

## Klein-Umwälzpumpen: Wirkungsgrad verdreifacht

*Zuverlässigkeit, Geräuscharmheit, rationelle Herstellung und neuerdings auch elektronische Drehzahlregelung von Heizungs-Umwälzpumpen sind technisch hoch entwickelt. Vom Wirkungsgrad kann dies allerdings nicht gesagt werden: Gegen 2 Millionen kleine Umwälzpumpen (bis ca. 150 W Leistungsaufnahme) in der Schweiz bringen im Mittel nur rund 10% der verbrauchten elektrischen Energie als nutzbare Umwälzenergie in den Wasserkreislauf. Ein Forschungsprojekt des Bundesamtes für Energiewirtschaft unter Beteiligung von Hochschulen und Privatwirtschaft zeigt, was mit modernen Technologien möglich ist: Die nach zweijähriger Forschungsarbeit gebauten Funktionsmuster von Klein-Umwälzpumpen erreichen Gesamtwirkungsgrade bis zu 40%. Die Weiterentwicklung zu Serienprodukten soll rasch an die Hand genommen werden.*

Von Jürg Nipkow, Zürich

### Weshalb Klein-Umwälzpumpen mit hohem Wirkungsgrad?

Umwälzpumpen für Heizungsanlagen von Ein- und kleineren Mehrfamilienhäusern weisen sehr ungünstige Gesamtwirkungsgrade (hydraulische Nutzleistung/elektr. Leistungsaufnahme) im Bereich von 10% auf. Dies liegt einerseits an den verwendeten Asynchron-Spaltrohrmotoren (Bild 1), deren Verluste sich mit abnehmender Leistung immer stärker auswirken; andererseits sind auch die Strömungsverluste dieser sehr kleinen Kreislaspumpen relativ gross. In der Schweiz existieren gegen 2 Mio. Kleinpumpen mit elektrischen Leistungsaufnahmen bis etwa 150 Watt und verursachen einen Stromverbrauch von rund 1% des Landesverbrauches. Das ist etwa das Doppelte des Verbrauchs sämtlicher Fernsehapparate der Schweiz!

Spaltrohr  
  
Rotor  
(im Wasser)

Lauftrad

Stator (trocken)

**Bild 1** Schnitt durch Heizungs-Umwälzpumpe (Nassläufer mit Spaltrohr)

### Wie grosse Pumpen braucht es tatsächlich?

Aus Untersuchungen zahlreicher Heizanlagen ist bekannt, dass nicht nur die Heizkessel, sondern auch die Umwälzpumpen überdimensioniert sind. Bei den Pumpen wirkt sich die herkömmliche "Sicherheitsmarge" punkto Energieverbrauch meist viel drastischer aus als bei Kesseln: wird nämlich das Doppelte der benötigten Wassermenge umgewälzt, so kann der entsprechende Pumpen-Stromverbrauch bis achtmal zu hoch sein. Ausserdem haben überdimensionierte Pumpen häufig Geräuschprobleme durch pfeifende Heizkörperventile zur Folge. Eine genaue Pumpenauslegung würde in kleinen Anlagen etwa die Kennwerte gemäss Tabelle 1 ergeben (ohne Zusatz-Druckverluste von Wärmezählern oder Kondensationswärmetauschern).

Wärmeleistungsbedarf	kW	10	20	40
ca. Anzahl Wohnungen:		1...3	3...6	5...12
Fördermenge	m <sup>3</sup> /h	0.45	1	2
Förderhöhe (10 kPa ≈ 1 mWs)	kPa	8	9	9.9
hydraulische Leistung	W	1	2.5	5.5
Arbeitspunkt		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
typ. Gesamtwirkungsgrad heute	%	5	7	9
resultierende elektrische Leistungsaufnahme	W	20*	36	61

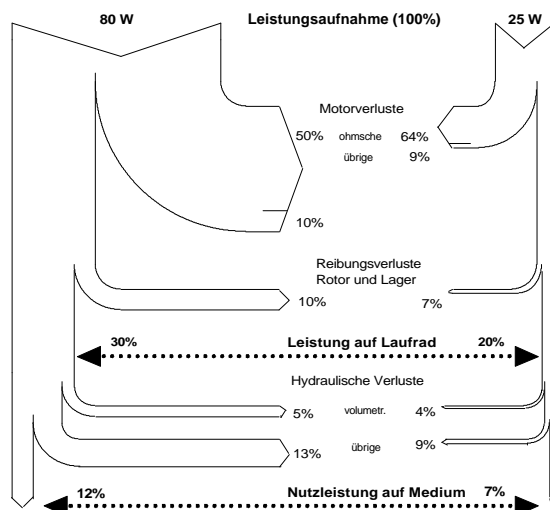
\* So kleine Pumpen sind fast nur als Warmwasser-Zirkulationspumpen erhältlich!

