

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT
- Umweltverträgliche Produkte, Umweltzeichen -

Forschungsbericht 299 95 315 / 02
UBA-FB 000f207



**Machbarkeitsstudie für
neue Umweltzeichen für
die Produktgruppe:
Kleine
Blockheizkraftwerk-Module**

von

Dipl.-Ing. Esther Hoffmann
Dipl.-Ing. Oec. Bernd Hirschl

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) gGmbH

unter Mitarbeit von

Cand.-Ing. Judith Kaliske

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) gGmbH

Dipl.-Ing. Irina Reese
Thorsten Grimpe

Hamburg Gas Consult (HGC) GmbH

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Zusammenfassung der Ergebnisse der Machbarkeitsstudie Umweltzeichen für Kleine Blockheizkraftwerk-Module

Die Machbarkeitsstudie behandelt die Frage, ob ein Umweltzeichen für kleine BHKW-Module gerechtfertigt ist, und welche Anforderungen diese im Vergabefall erfüllen sollten. Die Studie wurde im Auftrag des Umweltbundesamtes im Rahmen des Umweltforschungsplanes (Förderungskennzeichen 299 95 315/02) erstellt und mit Bundesmitteln finanziert. Die Untersuchung wurde in Anlehnung an die ISO 14024 (Environmental labels and declarations – Type I environmental labelling – Principles and procedures) durchgeführt.

Blockheizkraftwerke (BHKW) leisten eine dezentrale, gekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung und können bevorzugt in der Wohnungswirtschaft, in privaten Gebäuden, im gewerblichen und industriellen Bereich, für öffentliche Einrichtungen, Schwimmbäder, Krankenhäuser oder Schulen eingesetzt werden. Die neuere Entwicklung geht dabei bis hin zur Versorgung von kleineren Gebäuden bzw. Einfamilienhäusern.

Die wesentliche vorteilhafte und ökologisch relevante Eigenschaft von BHKW ist ihre im Vergleich zu konventionellen Heizungsanlagen energieeffiziente Arbeitsweise. Daher liegen die Schwerpunkte der Umweltbewertung auf dem Energieverbrauch und den Emissionen. Neben motorischen BHKW umfasste die Untersuchung auch Brennstoffzellen für die stationäre Energieversorgung, die sich jedoch derzeit noch in einer Feldtest- und Erprobungsphase befinden.

Motorische Klein-BHKW

Im Rahmen der Untersuchung wurde zunächst eine umfassende Marktanalyse durchgeführt. Hierzu wurden bei zahlreichen Herstellern Verkaufszahlen und aktuelle Trends erhoben. Diese wurden durch eine Befragung von Verbänden und anderen relevanten Institutionen ergänzt.

Der Markt für BHKW ist in hohem Maße von politischen Rahmenbedingungen beeinflusst, wodurch sich im Jahr 1999 eine starke Veränderung gegenüber den Vorjahren ergeben hat. Als hemmend haben sich hier insbesondere die durch die Strommarktliberalisierung gesunkenen Strompreise ausgewirkt. Dies führte bei vielen Herstellern zu deutlichen Umsatzeinbußen. Positiv wirken hingegen die mit der Ökosteuer verbundene Befreiung von Gas-, Strom- und Mineralölsteuer unter bestimmten Bedingungen.

Die Marktanalyse ergab, dass im Leistungsbereich bis 100 kW_{el} Anfang 2000 ca. 5.000 bis 6.000 BHKW installiert waren, wovon ca. 4.000 auf den Bereich kleiner 10 kW_{el} entfielen. 1999 wurden mindestens 1.500 Neuanlagen im Leistungsbereich bis 100 kW_{el} in Betrieb genommen, für das Jahr 2000 kann in etwa die gleiche Größenordnung angenommen werden. Eindeutiger Marktführer im kleinen Leistungsbereich ist die Firma SenerTec, Schweinfurt, die seit 1997 BHKW mit einer elektrischen Leistung von 5 bis 5,5 kW anbietet, und seitdem jährlich mehr als 1000 Anlagen abgesetzt hat.

