Falsch! Bei den wenigsten Anlagen stellt der Installateur den Pumpen-Arbeitspunkt so ein, dass die gewünschte Temperaturdifferenz Vor-Rücklauf erreicht wird. Er wird diese such kaum bei ausreichend tiefen Aussentemperaturen nachkontrollieren. Ausserdem kann eine stark überdimensionierte Pumpe den Durchfluss gar nicht so weit hinunterregeln, wie nötig wäre.

Zudem ist die Gefahr gross, dass die Pumpenregelung spätestens nach dem zweiten Servicegang auf maximale Drehzahl gestellt ist. Der Installateur wird aus mangelnder Kenntnis des Systems eine maximale Sicherheit anstreben wollen oder aber irgendeine andere Person denkt sich, dadurch Probleme zu lösen, selbst wenn es diese gar nicht gibt.

“ Wenn ein gesamter Heizkreis mit thermostatischen Heizkörperventilen ausgestattet ist, muss man zwingend eine intelligente Pumpe einsetzen!”

Auch falsch! Eine richtig dimensionierte Pumpe kann problemlos eine gewisse Zeit gegen geschlossene Ventile arbeiten, ohne dadurch Pfeifgeräusche zu verursachen. Ausserdem ist die Chance, dass wirklich alle Ventile ganz geschlossen sind recht klein. Eine zu gross dimensionierte intelligente Pumpe verbraucht mehr Strom als eine richtig dimensionierte ungerregelte, da sie im unteren Drehzahlbereich mit schlechterem Wirkungsgrad läuft.

“So haben wir das seit jeher gemacht und sind gut gefahren damit. Wir haben keinen Grund, etwas zu ändern!”

Nochmals falsch! Bis anhin hielt es kaum jemand für nötig, eine Pumpe sorgfältig zu dimensionieren. Bei den kleinen Druckverlusten von Schwerkraftheizungen schien dies tatsächlich nicht zwingend. Doch von “seit jeher so gemacht” zu sprechen, ist natürlich falsch. Die Systeme waren so gutmütig, dass eine Abschätzung bereits reichte und die meisten Installateure sich deswegen gar nicht die Zeit für Berechnungen nahmen. Neue Systeme sind aber weniger gutmütig und die Abschätzung von früher hat kaum noch Gültigkeit.

“Heizkessel sind in der Regel massiv überdimensioniert. Eine auf 20 K Temperaturdifferenz ausgelegte Pumpe verursacht wahrscheinlich Kondensation im Heizkessel!

Die 20 K Temperaturdifferenz sind eine Dimensionierungsgrundlage des Heizungsnetzes bei Vollast. Ob der Heizkessel überdimensioniert ist oder nicht, spielt keine Rolle für diesen Wert. Bei einigen Kesseln ist es wichtig, dass die Rücklauftemperatur nicht zu tief ist, weil sonst Condensation auftreten kann. Doch dies ist ein Kesselproblem, kein Problem des Pumpennetzes.

“Die Lebensdauer einer kleinen Pumpe ist auch kleiner!”

Dies stimmt in einigen Fällen, doch der Ersatz einer kleineren Pumpe kostet auch weniger Geld. Die meisten kleinen Pumpen, die heute in Grosserien hergestellt werden, stehen grösseren Pumpen in punkto Lebensdauer in nichts mehr nach.

Es muss jedoch unterschieden werden zwischen wirklich grossen Pumpen (grosser Fr. 500.-), welche mit tiefer Drehzahl arbeiten und den in Grosserien hergestellten Kleinpumpen einfacher Bauweise. Letztere leben ihrer einfachen Technologies wegen sicher weniger lange.

6 Einige wichtigen Punkte zum Abschluss

Die Bestimmung des anteiligen Wärmeleistungsbedarfs mehrerer Heizgruppen in grossen Gebäuden ist schwierig.

Die einzige bekannte Messgrösse ist normalerweise der Brennstoffverbrauch oder der Wärmebezug über ein ganzes Jahr gemessen. Damit lässt sich der Wärmeleistungsbedarf genügend genau abschätzen, zumindest bei nicht allzu komplexen Heizgruppen, vgl. Leitfaden [3]. Hauptfehlerquelle bei komplexen Systemen ist die Gleichzeitigkeit der Verbraucher und die Grundlastbestimmung.