**Tab. 1** Technische Daten von Klein-Umwälzpumpen

Die richtige Auslegung aller Umwälzpumpen - beim Ersatz oder bei neuen Anlagen - kann bereits ein enormes Stromsparpotential erschliessen. Kurse und Workshops im Impulsprogramm RAVEL (Rationelle Verwendung von Elektrizität) vermitteln schon seit 1991 das dazu nötige Wissen an Planer und Installateure [1, 2, 3]. Für kleine Heizanlagen ergibt die Berechnung allerdings so kleine Pumpenleistungen, dass effektiv zu grosse Pumpen, aber auf reduzierter Drehzahlstufe, eingesetzt werden müssen. Dabei fällt der Wirkungsgrad weit unter 10%. Wie Tabelle 1 zeigt, wären Pumpen mit hydraulischen Leistungen bis hinunter gegen 1 Watt und mit besseren Wirkungsgraden gefragt.

### Wie lassen sich Klein-Umwälzpumpen verbessern?

Die Ursachen der schlechten Wirkungsgrade kleiner Spaltrohrpumpen wurden im Projekt analysiert. Die Literaturrecherche war diesbezüglich allerdings wenig ergiebig; zu den Verlustquellen bei so kleinen Pumpen waren kaum Angaben zu finden. Durch Messungen und Berechnungen konnten jedoch die Energieflüsse teils quantitativ beschrieben und die Motor-Parameter sogar in einem Computermodell bearbeitet werden. Als Quintessenz dieser Analysen zeigt Bild 2 die Leistungsflüsse zweier typischer Kleinpumpen.



**Bild 2** Leistungsflüsse zweier typischer Klein-Umwälzpumpen

Mittels Kreativ-Seminarien wurde nach alternativen Pumpensystemen gesucht. Keine der denkbaren grundsätzlich neuartigen Lösungen erwies sich je-

doch als geeignet. Vielversprechende Ansätze zu besseren Gesamtwirkungsgraden zeigten sich hingegen beim Einsatz von Permanentmagnet-Motoren sowie bei der Optimierung von Pumpen-Laufrädern für höhere Drehzahlen.

### Neues Motorenkonzept

Synchronmotoren mit Permanentmagnet-Rotor erzielen sehr hohe Wirkungsgrade auch bei kleinsten Leistungen. Gegenüber dem bisher verwendeten Spaltrohr-Asynchronmotor ergeben sich besonders grosse Wirkungsgrad-Gewinne, weil Luftspalt- bzw. Spaltrohr-bedingte Verlustkomponenten beim Synchronmotor wegfallen. Solche Motoren benötigen eine elektronische Speisung, mit welcher die Drehzahl ohne Mehraufwand stufenlos steuerbar ist. Damit sind in Heizanlagen mit variablen Durchflüssen (z.B. durch Thermostatventile) zusätzliche Pumpenenergie-Einsparungen möglich.

