

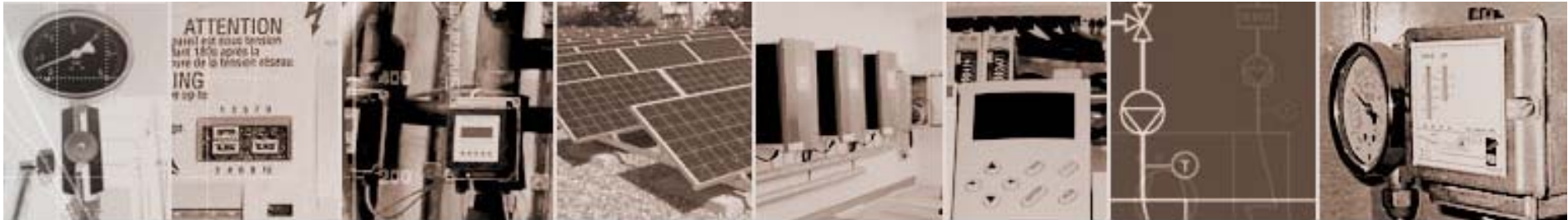


Stadtwerke Essen AG essenz – Fachtagung am 16. September 2008

Wirtschaftlichkeit von Blockheizkraftwerken

Mark Lehnertz, Dipl. Ing. (FH)
Lazarettstr. 3,
88250 Weingarten
Tel.: 0751/189 70 57-12
lehnertz@enerquinn.de





enerquinn GmbH

Wir

- sind Experten in den Bereichen Photovoltaik und Kraft-Wärme Kopplung.
- entwickeln Konzepte zur effizienten Verwendung von Energie.
- arbeiten an Lösungen für eine nachhaltige Energieversorgung von Gebäuden.
- sind spezialisiert auf alle Fragen rund um die Themen Energie- und Messtechnik.

In Anlehnung an VDI 2067 „Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen“.
Vergleich der Jahreskosten (Annuitätenmethode) Verschiedener Varianten bzgl.

- **Kapitalgebundene Kosten**
(Zins und Tilgung der Investitionen, Nutzungsdauer nach VDI 2067)
- **Verbrauchsgebundene Kosten**
(Brennstoff- und Hilfsenergiekosten, Verbrauch und Tarife)
- **Betriebsgebundene Kosten**
(Wartung, Instandsetzung, Bedienung, Verwaltung, etc. nach VDI 2067)
- **Sonstige Kosten**
(Gemeinkosten für Schornsteinfegerkosten, Steuer und Versicherung)

Alternativ werden häufig Kosten und Erlöse gegenübergestellt

So rechnet sich eine KWK-Anlage

- + Durch Eigenerzeugung eingesparte Strombezugskosten und KWK-Bonus
- + Erlöse durch Stromverkauf ins öffentliche Netz und KWK-Bonus
- + Erstattung der Mineralölsteuer
- + Eingesparter Brennstoff im Heizkessel (Wärmegutschrift)
- Brennstoffkosten der KWK-Anlage
- Kosten für Instandhaltung

= Betriebsergebnis pro Jahr

dann entweder bei Eigenfinanzierung:

dividiert durch die Investitionskosten der Anlage

= Amortisationszeit in Jahren

oder aber bei Fremdfinanzierung:

minus Kapitalkosten pro Jahr

= jährlicher Gewinn (oder Verlust)



Zur Berechnung der kapitalgebundenen Kosten ist die Ermittlung der Investitionskosten der einzelnen Anlagenteile notwendig. Daneben beeinflusst die Wahl der Abschreibungsdauer wie auch die Wahl des zugrunde zu legenden Zinsfußes die Höhe der kapitalgebundenen Kosten wesentlich.