Der Gesamtbedarf eines ganzen Gebäudes muss sinnvoll auf die verschiedenen Gruppen aufgeteilt werden. Heizungsverteiler mit Wärmezählern auf jeder Gruppe sind selten, eine approximative Aufteilung ist jedoch ziemlich heikel. Die unterschiedlichen Rohrdurchmesser oder Pumpenleistungen können einige Hinweise liefern, doch bleibt hier immer eine gewisse Unsicherheit bestehen.

Die Angst, etwas Bestehendes zu Verändern

Wer an einer bestehenden Heizungsanlage einen Pumpenwechsel plant, greift in der Regel in ein funktionierendes System ein und weiss, dass nach dem Wechsel ein neues Gleichgewicht eintritt. Nicht nur die technische Seite wird dabei verändert, auch Gewohnheiten der Hauswarte oder Installateure sind davon betroffen.

Normalerweise kümmert sich in einem Mietshaus niemand um die Heizung. Es reicht jedoch, dass eine Person bemerkt, dass im Heizungsraum Messungen gemacht werden und schon treffen dutzendweise Klagen ein, seien es berechnete oder unberechnete, nachvollziehbare oder völlig extravagante!

Man muss sich bewusst sein, dass die Rentabilität einer Neudimensionierung der Pumpen massgeblich durch solche Klagen gefährdet sein kann, wenn man sie zu ernst nimmt. Man wird mit psychologischem Feingefühl bestimmen müssen, welche Informationen weitergegeben werden dürfen und welche allenfalls bestimmte Klagen noch schüren.

Auf einer von uns behandelten Anlage wurden wir nach zwei problemlosen Heizperioden plötzlich angerufen, weil eine Heizgruppe und die Lufterhitzergruppe die gewünschten Temperature nicht mehr erreichten. Man verlangte von uns die Daten der Pumpen, die vor unserem Eingriff installiert waren. Man war sich völlig sicher, dass es sich nur um ein Pumpenproblem handeln konnte, hatten wir doch gewagt, zwei 2200 W Pumpen durch zwei Pumpen von nur 100 W zu ersetzen! Doch der Anlagebesuch zeigte etwas ganz anderes: Mehrere Unternehmer hatten die Regler völlig verstellt, die Primärkreistemperatur lag nun viel zu tief und die Pumpe des Lufterhitzerkreises war ausgefallen! Mit dem Pumpenwechsel hatten die Schwierigkeiten überhaupt nichts zu tun! Doch mussten wir zuerst persönlich auf der Anlage erscheinen um die Störungsursachen zu lokalisieren.

Von grossem Vorteil wäre die Installation von Twin-Lock Messnippeln an allen Pumpen. So könnte jederzeit der Betriebspunkt der Pumpe ermittelt werden und im Zweifelsfalle wäre der Beweis der normalen korrekten Funktion möglich.

Einhalten der Drehzahl nach mehreren Betriebsjahren

Wie wir schon gesehen haben, ist es ein gewohnheitsmässiges Vorurteil, dass die Pumpen an allen Unzulänglichkeiten eines Heizsystems schuld sind. Es wird sich also immer jemand finden, der in "guter Absicht" die Pumpendrehzahl auf den Maximalwert stellt. So verwundert nicht, dass mindestens 80% aller angetroffenen Pumpen auf Maximaldrehzahl eingestellt sind. Eine korrekt dimensionierte Umwälzpumpe durfte eigentlich niemand mehr anfassen !

Um dem vorzubeugen, soll z.B. ein Kleber oder Anhänger an der Pumpe angebracht werden mit dem Text *"Pumpe unter energetischer Kontrolle! Darf nur auf Drehzahl 1 betrieben werden!"* sowie Adresse/Telefon der zuständigen Person.

Wirtschaftlichkeit

Nur selten bezahlt ein Eigentümer oder eine Verwaltung Messungen zur Neudimensionierung von Umwälzpumpen, solange keine Störungen auftreten. Erst bei Problemen wird diese Massnahme überhaupt ins Auge gefasst. Allerdings ist eine korrekte Dimensionierung mit einer defekten Pumpe nicht möglich!

Will man vermeiden, dass eine überdimensionierte Pumpe wegen nicht möglicher Messungen wiederum durch eine überdimensionierte Pumpe ersetzt wird, muss ein Mittel gefunden werden, den Pumpen-Arbeitspunkt vor einer Störung zu kennen. Diese Möglichkeit setzt natürlich Freiwilligkeit des Besitzers oder der Verwaltung voraus.

Im Störfall gewinnt dieser aber gleich doppelt: der Pumpenersatz ist billiger, da die Pumpe kleiner ist und die Betriebskosten liegen niedriger.

