

Wie zuverlässig sind BHKW kleiner Leistung im langjährigen Betrieb? Ergebnisse aus der 10-jährigen Anlagenüberwachung eines BHKW-Anlagenparks

Vorspann

In ihrem Projekt Standard-BHKW verfügte dieHessen-Energie GmbH (hE) zuletzt über einen Anlagenpark von 46 BHKW gleichen Typs mit einer elektrischen Leistung von je 50 kW, eingebaut in unterschiedlich genutzten Gebäuden, s. Bild 1. Das Projekt wurde über die Mitfinanzierung durch das Land Hessen gefördert. Die zentralen Betriebsdaten wurden über den gesamten Betriebszeitraum kontinuierlich mittels Datenfernüberwachung (DFÜ) erfaßt. Damit steht Zahlenmaterial aus einer statistisch hinreichend großen Grundgesamtheit zur Verfügung, um auch allgemein gültige Aussagen zu treffen. Die Ergebnisse belegen, daß BHKW über bislang bereits 10 Jahre nahezu ohne Alterungserscheinungen betrieben werden können und daß die Zuverlässigkeit im Betrieb auf sehr hohem Niveau liegt. Sie zeigen aber auch, daß die niedrigen Vergütungen für den in das Netz der allgemeinen Versorgung eingespeisten Strom die Betreiber zu einer Beschränkung der Betriebszeiten und so zur unfreiwilligen Beschneidung des ökologischen Nutzens zwingen. In den nachfolgenden Auswertungen sind alle Anlagen berücksichtigt, soweit sie ganzjährig im Betrieb waren.¹

Erfahrungshintergrund

Kurze Beschreibung des Projekts Standard-BHKW im Contracting

Vor nun über zwölf Jahren hatte die hE die ersten Überlegungen für das Projekt Standard-BHKW angestellt. Bekanntlich können BHKW systemimmanent die CO₂-Emissionen um fast ein Viertel senken und zugleich den Primärenergieeinsatz ebenfalls um fast ein Viertel absenken (bezogen auf den Energieumsatz der BHKW und verglichen mit BRD-Kraftwerksmix). Projektziel war, die Markteinführung dieser damals innovativen Technologie zu beschleunigen, um ihr besonders hohes Potential im Kampf gegen die Klimakatastrophe und zur Schonung der Ressourcen beispielhaft zur Wirkung zu bringen. Mit der Installation von über 50 Anlagen, davon 46 mit 50 kW el, wurde eine für ein Modellprojekt hinreichende Zahl von Anlagen realisiert.

Konzeption und Einbau von BHKW in Heizungsanlagen waren bei Projektbeginn in der einschlägigen Fachwelt noch wenig bekannt und wurden daher bei Bau oder Erneuerung von Heizzentralen nicht berücksichtigt. Die typischen Anwender hatten kaum Interesse am Einbau von Anlagen, deren Kosten- und Betriebsrisiko sie nicht einschätzen konnten und die sie nicht unbedingt brauchten. Also mußte ein Weg zu einer für den Kunden besonders einfachen, kostengünstigen und überzeugenden Realisierung gefunden werden. Das gelang mit Hilfe eines Contracting-Modells. hE arbeitete ein Konzept aus, mit dem hE für die Heizzentrale des Kunden eine funktionsfähige BHKW-Anlage planen, liefern, installieren, anschließen und den technisch optimalen Betrieb dauerhaft sicherstellen konnte, ohne daß der Kunde einen Eigenbeitrag leisten mußte. Neben Technik und Betrieb war dabei die Finanzierung durch hE der zentrale Aspekt für die Komplettleistung aus einer Hand.

Ein weitere wichtige Grundlage des Standard-BHKW war die Mitfinanzierung durch das Land Hessen. Diese Förderung war notwendig, um die Wirtschaftlichkeit im Vergleich zur konventionellen Energiebereitstellung, also Strom aus der Steckdose und Heizkessel im Keller, zu erreichen. Und sie

¹ Zur Ergänzung, jedoch ohne Kommentar, werden auch die Daten von 6 BHKW mit je 110 kW elektrischer Leistung analog zu denen der 50 kW-Anlagen dargestellt, weil Sie ebenfalls gewisse Verallgemeinerungen erlauben.

hat maßgeblich dazu beigetragen, Vertrauen in das Angebot der hE zu bilden, denn nicht nur die BHKW-Technik war damals innovativ, auch das Contracting mußte sich erst als wirksames und hilfreiches Mittel zur Projektdurchführung durchsetzen.

Inzwischen wurden 52 BHKW im Rahmen des Standard-BHKW im Contracting gebaut. Bei einigen der älteren Anlagen ist der Contracting-Vertrag ausgelaufen und die Kunden haben die Anlage übernommen. Sie verfügen damit jetzt selbst über eine gut funktionierende, ökologisch vorbildliche und wirtschaftlich günstige Energieversorgung in ihrem Haus.

Betriebsergebnisse

Alle BHKW werden nur nach dem Wärmebedarf im Objekt, also nach der ökologisch günstigsten Führungsgröße, betrieben. Somit begrenzen die Dauer der Heizperiode und der Warmwasserbedarf im Objekt die Betriebsdauer. In Bild 2a und 2b sind Betriebsdauer bzw. Stromproduktion über 10 Jahre aufgetragen. Man erkennt, daß alle Anlagen mit 6.300 bis 7.300 Vollaststunden pro Jahr das Heizwärmepotential gut ausschöpfen. In den Jahren 1999 bis 2001 ist ein charakteristischer Abfall der Kurven zu beobachten. Dies beruht zum einen darauf, daß hE in diesem Zeitraum BHKW in vier Schulen eingebaut hat, wo die erreichbare Betriebszeit mangels Warmwasserbedarf bei nur 5.000 h/a liegt. Zum zweiten haben die meisten Kunden die Laufzeiten der BHKW eingeschränkt, hauptsächlich um die nicht kostendeckende Einspeisung größerer Strommengen in Zeiten reduzierten Strom-Eigenbedarfs (z.B. an Wochenenden) in das Netz der allgemeinen Versorgung zu vermeiden.

Die mittlere Leistung der Anlagen sinkt über die 10 Jahre leicht ab, s. Bild 3. Auch dies ist nicht technisch sondern wirtschaftlich begründet: Vor allem nachts werden die Motoren in Teillastbetrieb gefahren, um die Stromeinspeisung in das Netz der allgemeinen Versorgung zu reduzieren, wiederum wegen der nicht attraktiven Vergütung.

Störungsstatistik

Die Störungshäufigkeit ist ein Indikator für die technische Zuverlässigkeit einer Anlage, die freilich nicht nur von der technischen Qualität, sondern auch vom Pflegezustand abhängt. Die Ausfallzeit ist ein Indikator für die Reaktionszeit und Effizienz des Kundendienstes. Für den BHKW-Betreiber sind beide Indikatoren wichtig, deshalb werden in diesem Artikel beide parallel behandelt.

Von besonderem Interesse dürfte die Statistik zur Anzahl von Störungen und der damit verbundenen Dauer von Betriebsausfällen sein, die über einen Zeitraum von 8 Jahren ausgewertet werden konnten, s. Bild 4a und 4b. Zunächst zeigt der Trend, daß die Zahl der Störungen von ca. 9 bis 10 im Laufe der Jahre auf um die 5 mehr als halbiert wurde (Median), was als ausgesprochen gut anzusehen ist. Die Ausfallzeiten nehmen dagegen trotz weniger Störungsfällen zu. In beiden Fällen wird nach drei, vier Jahren ein gewisses Niveau erreicht. Darin könnte sich die zunehmende Durchmischung des Anlagenparks aus ‚alten‘ und ‚neuen‘ Maschinen hin zu einer mittleren Altersstruktur ausdrücken.

