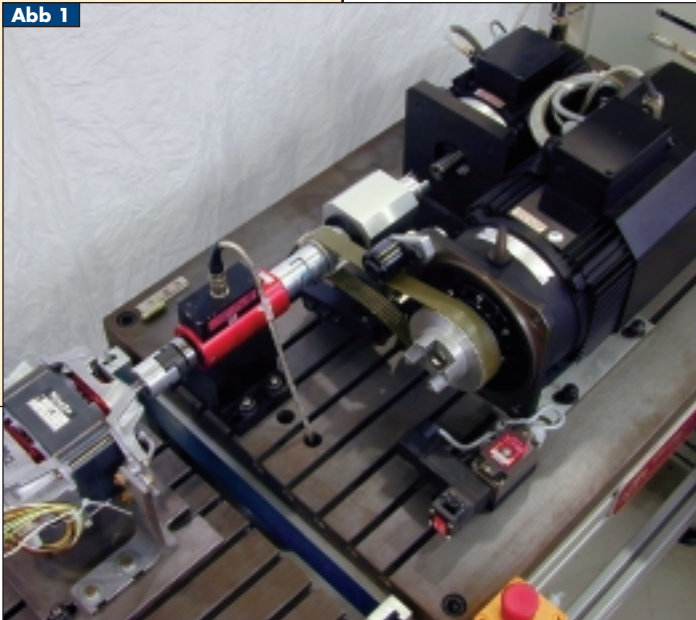




Elektrische Antriebe für Haushaltsgeräte

Abb 1



- ▶ Ein Drittel des Stromverbrauchs im Haushalt wird für Antriebe verwendet
- ▶ Mehr als 8 Milliarden Kilowattstunden jährliches Einsparpotential in Deutschland
- ▶ Größtes Einsparpotential bei Kühl- und Gefriergeräten sowie bei Umwälzpumpen in Heizungsanlagen

Antriebsprüfstand für elektrische Kleinantriebe

Für den Verbraucher wird der Energiebedarf von Haushaltsgeräten immer häufiger zu einem Kaufkriterium. Erleichtert wird die Wahl von Großgeräten durch die Klassifizierung nach ihrem Energieverbrauch mit dem gesetzlich vorgeschriebenen Eurolabel. Der Vergleich marktgängiger Modelle zeigt beträchtliche Verbrauchsunterschiede innerhalb der einzelnen Gerätegruppen.

Elektromotoren z. B. in Waschmaschinen, Staubsaugern oder Kühlschränken beanspruchen insgesamt rund ein Drittel der in deutschen Haushalten verbrauchten elektrischen Energie. Es ist daher erstaunlich, dass detaillierte Untersuchungen zur Energieeffizienz und zum Einsparpotential bei gebräuchlichen Antriebskonzepten in Haushaltsgeräten bisher weitgehend fehlten.

An der Technischen Universität München wurde, in einem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) geförderten Forschungsvorhaben, die energetische Effizienz von Kleinantrieben verschiedener Haushaltsgeräte im realen Betrieb messtechnisch untersucht. Durch Prüfstandversuche konnte das Betriebsverhalten der

eingesetzten Motortypen nachgebildet werden. Analysiert wurde, inwieweit sich durch Motorauswahl und –dimensionierung, durch Optimierung der Betriebsweise sowie durch Modifikation der elektrischen Schaltung Energie einsparen lässt.

Für die verschiedenen Gerätegruppen konnten zahlreiche Verbesserungsmöglichkeiten ermittelt werden, die zum Teil auch auf andere Antriebe in der Industrie und der gewerblichen Wirtschaft übertragbar sind. Viele der vorgeschlagenen Maßnahmen amortisieren sich in relativ kurzer Zeit, manche sind sogar nahezu kostenneutral zu verwirklichen.

Der gesamtwirtschaftliche Nutzen möglicher Maßnahmen wurde unter Berücksichtigung technischer und wirtschaftlicher Randbedingungen und Beschränkungen hochgerechnet. Basis der Studie waren statistische Daten zum Gerätebestand und Abschätzungen des Nutzerverhaltens. Das bundesweite Einsparpotential liegt demnach in der gleichen Größenordnung wie das der viel diskutierten Stand-by-Verluste.