Folgerung

Aus technischer Sicht ist die Neudimensionierung von Umwälzpumpen kein Problem. Auch Eingriffe nach erfolgter Montage (Drehzahlveränderungen) sind einfach und können gleich bei der Inbetriebsetzung folgen, oder aber zu einem Zeitpunkt tiefer Aussentemperaturen. Wir haben keine einzige Anlage getroffen, auf welcher nach unserem Eingriff der Komfort gesunken ist, jedoch könnten wir auf mehreren Anlagen den thermischen Komfort verbessern und gleichzeitig störende Geräusche eliminieren.

Seit Jahrzehnten laufen wir alle im gleichen absurden Gleis: Eigentümer, Verwalter, Hauswart, Installateur und Planer! Die Neudimensionierung von Umwälzpumpen ist einfach, sicher und macht sich bezahlt. Verlassen wir dieses Gleis und hören wir auf, aus Gleichgültigkeit und Unwissenheit Energie zu verschwenden!

7 Anhang

Zustandsaufnahme auf der Anlage

Ziel:

Für die Berechnungen benötigen wir Aussentemperatur, Vor- und Rücklauftemperatur Pumpentyp und -einstellung sowie die tatsächlich benötigte maximale Heizleistung

Voraussetzungen

für die Zustandsaufnahme bezüglich Umwälzpumpen-Dimensionierung:

Die Anlage bzw. Pumpe funktioniert und ist in Betrieb. Vor- und Rücklauftemperatur der Heizgruppe können bei kalter Witterung ($< 5^{\circ}\text{C}$, nicht bei starker Sonneneinstrahlung) gemessen werden.

Der Brennstoff - bzw. Energieverbrauch einer Heizperiode ist bekannt (oder die tatsächlich benötigte maximale Heizleistung ist bekannt).

Wenn das Pumpendiagramm ($V - \Delta p$ -Kurve, Förderhöhe in Abhängigkeit vom Förderstrom) der bestehenden Pumpe vorliegt, kann sogar der Arbeitspunkt recht genau bestimmt werden.

Vorgehen

1. Vom Typenschild der Pumpe notieren:
Typ, Leistungsaufnahme [W], eingestellte Stufe oder Regler-Wert.
2. Aus Tankheft-Eintragen oder durch Erfragen beim Betreuer den Brennstoff - bzw. Energieverbrauch einer Heizperiode ermitteln. Zur Kontrolle Kesselleistung und -Alter (Wirkungsgrad!) aufnehmen. Falls mehrere Heizgruppen oder Wassererwärmung angeschlossen sind, Hinweise für die Verbrauchsaufteilung aufnehmen (Anzahl Wohnungen, evtl. Fläche pro Gruppe, evtl. Lüftungsgruppen; Warmwasser-Zirkulation: ausgedehnt? gut isoliert? evtl. gewerbliche Warmwasserverbraucher).
Evtl. ist aus früheren Untersuchungen die, tatsächlich benötigte maximale Heizleistung bekannt? (Betreuer fragen)
Bei Heizanlagen ohne Mischventil (z. B. Gaskessel direkt im Heizgruppenkreislauf) ist die Kesselleistung massgebend und somit keine Verbrauchsermittlung nötig.
3. Temperature messen:
Aussentemperatur.
Vor- und Rücklauftemperatur der Heizgruppe (bzw. Temperaturdifferenz). Achtung: in vielen Anlagen schwankt die Vorlauftemperatur beträchtlich. Für eine gute Messung solien deshalb, nach Anbringen und Isolieren der Fühler, beide Temperaturen gleichzeitig über 5 - 10 Minuten gemittelt und evtl. aufgezeichnet werden. Bei Anlagen ohne Mischventil muss während Brenner-Vollastbetrieb gemessen werden (evtl. Steuerung solange überbrücken).

Vorhandene Zeigerthermometer sind oft nicht zuverlässig! Als Notlösung sind diese Ablesungen verwendbar, sollten aber nach Austausch von Vor- und Rücklaufthermometer und nochmaliger Ablesung (nach einigen Minuten) kontrolliert werden (Mittel aus beiden Ablesungen bilden). Bei Temperaturdifferenzen unter etwa 3 K wird die Genauigkeit ungenügend: bei kalterem Wetter wiederholen (evtl. durch Hauswart ablesen lassen).

Wichtig: nicht bei starker Sonneneinstrahlung (Thermostatventile!) und nicht bei aussergewöhnlichen Benutzungs-Situationen messen (Ferien, Umzug, Umbau etc.).