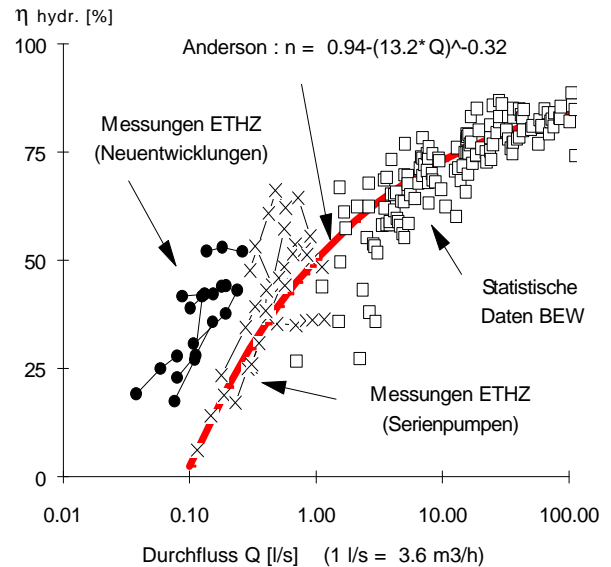
Im Labor für Elektromechanik und elektrische Maschinen der Eidg. Technischen Hochschule Lausanne (EPFL) wurden zwei für Kleinpumpen passende Motoren mit Computerprogrammen optimiert. Anschliessend konnte eine kleine Anzahl Motoren mit 5 und 10 Watt Wellenleistung samt elektronischen Speisegeräten gebaut werden. Zum Schutz der hochwertigen Magnete vor Korrosion wurden die Rotoren der Versuchsmotoren mit dünnem Edelstahlblech ummantelt (Bild 3). Bei den Labormessungen an der EPFL bestätigten sich die berechneten hohen Motorwirkungsgrade von über 80%. Für das ganze Antriebssystem mit Berücksichtigung der Elektronikverluste resultieren Werte von 60 bis 80%, je nach Motorbelastung und Drehzahl. Zum Vergleich: Die Wirkungsgrade herkömmlicher Kleinpumpen-Motoren gemäss Bild 2 liegen bei 27 bis 40%.

**Bild 3** Ummantelter Rotor auf Welle, "nackte" Rotoren sowie Stator eines Permanentmagnet-Motors mit 10 W Wellenleistung (Rotor-Durchmesser 23 mm)

### Lauftrad-Optimierung

Strömungstechnische Untersuchungen zum hydraulischen Wirkungsgrad sehr kleiner Umwälzpumpen liessen ebenfalls Möglichkeiten der Wirkungsgradverbesserung erhoffen. Auf experimenteller Basis wurden solche am Laboratorium für Strömungsmaschinen der ETH Zürich im Rahmen von Diplomarbeiten untersucht. Bewährte Lauftradgeometrien wurden von den Pumpenherstellern Bieri Pumpenbau AG und Rüttschi Pumpen AG auf die anvisierten kleineren Leistungen angepasst und mit CAD-Programmen gezeichnet. Dabei resultierten Lauftrad-Durchmesser von 20 bis 30 mm für Drehzahlen von 3000 bis 5000 U/min. Für die formgenaue Herstellung dieser kleinen Laufräder wurde erstmals eine Stereolithografie-Maschine eingesetzt. Diese neue Technologie erlaubt die computergeführte Herstellung komplexer Teile durch schichtweise Aushärtung des flüssigen Kunstharzes mittels Laserstrahl. Die Arbeiten wurden am Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik der ETHZ durchgeführt. So konnte eine kleine Anzahl Prototypenlaufräder für Wirkungsgradmessungen und Pumpentests stereolithografisch hergestellt werden.

Bei den Messungen am Labor für Strömungsmaschinen der ETH Zürich konnten tatsächlich Lauftrad-Wirkungsgrade bis gegen 60% gemessen werden. Damit liegen die neuen Laufräder, wie Bild 4 zeigt, deutlich über dem Bereich der gemäss "Anderson-Formel" [5] üblicherweise zu erwartenden Werte.



**Bild 4** Lauftrad-Wirkungsgrade von Kleinpumpen, zusammen mit Werten marktgängiger Pumpen und der empirischen "Anderson-Regression" [5]

### Pumpenherstellung und Messergebnisse

Die bereits einzeln geprüften Komponenten (Speisegeräte, Motoren, Laufräder) wurden mit den inzwischen gefertigten Wellen, Gehäuseteilen etc. zu fertigen Pumpen zusammengebaut (Bild 5).

**Bild 5** Geöffnete Pumpe mit 10 W Wellenleistung und 28 mm Laufrad.

Auf zwei Prüfständen (Bieri Pumpenbau AG und Rüttschi Pumpen AG) wurden Pumpen aus vier verschiedenen Kombinationen von Motoren und Laufrädern über einen grossen Drehzahlbereich gemessen. Die Resultate entsprachen den - nach den Einzelprüfungen hochgesteckten - Erwartungen. Im "Wirkungsgrad-Feld" herkömmlicher Pumpen nehmen sich die erreichten Wirkungsgrade sehr vorteilhaft aus (Bild 6). Diese Gesamtwirkungsgrade beziehen sich auf die Gleichstromleistung des Spei-

segerätes, sie berücksichtigen also den Eigenverbrauch der Steuer-Elektronik von im Mittel 3 Watt. Zukünftig soll dieser Eigenverbrauch noch deutlich vermindert werden können. Hingegen sind die Verluste des u.a. aus Sicherheitsgründen eingebauten Netztrafos in den Wirkungsgradangaben nicht berücksichtigt, weil die Speisegeräte nach einer weiteren Entwicklungsstufe ohne Netztrafo auskommen werden.