Die BHKW im Leistungsbereich bis 100 kW_{el} werden zu ca. 60% mit gasförmigen Brennstoffen und zu ca. 40% mit flüssigen Brennstoffen betrieben. Hierbei werden für die gasförmigen

Brennstoffe Gas-Otto-Motoren und für die flüssigen Dieselmotoren verwendet. Als Brennstoffe werden überwiegend Erdgas und leichtes Heizöl eingesetzt. Sonderbrennstoffe wie Flüssig-, Klär-, Deponie-, Biogas, Pflanzenöl oder Pflanzenölmethylester nehmen eine Randstellung ein. Durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz sind im Bereich der regenerativen Brennstoffe (Klär-, Deponie-, Biogas, Pflanzenöle) Zunahmen zu erwarten.

Auf Basis der Marktanalyse wurden BHKW-Module mit Gas-Otto-Motoren und mit Dieselmotoren für die weitere Untersuchung ausgewählt. Für diese wurde erneut eine umfangreiche Herstellerbefragung durchgeführt, um Umwelteigenschaften der BHKW-Module zu ermitteln. Die Befragung umfasste:

- Wirkungsgrade bei Teillast und Volllast,
- Emissionsminderungsmaßnahmen und Katalysatorstandzeiten,
- Emissionen von CO, NO_x, SO₂, CH₄, VOC und Staub,
- Schallemissionen und Maßnahmen zur Schalldämmung,
- Verbrauchsmaterialien,
- Laufzeit und Wartung,
- Recyclinggerechte Konstruktion,
- Entsorgung der BHKW.

Die Befragung lieferte eine umfassende Datenbasis und verdeutlichte, dass zwischen den BHKW-Modulen erhebliche Unterschiede hinsichtlich der ökologischen Qualität bestehen. Dies betrifft insbesondere die Wirkungsgrade, die Schadstoffemissionen und die Schallemissionen. Die Gesamtwirkungsgrade liegen durchschnittlich bei 90% (Gas-BHKW-Module) und 88% (Diesel-BHKW-Module). Bei den elektrischen Wirkungsgraden schneiden die Diesel-BHKW mit durchschnittlich 34% besser ab als die Gas-BHKW mit 30%. Obwohl die TA Luft für BHKW (beim Einsatz von Erdgas und Heizöl EL) erst ab einer Feuerungswärmeleistung von 1 MW gilt, wird sie in der Praxis auch für kleinere BHKW als Orientierungswert herangezogen. Der überwiegende Teil der untersuchten BHKW kann die Emissionswerte der TA Luft (Stand 1986) einhalten, Ausnahmen bilden einige Diesel-BHKW. Bei den Gas-BHKW erreicht mehr als die Hälfte Werte unterhalb des halben TA Luft-Wertes.

Zur Beurteilung der BHKW-Module wurde an einem fiktiven Versorgungsbeispiel (Mehrfamilienhaus) ein Systemvergleich zwischen vier verschiedenen kleinen BHKW (zwei Gas-, zwei Diesel-BHKW), einer Gas- und einer Ölheizung durchgeführt. Die BHKW erhielten für den parallel zur Wärme erzeugten Strom eine Stromgutschrift, die sowohl auf Basis des aktuellen Kraftwerksmixes, auf Basis von Steinkohlekraftwerken als auch mit modernen GuD-Kraftwerken ermittelt wurde.

Der Systemvergleich verdeutlicht, dass BHKW in einigen Bereichen ökologische Vorteile gegenüber modernen Heizkesseln aufweisen. Besonders deutlich zeigen sich die Vorteile in Bezug auf den Primärenergieverbrauch und den CO₂-Ausstoß. Hier weisen alle BHKW auch unter Berücksichtigung verschiedener Stromgutschriften Reduktionen auf. Bei einer Stromgutschrift auf Basis des deutschen Kraftwerksmixes sparen die untersuchten Gas-BHKW im Vergleich zu einem modernen Gaskessel durchschnittlich 42% Primärenergie und 46% CO₂