4. Falls einfach möglich, Druckdifferenz über der Pumpe (Messnippel) sowie elektrische Leistungsaufnahme (mit Zangenleistungsmesser, im Schaltschrank) messen.

Berechnungsgrundlagen (zu den Beispielen in Abschnitt 4)

Das Verhältnis von effektivem (Ist-) zu erforderlichem (Soll-) Förderstrom ist der Überdimensionierungsfaktor bezüglich Förderstrom U_v . Er ist gleich dem Verhältnis der Soll- zur Ist-Temperaturdifferenz der Heizgruppe. Da wir die Ist-Temperaturdifferenz nur bei Teillast kennen (messen), müssen wir sie auf den Vollast- bzw. Auslegungswert korrigieren, um das massgebende Verhältnis mit der (Auslegungs-) Soll-Temperaturdifferenz zu bilden. Den Soll-Förderstrom berechnen wir aus der tatsächlich benötigten maximalen Heizleistung bzw. aus dem Heizenergieverbrauch der Gruppe.

Das Vorgehen ist nachfolgend schrittweise beschrieben. Wenn man es einmal verstanden hat, wird man nur noch die Hauptformeln brauchen.

1. Auslegungsdaten neu bestimmen:

ΔT_{soll}	Auslegungs-Temperaturdifferenz Vor-Rücklauf. Richtwerte: 20 K für Heizkörper (evtl. 15 K für Niedertemperaturheizungen < 55°C Auslegung), 10 K für Fussbodenheizungen
T_{Amin}	Auslegungs-Aussentemperatur, welcher die tatsächlich benötigte maximale Heizleistung entspricht (SIA 384/2). Richtwert Mittelland -1 °C.
$P_{\text{th max}}$	Tatsächlich benötigte maximale Heizleistung, mittels Nomogramm aus dem Brennstoffverbrauch zu ermitteln (siehe z.B. Leitfaden "Stromspar-chance Umwälzpumpe" [3]). Die installierte Kesselleistung ist in der Regel höher und nur in Anlagen ohne Mischventil für die Gruppenpumpe massgebend.
V_{soll}	Erforderlicher (Soll-) Förderstrom:

$$V_{\text{soll}} = 0.86 * P_{\text{th max}} / \Delta T_{\text{soll}}$$

$$[m^3/h] \quad [m^3 K/k Wh] * [kW] / [K]$$

0.86 m³K/kWh ist 1 / (Wärmekapazität von Wasser)

2. Gemessene Temperaturdifferenz ΔT_{mess} auf Auslegungswert ΔT_{ist} korrigieren:

$$\Delta T_{\text{ist}} = \Delta T_{\text{mess}} * (T_R - T_{A \text{ min}}) / (T_R - T_{A \text{ mess}})$$

T_R Raumtemperatur: Annahme 20°C, ausser z.B. Pflegeheim 22°C etc.

$T_{A \text{ mess}}$ Gemessene Aussentemperatur.

3. Überdimensionierungsfaktor \ddot{U}_v berechnen und ΔT_{ist} durch ΔT_{mess} mit Korrekturfaktor ersetzen:

$$\ddot{U}_v = \Delta T_{\text{soll}} / \Delta T_{\text{ist}} \text{ (beide bei } P_{\text{th max}} \text{)} .$$

$$\ddot{U}_v = \frac{\Delta T_{\text{soll}} * (T_R - T_{A \text{ mess}})}{\Delta T_{\text{mess}} * (T_R - T_{A \text{ min}})}$$

4. Tatsächlichen Förderstrom V_{ist} berechnen:

$$V_{\text{ist}} = V_{\text{soll}} * \ddot{U}_v$$

Wir können V_{ist} auch direkt mit den gegebenen bzw. gemessenen Werten ausdrücken (\ddot{U}_v und V_{soll} gemäss obigen Formeln einsetzen):

$$V_{\text{ist}} = \frac{0.86 * P_{\text{th max}} * (T_R - T_{A \text{ mess}})}{\Delta T_{\text{mess}} * (T_R - T_{A \text{ min}})}$$

V_{ist} in m³/h, $P_{\text{th max}}$ in kW einzusetzen.

Anlagen ohne Mischventil: $T_{A \text{ min}}$ für $T_{A \text{ mess}}$ einsetzen.

5. Mit V_{ist} kann im Pumpendiagramm (wenn vorhanden) der Arbeitspunkt bestimmt werden. Wenn man dort entlang der Netzkennlinie ($k = V / \sqrt{\Delta p}$ zum Soll-Förderstrom fährt, erhält man auch die neue erforderliche Förderhöhe. Ist kein Pumpendiagramm verfügbar, muss die erforderliche Förderhöhe gemäss Leitfaden "Stromsparchance Umwälzpumpe" [3] abgeschätzt werden.