Bei den Investitionskosten für das BHKW sind folgende Anlagenteile zu berücksichtigen:

- Investitionskosten des eigentlichen BHKW-Moduls
- heizungstechnischen Einbindung des BHKW
- Abgasanlage für das BHKW
- Pufferspeicher
- elektrische Einbindung des BHKW
- bauliche Maßnahmen (z.B. Fundamente)
- Kosten für den Heizraum
- evtl. Heizöllager oder Gastank
- Nebenkosten wie Planung, Genehmigung u.ä.,

Investitionsvergleich für kleine BHKW's



Otto - Motoren

Elektrische Leistung in kW	5,5	15,2	50
Thermische Leistung in kW	12,5	30	92
Benstoffverbrauch in kW	20,5	50	156
Netto-Investition inkl. Einbindung in €	20.000,- bis 25.000,-	38.000,- bis 44.000,-	80.000,- bis 100.000,-

Diesel - Motoren

Elektrische Leistung in kW	5,3	17	50
Thermische Leistung in kW	10,5	26	63
Benstoffverbrauch in kW	17,9	48	135
Netto-Investition inkl. Einbindung in €	22.000,- bis 28.000,-	40.000,- bis 46.000,-	90.000,- bis 110.000,-

Verbrauchsgebundene Kosten

Bei den verbrauchsgebundenen Kosten sind zu berücksichtigen:

- Brennstoffkosten
- Hilfsenergiekosten

Zu beachten sind:

- Einkaufsbedingungen,
- Lieferverträge und Tarife
- verbrauchte Mengen,
- Leistungspreis und Arbeitspreis
- Preissteigerungen

Und alle Prognosen sind sich darin einig, dass die Energiepreise weiter steigen werden.

Das kommt Effizienztechnologien wie der KWK zugute.

Denn je teurer Energie wird, desto günstiger wird es, sie durch effiziente Technik einzusparen.



Unter diese Kosten fallen:

- Instandhaltungskosten
- Wartungskosten, evtl. Wartungsvertrag
- Personalkosten
- sowie ggf. Reserveleistungskosten



Instandhaltungskosten lassen sich pauschal nach VDI 2067 in Prozent der Investitionskosten kalkulieren, wofür diese Norm auch Anhaltswerte gibt. Dieses Vorgehen eignet sich insbesondere für die baulichen Anlagen, die Heizungstechnik und den Spitzenkessel.

Für das BHKW selbst ist es zu empfehlen mit dessen Hersteller einen Vollwartungsvertrag abzuschließen, der zu einem festen Kostensatz je produzierter kWh eine umfassende Wartung bietet.

Vollwartungsverträge haben den Vorteil einer guten Kalkulierbarkeit. Weiterhin wird dem Betreiber das technische Risiko des BHKW-Betriebs abgenommen.

Die Richtlinie VDI 4680 gibt Planern, Betreibern, Herstellern und Dienstleistern Empfehlungen für die inhaltliche Gestaltung von Service-Verträgen für Blockheizkraftwerke .

Teilwartung:

- Teile der Wartungsarbeiten werden vom Betriebspersonal übernommen
- Beliebiger Leistungsumfang vereinbar
- Regelwartungen laut Wartungsplan
- Hersteller übernimmt komplizierte Arbeiten
- Ersatzteile sind meist nicht enthalten
- Maschinenbruchversicherung ist nicht enthalten

Vollwartung:

- Sämtliche Wartungen und Reparaturen mit sämtlichen Ersatzteilen und Hilfsstoffen werden übernommen
- Maschinenbruch-Ersatzgarantie ist abgedeckt
- Größte finanzielle und technische Sicherheit



Spezifische Vollwartungskosten von BHKW-Anlagen:

Elektrischeleistung In kW	Vollwartungspreis in ct/kWh _(el)
5	2,5 – 3,5
20 – 50	2,0 – 3,0
50 – 200	1,3 – 2,0

Wartungsaufwendungen für Dieselmotoren sind in der Regel höher als für Gas Otto-Motoren

- Nutzungsdauer: (Betriebsstunden)
- VDI gibt 15 Jahre an, dies entspricht recht gut dem Durchschnittswert
 - Gesamtbetriebsstunden bis zur Überholung liegen zwischen 30.000 und 50.000 h (je Motorgröße)
 - BHKW mit großer Takthäufigkeit weisen geringere Nutzungszeiten bis zur Revision und Gesamtbetriebsstunden auf

- Generalüberholung:
- Nach 6 – 10 Jahren oder ca. 40.000 Betriebsstunden muss der Motor i.d.R. generalüberholt werden
 - Generalüberholungen kosten ca. 20 – 25% des Modulpreises
 - nach der Überholung kann das Aggregat weitere 5 bis 10 Jahre betrieben werden

Begriffsdefinition:

Wirkungsgrad:
Verhältnis Output (Strom und Wärme) zu Input (Brennstoff und Strom) über einen kurzen Zeitraum im idealen Betriebspunkt

Nutzungsgrad:
Verhältnis Output (Strom und Wärme) zu Input (Brennstoff und Strom) über einen langen Zeitraum inklusive Start-, Stop-, Auskühlverluste, etc.