ein. Die Diesel-BHKW verursachen im Vergleich zu Ölheizkesseln 46% weniger Primärenergieverbrauch und 29% weniger CO₂-Emissionen. Der Systemvergleich zeigt außerdem, dass von den untersuchten BHKW in Bezug auf CO- und NO_x-Emissionen nur jeweils eins der Gas-BHKW ökologisch vorteilhafter ist als die betrachteten Heizkessel. Die Emissionen der übrigen BHKW übersteigen die der betrachteten Vergleichskessel deutlich. Die Emissionswerte der vorteilhaften BHKW liegen dabei jeweils weit unter dem Durchschnitt der in der Herstellerbefragung erhobenen Werte, bei einem Bruchteil der TA Luft Werte. Aufgrund der unterschiedlichen Technik (Verbrennungsmotor versus atmosphärische Verbrennung) und der unterschiedlichen Arbeitstemperaturen können an Heizungen und BHKW jedoch nicht die gleichen Anforderungen hinsichtlich der Schadstoffemissionen gestellt werden.

Durch die deutlichen Reduktionen sowohl beim Primärenergieverbrauch als auch bei den CO₂-Emissionen können BHKW einen wichtigen Beitrag zur Klimaschutzstrategie leisten. Die Vergabe eines Umweltzeichens an BHKW ist somit sinnvoll.

Auf Basis der umfangreichen Herstellerdaten wurde jeweils ein Vorschlag für Vergabegrundlagen für Gas-BHKW-Module und Diesel-BHKW-Module entwickelt. Diese wurden im Rahmen eines Fachgespräches mit Herstellern und Verbänden diskutiert. Das Vorhaben wurde von den anwesenden Herstellern mit großem Interesse aufgenommen, sie signalisierten darüber hinaus ein deutliches Interesse an der weiteren Beteiligung bis zur endgültigen Verabschiedung des Umweltzeichens. Unter Berücksichtigung der Stellungnahmen der Hersteller und Verbände wurden die Vorschläge für Vergabegrundlagen überarbeitet und werden mit dem Endbericht dem Umweltbundesamt zur Umsetzung empfohlen.

Empfohlen wird die Vergabe des Umweltzeichens mit der Umschrift „Umweltzeichen ... weil energieeffizient“. Die vorgeschlagenen Vergabegrundlagen umfassen Anforderungen an:

- Richtlinienkonformität,
- Rationelle Energienutzung (Elektrischer und Gesamtwirkungsgrad bei Nennlast und Teillast, Angabe des Hilfsstrombedarfes),
- Emissionswerte von CO, NO_x, Staub und organischen Stoffen,
- Schallemissionen,
- Angebot von Wartungsverträgen,
- Rücknahmeverpflichtung,
- Anforderungen an die Bedienungsanleitung.

Die formulierten Anforderungen werden von etwa 10% der in der Herstellerbefragung berücksichtigten Gas-BHKW-Module erfüllt. Weitere 30% verfehlen die Anforderungen knapp. Hier kann das Umweltzeichen einen Anreiz für technische Verbesserungen liefern. Von den Diesel-BHKW-Modulen erfüllt bislang keines die vorgeschlagenen Kriterien. Dies liegt vor allem an den strengen Emissionsgrenzwerten. Nur ein Diesel-BHKW-Modul erreicht Emissionswerte, die in etwa den geforderten entsprechen. Hier bleibt abzuwarten, ob sich durch die TA Luft Novelle ein Entwicklungsschub ergeben wird.

Brennstoffzellen

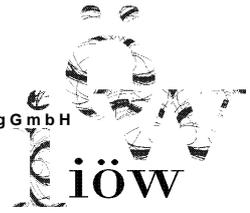
Brennstoffzellen basieren auf einem vollständig anderen technischen Prinzip, sind aber ebenfalls zur Kraft-Wärme-Kopplung im stationären Bereich für ähnliche Anwendungen wie motorische BHKW geeignet. Ihnen wird zukünftig ein großes Potenzial zugesprochen. Im Rahmen der Untersuchung wurde geprüft, inwieweit sie heute schon relevant sind und in die Entwicklung eines Umweltzeichens einbezogen werden sollten. Die Anlagen ermöglichen im Vergleich zu motorischen BHKW eine stärkere Absenkung des Leistungsbereiches und können so zu einer weiteren Dezentralisierung der Energieversorgung beitragen.