Literatur:

- [1] Keller, L., Appelt, M.: Pompes de circulation - approche pour al diminuer la puissance installè et l'énergie consommée; EDMZ 724.397.11.55.F; BFK; 3000 Bern
- [2] Füglistner, E., Sigg, R.: Umwälzpumpen - Auslegung und Betriebsoptimierung; EDMZ 724.330 D; BFK; 3000 Bern
- [3] Sigg, R.: Stromsparchance Umwälzpumpe - ein Leitfaden für die Dimensionierung der Umwälzpumpe in kleineren und mittleren Heizanlagen; EDMZ 724.330.99 D; BFK; 3000 Bern

Die RAVEL-Lehrmittel: Bestellformular

Name, Vorname: _____

Firma: _____

Strasse: _____

PLZ, Ort: _____

Datum, Unterschrift: _____

Bundesamt für Konjunkturfragen

Impulsprogramm RAVEL

Belpstrasse 53

3003 Bern

Fax: 031/371 82 89

Ex.	Titel	Bestellnr.	*Preis
-----	-------	------------	--------

Allgemeine Dokumentationen zu RAVEL

Ex.	Broschüre <<Neue Handlungsspielräume mit weniger Strom>>	724.301 d	gratis
Ex.	Broschüre <<Nuove libertà d'azione con meno energia elettrica >>	724.301 i	gratis
Ex.	Untersuchungsergebnisse: <<47 heisse Spuren zu lohnenden Stromsparpotentialen	724.301.3 d	gratis
Ex.	Kompetent in den Wachstumsmarkt << Rationelle Verwendung von Elektrizität,	724.301.4 d/f	gratis
Ex.	IMPULS-Zeitschrift für IP Bau, RAVEL und PACER	724.400 d	gratis
Ex.	IMPULSO - Bolletino per PI Edil, RAVEL e PACER		gratis
Buchhandel	RAVEL-Handbuch <<Strom rationell nutzen>>	ISBN 3 7218 18303	77,50
Ex.	Gesamtfverzeichnis aller Publikationen und Videos IP Bau, RAVEL und PACER	724.400.100	gratis
Ex.	Zuverlässigkeit und Stromverbrauch	724.328 d	10,20

RAVEL im Management

Ex.	RAVEL-Tagung 1991: Start zu einer neuen fachlichen Kompetenz	724.300.1 d/f	25,50
Ex.	RAVEL-Tagung 1992: Mehr Büro mit weniger Strom	724.300.2 d/f	30,60
Ex.	RAVEL-Tagung 1993: Energie-Fitness in der Industrie	724.300.3 d/f	25,50
Ex.	RAVEL-Tagung 1994: RAVEL zahlt sich aus!	724.300.4 d/f	25,50
Ex.	RAVEL-Tagung 1991-1994: 4er-Set	724.300.0 d/f	76,50
Ex.	RAVEL-Tagung 1995: Marketing-Tag '95 für IngenieurInnen	724.300.5 d/f	ca. 30,—
Ex.	11 Praxislehrstücke, wie Ausgaben für RAVEL zur gewinnbringenden Investition werden	724.387 d	gratis
Ex.	Organisation und Energiemanagement	724.374 d	23,45
Ex.	Energie - ihre Bedeutung für die Wirtschaft	724.316 d	14,30
Ex.	Erfassung des Energieverbrauchs (2 Bücher und Bon für Diskette)	724.371.0 d	27,55
Ex.	Erfassung des Energieverbrauchs (Diskette und Band 1: Leitfaden für Ind. + Gewerbe)	724.371.1 d	12,25
Ex.	Erfassung des Energieverbrauchs (Band 2: Anleitung für den Beauftragten)	724.371.2 d	15,30
Ex.	Analyse des Energieverbrauchs	724.318 d	24,50

RAVEL in der Industrie

Ex.	RAVEL-Industrie. Handbuch	724.370 d	51,—
Ex.	Messen von Leistungen und Energien in der Industrie	724.377 d	32,65
Ex.	Elektrische Antriebe: Energie-optimal auslegen und betreiben	724.331 d	33,65
Ex.	Elektroantriebe	724.332 d	9,20
Ex.	RAVEL im Maschinenbau	724.333 d	**
Ex.	Automation und RAVEL	724.335 d	23,45
Ex.	Druckluft? Gewusst wo. Gewusst wie.	724.317 d	**