Bild 7 zeigt Kennlinien, Wirkungsgradverlauf und Leistungsaufnahme zweier Kombinationen der neuen Pumpen. Die Arbeitspunkte A, B, C entsprechen jenen von Tabelle 1. Mit den dargestellten Drehzahlen können offensichtlich wesentlich grössere Förderhöhen erbracht werden, wie sie z.B. für Gas-Kondensationskessel oft erforderlich sind. Bei kleineren Förderhöhen bzw. Drehzahlen nimmt der Wirkungsgrad dieser Pumpen ab.

### Perspektiven der Weiterentwicklung

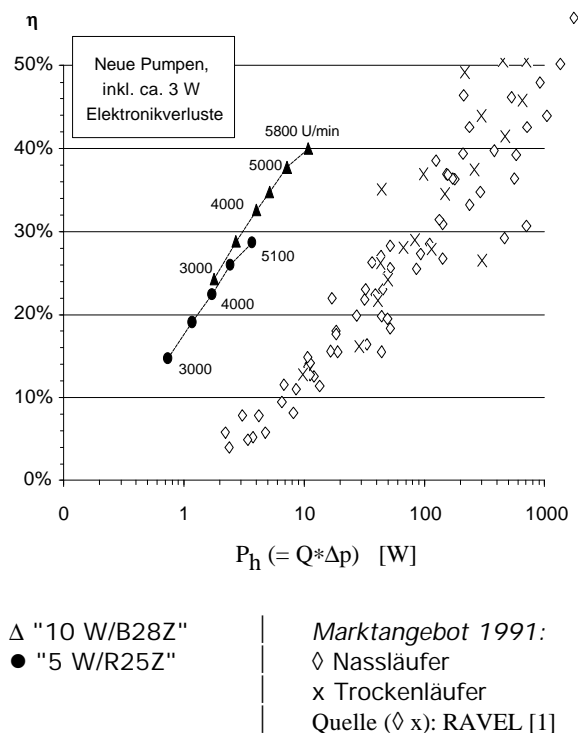
Um die neuen Motoren zur Serienreife zu bringen, müssen einerseits rationell herstellbare Statorblech-Formen bestimmt und die entsprechenden Werkzeuge gefertigt werden. Dies geschieht nicht anders als bei herkömmlichen Asynchronmotoren - nur sind die Bleche, mit z.B. 37 mm Aussendurchmesser

beim 5 W Motor, kleiner als gewohnt. Beim Rotor hingegen braucht es weder Bleche noch Käfig: Er besteht aus einem mehrpolig magnetisierten Ring, welcher zweckmässig auf der Welle zu befestigen ist. Noch abzuklären ist, nebst Magnetlieferant und Magnetisiervorrichtung, ein kostengünstiger Korrosionsschutz für den Magnetring.