► Analyse des Hausgerätesektors

Auf der Grundlage verschiedener Erhebungen wurde der Bestand an Haushaltsgeräten und deren Stromverbrauch ermittelt (Abb 2). Zum Kühlen und Gefrieren wird mit über 55% am meisten mechanische Energie aufgewendet. Rund ein Drittel entfällt auf die sehr heterogene Gruppe der Kleingeräte. Aus dieser Gerätegruppe wurde der Staubsauger in die Untersuchungen mit einbezogen, da er nach Verbreitung, Nutzungsdauer und Leistung erhebliche Anteile am Stromverbrauch dieser Gruppe hat.

Abb 2 Stromverbrauch, Gerätebestand und Marktsättigung verschiedener Gerätegruppen im Haushalt [1998]

Gerätegruppe	Stromverbrauch				Gerätebestand in Mio.	Markt-sättigung [%]
	Gesamt [GWh]	Anteil an Gesamt [%]	Für mechanische Energie [GWh]	Anteil an mecha-nischer Energie [%]		
Kühlschränke	11.814	9,0	11.814	27,5	44	118
Gefriergeräte	11.985	9,2	11.985	27,9	35	95
Waschmaschinen	4.849	3,7	970	2,2	35	94
Wäschetrockner	3.361	2,6	672	1,6	13	34
Geschirrspüler	3.351	2,6	670	1,6	16	44
Kleingeräte	23.992	18,4	14.395	33,5	35	95
Haustechnik, Versorgung	3.450	2,6	2.500	5,8		
Gesamt	130.450	48,1	43.006	100		

► Elektromotoren: Angebot und Optimierungsansätze

Für die einzelnen Gerätegruppen wurden exemplarisch gängige Modelle verschiedener Hersteller untersucht. Ermittelt wurde das technische Einsparpotential, bei dem der finanzielle Aufwand für die Maßnahme unberücksichtigt bleibt, sowie das wirtschaftliche Einsparpotential, bei dem der mögliche Mehraufwand durch die Energieeinsparung über die Lebensdauer des Gerätes mindestens kompensiert wird.

Untersucht wurden folgende Maßnahmen:

- Optimierung der Betriebsweise
- Wechsel des eingesetzten Motortyps oder -modells
- verbesserte Motordimensionierung
- veränderte Motorbeschaltung

Die Optimierung der Betriebsweise des Motors zielt in erster Linie auf die Verminderung von Leerlaufphasen. So ist bei den Laufzeiten von Laugenpumpen in Waschmaschinen ein deutlicher Sicherheitszuschlag zu erkennen. Bei einem der untersuchten Geräte könnte der Pumpenstrom um 90% reduziert werden. Eine mögliche Steuerung über Füllstandsensoren erscheint jedoch zu aufwändig.

Die Auswahl des Motortyps wird durch spezifische Anforderungen wie variable Drehzahl, Anlaufverhalten usw. eingeschränkt (Abb 3). Alle Hersteller haben aus

langjährigen Erfahrungen gleiche Lösungsansätze (in unterschiedlichen Ausführungen) entwickelt, so dass wenig Verbesserungspotential ermittelt werden konnte. Lediglich bei Kleinpumpen und Lüfterantrieben kann über den Ersatz der unsymmetrischen Spaltpolmotoren durch permanenterregte Synchronmotoren eine signifikante Senkung des Stromverbrauchs erreicht werden.

Motoren gleichen Typs weisen aber oft erhebliche Effizienzunterschiede auf. Abhängig von der Betriebsstundenzahl lassen sich mit der Auswahl des energetisch besten Motors die Betriebskosten deutlich senken.

Die Untersuchung der unterschiedlichen Geräte zeigt, dass zahlreiche Motoren im ungünstigen Teillastbetrieb laufen. Eine verbesserte Motordimensionierung bietet sehr gute Möglichkeiten zur Energieeinsparung. Abhängig vom Motortyp erzielt eine veränderte Motorschaltung oft große Effekte. Der Aufwand für zusätzliche Bauteile reicht von preiswerten Kondensatoren oder Gleichrichtern über Phasenanschnittsteuerungen, bis hin zu teuren Frequenzumrichtern.

■ Universalmotor

Hauptvorteil des Universalmotors ist die hohe, von der Netzfrequenz unabhängige, Drehzahl, die leicht über eine Phasenanschnittsteuerung verändert werden kann. Die Optimierungsmöglichkeiten unterscheiden sich je nach Einsatzgebiet. Bei den untersuchten Geräten mit hohen Motordrehzahlen liegt der Motorwirkungsgrad nahe dem Optimum. Für Staubsauger dürfte eine verbesserte Beschaltung daher lediglich Einsparpotentiale im Bereich von 5% erschließen.