RAVEL in der Haustechnik

Ex.	Elektrische Wassererwärmung. Zukunftsorientierte Warmwasseranlagen (2. Oberarbeitete Auflage)	724.349.1 d	44,90
Ex.	Zukunfts orientierte Warmwasseranlagen (Separatum)	724.349.01 d	6,15
Ex.	Umwälzpumpen: Auslegung und Betriebsoptimierung	724.330 d	33,65
Ex.	Stromsparmöglichkeit Umwälzpumpe: Dimensionierung der Umwälzpumpen	724.330.99 d	gratis
Ex.	Energie-effiziente Lüftungstechnische Anlagen in der Haustechnik	724.307 d	32,65
Ex.	Gebäudeautomation - Inbetriebsetzung und Abnahme	724.363 d	24,50
Ex.	Einsatz der integralen Gebäudeautomation -Optimierung und Betrieb	724.362 d	24,50

RAVEL in der Lichtplanung

Ex.	Neuer Komfort mit Tageslicht	724.306 d/f	25,50
Ex.	Licht: Grundlagen der Beleuchtung	724.329.1 d	22,45
Ex.	Licht: Zeitgemässe Beleuchtung von Bürobauten	724.329.2 d	25,50
Ex.	Licht: Zeitgemässe Beleuchtung von Industriebauten	724.329.3 d	21,40
Ex.	Licht Effiziente Beleuchtung von Verkaufsflächen	724.329.4 d	21,40
Ex.	Licht Gesamtpaket (alle Bande 724.329.1 d-724.329.4 d)	724.329.0 d	81,60

RAVEL im Wärmesektor

Ex.	Elektrizität und Wärme (Grundlagenheft 1)	724.357 d	16,30
Ex.	Wärmerückgewinnung und Abwärmennutzung (Heft 2)	724.355 d	15,30
Ex.	Wärmepumpen (Heft 3)	724.356 d	16,30
Ex.	Wärme-Kraftkopplung (Heft 4)	724.358 d	17,35
Ex.	Standardschaltungen (Heft 5)	724.359 d	17,35
Ex.	Projektbezogene Qualitätssicherung für WP, WKK und WRG/AWN (Heft 6)	724.353 d	..
Ex.	Gesamtpaket Heft 1-5 (724.355 d -724.359 d)	724.357.0 d	71,40
Ex.	Elektrizität im Wärmesektor (Informationsheft Gesamtgebiet WKK, WP, WRG/AWN)	724.354 d	8,15
Ex.	Elektroheizungen - Sanierung und Ersatz	724.346 d	28,55

RAVEL in Gewerbe, Dienstleistung und Haushalt

Ex.	Haushaltsgeräte - Leitfaden zur Gerätewahl	724.347 d	22,45
Ex.	Küche und Strom	724.322 d/f	11,20
Ex.	Energiegerechter Bau, Betrieb und Unterhalt - Ein Leitfaden für Bauverantwortliche und Betreiber von Lebensmittelläden	724.323 d	20,40
Ex.	Kühlmöbel und Kälteanlagen im Lebensmittelgeschäft	724.350 d	20,40
Ex.	Kompetent antworten auf Energiefragen (Ordner)	724.386 d	51,—
Ex.	Kompetent antworten auf Energiefragen (Taschenbuch)	724.386,1 d	12,75
Ex.	Kompetent antworten auf Energiefragen (Kursordner-Taschenbuch)	724.386.0 d	61,20
Ex.	Energiemanagement in der Hotellerie	724.325 d	14,30
Ex.	Energiemanagement in Heimen	724.326 d	..
Ex.	Rationeller Energieeinsatz in Bäckereien	724.397.13.07 d	gratis
Ex.	Rationeller Energie- und Wasserereinsatz im Coiffeurgewerbe	724.397.13.08 d	gratis

* Rabatt 20% für SchülerInnen, StudentInnen, Lehrlinge (Kopie des Ausweises der Bestellung beifügen) sowie ab 25 Ex./Titel.

**Diese Dokumentationen erscheinen im Laufe des Jahres 1995: Preis zwischen 15 und 40 Franken.

Informationen zum Erscheinungstermin, zu Bestellnummer und Preis der <<Dokumentationen in Vorbereitung>> erhalten Sie beim Bundesamt für Konjunkturfragen, Telefon 031-322139.