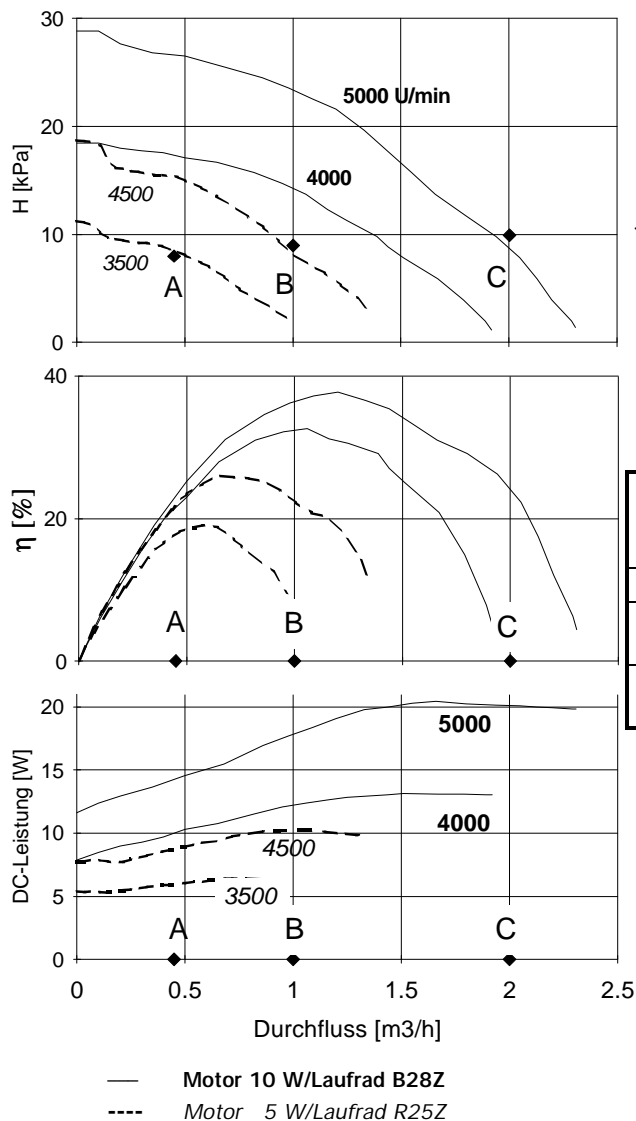
Mit den Versuchsmustern wurde ein labormässiges elektronisches Speisegerät eingesetzt, welches noch nicht in allen Teilen für die vorliegende Anwendung optimiert ist. Das zu entwickelnde Speisegerät wird viel kompakter sein - Ziel ist Unterbringung im Klemmenkasten der Pumpe - und kleinere Verluste aufweisen. Bereits in den Versuchsmustern bewährt ist die sensorlose Wicklungskommutation; sie erlaubt gegenüber üblichen Steuerungen Kosteneinsparungen. Gemäss modernen Pumpen-Regelungskonzepten wird eine automatische Förderhöhen-Regelung nach vorzugebender Kennlinie im Speisegerät integriert.

Die Pumpen-Laufräder können - nach den ermutigenden Erfahrungen - noch in Details verbessert werden und dürften in klassischer Kunststoff-Spritztechnik gefertigt werden. Weitere hydraulische Verbesserungen sind auch bei der Form des Pumpengehäuses (Spirale, Saugmund) und bei der Oberflächenqualität denkbar.

Als nächster Schritt in Richtung zum Serienprodukt wird der Praxiseinsatz einer grösseren Zahl der neuen Pumpen im Rahmen eines Pilotprojekts des Bundesamtes für Energiewirtschaft angestrebt. Damit können allfällige technische Probleme erkannt, Fertigungsmethoden erprobt und die Herstellkosten bei Grossserienfertigung besser beurteilt werden. Die Anwendung der neuen Technologien wird aber auch für etwas grössere Pumpen geprüft, da die Wirkungsgradverbesserung gegenüber dem Asynchronmotor bis zu elektrischen Leistungsaufnahmen von 1 kW sehr interessant scheint.



**Bild 6** Gesamtwirkungsgrade von Umwälzpumpen in Abhängigkeit der Umwälzleistung  $P_h$  ( $P_h = Q \cdot \Delta p$ )



**Bild 7** Kennlinien, Wirkungsgrad und Leistungsaufnahme (Gleichstrom) der Pumpen 10 W/B28Z und 5 W/R25Z, zusammen mit typischen Heizgruppen-Arbeitspunkten A, B, C (vgl. Tab. 1)

### Marktchancen neuer Kleinstpumpen

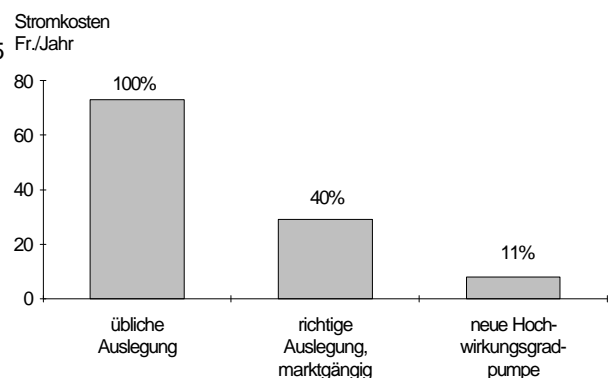
Die richtige Pumpenauslegung und die damit erreichbaren Stromeinsparungen sind in der Heizungsbranche - trotz RAVEL-Weiterbildungsangebot - erst ausnahmsweise ein Thema. Mit dem zunehmenden Angebot sogenannter "Units" (Heizautomaten) mit fertig installierter Pumpe scheint die Pumpenauslegung für Kleinanlagen schon gelöst zu sein - allerdings in der Regel mit enormer Ueberdimensionierung, um auch im ungünstigsten Einsatzfall noch "Reserve" zu haben. Ebenfalls aus Sicherheitsbedürfnis schalten Installateure die Unit-Pumpe meist auf höchste Drehzahl und bauen, zur