Bei den Waschmaschinen lag die Drehzahl bei 450 U/min und damit unterhalb des Optimums für den Wirkungsgrad. Konstruktive Änderungen bei der Trommelübersetzung wären zwar möglich, wirken sich aber auch auf den Schleuderbetrieb aus. Sinnvoller erscheint eine Modifikation der Motorbeschaltung (Abb 4):

Der Einsatz eines Transformators verbessert den Wirkungsgrad vor allem im Bereich geringer Motorbelastung. Erhebliche Steigerungen erzielt man durch den Einbau eines Gleichrichters in Verbindung mit einer Phasenanschnittsteuerung. Beim gemeinsamen Einsatz von Transformator und Gleichrichter erreicht der Trommelantriebsmotor im Waschbetrieb einen Spit-

Abb 3 Eigenschaften und Einsatzbereiche der untersuchten Motortypen

Motor	Leistungs-bereich	Wirkungs-grad	Drehzahl-bereich	Vorteile	Nachteile	Einsatzbereiche
Universal-motor	bis ca. 2.000 W	45-70% je nach Ausführung	Variabel bis 40.000 U/min	Hohes Anlaufmoment, hohe erreichbare Drehzahlen, variable Drehzahl	Hoher Herstellungsaufwand, Verschleiß (Kohlebürsten), Funkentstörung notwendig	Waschmaschinen (Drehzahlvariation waschen – schleudern), Staubsauger (hohe Drehzahl)
Kondensator-motor	30 bis über 1.000 W	Stark anwendungs-abhängig 35-70%	Schlupfab-hängig 2.100-2.900 U/min	Robust, wartungsarm, hoher Wirkungsgrad, geringe Drehzahlvarianz bei Belastung, gutes Anlaufdrehmoment bei entsprechender Kondensatordimensionierung	Hoher Schaltungsaufwand für Optimierung des Anlaufverhaltens und Wirkungsgrades (Doppelkondensatormotor)	Drehzahlkonstante Anwendungen: Pumpen, Lüfter, Rasenmäher, Kompressorantrieb in Kühlgeräten
Permanenterregter Synchronmotor	4-30 W	45-60%	Netzsynchro 3.000 U/min	Robust, hoher Wirkungsgrad	Schlechtes Anlaufverhalten	kleine Pumpenantriebe (Laugenpumpen in Waschmaschinen und Geschirrspülern)
Unsymmetrischer Spaltpolmotor	Bis 100 W	Maximal 25%	Bis 3.000 U/min	Kostengünstig	Sehr geringer Wirkungsgrad	kleine Pumpenantriebe (Laugenpumpen in Waschmaschinen und Geschirrspülern)
Symmetrischer Spaltpolmotor	100 – 300 W	Bis 40%	Bis 3.000 U/min	Kostengünstig	Geringer Wirkungsgrad	Lüfterantriebe, Wäscheschleudern, Dunstabzugshauben

zenwirkungsgrad von 40%. In der Praxis ist ein Stelltransformator jedoch nicht realisierbar. Die Umsetzung mittels elektronischer Pulsweitenmodulation ist heute noch teuren Markengeräten vorbehalten, könnte aber bei weiter fallenden Preisen für Elektronik in Zukunft eine Standardlösung darstellen.

Mit Kosten von weniger als 3 € bietet der Einsatz eines Brückengleichrichters heute die günstigste Möglichkeit, den Wirkungsgrad insbesondere bei Geräten mit niedrigen Motordrehzahlen zu verbessern. Trotz dieser geringen Kosten wird diese Lösung bisher nur in wenigen Trommelantrieben von Waschmaschinen realisiert.