Die ununterbrochenen Betriebszeiten zwischen zwei Störungen (Mittelwerte; ohne Berücksichtigung der Bereitschaftszeit) liegen in den letzten Jahren zwischen 45 und 55 Betriebstagen (errechnet aus Mittelwerten), s. Bild 5. Dieser Wert, der ein guter Indikator für die Zuverlässigkeit des Anlagenbetriebs ist, hat sich im Laufe von 9 Jahren verdoppelt und scheint noch zu wachsen.

Schon der Trend der Störungshäufigkeit (s.Bild 4a) zeigt, daß die Schadenshäufigkeit im Beobachtungszeitraums von 10 Jahren nicht auffällig steigt, ein Trend zur Alterung der Anlagen ist

kaum abzuleiten. Offensichtlich liegt die Lebensdauer der Anlagen über 10 Jahren, oder sie wird durch Austausch von verschlissenen Teilen im Rahmen der Instandhaltung auf dem fast konstantem Niveau gehalten.

Einen interessanten Aspekt zur Alterung kann an einer anderen Darstellung abgelesen werden. Trägt man die Anzahl von Störungen bzw. die Störungsdauer über der kumulierten Betriebszeit am Ende des Jahres 2004 auf, dann ist, wie schon festgestellt, ein Trend zur Alterung kaum erkennbar, Bild 6a und 6b. Allerdings zeigt sich eine Spitze bei den Störungen bei ca. 50.000 Betriebsstunden. Das könnte darauf hinweisen, daß hier eine gewisse Grenze der technischen Lebensdauer erreicht wird, die freilich durch geeignete Instandsetzungen wieder kompensiert wird.

Vollwartung und DFÜ

Die Störungsstatistik spiegelt nicht nur die technische Qualität der BHKW-Anlagen, sondern auch die Güte der technischen Betreuung der Anlagen wieder.

Die mit ca. 80 bis 130 Stunden zumeist nur kurze Ausfallzeit aufgrund einer Störung belegt, daß der Kundendienst nicht nur schnell agiert, sondern die Störungen in aller Regel bei seinem ersten Einsatz beseitigt. Hier zeigt sich, daß qualifizierte Techniker am Werk sind und daß eine gut organisierte Logistik für ihren schnellen Einsatz und die ständige Verfügbarkeit der Ersatzteile sorgt.

Für jedes BHKW gibt es einen Vollwartungsvertrag. Er umfaßt sämtliche Inspektionen, Wartungs-, Instandhaltungs- und Reparaturarbeiten einschließlich der Lieferung von Ersatzteilen und Betriebsstoffen. (Inzwischen ist dieser Vertragstyp als Full Service Vertrag in VDI 4680 eingeflossen.) Ein solcher Vertrag sichert eine Gewährleistung auf alle Teile und Funktionen und bedeutet somit eine Betriebsbereitschaftsgarantie über den Vertragszeitraum, hier sind es zehn Jahre. Das vorgestellte Ergebnis belegt, daß dieser Vertrag gute Ergebnisse zeitigt. Der hohe Grad von Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit rechtfertigt die Kosten des Vollwartungsvertrags vollauf.

Ein weiteres Merkmal ist die für sämtliche Anlagen installierte Datenfernüberwachung (DFÜ). Zunächst leitet sie jede Störmeldung bei ihrem Erscheinen unmittelbar an den Kundendienst weiter, sodaß die schnellstmögliche Alarmierung erfolgt. Dann überträgt sie täglich die wesentlichen Betriebsparameter zu einem Datenterminal, wo sie automatisch archiviert werden. Ein Ingenieur überwacht den Betrieb am Terminal im Rahmen einer täglichen Routine und sorgt bei Unzulänglichkeiten in den Anlagen für Abhilfe. Zugleich ist die DFÜ ein wirksames Kontrollinstrument im Hinblick auf die Vollwartung, u.a. weil sie die den Zeitraum vom Eintritt einer Störung bis zu ihrer Beseitigung dokumentiert. Weitergehend werden Betriebsanalysen durchgeführt, von der dieser Bericht ein Ausschnitt ist.

Eine Betreuung der BHKW durch Personal vor Ort ist nicht erforderlich.

Takten und Störungen

Die meisten BHKW-Hersteller fürchten das ‚Takten‘ ihrer Maschinen, also häufige Starts pro Zeiteinheit, weil es die technische Lebensdauer begrenzen bzw. die Instandhaltungskosten erhöhen soll. Manche schreiben sogar Mindestlaufzeiten pro Start von z.B. drei Stunden vor, was vor allem während der Übergangszeiten in Frühjahr und Herbst den BHKW-Betrieb erheblich einschränken kann.

Dank der über viele Jahre vorliegenden BHKW-Betriebsdaten, kann diese Aussage jetzt geprüft werden. Zu diesem Zweck wurden vier je sechs Jahre alte Standard-BHKW ausgewählt, zwei mit hohen Laufzeiten von um die 7.800 Bh/a (Anlagen C und D) und zwei mit mittleren Laufzeiten von um die 5.800 Bh/a (Anlagen A und B). (hE betreibt keine Anlagen mit relativ kurzen Laufzeiten von 4.000 Bh/a oder noch weniger.) Für jedes Betriebsjahr kann ein Punkt für einen Störungsindikator ermittelt werden.

Eine einfache Darstellung, Anzahl der Störungen über der Laufzeit, zeigt nun, daß BHKW mit hohen Laufzeiten sogar geringfügig mehr Störungen aufweisen als die mit weniger Betriebszeit, Bild 7a und b.

Trägt man die Anzahl der Störungen in Funktion der Anzahl der Starts auf, zeigt sich, daß die Zahl der Störungen tendenziell sogar geringer wird, je mehr Starts eine Maschine macht, also bei den ‚Langläufern‘, Bild 8a und 8b.

Schließlich lassen sich auch spezifische Größen grafisch auswerten, nämlich die Anzahl der Störungen bezogen auf die Betriebszeit in Funktion der Betriebsstunden pro Start, ermittelt jeweils für dasselbe Kalenderjahr, Bild 9a und 9b. Hier ist praktisch keine funktionale Abhängigkeit mehr erkennbar.

Alle drei Darstellungen belegen, daß das Takten, also mehr Starts pro Zeiteinheit bei den untersuchten BHKW-Anlagen keineswegs zu mehr Störungen führen. Die Angst vor dem Takten kann also als unbegründet angesehen werden. Alle untersuchten Anlagen laufen übrigens ohne Pufferspeicher.

Einschränkend müssen drei Hinweise gegeben werden:

- Die Modulsteuerung schützt das Standard-BHKW durch Startverzögerung, wenn allzu viele Starts innerhalb von kürzesten Zeitspannen, also bis zum 10-Minuten-Bereich, angefordert werden. Eine solche Start-Wartezeit dürfte für den Betreiber ohne Nachteile sein, solange sein BHKW wärmegeführt betrieben wird.
- Das dargestellte Ergebnis gibt keine Auskunft über die Kosten für die Beseitigung der Störungen. Nicht ausgeschlossen ist, daß die Instandsetzungskosten für die beiden Anlagengruppen verschieden hoch ausfallen. (Wegen der Vollwartungsverträge liegen diese Kosten beim Betreiber nicht vor.)
- Vorstellbar ist, daß an BHKW mit sehr geringer Jahresausnutzung, z.B. weniger als 4.000 h/a, das Takten durchaus mehr Störungen auslöst, weil es dann mehr Kaltstarts geben dürfte.