Elektrischer Wirkungsgrad:
Verhältnis Strom-Output zu Input im idealen Betriebspunkt

Thermischer Wirkungsgrad:
Verhältnis Wärme-Output zu Input im idealen Betriebspunkt

Stromkennzahl:
Verhältnis Strom- zu Wärme-Erzeugung

Verfügbarkeit:
Prozentualer Anteil der Betriebsbereitschaft Des BHKW in Bezug auf die möglichen Betriebszeiten.



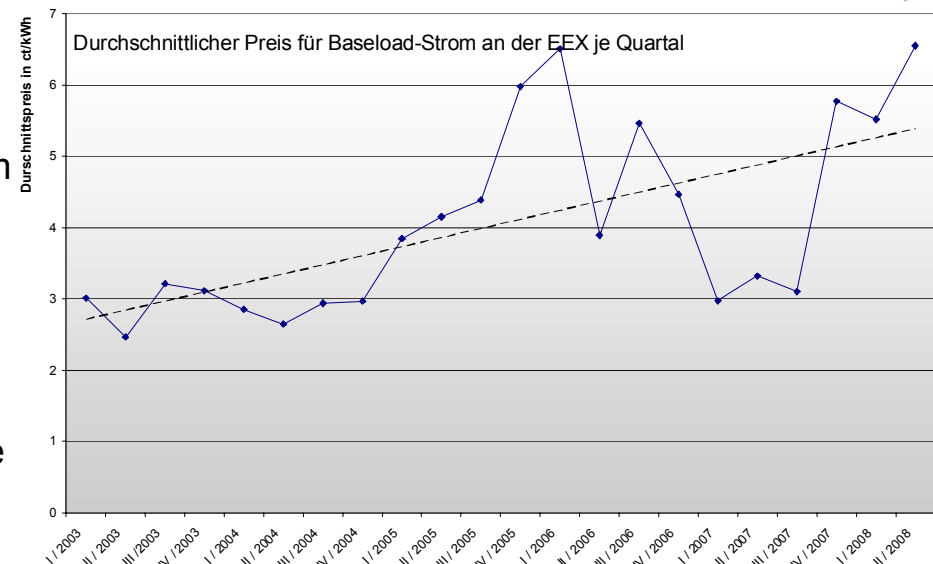
Alter Kessel	Erdgas-Brennwertkessel	
Energieeinsatz	Energieeinsatz (bei Systemtemperatur 40/30 °C)	
	+11 %	+11 %
Heizwert H _i	100 %	100 %
	11 %	8 %
100 %	108 %	3 %
		Kondensationswärme
86 %	106 %	3 %
		nicht nutzbare Kondensationswärme
64 %	104 %	2 %
		Abgasverluste
		2 %
		Oberflächenverluste
Nutzungsgrad	Nutzungsgrad	

Vergütungsübersicht gemäß KWK-Gesetz



1. Grundvergütung (üblicher Preis)

„Als üblicher Preis gilt der durchschnittliche Preis für Baseload-Strom an der Strombörse EEX in Leipzig im jeweils vorangegangenen Quartal.“



2. Zusatzvergütung für vermiedene Netznutzung

§ 4 bs. 3 Satz 2 KWK-Gesetz

„...zuzüglich dem Netznutzungsentgelt, das durch die dezentrale Einspeisung der KWK-Anlage vermieden wird.“