Brennstoffzellen können nach dem verwendeten Elektrolyten in sechs verschiedene Typen unterschieden werden. Für den stationären Einsatz im kleinen Leistungsbereich laufen derzeit Entwicklungsvorhaben und Feldversuche von zwei deutschen (in Kooperation mit amerikanischen Unternehmen) und einer schweizerischen Firma. Hierbei handelt es sich um oxidkeramische Brennstoffzellen (SOFC) und Polymermembranbrennstoffzellen (PEFC). Die Markteinführung der Geräte ist in den Jahren 2003 bis 2004 geplant. Die Anlagen werden für den Einsatz in Einfamilien- und Mehrfamilienhäusern entwickelt. Die Versorgung der Mehrfamilienhäuser wird wahrscheinlich von Geräten mit integriertem Spitzenkessel erfolgen.

Da die Anlagen zur Zeit noch in Feldversuchen laufen, ist von den Herstellern noch nicht ausreichend Datenmaterial für eine detaillierte Auswertung zur Verfügung gestellt worden. In den nächsten Jahren wird es in diesem Bereich eine starke Entwicklung geben, sodass es sinnvoll ist, in zwei bis drei Jahren eine detaillierte Übersicht über die Produkte zu geben.

Zum jetzigen Zeitpunkt kann festgestellt werden, dass sich Brennstoffzellen im Vergleich zu Motor-BHKW durch einen höheren elektrischen Wirkungsgrad, bessere Teillastfähigkeit und höhere Stromkennzahlen auszeichnen. Insbesondere durch die flexibleren Einsatzmöglichkeiten ermöglichen sie gegenüber BHKW eine noch effizientere Primärenergieausnutzung und CO₂-Einsparung. Auch hinsichtlich sonstiger Schadstoffemissionen sind sie gegenüber BHKW ökologisch vorteilhaft. Dies gilt insbesondere für die direkten Emissionen, aber auch unter Berücksichtigung der Brennstoffvorketten.

Brennstoffzellen weisen damit deutliche ökologische Vorteile gegenüber Heizkesseln und Motor-BHKW auf. Sie stellen zukünftig eine bedeutende Alternative zu motorischen BHKW dar, an die dementsprechend strengere Umweltaforderungen zu stellen sind. Die Formulierung von Anforderungen ist vor dem Hintergrund des derzeitigen Entwicklungsstandes und der aktuellen Datenlage noch nicht möglich. Nach der Markteinführung sollten hier entsprechende Kriterien entwickelt werden.



Plan of Environmental Research of the Federal Ministry for the Environment

Research and Development Project No.: 299 95 315 / 02

Feasibility Study for New Ecolabels within the Product Group:

Small Cogeneration Plant Modules

Summary

Authors:

Dipl.-Ing. Esther Hoffmann, Dipl.-Ing. oec. Bernd Hirschl

Institute for Ecological Economy Research

(Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (iÖW) gGmbH)

with assistance from

Cand.-Ing. Judith Kaliske

Institute for Ecological Economy Research

(Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (iÖW) gGmbH)

Dipl.-Ing. Irina Reese, Thorsten Grimpe

Hamburg Gas Consult (HGC) GmbH

Commissioned by the Federal Environmental Agency

Berlin, March 2001

Summary

Feasibility Study for New Ecolabels within the Product Group: Small Cogeneration Plant Modules

This feasibility study deals with the question whether an ecolabel for small cogeneration plant modules is suitable and which requirements should be fulfilled in the case of certification. The study was commissioned by the federal environmental agency and was conducted within the scope of the environmental research plan and was financed by federal funds (project promotion no. 299 95 315/02). The study was carried out according to the principles as laid down by ISO 14024 (Environmental labels and declarations – Type I environmental labelling – Principles and procedures).

Cogeneration plants (CHP plants) generate power and heat simultaneously in a decentralised way and can be applied predominantly in the residential housing sector, private buildings, business and industrial sector, public institutions, swimming pools, hospitals and schools. Newer developments even apply to the supply of smaller buildings resp. one-family houses.

In comparison to conventional heating plants, CHP plants have advantages and ecologically relevant features with regard to their energy efficient way of operation; therefore, the ecological assessment is focussed on energy consumption and emissions. Beside cogeneration plants powered by engines, fuel cells for stationary application were also analysed. However, stationary fuel cells are still in the development process and merely prototypes exist. Hence, the availability of data is limited.