Auf eine Konsequenz aus dieser Untersuchung zum Takten sei hingewiesen: Der meistens mit Verweis auf das Takten geforderte Pufferspeicher ist zumindest für Anlagen mit mehr als 5.000 Bh/a nicht erforderlich und kann eingespart werden.

Fazit

Im Rahmen des Projekts Standard-BHKW hat hE 52 BHKW (davon 46 mit je 50 kW el) gebaut und über einen Zeitraum von bisher 10 Jahren von technischer Seite betrieben. Die Betriebsparameter wurden (und werden) über den gesamten Zeitraum sorgfältig aufbereitet und archiviert. Die ingenieurtechnische Auswertung erfolgte je nach Zielsetzung sowohl laufend parallel zum Betrieb als auch in regelmäßigen Intervallen, die Ergebnisse sind unmittelbar in die Optimierung von Betriebsparametern eingeflossen. Auf dieser Grundlage sind Aussagen über den Betrieb von BHKW in der Leistungsklasse von 50 bis 100 kW von allgemeiner Bedeutung.

Wir können feststellen, daß der BHKW-Betrieb voll zufriedenstellend ist:

- Die Leistung der Maschinen, die Laufzeit der Module und die produzierte Strommenge erfüllen die Erwartungen in jeder Hinsicht.
- Das Ausfallrisiko ist gering.
- Die Ausfallzeiten sind fast immer kurz.
- Das ‚Takten‘, so denn davon gesprochen werden kann, hat keinen Einfluß auf die Störungshäufigkeit.
- Ein schneller und leistungsfähiger Kundendienst auf Grundlage von Vollwartungsverträgen sichert jederzeit die Einsatzbereitschaft der Anlagen.
- Die technische Zuverlässigkeit bzw. die Verfügbarkeit der Anlagen ist sehr hoch.

Ausblick

BHKW können die bekannten ökologischen Vorteile der KWK-Technik für einen breiten dezentralen Anwendungsbereich, nämlich den Geschloßwohnungsbau, größere Gewerbegebäude und kommunale Einrichtungen erschließen. Einbau und Betrieb der Anlagen sind für Fachkundige einfach und schnell realisierbar. Mit dem Projekt Standard-BHKW hat hE nachgewiesen, daß mit BHKW eine im Alltagsbetrieb leistungsfähige, hoch zuverlässige, dezentrale Technologie zur Strom- und Wärmeversorgung zur Verfügung steht. Unter dem Stichwort ‚virtuelle Kraftwerke‘ ist die Klein-KWK erneut in den Blickpunkt der Debatte um eine ökologisch vertretbare Energieversorgung gerückt. Aus technischer und betrieblicher Sicht kann es keine Einwände mehr gegen den breiten Einsatz von BHKW geben. Gestützt auf eine sofort verfügbare, hoch zuverlässige und einfache Technologie ist es geboten, BHKW auch in der Breite zur Strom- und Wärmeversorgung einzusetzen, um den parallel mitproduzierten Klima- und Umweltschutz wirksam zu machen.

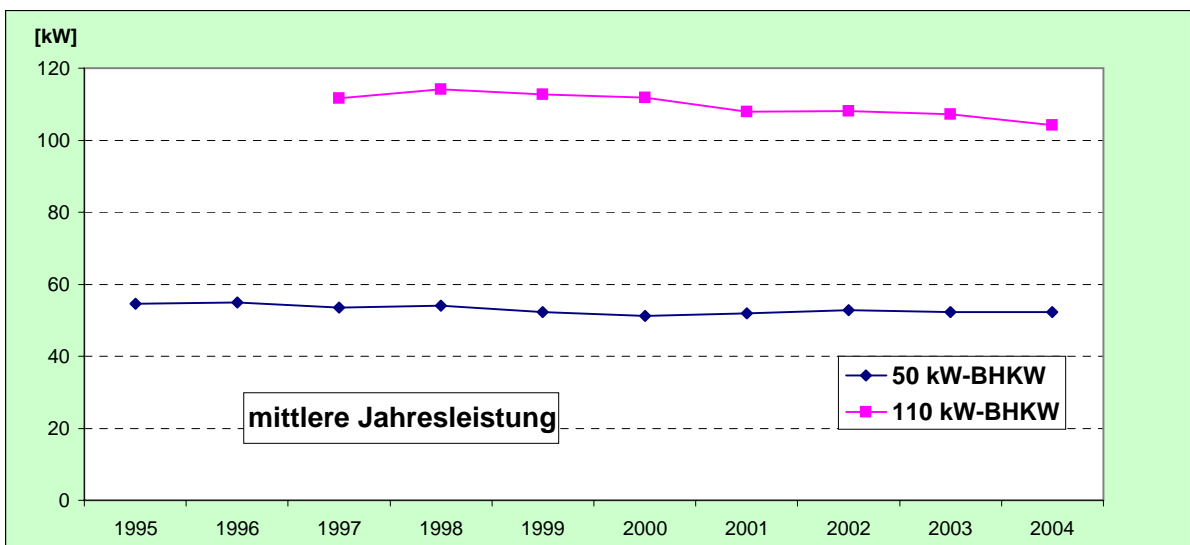
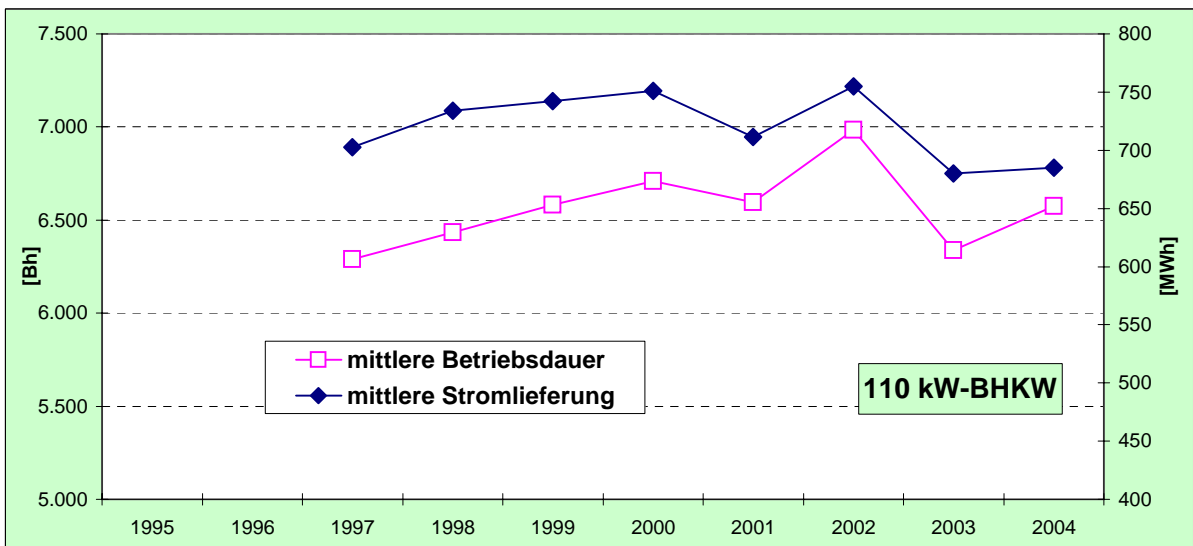
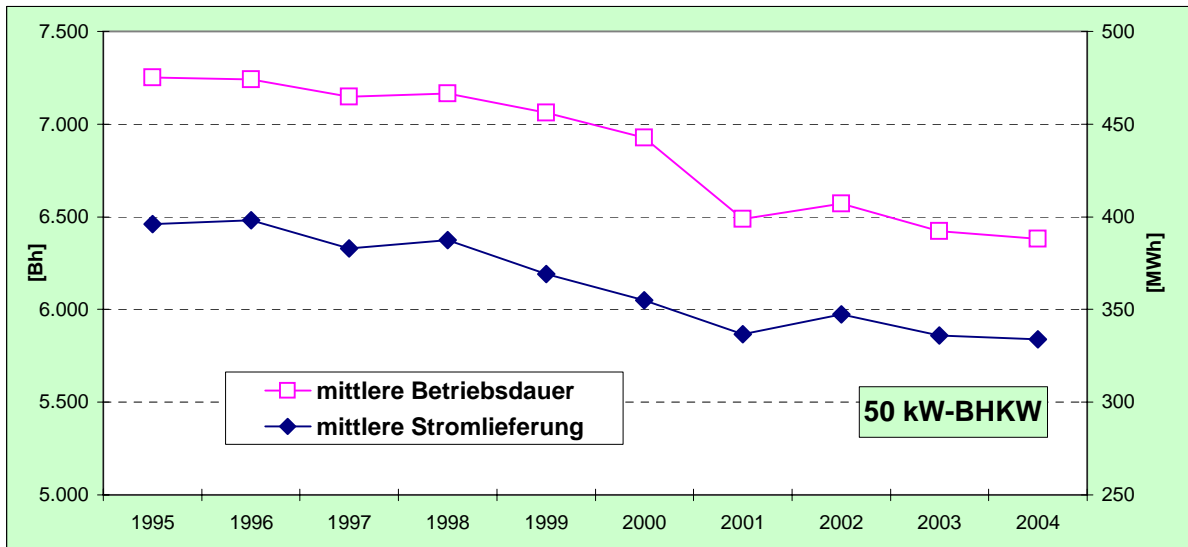
Für potentielle Eigenerzeuger bietet die Energieagentur auch weiterhin Standard-BHKW im Leistungsbereich von 50 kW bzw. 110 kW elektrisch in einem Contracting-Modell an, das Planung, Finanzierung, Bau und Betrieb mit Fernüberwachung einschließt. Der technische Service mit sämtlichen Reparaturen und Ersatzteilen über zehn Jahre ist ohne Einschränkungen enthalten; und die Bezahlung über Contracting-Raten wird durch Kopplung an die Energiebereitstellung aus dem BHKW (erfolgs)abhängig gestaltet. (Ausführliche Informationen zum Projekt 'Standard-BHKW' im Internet unter www.hessenENERGIE.de.)