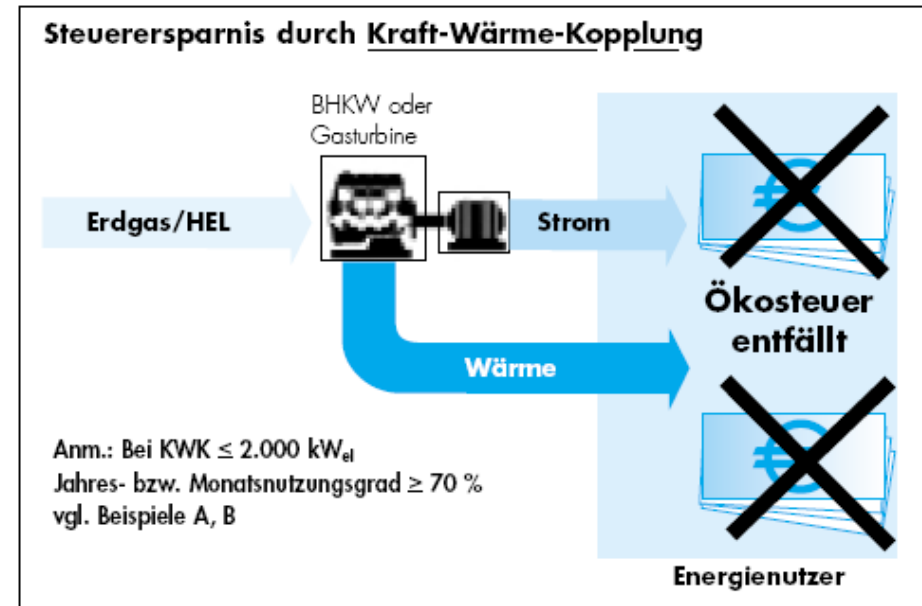
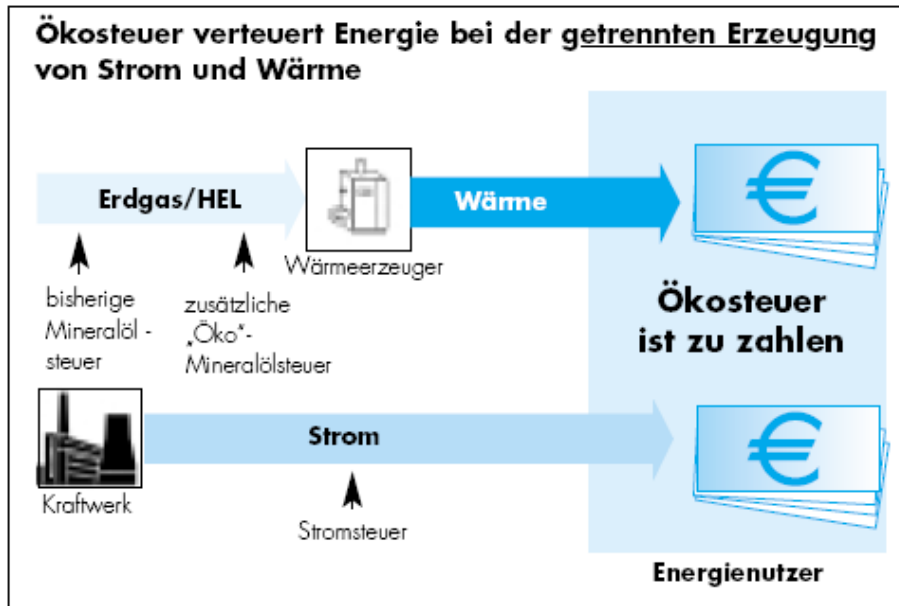
3. Gesetzlicher Zuschlag laut KWK - Gesetz

Das KWK-Gesetz

„Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung“, in Kraft getreten am 1. April 2002

Anlagenkategorie \ Vergütungsjahr	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
alte Bestandsanlagen (Aufnahme Dauerbetrieb bis 31.12.1989)	1,53	1,53	1,38	1,38	0,97	---	---	---	---
neue Bestandsanlagen (Aufnahme Dauerbetrieb 01.01.1990 - 31.03.2002)	1,53	1,53	1,38	1,38	1,23	1,23	0,82	0,56	---
modernisierte Bestandsanlagen (Aufnahme Dauerbetrieb 01.04.2002 - 31.12.2005)	1,74	1,74	1,74	1,69	1,69	1,64	1,64	1,59	1,59
kleine KWK-Anlagen bis 2 MW_{el} (Zubau) (Aufnahme Dauerbetrieb ab 01.04.2002)	2,56	2,56	2,40	2,40	2,25	2,25	2,10	2,10	1,94
kleine KWK-Anlagen bis 50 kW_{el} (Zubau) (Aufnahme Dauerbetrieb ab 01.04.2002)	5,11 für 10 Jahre, wenn Dauerbetrieb bis 31.12.2008 aufgenommen wurde								
Brennstoffzellen-Anlagen (Zubau) (Aufnahme Dauerbetrieb ab 01.04.2002)	5,11 für 10 Jahre ab Aufnahme des Dauerbetriebs								

„Ökologische Steuerreform“ - Vorteil für die KWK



Anlagen mit einem Jahres- bzw. Monatsnutzungsgrad von mindestens 70 % sind von der Mineralölsteuer befreit (0,55 Ct/kWh (Ho) bei Erdgas).