■ Kondensatormotor

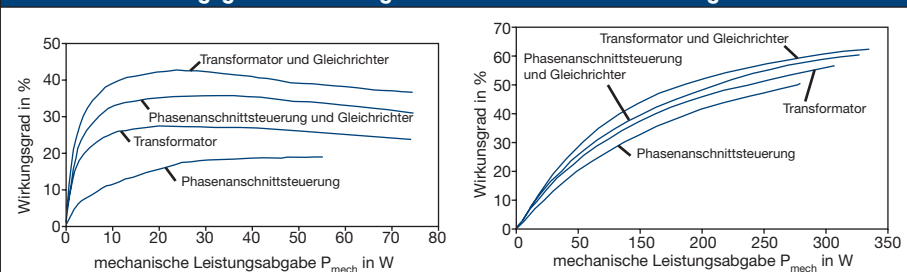
Der robuste und wartungsarme Kondensatormotor eignet sich insbesondere für drehzahlkonstante Anwendungen, z.B. leistungsstarke Pumpenantriebe, Trommel- und Lüfterantriebe von Wäschetrocknern und insbesondere für Kompressorantriebe in Kühl- und Gefriergeräten. Bei dem Einphasen-Asynchronmotor wird das Drehfeld über eine Hilfswicklung erzeugt, die mit einem zusätzlichen Element – in der Regel einem Kondensator – zur Phasenverschiebung versehen ist (Abb 5). Die Kondensatordimensionierung muss als Kompromiss zwischen optimiertem Wirkungsgrad und maximiertem Anlaufmoment erfolgen. Bei den untersuchten Kühl- und Gefriergeräten war der Hilfszweig als Anlaufschaltung ausgelegt, d. h. er wird nach dem Anlaufvorgang abgeschaltet und der Motor im Einphasenbetrieb betrieben. Trotz dieser Betriebsweise erreichen die Motoren hohe Wirkungsgrade von 60-70%, da die Verlustwärme über den Kühlkreis abgeführt wird.

Der Wirkungsgrad kann durch den Einsatz eines Betriebskondensators noch gesteigert werden (Abb 6).

Bei den untersuchten Trocknerantrieben war die Kondensatorkapazität auf den optimalen Wirkungsgrad ausgelegt. Jedoch sind die Motoren erheblich überdimensioniert, so dass der Betrieb weit im Teillastbereich liegt.

Kondensatormotoren werden auch in Heizungspumpen eingesetzt. Aufgrund der hohen Betriebsstundenzahlen kommt dem Motorwirkungsgrad dabei besondere Be-

Abb 4 Wirkungsgradkennlinien eines Universalmotors über der abgegebenen Leistung für unterschiedliche Ansteuerungsformen



deutung zu. Der Motorwirkungsgrad der untersuchten Pumpe wies selbst im optimalen Betrieb einen für Kondensatormotoren sehr schlechten Wirkungsgrad von 35% auf. Dies ist auf die Ausführung als sogenannter Nassläufer zurückzuführen, bei der sich die beweglichen Teile, also auch der Läufer, im Fördermedium befinden. Die Kapselung gegenüber dem Strom führenden Stator übernimmt ein Spaltrohr aus nichtmagnetisierbarem Edelstahl. Durch dieses Konstruktionsmerkmal ist ein relativ großer effizienz mindernder Spalt zwischen Läufer und Stator bauarttypisch. „Trockenläufer“ als alternative Bauformen finden aber wenig Akzeptanz, da sie lauter und wartungsintensiver sind.

■ Spaltpolmotor

Konstruktionsbedingt weisen Spaltpolmotoren einen geringen Wirkungsgrad auf und sollten allenfalls für Anwendungen mit sehr geringen Laufzeiten eingesetzt werden. Als Pumpenantrieb in Großgeräten sind sie heute weitgehend von den permanenterregten Synchronmotoren verdrängt worden.

■ Permanenterregter Synchronmotor

Der permanenterregte Synchronmotor wird insbesondere in kleinen Pumpen eingesetzt, z.B. Laugenpumpen in Waschmaschinen und Geschirrspülern. In Zukunft dürften neu entwickelte, hocheffiziente Heizungspumpen in „Nassläufer“-Bauart rasch Marktanteile gewinnen.

Die in den untersuchten Geräten eingebauten Fabrikate wiesen sehr große Qualitätsunterschiede auf. Die gemessenen Spitzenwirkungsgrade lagen zwischen 45 und 65%. Offensichtlich gibt es bei den Herstellern einen Zwiespalt zwischen einfacher und kostengünstiger Auslegung und der

Abb 5 Verschaltung eines Kondensatormotors mit Betriebskondensator

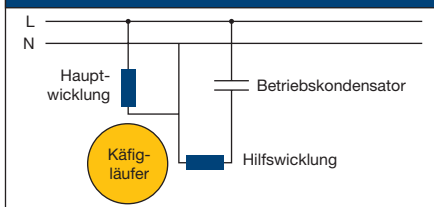


Abb 6 Wirkungsgradkennlinien bei Variation der Kondensatorkapazität im Hilfskreis eines Kühlaggregatantriebe