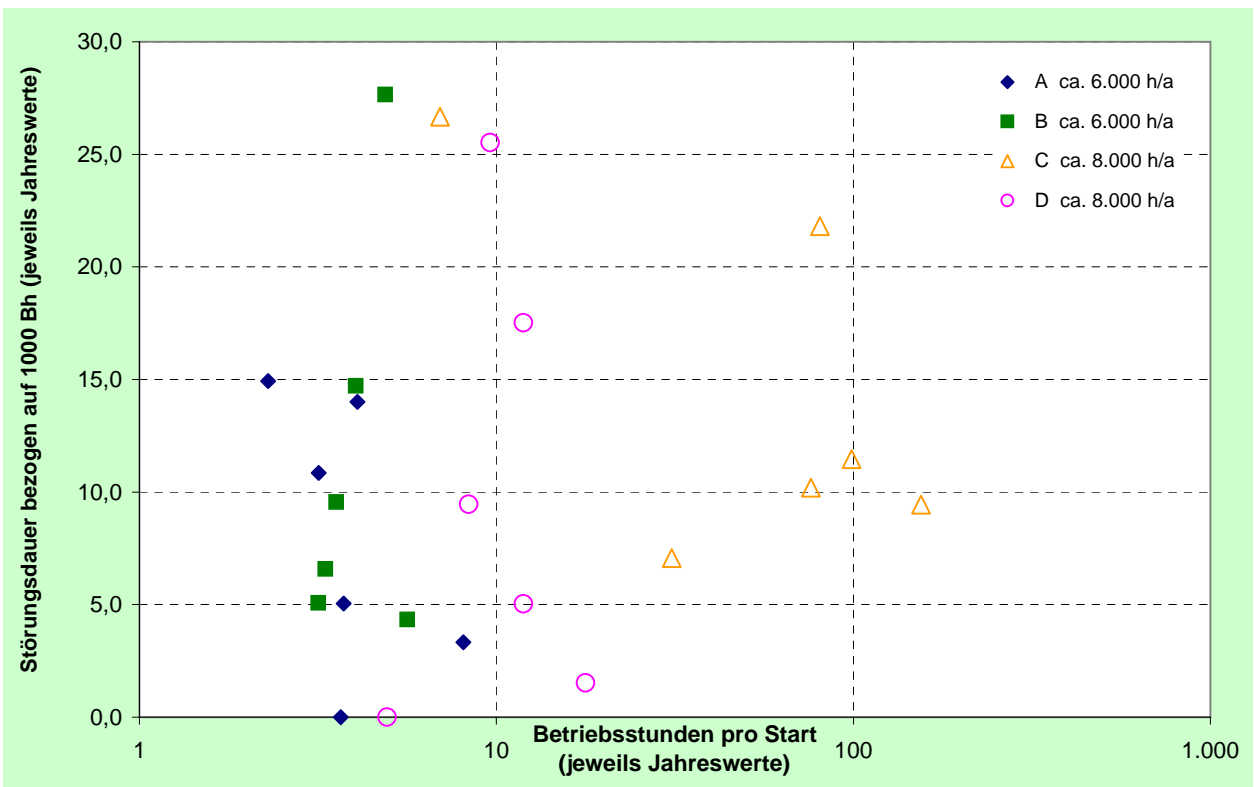
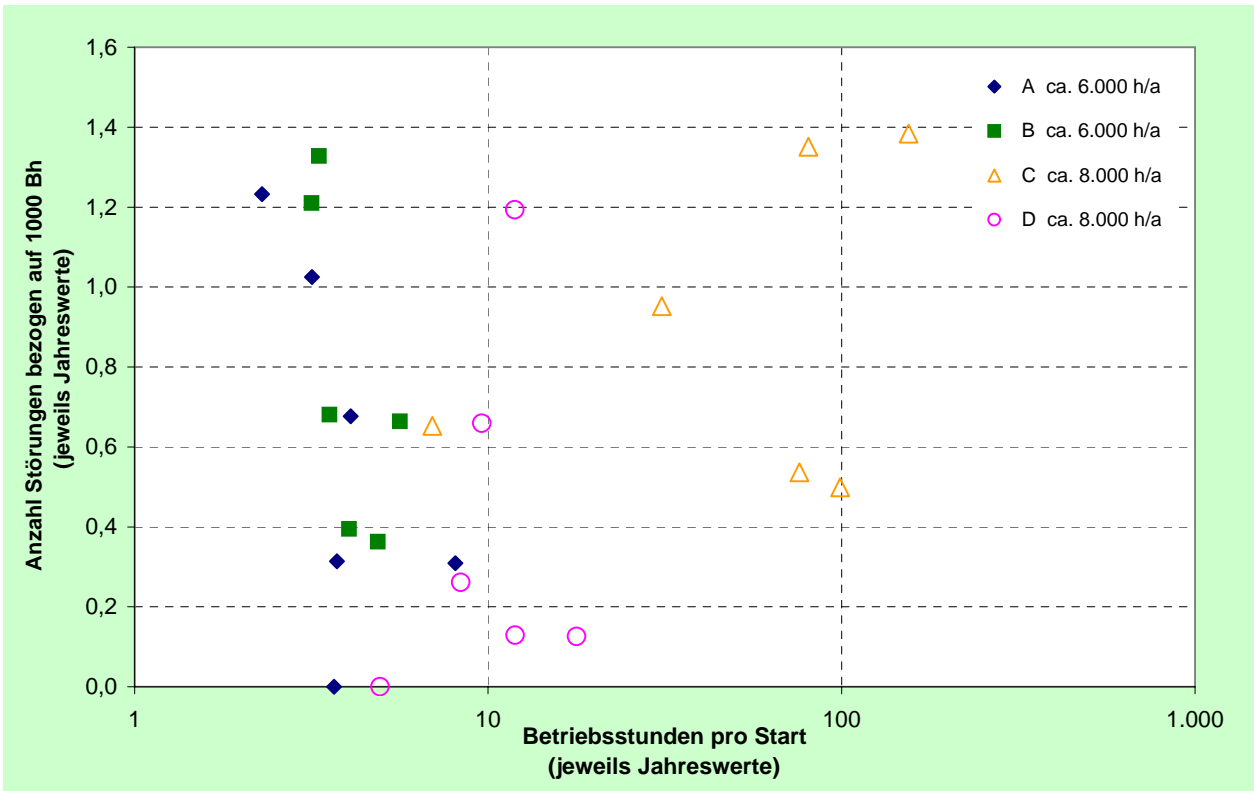
Ihre Erfahrungen im Bereich der Planung und des Betriebs von BHKW nutzt die hessenENERGIE für erweiterte Contracting-Angebote, die auf eine Objektversorgung mit Strom und Wärme zielen. Grundidee ist die Übernahme der Heizzentrale des Kunden durch die Energieagentur, um sie einschließlich der zugehörigen technischen Peripherie für einen energiesparenden Betrieb zu modernisieren und durch ein BHKW zu erweitern. Das BHKW deckt dann regelmäßig den überwiegenden Teil des Strom- und Wärmebedarfs der Liegenschaft. Zusätzlich erforderliche Wärme stellt der (modernisierte) Spitzen- und Reservekessel bereit. Der nicht im Objekt erzeugte Strom wird über das Netz der allgemeinen Versorgung zugekauft.