Stromeigenerzeugung aus Anlagen mit einer elektrischen Leistung bis zu 2.000 kW ist von der Stromsteuer befreit.

Bei den derzeitigen Strom- und Brennstoffpreisen und der aktuellen Gesetzeslage ergibt sich für die Betriebsweise eines BHKW's in Gebäuden folgende Priorisierung:

Höchste Priorität hat der Eigenverbrauch des produzierten Stroms bei gleichzeitigem Verbrauch oder bei Speicherung der erzeugten Wärme.

Zweithöchste Priorität hat der Bezug von Strom aus dem Netz und die Deckung des Wärmebedarfes aus einem Speicher.

Mittlere Priorität hat die Einspeisung von Strom in das Netz bei gleichzeitigem Verbrauch der erzeugten Wärme.

Niedrigste Priorität hat die Einspeisung von Strom in das Netz bei gleichzeitiger Speicherung der erzeugten Wärme.

Aufgrund des schwankenden Strom- und Wärmebedarfes in Wohngebäuden stellt die obige Abgrenzung lediglich eine grobe Richtschnur dar. Wesentlich ist jedoch, dass eine übermäßige Einspeisung von Strom bei gleichzeitig geringem Wärmebedarf zu vermeiden ist, während der tatsächliche Eigenverbrauch von Strom und Wärme absoluten Vorrang haben muss.

- hoher Grundwärmebedarf (Warmwasser, Brauchwasser, Proßesswasser, etc.)
- Gleichzeitiger und gleichmäßiger Strom- und Wärmebedarf
- eine hohe Eigennutzung des bereitgestellten Stroms(>75%) kann die Wirtschaftlichkeit erheblich verbessern
- zukünftige Energieeinsparungen durch Wärmedämmung, etc. sollten in der Planung mit berücksichtigt werden,
- Steigender oder sinkender Wärmebedarf durch Nutzungsänderungen sollten mit bedacht werden

Realisierbare Wirtschaftlichkeitserwartung von Mini-BHKW:

- Hotels, Hallenbäder, Prozesswärme 4 bis 6 Jahre Refinanzierungszeit
- Altenwohnheime, Krankenhäuser 5 bis 8 Jahre Refinanzierungszeit
- Mehrfamilienhäuser, Wohnanlagen 7 bis 10 Jahre Refinanzierungszeit



Wirtschaftlichkeitsprognose für 1 BHKW

Typ: XRGi 15G-TO von EC-Power

Projekt: Hotel Beispiel

1. Jahresenergiebedarf

Gas: 350.000 kWh
Strom: 120.000 kWh

0,85 Kesselnutzungsgrad

Brennwert [Ho] = 11,64 kWh/m³
Verh. Ho/Hu = 1,11

2. Kosten Gas, Strom und Wartung

Gaspreis:	5 ct/kWh(Ho)	(Arbeitspreis + Mineralölsteuer)
Strombezug:	13 ct/kWh	(Arbeitspreis + EEG + KWK + Ökosteuern)
Verkauf:	11 ct/kWh	(EEX Preis + KWK-Bonus + Netznutzungsentgelt)
Wartung	2,9 ct/kWhel	(Vollwartungsvertrag Laufzeit 10 Jahre)

Projektspezifische Daten und Fakten erfassen:

- Energieverbrauch, Kesseldaten, Warmwasserbedarf, Heizwärmebedarf, Wärmedämmstandart, Prozesswärme, etc.
- Brennstoffkosten, Stromkosten, Arbeits- u. Leistungspreis, Einspeisevergütung, Zuschläge, Wartungskosten, etc.