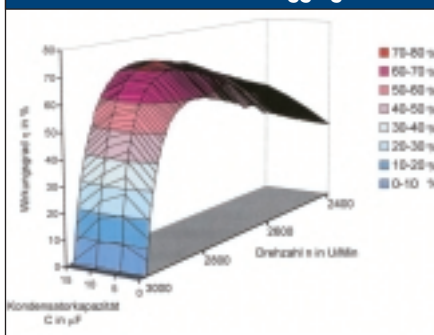
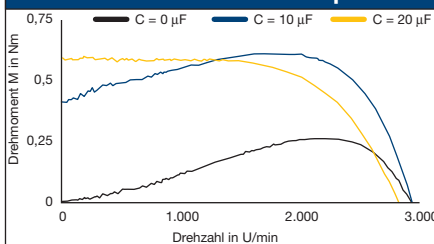


Abb 7 Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie eines Kondensatormotors bei Variation der Kondensatorkapazität



energetischen Optimierung der Motoren. Die Motoren sind zum Teil so vorsichtig ausgelegt, dass die günstigen Spitzenwirkungsgrade des Motors im extremen Teillastbetrieb weit verfehlt wurden.

► Antriebsoptimierung bei Kühl- und Gefriergeräten

Diese Gerätegruppe weist vor allem aufgrund ihrer hohen Betriebsstundenzahlen das bei weitem größte Einsparpotential auf.

Die als Antriebe für Kühl- und Gefriergeräte eingesetzten Einphasen-Asynchronmotoren mit Hilfswicklung erreichen mit 60 bis über 70% den besten Spitzenwirkungsgrad der Untersuchung. Der Motorwirkungsgrad lässt sich mit einer Betriebskondensatorschaltung geringfügig um durchschnittlich 5-10% verbessern.

Die Komponenten von Kühl- und Gefriergeräten sind in hohem Maße standardisiert. Zum Teil finden sich in Kühlschränken die gleichen Kompressoraggregate wie in Gefrierschränken. Hieraus resultieren zwangsläufig mehr oder minder große Fehlanpassungen. So reichen die Betriebspunkte der untersuchten Gefriergeräte nahe an den maximalen Motorwirkungsgrad heran. In Kühlschränken liegen die Nutzungsgrade bei lediglich 25 - 45%.

Bei den Kühl- und Gefriergeräten sind die Antriebe standardisiert und zum Teil von Fremdanbietern zugekauft. Hier würde ein Abweichen von der Großserie Mehrkosten verursachen. Die Anpassung des Kältekreislaufs an den eingesetzten Standardkompressor stellt den günstigeren Weg dar, einen geringen Stromverbrauch zu erreichen.

► Fazit

Bei der Konzeption von Haushaltsgeräten sollte die Energieeffizienz gleichrangig zu anderen Entwicklungszielen wie Funktionalität, Anschaffungskosten, Zuverlässigkeit und der Einsatzmöglichkeit von Standardkomponenten behandelt werden. Die hier vorgestellten Untersuchungen zeigen, dass sowohl unter technischen als auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten erhebliche Einsparmöglichkeiten bei den elektromotorischen Antrieben der Geräte vorhanden sind. Allein in Deutschland liegt das wirtschaftliche Einsparpotential bei rund 8,2 Milliarden Kilowattstunden jährlich. Dies entspricht dem Stromverbrauch von fast 2 Millionen 4-Personen-Haushalten.

Je nach Gerätetyp kann ein Großteil der Effizienzsteigerungen nahezu kostenneutral, etwa durch angepasste Dimensionierung der Antriebe oder Optimierung der Betriebsweise, erreicht werden. Auch der zusätzliche Einbau von elektrischen Komponenten ist in vielen Fällen wenig aufwändig. So lässt sich z.B. der Motorwirkungsgrad einiger Waschmaschinenmodelle im Waschbetrieb durch den Einbau eines Gleichrichters nahezu verdoppeln. Die zusätzlichen Bauteilkosten betragen dabei weniger als 3 €. Andere Maßnahmen, wie z.B. die pulsweitenmodulierte Spannungsstellung, sind derzeit nur bei hochwertigen Geräten zu realisieren.