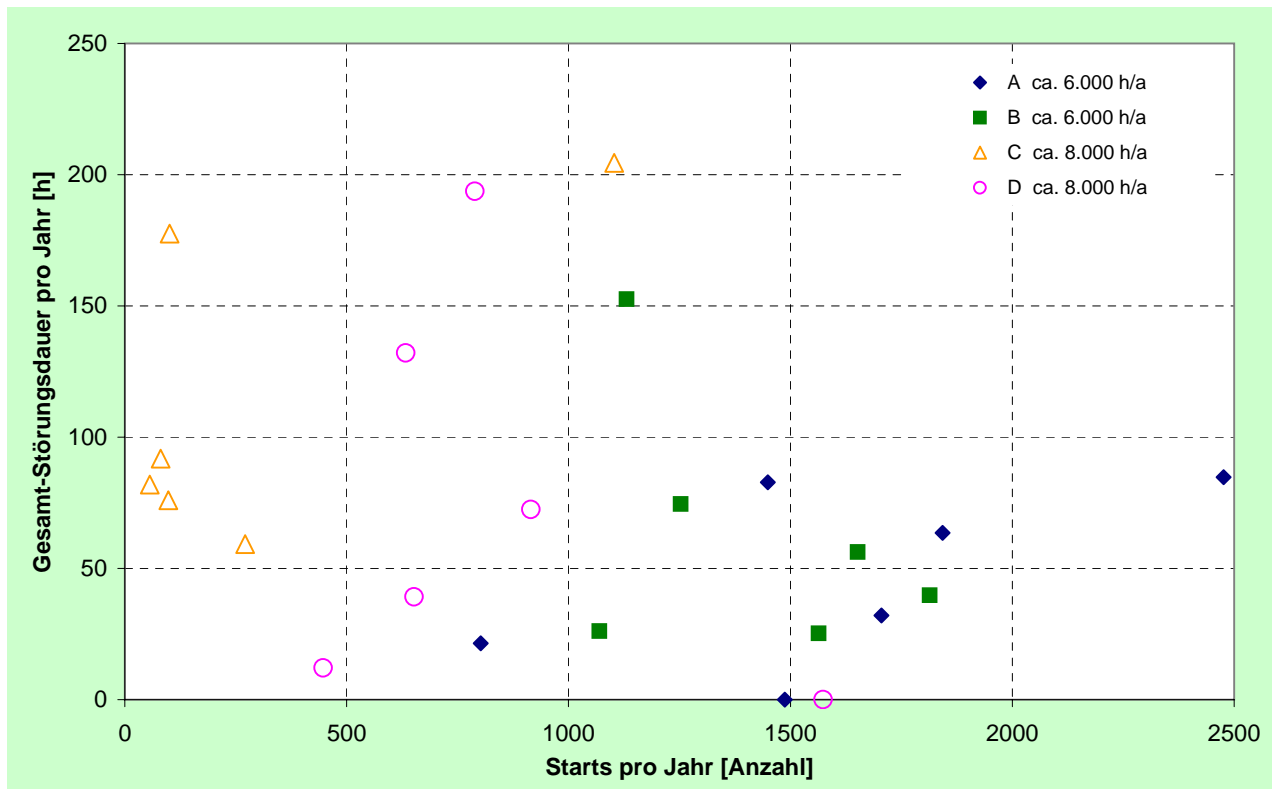
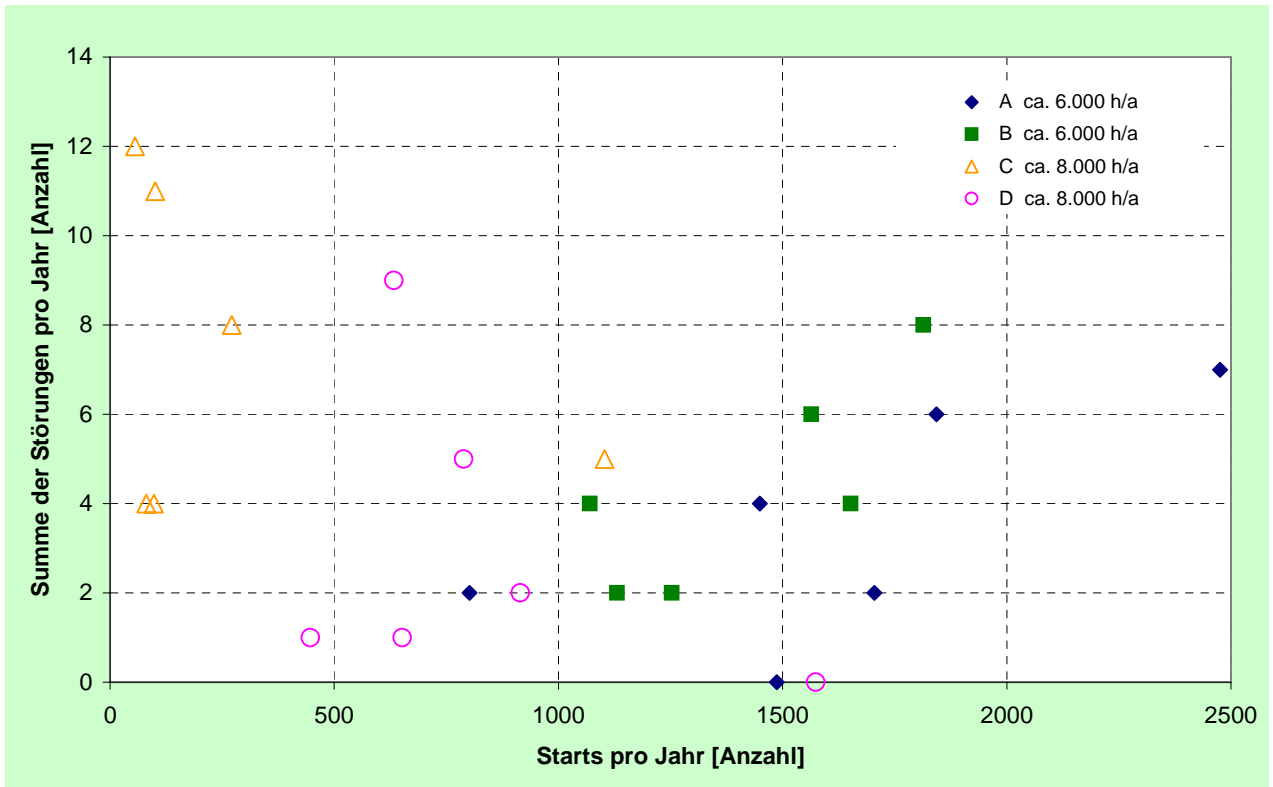
Betriebsbilanz der Standard-BHKW