Die RAVEL-Untersuchungsberichte: Bestellformular

Name, Vorname: _____

Firma: _____

Strasse: _____

PLZ, Ort: _____

Datum, Unterschrift: _____

Bundesamt für Konjunkturfragen
Impulsprogramm RAVEL
Belpstrasse 53
3003 Bern

Fax: 031/371 8289

RAVEL in der Haustechnik

Integrale Gebäudeautomatisierung

- ___ Ex. Nachweis der Wirksamkeit der integralen Gebäude-automation und des Energiemanagements 724.397.32.53 d 12.25
- ___ Ex. Einsatz der Integralen Gebäudeautomation für die Betriebsführung 724.397.32.54 d 12.25
- ___ Es. Bedeutung organisatorischer Fragen für die Planung energ. Gebäude-/Haustechnikanlagen..... 724.397.41.57 d 12.25

Belüftungs- und Klimatisierungs-Planung

- ___ Ex. Renouveaulement dam Extraction des bama, WC, cuisines 724.397.11.51 f 12.25
- ___ Ex. Transport de l'air 724.397.11.52 f 12.25
- ___ Ex. Lüftungstechnische Anlagen (3 Fallstudie), 724.397.11.53d/f 12.25
- ___ Ex. Humidification - dehumidification 724.397.11.54 f 12.25
- ___ Ex. Fallstudie Betrieb und Unterhalt einer Lüftungsanlage 724.397.11.56 d 12.25
- ___ Ex. Elektrizitätsbedarf von Industrielüftungen 724.397.21.62 d 12.25
- ___ Ex. Interne Wärmelasten von Betriebseinrichtungen 724.397.32.51 d 12.25
- ___ Ex. Wäschetrocknen im Mehrfamilienhaus 724.397.23.52 d 12.25
- ___ Ex. Recuperation d'énergie électrique et thermique 724.397.42.02 f 12.25

Planung und Betrieb von Warmwasser- und Heizanlagen

- ___ Ex. Pompes de circulation: diminuer la puissance installée et l'énergie consommée 724.397.11.55 f 12.25
- ___ Ex. Warmwasserbedarfszahlen und Verbrauchs.Charakteristik 724.397.23.58 d 12.25

Elektroheizungen

- ___ Ex. Zusatzheizungen zur Verbrauchs-reduzierung bei Elektro-Heiz-Systemen 724.397.23.59 d 12.25
- ___ Ex. Dimensionierung, Sanierung und Betrieb von Elektroheizungen in Kirchen 724.397.23.60 d 12.25

Elektromechanische Installationen

- ___ Ex. Fallstudie Tunnellüftung 724.397.41 d 12.25
- ___ Ex. Erhebung des Elektrizitätsverbrauchs bestehender Strassentunnel 724.397.41.58 d/f 12.25
- ___ Ex. Planific. des reseaux et optimisation écon. des sections d'âme de câbles electr. de puissance. 724.397.42.02.1 f 12.25
- ___ Ex. Minimisation et étude économique des pertes de transf. des sous-stations de transformation 65 KV/16 KV 724.397.42.02.2f 12.25
- ___ Ex. Analyse de la consommation d'énergie électrique des bâtiments das SICS (Services industriels de Sion) 724.397.42.02.3f 12.25

RAVEL in der Lichtplanung

- ___ Ex. Beleuchtung (4 Fallstudien) 724.397.22.51d/f 12.25

RAVEL in Gewerbe und Dienstleistung

Energieoptimierung im Gaatgewerbe

- ___ Ex. Energieverbrauch in gewerblichen Kichen 724.397.13 d 12.25
- ___ Ex. Fallstudie Testküche 724.397.13.52 d 12.25
- ___ Ex. Kühlschränke für Hotelzimmer und Studios 724.397.23.53 d 12.25

Rationeller Energieeinsatz im Detailhandel

- ___ Ex. Energieverbrauch von Rechner- und Kommunikationsanlagen im Detailhandel 724.397.13.53 d 12.25
- ___ Ex. Kühlmöbel im Lebensmittelhandel 724.397.21.52 d 12.25
- ___ Ex. Kühltemperaturen im Lebensmittelhandel 724.397.41.52 d 12.25

Verbesserte Stromnutzung im Büro

- ___ Ex. Energieverbrauch von elektronischen Bürogeräten. 724.397.23.54 d 12.25
- ___ Ex. Energierrelevante Aspekte von elektronischen Bürogeräten, 724.397.23.55 d 12.25
- ___ Ex. Energieverluste bei Büro- und Unterhaltungs-Elektronikgeräten. 724.397.23.56/57d
- ___ Ex. Benutzerverhalten im Büro 724.397.42.55 d 12.25