Engine-powered Small Cogeneration Plants

Within the scope of the study, a comprehensive market research was first carried out. In this context, data about sales figures and recent trends within the market segment was collected from numerous manufactures. This data was further complemented by information provided by associations and other relevant institutions in this field.

The market segment of cogeneration is influenced to large extent by the political framework, resulting in a strong change compared to previous years in 1999. The falling power prices triggered by deregulation of the energy market had an especially negative impact. This led to turnover losses for many manufacturers. Positive impulses were arising from the eco-tax-related liberation of taxes on gas, power, and mineral oil.

At the beginning of 2000 about 5,000 to 6,000 plants were installed in Germany within the performance range up to 100 kW_{el}, according to our market analysis. Approximately 4,000 plants belonged to the power range below 10 kW_{el}. At least 1,500 plants started their operation in 1999 within the performance range until 100 kW_{el}; about the same scale can be assumed for the year 2000. The dominant market leader in the smaller performance area is the company SenerTec, Schweinfurt, which has been offering CHP plants with a performance of 5 to 5.5 kW since 1997 and has sold more than 1000 plants annually since then.

About 60% of the cogeneration plants within the performance range up to 100 kW_{el} are operated with gaseous fuels whereas approx. 40% are operated with liquid fuels. Gas-Otto engines are used with gaseous fuels and diesel engines with liquid fuels. Predominantly natural gas and diesel are used as fuels in this field. Special fuels such as liquid gas, sewage gas, landfill gas, biogas, plant oil, and plant-oil-methyl-ester only play a minor role. As a result of the renewable energy law however, one can expect increases in the field of renewables (sewage gas, landfill gas, biogas, plant oils).

On the basis of the market analysis, cogeneration plants with Gas-Otto engines as well as diesel engines were selected for the study. Another comprehensive manufacturer survey was conducted in order to determine the ecological characteristics of the cogeneration plant modules. The survey included:

- efficiency factors at partial and full load,
- measures of emission reduction,
- emissions of CO, NO_x, SO₂, CH₄, VOC, and dust,
- sound emissions and silencing measures,
- working materials,
- service Life and Maintenance,
- construction for recyclability,
- disposal of the cogeneration plants.

The survey supplied a broad data basis and demonstrated that there were significant differences with respect to the ecological quality between the cogeneration plant modules; this especially refers to the efficiency factors, pollutant emissions and sound emissions. On average, the overall efficiency factors of the plants are 90% (gas modules) and 88% (diesel modules). As far as the electrical efficiency factors are concerned diesel plants show better results (34%) in comparison to gas cogeneration plants (30%). Although the German regulation with regard to air-pollutant emissions, TA Luft, only applies to cogeneration plants with a combustion performance of 1 MW onwards, it is also used as a yardstick for smaller cogeneration plants. The predominant portion of investigated cogeneration plants are able to fulfil the limits demanded by TA Luft (1986) with the only exception being some diesel plants. In the field of the gas cogeneration plants, the majority even achieve values below ½ TA Luft.

In order to assess the cogeneration plants, a system comparison between four different small cogeneration plants (two gas and two diesel plants), one gas, and one oil heating plant was carried out within the scope of a supply example (a multiple family dwelling). The cogeneration plants received a power credit for cogenerated power, which was determined both on the basis of the current power plant mix, on the basis of coal-fired power plants and from modern CCGT power plants.

As the system comparison made clear, cogeneration plants have some ecological advantages compared to modern heating boilers. This is clearly shown with respect to the consumption of primary energy and CO₂ emissions. All cogeneration plants lead to reductions in this regard with different power credits taken into account. Assuming a power credit calculated on the basis of the prevailing

German power plant mix at present, the observed gas cogeneration plants save 42% of primary energy and 46% of CO₂ on average when compared to a modern gas boiler. Diesel cogeneration plants on the other hand cause a 46% lower consumption of primary energy and 29% less CO₂ emissions than oil-fired heating boilers. Furthermore, the system comparison showed that only one of the observed cogeneration plants shows better results than the observed boiler equivalent with regard to emissions of CO and NO_x. The emissions of the remaining cogeneration plants clearly exceed the boiler values. The emission values of the advantageous CHP plants are far below the averages of the manufacturer survey at a fraction of the limits demanded by TA Luft. Due to the different technology (combustion engine versus atmospheric combustion) as well as the different operating temperatures, it is not possible to specify the same requirements for cogeneration plants and heating plants with regard to pollutant emissions. Because of the clear reductions of both the consumption of primary energy and CO₂ emissions, cogeneration plants can make an essential contribution to the strategy of climate protection. The introduction of an ecolabel for cogeneration plants is therefore suitable.