3. BHKW Daten und Auslegung

$P_{el} = 15,0$ kW

$P_{th} = 30,0$ kW

$P_{gas} = 50,0$ kW(Hu)

65% Eigenstromverbrauch

70% BHKW Wärmedeckungsgrad

0,90 BHKW Jahresnutzungsgrad

4. BHKW Laufzeit

Jahreswärmebedarf des Gebäudes = 268.018 kWh/a

Wärmedeckung durch das BHKW = 187.613 kWh/a

BHKW Vollbenutzungsstunden = 6.254 h/a

- Wärmebedarf des Gebäudes berechnen, [Gasverbrauch (Hu) X Kesselnutzungsgrad]
- BHKW – Typ Vorauswahl, Leistungsdaten ermitteln,
- BHKW Wärmedeckungsgrad aufgrund der Gegebenheiten abschätzen,
- hoher Warmwasserbedarf, schlechter Wärmedämmstandard, Betriebsferien, Auslastung, etc
- BHKW Wärmedeckungsanteil berechnen
- BHKW Laufzeit berechnen

Beispiel einer Wirtschaftlichkeitsberechnung

5. Gasverbrauch und Kosten

6.254	h/a	X	55,5 kW(Ho)	=	347.083 kWh/a	Gasverbrauch (Ho)
347.083	kWh/a	X	5 ct/kWh	=	17.354 €/a	Gaskosten
347.083	kWh/a	X	0,55 ct/kWh	=	-1.909 €/a	(Mineralölsteuer)
					<hr/>	
					15.445 €/a	→ -15.445 €/a

6. Stromproduktion und Erlöse

6.254	h/a	X	15,0 kW	=	93.806 kWh/a	Stromproduktion
85% Eigenverbrauch:						
79.735	kWh/a	X	13 ct/kWh	=	10.366 €/a	Wert = Strombezugskosten
79.735	kWh/a	X	5,11 ct/kWh	=	4.074 €/a	KWK-Bonus Eigenstromverbrauch
15% Stromrückspeisung:						
14.071	kWh/a	X	11 ct/kWh	=	1.548 €/a	EEX Preis + KWK-Bonus + Netznut.geld
					<hr/>	
					15.988 €/a	→ 15.988 €/a

- Brennstoffbedarf und Kosten des BHKW berechnen, (Achtung: Nutzungsgrad, Wirkungsgrad, Gasverbrauch (Ho))
- Mineralölsteuererstattung berücksichtigen
- Stromproduktion des BHKW berechnen, (Spitzenstromverdrängung kann Leistungspreiskosten einsparen)
- Eigenstromnutzungsanteil abschätzen, (Grund-, Spitzenlast, BHKW-Laufzeit, Stromführung, Leistungsmodulation, etc.)
- KWK-Bonus auf selbstgenutzten und eingespeisten Strom berücksichtigen
- Vergütung für eingespeisten Strom ermitteln (EEX Preis +KWK-Bonus + Netznutzungsengeld)

7. Wärmeproduktion und Preis

$$6.254 \text{ h/a} \times 30 \text{ kW} = 187.613 \text{ kWh/a} \text{ Wärmrproduktion}$$

ein Heizkessel (Nutzungsgrad = 0,85) benötigt zur Erzeugung dieser Wärme

$$187.613 \text{ kWh/a} / 0,85 \times (\text{Ho}/\text{Hu}) = 245.000 \text{ kWh/a Gas (Ho)}$$

$$245.000 \text{ kWh/a} \times 5 \text{ ct/kWh} = 12.250 \text{ €/a} \rightarrow 12.250 \text{ €/a}$$