RAVEL im Management

RAVEL in der Unternehmensführung

- ___ Ex. RAVEL zahlt sich aus 724.397.42.01 d 12.25
- ___ Ex. Grundbegriffe der Energiewirtschaft (Glossar) 724.397.12.51.f d 12.25
- ___ Ex. Methoden der Wirtschaftlichkeitsanalyse von Energiesystemen 724.397.12.51.2d 12.25
- ___ Ex. Zuverlässigkeit und Energieverbrauch von elektronischen Geräten und Systemen 724.397.13.56 d 12.25

RAVEL in der Immobilien-Verwaltung

- ___ Ex. Stromverbrauchserhebung in Haushalten. 724.397.23.51 d 12.25

RAVEL im Energieversorgungs-Unternehmen

- ___ Ex. Energiespar-Strategie für Versorgungsunternehmen 724.397.42.51 d 12.25

RAVEL in der Aua- und Weiterbildung

- ___ Ex. Künftige Aus- und Weiterbildung für das Impulsprogramm RAVEL 724.397.46.51 d 12.25
- ___ Ex. Kurzfassung <<Künftige Aus- und Weiterbildung>>. 724.397.46.52 d 12.25

Die RAVEL-Tagungs-Dokumentation

- ___ Ex. RAVEL-Tagung 1991: Start zu einer neuen fachlichen Kompetenz 724.300,1 d/f 25.50
- ___ Ex. RAVEL-Tagung 1992: Mehr Büro mit weniger Strom. 724.300,2 d/f 30.60
- ___ Ex. RAVEL-Tagung 1993: Energie-Fitness - eine Herausforderung an die Führungsstrategen der Industrie 724.300.3 d/f 25.50
- ___ Ex. RAVEL-Tagung 1994 RAVEL zahlt sich aus! 724300.4 d/f 30.60
- ___ Ex. RAVEL-Tagung 1995: Marketing-Tag'95 für IngenieurInnen 724.300.5 d/f cs. 30.—

RAVEL im Wärmesektor

Planung

- ___ Ex. Wärmerückgewinnungs- und Abwärmenutzungs.Checkliste 724.397.31.52 d 12.25
- ___ Ex. Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung 724.397.31.56 d 12.25
- ___ Ex. Mischtemperaturen richtig messen - Einsatz von statischen Mischern in der Haustechnik 724.397.31.58 d gratis
- ___ Ex. Moderne Planungshilfen für WRG und AWN 724.397.31.06 d 12.25

Qualitätssicherung

- ___ Ex. Betriebsoptimierung und Erfolgskontrolle von Wärmepumpen und Wärmekraftkopplungsanlagen 724.397.31.57 d 12.25

Übersicht Forschungsprojekte

- ___ Ex. Abgeschlossene und laufende Projekte in den Bereichen Wärmekraftkopplung und Wärmepumpen,.... 724.397.31.55 d 12.25

RAVEL in der Industrie

Energieplanung in Unternehmen

- ___ Ex. Elektrothermische Produktionsverfahren 724.397.12.55 d 12.25
- ___ Ex. Kennwerte betrieblicher Prozessketten 724.397.12.54 d 12.25
- ___ Ex. Sparen mit Automation: Beispiele 724.397.43.51 d 12.25
- ___ Ex. Senaorik zur Einsparung von elektrischer Energie 724.397.43.52 d 12.25
- ___ Ex. Kraftanwendung in einem Chemieunternehmen 724.397.21.56 f 12.25
- ___ Ex. Elektrizitätsbedarf der Zementindustrie 724.397.21.61 d 12.25

Energieoptimierung in Maschinen und Anlagen

- ___ Ex. Energetischer Vergleich pneumatischer, hydraulischer und elektromechanischer Antriebs- und Werkzeugsysteme 724.397.12.56 d 12.25
- ___ Ex. Elektrizitätsbedarf von Textildruckmaschinen 724.397.21.51 d 12.25
- ___ Ex. Wirkungsgradoptimierung der Druckluftzeugung und -verteilung 724.397.21.54 d 12.25
- ___ Ex. Analyse de rendement énergétique de processus industriels 724.397.21.55 f 12.25
- ___ Ex. Messen von Betriebsparametern elektrischer Antriebe. 724.397.21.41 d 12.25

Informationen zum Erscheinungstermin, zu Bestellnummer und Preis der <<Dokumentationen in Vorbereitung>> erhalten Sie beim Bundesamt für Konjunkturfragen, Telefon 031-3222139.