Drawing from the information provided by the manufacturers a specific proposal for certification principles was developed for gas cogeneration plant modules and for diesel modules. Within the scope of an expert talk, a discussion of these proposed criteria took place at which manufacturers and business associations participated. The project was met with large interest on behalf of the participating companies; they also showed a clear interest in co-operation until the final passing of the ecolabel. Taking the statements of the participants into account, the proposals for the certification principles were improved and along with the final report were recommended for implementation by the federal environmental agency.

The introduction of the ecolabel with the transcription „Ecolabel ... because energy-efficient“ is recommended. The proposed catalogue of certification criteria comprises requirements with regard to:

- Compliance with directives,
- Efficient energy use (Electrical and overall efficiency at nominal load and partial load, statement of the supplementary electrical consumption),
- Emission values of CO, NO_x, dust, and organic substances,
- Sound emissions,
- Offer of maintenance contracts,
- Taking back obligations,
- Requirements on the instruction manual.

The formulated criteria are fulfilled by approx. 10% of the gas cogeneration plant modules which were analysed in our survey. 30% almost fulfil the requirements. For that reason, the ecolabel can serve as an incentive to accelerate technological improvements. As far as diesel modules are concerned, none of the plants is currently fulfilling the recommended requirements for an ecolabel, traceable back to the strict emission levels. Only one diesel cogeneration plant module achieves values which roughly correspond to the demanded limits. In this context, one still has to wait to see whether the amended regulation on air-pollutant emissions, TA Luft, will result in a push in development.

Fuel Cells

Fuel cells are based on a completely different technological concept but they are also appropriate for combined heat and power production and in stationary applications they can be used similarly to engine-powered cogeneration plants. A large future potential for this technology is currently expected. Within the scope of this study the relevance of fuel cells at this time was examined and whether they should be included in the development of an ecolabel.

Depending on the electrolyte, fuel cells can be distinguished into six different types. As far as the stationary application in smaller performance ranges is concerned, development projects and field studies by two German companies (in co-operation with American companies) and a Swiss company are currently taking place. The fuel cells applied are solid oxide fuel cells (SOFC) and polymer electrolyte fuel cells (PEFC). The market entry of the products is targeted for 2003-2004. These types of plants are developed and designed for the supply of one-family houses and multiple family dwellings. Supply to multiple family dwelling will probably be accomplished by devices equipped with an integrated supplementary boiler to cover peak loads. In contrast to engine-powered counterparts, the plants named above are suitable for smaller performance ranges and can therefore contribute to a further decentralisation of the energy supply.

Since the plants are still being tested in field studies at the moment, the manufacturers could not supply sufficient data for a more detailed evaluation yet. In the next few years, a strong development in this technology sector can be assumed; therefore it makes sense to give a detailed overview of the products in two to three years.

At the moment one can state that fuel cells have a higher electrical efficiency, better behaviour at partial load and higher power-to-heat ratios than engine-powered cogeneration plants. Especially due to their flexible possibilities of application, they enable an even more efficient use of primary energy and CO₂ reductions than conventionally powered cogeneration plants. When other types of emissions are looked at, ecological advantages can also be detected. This applies particularly to the direct emissions but also when the earlier stages of the fuel production are taken into account.

Fuel cells therefore show clear ecological advantages compared to heating boilers and engine-powered cogeneration plants. In the future they will constitute a significant alternative to engine-powered cogeneration versions; correspondingly, stricter ecological requirements are called for. In view of the current state of development and the recent data situation, a formulation of criteria is not possible at present. After market introduction, corresponding criteria in this context should be developed.