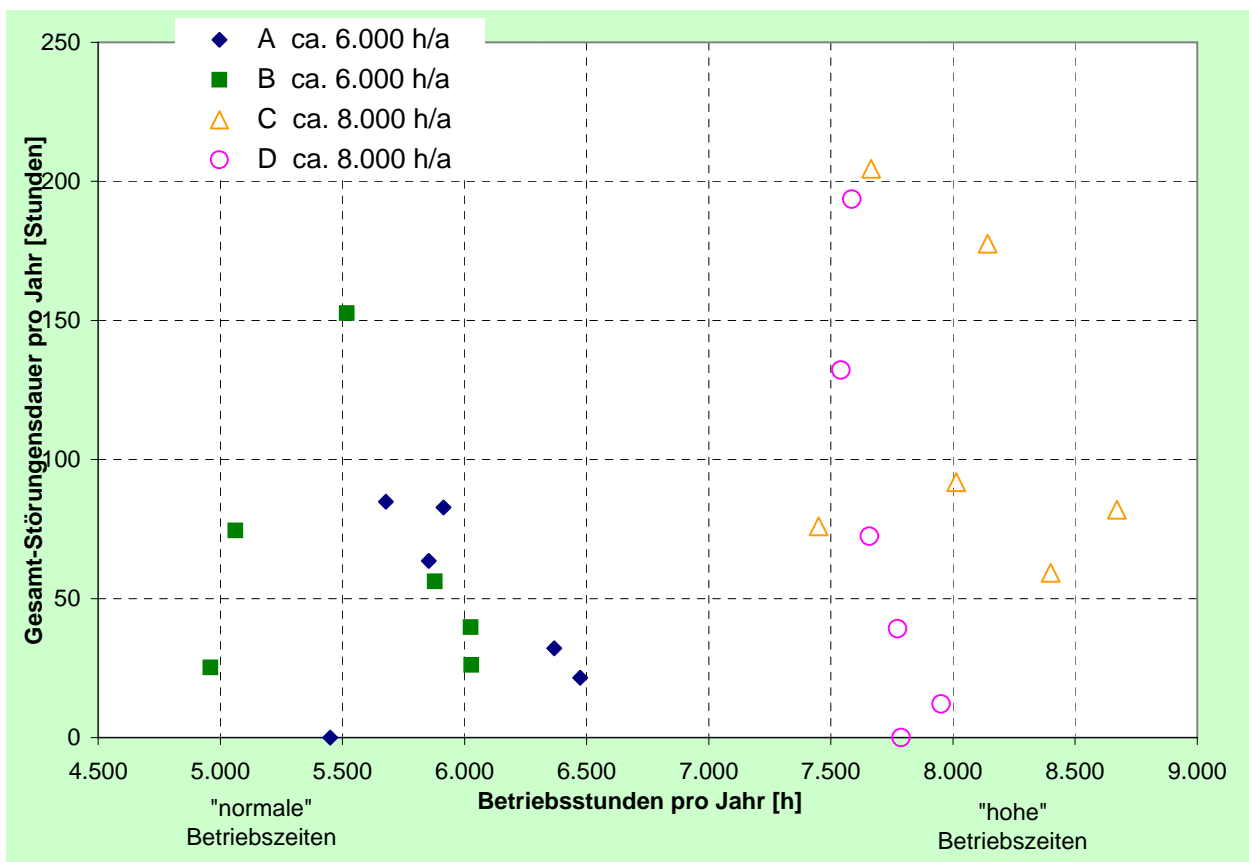
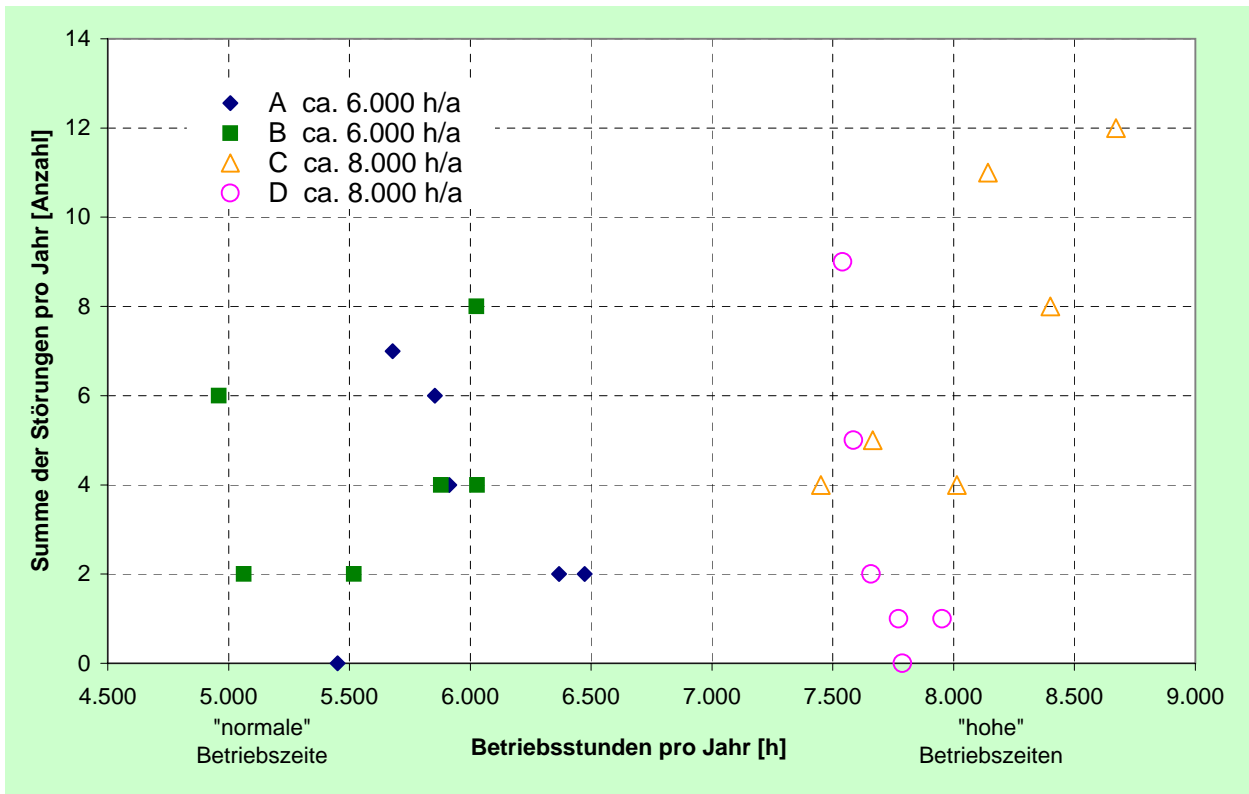
Objekttyp	Inbetriebnahme	2004	2004	von Inbetriebnahme bis 2004	
		Betriebszeit [h]	Stromlieferung [MWh]	Betriebszeit [h]	Stromlieferung [MWh]
50 kW-Module		ierte Leistung: 2.100 kW			
Hallenbad (2 Module)	Dez 93	12.396	645	147.284	7.230
Schule und Internat	Nov 94	7.578	407	80.135	4.354
Hallenbad	Nov 94	7.923	420	73.025	3.958
Jugendheim	Dez 94	3.727	197	70.607	3.870
Wohnungen	Mrz 95	6.205	339	67.717	3.503
Hallenbad (2 Module)	Dez 94	16.484	871	163.662	8.847
Wohnungen	Mrz 95	6.999	320	60.826	3.036
Wohnungen (2 Module)	Aug 95	13.704	754	130.641	7.227
Schule	Dez 95	4.769	232	51.023	2.597
Fernwärmestützpunkt	Nov 95	8.014	423	75.165	3.936
Hotel (2 Module)	Mrz 96	15.458	818	129.684	6.901
Hotel	Jul 96	8.054	432	66.082	3.517
Krankenhaus	Apr 96	5.468	287	59.001	3.211
Verwaltung	Sep 96	5.280	299	47.288	2.637
Fernwärmestützpunkt	Okt 96	8.492	481	67.859	3.654
Altenheim	Okt 96	7.658	407	62.221	3.230
Schule	Nov 96	7.484	341	50.209	2.569
Tagungshaus	Apr 97	6.246	337	49.987	2.540
Altenheim	Aug 97	8.456	437	63.020	3.283
Altenheim	Apr 98	7.453	388	47.704	2.338
Tagungshaus	Dez 97	6.474	338	42.697	2.285
Bürgerhaus	Nov 98	5.597	290	36.127	1.793
Ausbildungszentrum	Jan 99	6.786	367	46.026	2.531
Schule	Sep 98	4.407	251	31.822	1.700
Altenheim (2 Module)	Jun 99	14.074	730	82.178	4.330
Altenheim	Jun 99	7.048	347	33.401	1.666
Wohnungen	Aug 99	5.269	239	25.346	1.226
Verwaltung	Nov 99	5.881	294	27.485	1.339
Altenheim	Dez 99	5.601	286	31.095	1.544
Schule	Jan 00	5.831	304	25.514	1.353
Schule	Sep 00	4.016	227	16.744	953
Altenheim	Apr 01	7.689	384	26.775	1.367
Schule	Jan 02	4.786	268	13.661	760
Hallenbad	Sep 03	6.134	295	7.610	362
Altenheim	Dez 03	4.205	232	4.553	251
Altenheim	Feb 04	6.517	303	6.517	303
im Mittel		6.382	334		
110 kW-Module		installierte Leistung: 660 kW			
Fernwärmestützpunkt	Dez 96	6.535	697	52.673	5.944
Justizvollzugsanstalt (2 Module)	Jul 97	13.618	1.387	97.873	10.842
Krankenhaus	Okt 97	6.971	754	48.602	5.354
Fernwärmestützpunkt	Nov 98	5.588	605	41.193	4.486
Justizvollzugsanstalt	Dez 00	6.741	664	26.274	2.501
im Mittel		6.575	685		
Summen im Jahr 2004		301.097 Bh	17.797 MWh		