Zwei Drittel des Einsparpotentials entfällt auf die Gruppe der Kühl- und Gefriergeräte. Die häufig vorgefundene Fehlanpassung von Motor und Kompressoreinheit ist auf die hohe Standardisierung der Bauteile zurückzuführen. In ungünstigen Fällen wurden bei einem Spitzenwirkungsgrad des eingesetzten Kondensatormotors von 70% im realen Lastbetrieb lediglich 25% gemessen.

Für Umwälzpumpen der Haustechnik wurde ein Einsparpotential von mehr als 200 Millionen Kilowattstunden jährlich ermittelt. Neue Baureihen auf Basis permanenterregter Synchronmotoren halbieren den Strombedarf gegenüber den bisher eingesetzten Pumpen.

Auch in der Motortechnik sind Effizienzsteigerungen möglich. Ein Motornutzungsgrad von 80% sollte keine unerreichbare Grenze mehr darstellen.

In einem freiwilligen Abkommen mit der EU hat der Motoren-Herstellerverband CEMP die Einteilung der Motoren in drei Wirkungsgradklassen (EFF1 – EFF3) und die Reduzierung des Marktanteiles von EFF3 Motoren um 50% bis zum Jahr 2003 zugesagt.

Viele der aufgezeigten Maßnahmen dürften auch in Industrie und Gewerbe umzusetzen sein, denn zwei Drittel des industriellen Strombedarfs werden von Motoren verbraucht. Eine Studie des Zentralverbandes der Elektrotechnik und Elektronikindustrie (ZVEI) benennt hier ein Einsparpotential von rund 20 Milliarden Kilowattstunden jährlich in Deutschland.

► PROJEKTADRESSE

- Technische Universität München
Lehrstuhl für Energiewirtschaft
und Anwendungstechnik
Prof. Dr.-Ing. U. Wagner
Arcisstr. 21
80333 München

► ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

Literatur

- Langgassner, W.; Hellwig, M; Geiger, B.
(Technische Universität München.
Lehrstuhl für Energiewirtschaft und
Anwendungstechnik): Energieeffizienz von
elektrischen Antrieben für Haushaltsgeräte.
Endbericht zum Forschungsvorhaben
0327224. Juli 2001.
- Langgassner, W.: Energieeffizienz
elektrischer Antriebe in Haushaltsgeräten.
Herrsching: Energie- und Management-
Verl.-Ges., 2001. ISBN 3-933-283-25-6.
IFE-Schriftenreihe, H. 45.

Service

- Ergänzende Informationen wie Literatur,
Adressen, Ansprechpartner, Bilder und
Grafiken sind unter www.bine.info,
„Service/Infoplus“ abrufbar.

PROJEKTORGANISATION

■ Förderung

Bundesministerium für Wirtschaft und
Technologie (BMWi)
Willemöbler Str. 76
53123 Bonn

Projektträger Jülich (PTJ) des BMWi
Forschungszentrum Jülich GmbH
Dr. Claus Börner
52425 Jülich

■ Förderkennzeichen

0327224

IMPRESSUM

■ ISSN

0937 – 8367

■ Herausgeber

Fachinformationszentrum Karlsruhe,
Gesellschaft für wissenschaftlich-technische
Information mbH
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

■ Nachdruck

Nachdruck des Textes nur zulässig bei
vollständiger Quellenangabe und gegen
Zusendung eines Belegexemplares;
Nachdruck der Abbildungen nur mit
Zustimmung der jeweils Berechtigten.

■ Redaktion

Dr. Franz Meyer

BINE – INFORMATIONEN UND IDEN ZU ENERGIE & UMWELT

BINE ist ein vom Bundesministerium für
Wirtschaft und Technologie geförderter
Informationsdienst.

BINE informiert über neue Energie-
techniken und deren Anwendung in
Wohnungsbau, Industrie, Gewerbe und
Kommunen.

BINE bietet Ihnen folgende
kostenfreie Informationsreihen

- Projekt-Infos
- Profi-Infos
- basisEnergie

Nehmen Sie mit uns Kontakt auf,

wenn Sie vertiefende Informationen,
spezielle Auskünfte, Adressen etc.
benötigen, oder wenn Sie allgemeine
Informationen über neue Energietechni-
ken wünschen



BINE

Informationsdienst

Fachinformationszentrum Karlsruhe
Büro Bonn
Mechenstr. 57
53129 Bonn

Fon: 0228 / 9 23 79-0
Fax: 0228 / 9 23 79-29

eMail: bine@fiz-karlsruhe.de
Internet: www.bine.info