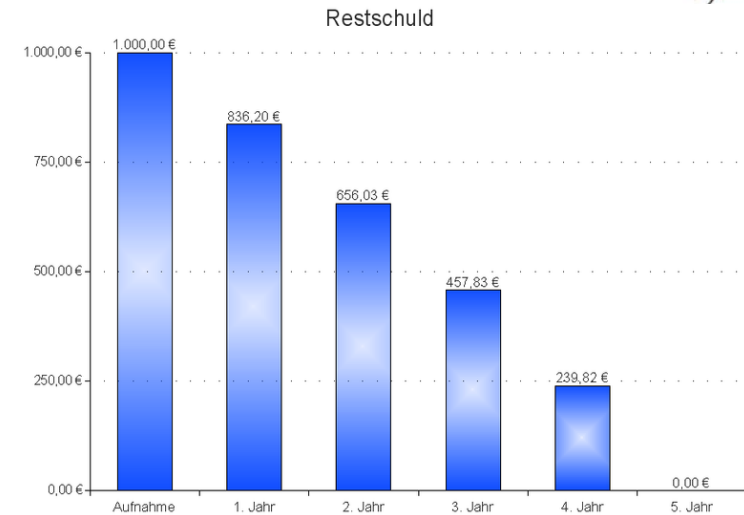
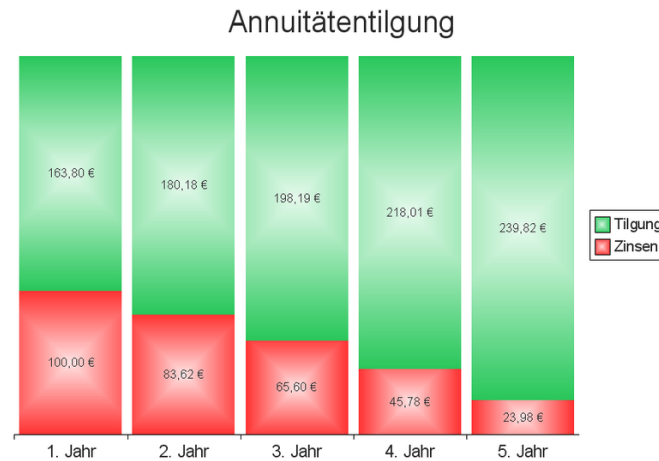
8. Vollwartungsvertrag (10 Jahre)

$$93.806 \text{ kWh/a} \times 2,90 \text{ ct/kWhel} = 2.720 \text{ €/a} \rightarrow -2.720 \text{ €/a}$$

- Wärmeproduktion des BHKW berechnen,
- Gutschrift für erzeugte Wärme berechnen,
- vergleich mit Wärmebereitstellungskosten des vorhandenen Kessels,
- berücksichtigen Gasverbrauch (Hu), Gaskosten, Abrechnung, Gaspreis in ct/kWh(Ho)
- BHKW Wartungskosten berücksichtigen, Vollwartungsvertrag ansetzen
- Der Vollwartungsvertrag übernimmt das volle Risiko, Rückstellungen, etc. sind bereits enthalten,

Beispiel einer Wirtschaftlichkeitsberechnung

$$R = S_0 \cdot \frac{i \cdot (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$$



9. Kapitalkosten nur BHKW-Spezifische Investitionen

Investition :	45.000 €	Förderung :	9.625 €	Bafa-Förderung
Darlehn :	35.375 €	Laufzeit :	10,0 a	
Zins:	4,00 %	Annuität:	4.361 €/a	→

-4.361 €/a

- Investitionskosten abschätzen, Fördermöglichkeiten, Zuschüsse ermitteln,
- Finanzierungsbedingungen festlegen, KfW, Umwelt Bank, etc. Programme prüfen,
- Berechnung des Annuitätsfaktors, der Amortisationszeit,

3. BHKW Daten und Auslegung

$P_{el} = 15,0$ kW	65%	Eigenstromverbrauch
$P_{th} = 30,0$ kW	70%	BHKW Wärmedeckungsgrad
$P_{gas} = 50,0$ kW(Hu)	0,90	BHKW Jahresnutzungsgrad

4. BHKW Laufzeit

Jahreswärmebedarf des Gebäudes =	268.018	kWh/a
Wärmedeckung durch das BHKW =	187.613	kWh/a
BHKW Vollbenutzungsstunden =	6.254	h/a

5. Gasverbrauch und Kosten	347.083 kWh/a	-17.354 €/a
Mineralölsteuererstattung		1.909 €/a
6. Stromproduktion und Erlöse	93.806 kWh/a	
Eigenstromnutzung	85% 79.735 kWh/a	10.366 €/a
KWK-Bonus 5,11ct/kWh		4.074 €/a
Stromrückspeisung	15% 14.071 kWh/a	1.548 €/a
7. Wärmeproduktion und Preis	187.613 kWh/a	12.250 €/a
8. Vollwartungsvertrag (10 Jahre)	2,90 ct/kWhel	-2.720 €/a
9. Kapitalkosten nur BHKW-Spezifische Investitionen (Anuität)		-4.361 €/a
	jährlicher Überschuß:	<u>5.711 €/a</u>

Es ist sinnvoll, den Einfluss unterschiedlicher Parameter auf die Wirtschaftlichkeit eines BHKW im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse darzustellen.