Betriebsbilanz der Standard-BHKW Mehrjahresvergleich

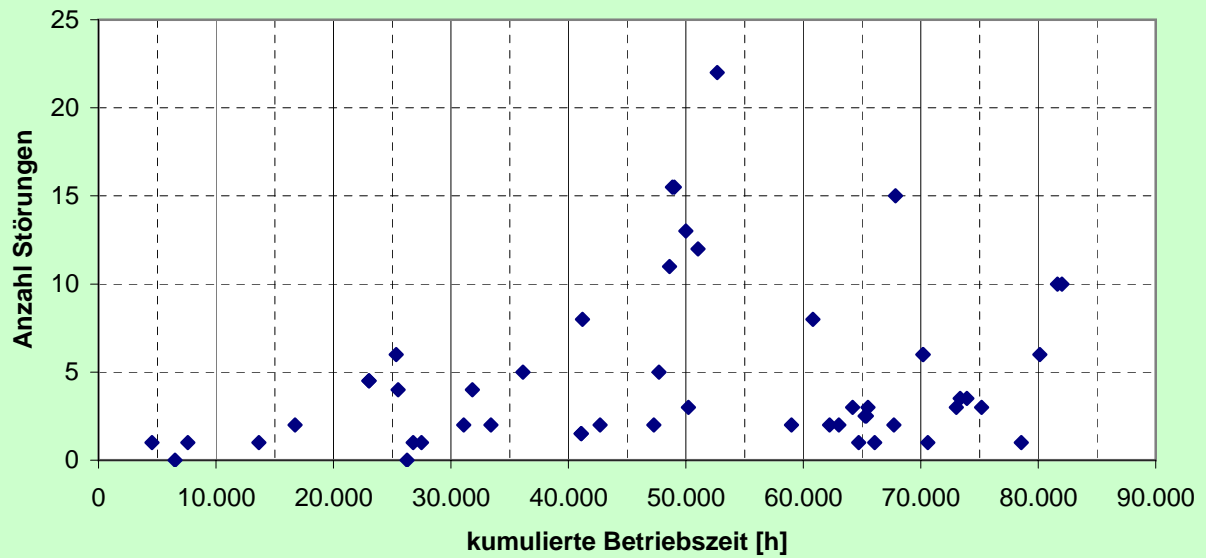




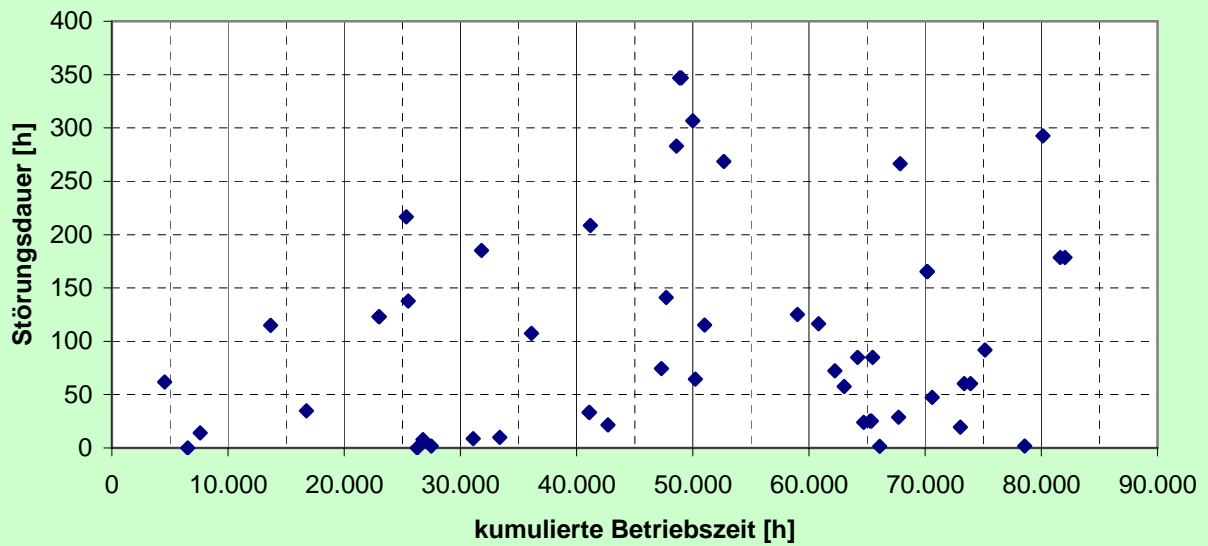




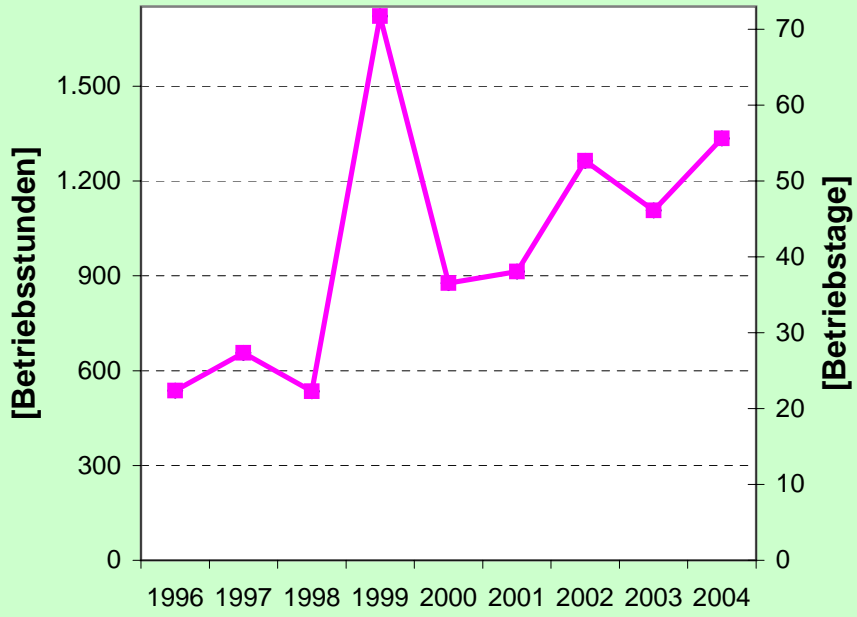
Betriebsbilanz Standard-BHKW
Anzahl der Störungen im Jahr 2004
als Funktion der kumulierten Betriebsdauer



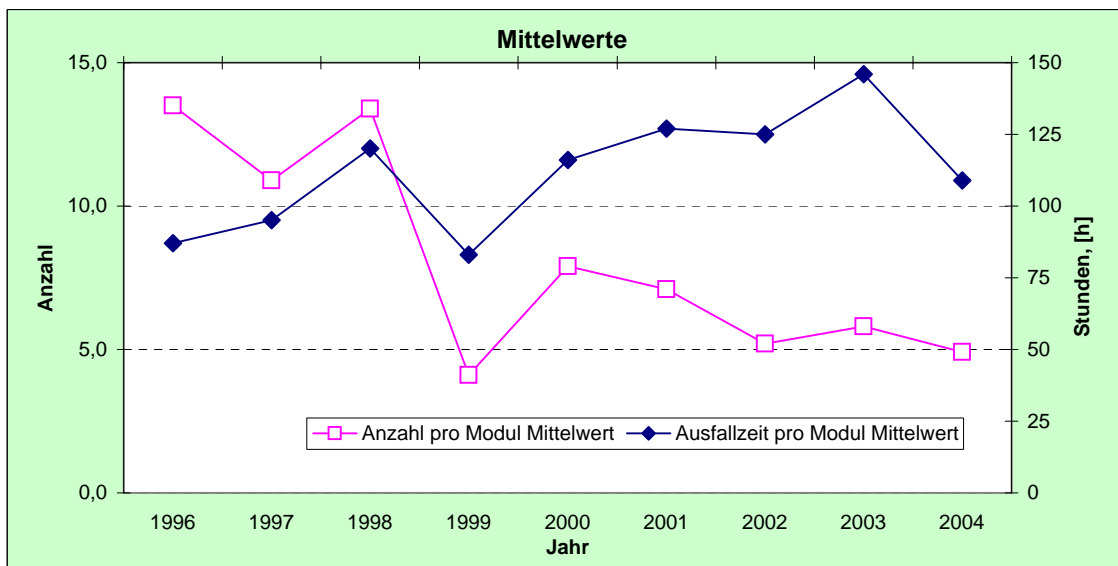
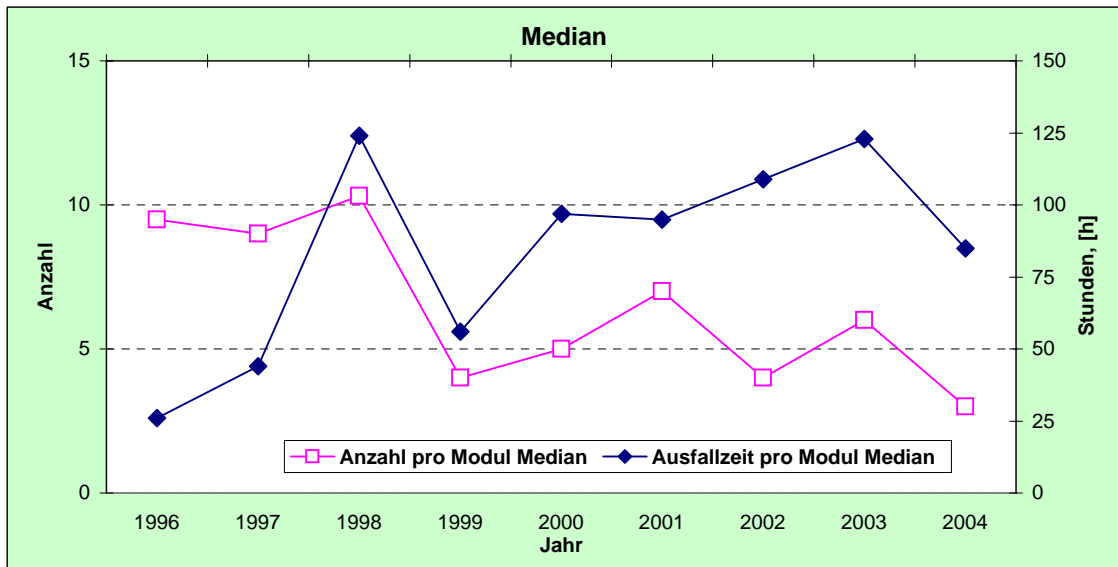
Betriebsbilanz Standard-BHKW
Störungsdauer der Einzelanlagen [h/a] im Jahr 2004
als Funktion der kumulierten Betriebsdauer



Betriebsbilanz der Standard-BHKW
mittlere Betriebszeit zwischen zwei Störungen
(ohne Bereitschaftszeiten)



Betriebsbilanz der Standard-BHKW Störungen, Anzahl und Dauer



Nur Module, die ganzjährig in Betrieb.

Jahr	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Anzahl pro Modul Median	9,5	9,0	10,3	4,0	5,0	7,0	4,0	6,0	3,0
Anzahl pro Modul Mittelwert	13,5	10,9	13,4	4,1	7,9	7,1	5,2	5,8	4,9
Ausfallzeit pro Modul Median	1,1	1,8	5,2	2,3	4,0	4,0	4,5	5,1	3,5
Ausfallzeit pro Modul Mittelwert	3,6	4,0	5,0	3,5	4,8	5,3	5,2	6,1	4,5