Vermeidung von Geräuschproblemen, oft zum vornherein ein Ueberströmventil ein. Die Stromverschwendung erreicht damit ein Maximum: Elektrische Pumpenleistungen von Units für Einfamilienhäuser liegen häufig über 100 W, mit resultierenden Stromkosten bis über 100 Franken pro Jahr. Bei einem Niedrigenergiehaus mit z.B. 500 Litern jährlichem Ölverbrauch kostet dann der Pumpenstrom bald gleichviel wie der Brennstoff...

Tabelle 2 und Bild 8 zeigen Stromverbrauch und Stromkosten einer Klein-Umwälzpumpe für Heizanlagen mit 10 bis ca. 30 kW Heizleistung, also für Ein- und kleinere Mehrfamilienhäuser.

	$P_{el}$ [W] (Mittelwert)	Stromverbrauch [kWh/J.]	Stromkosten* [Fr./J.]
Uebliche Auslegung	90	405	72.90
Richtige Auslegung, marktgängig	36	162	29.15
Neue Hochwirkungsgrad-Pumpe	10	45	8.10

**Tab. 2** Stromverbrauch und -kosten einer Kleinumwälzpumpe  
\* mittl. Strompreis 18 Rp/kWh



**Bild 8** Stromkosten einer üblich, einer richtig ausgelegten sowie einer Hochwirkungsgrad-Kleinumwälzpumpe

Zur Zeit beginnen sich Bauherrschaften und Betreiber, oft durch RAVEL-Aktionen bzw. durch die Medien aufmerksam geworden, zunehmend für ihre Heizungspumpen zu interessieren; schliesslich bezahlen sie die Stromkosten. Auch die Gesetzgeber interessieren sich für den richtigen Einsatz und für Wirkungsgrade von Heizungspumpen; so hat z.B. das Bundesamt für Energiewirtschaft in Zusammenarbeit mit der Pumpenbranche Wirkungsgrad-Zielwerte definiert. Der Pumpen-Stromverbrauch - und damit der Wirkungsgrad - könnte bald zu einem

werbewirksamen Argument bei Heizungsinstallationen werden.

## Literatur

- 1 Füglistner, E., Sigg, R.: Umwälzpumpen - Auslegung und Betriebsoptimierung  
RAVEL-Dokument EDMZ Nr. 724.330 D, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern 1991  
(Bezug: EDMZ, 3000 Bern)
- 2 Keller, L., Appelt, M.: Pompes de circulation - approche pragmatique pour diminuer la puissance installée et l'énergie consommée  
RAVEL-Material EDMZ Nr. 724.397.11.55 F, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern 1993
- 3 Sigg, R.: Stromsparschance Umwälzpumpe - ein Leitfaden für die Dimensionierung der Umwälzpumpe in kleinen und mittleren Heizanlagen  
RAVEL-Dokument EDMZ Nr. 330.99 D, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern 1994
- 4 Pfeleiderer/Petermann: Strömungsmaschinen  
Springer-Verlag, 6. Auflage, 1991
- 5 Anderson, H.H.: The economic aspect of pump efficiency  
Pumps for Progress, Fourth Technical Conference of the British Pump Manufacturers Association, Durham, 9.-10. April 1975

### Das Projektteam:

Jürg Nipkow (Projektleitung), ARENA, Zürich  
Prof. Marcel Jufer, LEME, EPFL, Lausanne  
Dr. Thomas Staubli, Institut für Energietechnik  
ETH, Zürich  
Wolfram Meyer, Bieri Pumpenbau AG,  
Münsingen BE  
Dr. E. Schmiedl und Bernhard Bikle,  
Rütschi Pumpen AG, Brugg AG

Der 80-seitige **Forschungsprojekt-Schlussbericht**  
"Klein-Umwälzpumpe mit hohem Wirkungsgrad"  
(BEW 1994) kann bezogen werden bei:  
ENET, Postfach 142, 3000 Bern 6