Dazu können zählen:

- Investitionskosten nur der BHKW-Module
- Wartungskosten BHKW
- unterschiedliche BHKW Laufzeiten
- Kalkulationszins, Finanzierungsvarianten
- Gas- und Strombezugsbedingungen
- unterschiedlicher Eigenstromnutzungsanteil
- alternative Wärmegestehungssysteme (Wärmepreis, etc.)
- etc.

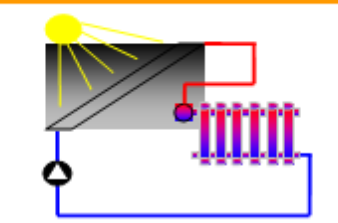
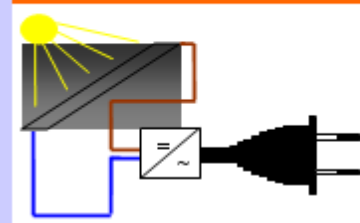
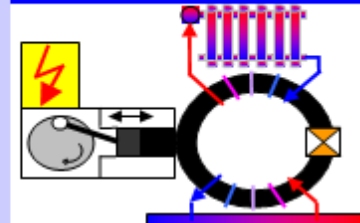
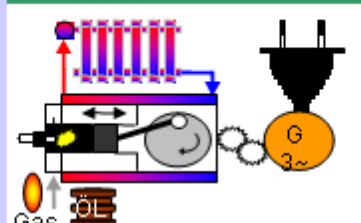
Wird die Wirtschaftlichkeit der BHKWs durch eine realitätsnahe prozentuale Variation der einzelnen Parameter unwesentlich beeinträchtigt, kann das Ergebnis als verlässlich betrachtet werden.

- Keine generelle Aussage möglich – immer detaillierte Berechnung erforderlich
- Mehrkosten durch erforderliche bauliche Maßnahmen, oder aufwendige Abgasführung, etc. führen zu total unterschiedlichen Ergebnissen
- Förderprogramme (Zuschüsse von Kommunen, Land und Gasversorger)
- Wärmenutzung gewinnt wirtschaftlich an Bedeutung (hohe Mineralölsteuer, Brennwertnutzung, Lüftungsabwärme)
- Varianten mit Volleinspeisung trotz KWK-Gesetz wirtschaftlich uninteressant
- Größere anlagen wirtschaftlich interessanter als mehrere kleine Module
- mit Vollwartungskosten rechnen
- Einsparung Kesselleistung (Einsparung eines Wärmeerzeugers) mindert Mehrinvest für BHKW nur geringfügig

Ökologische Energieerzeugung im Vergleich

A 5

Bei einer Mehrinvestition von 115.700 €

	Sonnenkollektoren	Photovoltaik	Wärmepumpe	Heizkraftanlage
				
Anlagengröße	Fläche: 160 m ² Energie: 600 kWh/m ²	Leistung: 22 kW _{peak} Energie: 900 kWh/kWp	Leistung: 84,6 kW _{th}	Leistung: 26 kW _{el} 58 kW _{th}
Energieerzeugung [kWh / Jahr]	Strom: 0 Wärme: 95.751	Strom: 19.650 Wärme: 0	Strom: 0 Wärme: 582.939	Strom: 179.119 Wärme: 399.573
CO ₂ - Einsparung [Tonnen / Jahr]	27,80	13,50	23,00	100,24
Energiekosteneinsparung [€/Jahr]	5.360	10.100	14.070	26.851

<< Berechnungen beruhen auf folgende Quelle: Jahrbuch Erneuerbare Energien 2002/03. Hrsg.: Stiftung Energieforschung Baden-Württemberg >>

Der wichtigste Grundsatz der „effektiven Vernunft“



Bei jeder Stromerzeugung entstehen ca. 60% Wärmeenergien.

Diese Wärmeenergien nicht zu nutzen, **ist der Inbegriff der Unvernunft!**



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit