

Schlussbericht

Im Verbundprojekt:

BioStrom

–

Steuerbare Stromerzeugung

für das

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Verfasser	Dipl.-Ing. (FH) Georg Häring	(TH Ingolstadt)
	Katharina Bär B.Eng.	(TH Ingolstadt)
	Matthias Sonnleitner M.Phil.	(TH Ingolstadt)
	Prof. Dr.-Ing. Wilfried Zörner	(TH Ingolstadt)
	Dipl.-Ing. (FH) Thomas Braun	(UTS Biogastechnik GmbH)

Aktenzeichen: 03KB061

Datum: 30.04.2015

Projektlaufzeit: 01.06.2011 – 31.05.2014 (Verlängert bis 31.10.2014)



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



Energetische
Biomassenutzung

I. Zusammenfassung

Mit dem Ausbau der erneuerbaren, jedoch fluktuierenden Stromerzeugung durch Wind- und Solarenergie steigen die Anforderungen an die Versorgungssicherheit und -zuverlässigkeit. Um die Netzstabilität in Zukunft sicherzustellen, müssen Potenziale im Bereich des Lastmanagements und neuer Speichertechnologien erschlossen werden. Hierbei hat die steuerbare Stromerzeugung aus Biogas ein besonders großes technisches und wirtschaftliches Potenzial, da ein höherer Wirkungsgrad erreicht werden kann als beispielsweise bei der Speicherung von Strom in Pumpspeicherkraftwerken, durch Druckluftspeicher oder in Form von Wasserstoff.

Vor diesem Hintergrund wird vom *Institut für neue Energie-Systeme (InES)* der *Technischen Hochschule Ingolstadt* und der *UTS Biogastechnik GmbH* das Forschungsvorhaben „BioStrom: Steuerbare Stromerzeugung mit Biogasanlagen“ durchgeführt. Das primäre Ziel des Vorhabens ist, anhand von Simulationen und den Erfahrungen in einer Pilot- bzw. Demonstrationsanlage, bestehende Biogasanlagen in die Lage zu versetzen als steuerbare Stromerzeuger zu fungieren und damit zur Erhöhung der Effizienz bei der Integration der Erneuerbaren Energien beizutragen. Hierbei werden konkrete Lösungen im technischen Bereich erarbeitet, so dass Biogasanlagen frühzeitig, durch z.B. den Einsatz von effizienten Speichertechnologien, in die Lage versetzt werden, Erzeugungsmanagement zu betreiben und damit als steuerbare Stromerzeuger in Aktion zu treten.

Um konkrete Lösungen zu erarbeiten, erfolgte eine Analyse des Umrüstungspotenzials, des Bedarfs an steuerbarer Stromerzeugung sowie geeigneter Steuerinstrumente.

Als Steuerinstrument für eine flexible Stromerzeugung aus Biogasanlagen eignen sich Energy-only-Märkte, wie die Spotmärkte der *EPEX Spot*. Die Preise an Energy-only-Märkten bilden die residuale Last ab. Aus diesem Grund sind deren Preissignale dafür geeignet die fluktuierende Stromerzeugung auszugleichen und damit die noch zu deckende residuale Last zu verstetigen. Der Verlauf der Strompreise gibt damit die notwendige Flexibilität der Stromerzeugung aus Biogasanlagen vor.

Es wurde die Technik von bei der Umrüstung auf steuerbare Stromerzeugung betroffenen relevanter Komponenten analysiert, bewertet und deren jeweiliges Potenzial für den praktischen Betrieb einer flexiblen Strombereitstellung beschrieben. Als Ergebnis wurden Mindestanforderungen an Gasspeichersysteme, das Gasspeichermanagement, die BHKW-Technik und der Wärmenutzung definiert.

Aufbauend darauf wurden innerhalb einer Parameterstudie verschiedene Gesamtkonzepte zur steuerbaren Stromerzeugung entwickelt. Grundlage für die wirtschaftliche Bewertung dieser Konzepte ist ein optimierter Einsatz der jeweiligen installierten Leistungen und der Gasspeichergroße. Hierzu wurden mittels Simulationen optimierte potenzielle Fahrpläne der Stromerzeugung für die jeweiligen Anlagenkonzepte erstellt.

Zur Demonstration der steuerbaren Stromerzeugung im Rahmen des Vorhabens wurde eine bestehende Biogasanlage umgerüstet, so dass diese in der Lage ist steuerbar Strom zu erzeugen. Um ein detailliertes wissenschaftliches Monitoring der steuerbaren Stromerzeugung durchzuführen, wurde im Zuge des Vorhabens an der Demonstrationsanlage umfangreich Messtechnik verbaut. Die Messergebnisse weisen die Fähigkeit der Anlage nach, steuerbar Strom zu erzeugen. Insbesondere zum Betrieb des Gasspeichers konnten detaillierte Erkenntnisse gewonnen werden.

II. Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	14
2	Potenzial und Bedarf	17
2.1	Potenzial der Steuerbaren Stromerzeugung.....	17
2.2	Rolle von Biogas im zukünftigen Energiesystem	19
3	Steuerinstrumente für die steuerbare Stromerzeugung.....	25
3.1	Spotmärkte der <i>EPEX Spot SE</i>	25
3.2	Regelleistung.....	28
3.3	Schlussfolgerungen	31
4	Grundlegende Konzepte für eine steuerbare Stromerzeugung mit Biogasanlagen31	
4.1	Flexible Gasproduktion	32
4.2	Desintegration	33
4.3	Festbett-Fermenter	33
4.4	Speicherung von Biogas.....	34
5	Analyse Technik relevanter Komponenten	35
5.1	Gasspeicher	35
5.1.1	Gasspeichertechnologie.....	36
5.1.2	Bewertung der Gasspeichertechnologien	39
5.1.3	Gasspeichermanagement	40
5.1.4	Füllstandsüberwachung	42
5.2	Gasstrecke und BHKW.....	44
5.2.1	Kommunikationstechnik	44
5.2.2	BHKW-Taktbetrieb	45
5.2.3	BHKW-Teillastbetrieb.....	48
5.2.4	Gasstrecke und Gasaufbereitung	50
6	Wärmenutzung bei steuerbarer Stromerzeugung.....	51
6.1	Eigenwärmebedarf bei steuerbarer Stromerzeugung.....	51
6.2	Externe Wärmenutzung bei steuerbarer Stromerzeugung.....	54
6.3	Sicherstellung der Wärmeversorgung.....	57
6.3.1	Wärmespeicherung.....	58
6.3.2	Zusätzliche Wärmeerzeugungseinheit	60
7	Rechtliche Aspekte	62
7.1	Vergütungsrecht	62
7.1.1	Optionales Marktprämienmodell	62
7.1.2	Flexibilitätsprämie	64
7.2	Genehmigungsrecht	65
7.2.1	Privilegierte Anlagen § 35 BauGB.....	65
7.2.2	Störfallverordnung.....	66
7.2.3	Bundesimmissionsschutzgesetz BImSchG	66

7.2.4	Erneuerbare Energien Gesetz (EEG)	66
7.2.5	Genehmigungsbehörden.....	67
8	Konzeptentwicklung.....	68
8.1	Simulation optimierter Stromerzeugungskonzepte	68
8.1.1	Vorgehensweise Fahrplanerstellung	68
8.1.2	Optimierungsverfahren.....	69
8.1.3	Mathematische Beschreibung der Biogasanlage	70
8.1.4	Parameterstudie.....	73
8.1.5	Ergebnis-Analyse	73
8.2	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	84
8.2.1	Vorgehensweise	84
8.2.2	Parameterstudie.....	88
8.2.3	Ergebnis-Analyse	90
8.3	Einfluss der steuerbaren Stromerzeugung auf Treibhausgasemissionen.....	93
8.3.1	Treibhausgasbelastungen bei der steuerbaren Stromerzeugung	93
8.3.2	Treibhausgasgutschriften bei der steuerbaren Stromerzeugung	94
8.3.3	Zusammenfassung.....	97
9	Demonstration der steuerbaren Stromerzeugung.....	98
9.1	Betriebs und Stromerzeugungskonzept.....	100
9.1.1	Einschränkung der Flexibilität durch Netzanschluss	101
9.2	Messkonzept	103
9.3	Ergebnisse aus dem Monitoring	105
9.3.1	Betrieb BHKW	105
9.3.2	Betrieb Gasspeicher.....	109
9.3.3	Zustände im Gasspeicher	110
9.3.4	Gasspeichermanagement.....	113
10	Fazit.....	116
11	Ausblick	117
	Quellenangaben	118
	Anhang	123

III. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung des Biogasanlagenbestands in Deutschland (DBFZ 2014).....	17
Abbildung 2: Verteilung des Biogasanlagenbestands in Deutschland (DBFZ 2014).....	18
Abbildung 3: Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien nach Energiequelle (nach Nitsch et al. 2012).....	20
Abbildung 4: Installierte Leistung aus Erneuerbaren Energien nach Energiequelle (nach Nitsch et al. 2012).....	21
Abbildung 5: Dargebotsabhängige Einspeisung, aktuelle Netzlast sowie Strom Im- und Exporte, beispielhafter Verlauf über zwei Wochen, ohne Biogas (Nitsch et al. 2012)	22
Abbildung 6: Auslastung der potenziell steuerbaren Stromerzeugung in den Jahren 2020 sowie 2050 (Nitsch et al. 2012)	23
Abbildung 7: Strompreis, Stromerzeugung und Stromverbrauch am 25.04.2013 (Agora Energiewende 2015)	26
Abbildung 8: Entwicklung der durchschnittlichen Strompreise am Day-Ahead-Auktion der EPEX Spot SE.....	27
Abbildung 9: Vergleich durchschnittlicher Strompreise der Day-Ahead-Auktion und des Intraday-Marktes.....	27
Abbildung 10: Candle-Stick-Diagramm Strompreise Intraday-Markt 2011.....	28
Abbildung 11: Candle-Stick-Diagramm Strompreise Day-Ahead-Auktion 2011.....	28
Abbildung 12: Musterprotokoll Präqualifikation (FNN 2007)	30
Abbildung 13: Leistungsänderungszeit mit Totzeit (FNN 2007).....	30
Abbildung 14: Gasbildungsraten und Gasausbeuten unterschiedlicher landwirtschaftlicher Substrate (Mähnert 2007).....	32
Abbildung 15: Aufbauprinzip Doppelmembran (Tragluftdach) Gasspeicher (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2007).....	37
Abbildung 16: Links: Tragluftgebläse; Rechts: Zufuhr Tragluft in Gasspeicher (Sattler/CenoTec 2012)	38
Abbildung 17: Schematische Darstellung der unregelmäßigen Ausformung der Gasspeichermembran bei Tragluftfoliendächern	42
Abbildung 18: Schematische Darstellung eines Seilzug-Messsystems zur Füllstandsüberwachung (Durchhängen der Speichermembran und Verfälschung des Messwertes)	43
Abbildung 19: Platzierung mehrerer Schlauchwaagen auf der Speichermembran.....	44
Abbildung 20: Kennlinie Wirkungsgrad BHKW (2G Energietechnik 2011).....	49

Abbildung 21: Abkühlung des Fermenterinhaltens nach 6 h ohne Wärmezufuhr bei unterschiedlichen thermischen Leistungsbedarfen zur Aufrechterhaltung der Substrattemperatur.....	52
Abbildung 22: Abkühlung des Fermenterinhaltens nach 12 h ohne Wärmezufuhr bei unterschiedlichen thermischen Leistungsbedarfen zur Aufrechterhaltung der Substrattemperatur.....	53
Abbildung 23: Abkühlung des Fermenterinhaltens nach 24 h ohne Wärmezufuhr bei unterschiedlichen thermischen Leistungsbedarfen zur Aufrechterhaltung der Substrattemperatur.....	53
Abbildung 24: Wärmelast der Fermenterbeheizung im Jahresverlauf	54
Abbildung 25: Häufigkeit der Art der Wärmenutzung, absolute Anzahl der Nennungen und relative Häufigkeit (DBFZ 2014)	55
Abbildung 26: Wärmelast eines im Jahresverlauf Ein-/Zweifamilienwohnhauses inkl. Warmwasserbereitstellung	56
Abbildung 27: Trocknungsperioden unterschiedlicher Wirtschaftsgüter (Institut für angewandtes Stoffstrommanagement 2010).....	57
Abbildung 28: Wärmespeichergrößen in Abhängigkeit der Überbrückungsdauer bei einer Temperaturspreizung von 20 K	59
Abbildung 29: Stromvergütung im Marktprämienmodell	63
Abbildung 30: Informationsflussdiagramm für Optimierung	69
Abbildung 31: Erlöse mit optimiertem Fahrplan „Durchschnittstag“	74
Abbildung 32: Fahrplan, Speicherfüllstand, Strompreise bei 2-fach installierter Leistung, 12h Speicher, "Durchschnittstag"	75
Abbildung 33: Erlöse mit optimiertem Fahrplan „Werktag“.....	76
Abbildung 34: Erlöse mit optimiertem Fahrplan „Wochenende“.....	77
Abbildung 35: Fahrplan, Speicherfüllstand, Strompreise bei 2-fache installierter Leistung, 12h Speicher, "Werktag".....	78
Abbildung 36: Fahrplan, Speicherfüllstand, Strompreise bei 2-fach installierter Leistung, 12h Speicher, "Wochenende".....	79
Abbildung 37: Fahrplan, Speicherfüllstand, Strompreise bei 2-fach installierter Leistung, 12h Speicher, "Woche".....	80
Abbildung 38: Fahrplan, Speicherfüllstand, Strompreise bei 2-fach installierter Leistung, 24h Speicher, "Woche".....	81
Abbildung 39: Erlöse mit optimiertem Fahrplan „Woche“.....	82

Abbildung 40: Erlöse mit optimiertem Fahrplan „Jahr“	83
Abbildung 41: Aufteilung der Investitionskosten bei Varianten 2.3.6 und 2.3.24.....	92
Abbildung 42: Biogasanlage Zellerfeld	98
Abbildung 43: Auf den Strommarkt optimierter Fahrplan der BGA Zellerfeld.....	101
Abbildung 44: Schematische Darstellung des Netzanschlusses der BGA Zellerfeld	102
Abbildung 45: Darstellung eines Fahrplans der BGA Zellerfeld über reale Messwerte (13.08.2014)	103
Abbildung 46: Schematische Darstellung des Messkonzepts an der BioStrom Demonstrationsanlage.....	104
Abbildung 47: Histogramm der an der BGA Zellerfeld erzeugten elektrischen Leistung (1.07 bis 30.11.2014).....	106
Abbildung 48: Normalbetrieb der BGA Zellerfeld (13. bis 16. August 2014)	107
Abbildung 49: Fahrweise der BGA Zellerfeld bei hoher solarer Einstrahlung (20. Juli 2014)	107
Abbildung 50: Fahrweise bei erhöhter Bemessungsleistung (21. bis 24. November 2014)	108
Abbildung 51: Leistungsbereitstellung während des Starts- und Ausschaltvorgangs der BHKWs.....	109
Abbildung 52: Gasspeicherauslastung an der BGA Zellerfeld (1.07 bis 30.11.2014)	110
Abbildung 53: Temperatur im Gasspeicher der Demonstrationsanlage und einflussnehmende Faktoren (18. bis 21. Juli 2014)	111
Abbildung 54: Temperatur im Gasspeicher der Demonstrationsanlage und einflussnehmende Faktoren (7. bis 10. Februar 2015)	112
Abbildung 55: Schematische Darstellung der Positionierung der verbauten Systeme zur Füllstandüberwachung.....	113
Abbildung 56: Vergleich Seilzug vs. Schlauchwaage bei Abgleich des Seilzug-Systems	114

IV. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Potenzial der Erhöhung der Flexibilität des Biogasanlagenbestands.....	19
Tabelle 2: Minimalziele des Anteils Erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung (BMJV 2012)	19
Tabelle 3: Vergleich der Vermieden Stromerzeugungskosten durch Biogas bei unterschiedlicher Flexibilität (Hartmann et al. 2010).....	24
Tabelle 4: Bewertung einzelner Gasspeichertechnologien	39
Tabelle 5: Wasserdampf-Korrekturfaktor zur Berechnung des Normvolumens (nach KTBL 2009)	41
Tabelle 6: Beispiel zur Normierung des Lungenvolumens	42
Tabelle 7: Investitionskosten für zylindrische Wärmespeicher	60
Tabelle 8: Richtpreise für Heizkessel samt Gasbrenner verschiedener Leistungsgrößen .	61
Tabelle 9: Betrag der Managementprämie (P_M) 2012...2014	62
Tabelle 10: Installierte Leistungen in der Parameterstudie	73
Tabelle 11: Beispiel Übersichtsblatt Wirtschaftlichkeitsberechnung	87
Tabelle 12: Zusammenfassung der Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	89
Tabelle 13: Methanverluste bezogen auf die eingesetzte Methanmenge (Vogt et al. 2008)	93
Tabelle 14: Einfluss der steuerbaren Stromerzeugung auf die Methanemissionen	94
Tabelle 15: Durch Biogas erzeugte Strommengen und bereitgestellte Leistungen im Jahr 2030 bei unterschiedlichen Flexibilitäten (Holzhammer 2013).....	96
Tabelle 16: Kennzahlen der BGA Zellerfeld.....	99

V. Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung	Einheit
€/kW _{Bem,a}	Euro pro Kilowatt Bemessungsleistung im Jahr	
a	Jahr	
BauGB	Baugesetzbuch	
B _{CHP,n}	Biogasverbrauch des BHKW n	kW
BGA Zellerfeld	Biogas Zellerfeld GmbH & Co. KG	
BHKW	Blockheizkraftwerk	
BimSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz	
B _{kWh,max,t}	maximal zur Verfügung stehender Biogasspeicherfüllstand in der Zeiteinheit t	kWh
B _{kWh,t}	Biogasspeicherfüllstand in der Zeiteinheit t	kWh
BNetzA	Bundesnetzagentur	
B _{new,t}	zur Verfügung stehendes Gas pro Zeitschritt	kW
c	spezifische Wärmekapazität	kJ/kgK
CH ₄	Methan	%
CO ₂	Kohlendioxid	%
CO _{2e}	Carbon dioxide equivalent	
d	Tag	
dena	Deutsch Energie-Agentur	
EE	Erneuerbare Energien	
EEG	Erneuerbare Energien-Gesetz	
e _{EPEX,t}	am Strommarkt erzielbarer Preis in der Zeiteinheit t	€/kWh
el	elektrisch	
EnWg	Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung - Energiewirtschaftsgesetz	
EPDM	Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk	
E _{th}	Thermische Energie	kWh _{th}
EUR	Euro	
EURcent	Eurocent	
f _{Kor}	Korrekturfaktor	
FP	Flexibilitätsprämie	
GFK	glasfaserverstärkter Kunststoff	
GPS	Ganzpflanzensilage	
GT	Gasturbine	
GuD	Gas und Dampf	
GW	Gigawatt	
h	Stunde	
H ₂ S	Schwefelwasserstoff	ppm

Abkürzung	Beschreibung	Einheit
H_i	unterer Heizwert	kWh/m ³
HKW	Heizkraftwerk	
Hz	Hertz	
IEC	Internationale Elektrotechnische Kommission	
InES	Institut für neue Energie-Systeme	
K	Kelvin	
KK	Kapazitätskomponente	
KW	Kilowatt	
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung	
l_{stor}	Speicherverluste bei der Biogasspeicherung	%
$l_{\text{stor,charge}}$	Speicherverluste bei der Biogaseinspeisung	%
$l_{\text{stor,discharge}}$	Speicherverluste bei der Biogasausspeisung	%
m	Masse	kg
mbar	Millibar	
Mio	Millionen	
MW	Megawatt	
MW_{EPEX}	Monatsmittelwert der Stundenkontrakte der Day-ahead-Auktion der EPEXSpot SE	
MWh	Megawattstunde	
n	Anzahl	
n	Index des BHKW	
N	Anzahl an installierten BHKW	
NG	Nachgärer	
Nm ³	Normkubikmeter	
O ₂	Sauerstoff	%
OTC	Over-the-counter	
p_a	Druck absolut	mbar
P_{Bem}	Bemessungsleistung	kW _{el}
$P_{\text{gen}}^{\text{CHP,el,n}}$	elektrische Leistung des BHKW n	kW _{el}
$P_{\text{gen}}^{\text{CHP,el,n,t}}$	elektrische Leistung des BHKW n in der Zeiteinheit t	kW _{el}
$P_{\text{gen}}^{\text{CHP,th,n}}$	thermische Leistung des BHKW n	kW _{th}
$P_{\text{gen}}^{\text{CHP,th,n,t}}$	thermische Leistung des BHKW n in der Zeiteinheit t	kW _{th}
P_{inst}	installierte elektrische Leistung	kW _{el}
P_M	Managementprämie	ct/kW _{el}
p_N	Normdruck	mbar
P_{rated}	Bemessungsleistung der Biogasanlage	kW _{el}
$\text{Profil}_{\text{CHP,n,t}}$	Fahrweise des BHKW n in der Zeiteinheit t	0,1
PSW	Pumpspeicherkraftwerk	

Abkürzung	Beschreibung	Einheit
PV	Photovoltaik	
P_{Zusatz}	flexibel bereitgestellte zusätzliche Leistung	kW_{el}
$r_{\text{CHP},n,t}$	Erlöse des BHKW n in der Zeiteinheit t an der <i>EPEX Spot Day-Ahead</i> -Auktion	€
SRL	Sekundärregelleistung	
t	Index der Zeiteinheit t	
T	Anzahl der Zeiteinheiten t	
T	Temperatur	°C
th	thermisch	
T_N	Normtemperatur	K
TWh_{el}	Terrawattstunde (elektrisch)	
V	tatsächliches Volumen in	m^3
V_N	Normvolumen des Gases	Nm^3
W	Watt	
ΔT	Temperaturdifferenz	K
$\eta_{\text{CHP},\text{el},n}$	elektrischer Wirkungsgrad des BHKW n	%
λ	Verbrennungsluftverhältnis	

VI. Danksagung

Der vorliegende Schlussbericht fasst die Ergebnisse des vom *Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)* in Form einer Zuwendung unterstützten Vorhabens „*BioStrom – Steuerbare Stromerzeugung*“ (FKZ 03KB061) zusammen. Die Autoren bedanken sich für die Förderung im Rahmen des Programms „Energetische Biomassenutzung“ sehr herzlich.

Das Förderprogramm „Energetische Biomassenutzung“ wurde in exzellenter Weise durch das *DBFZ* begleitet.

Für die professionelle technische Projektabwicklung möchten wir Herrn Sven Matura vom *Projekträger Jülich* unseren herzlichen Dank aussprechen.

Die Autoren danken insbesondere auch den Betreibern der *Biogasanlage Zellerfeld*, ohne deren Bereitschaft, Engagement und Interesse die Durchführung des Vorhabens nicht möglich gewesen wäre.

Weiter gebührt besonderer Dank den Teilnehmern der verschiedenen, im Rahmen des Vorhabens durchgeführten, Expertengespräche, deren konstruktive Kommentare einen wesentlichen Beitrag den sie zum Projekterfolg geleistet haben.

1 Einleitung

In der *dena*-Netzstudie (dena 2005) wurde festgestellt, dass mit dem Ausbau der Windenergie bis 2015 die Anforderungen an die Versorgungssicherheit und -zuverlässigkeit steigen. Zwar müssen die Aufgaben zur Erhaltung der Versorgungssicherheit in den nächsten Jahren weiterhin überwiegend durch den konventionellen Kraftwerkspark erfüllt werden, eine Erschließung und Entwicklung der Potenziale von Lastmanagement und neuen Speichertechnologien sowie die Nutzung der Möglichkeiten von Erneuerbaren Energien zur bedarfsgerechten Stromeinspeisung müssen dabei jedoch bereits zur Erhöhung der Effizienz bei der Integration der Erneuerbaren Energien beitragen und einen langfristigen Umbau des Stromversorgungssystems auf Erneuerbare Energien rechtzeitig vorbereiten und unterstützen. Mit dem Ausbau über 2015 hinaus kann die Einspeisung aus Windenergieanlagen durch das Auftreten von Netzengpässen nicht mehr jederzeit vom Stromnetz aufgenommen werden (dena 2005).

Aus diesem Grund ist das primäre Ziel des Vorhabens, anhand von Simulationen und den Erfahrungen in einer Pilot- bzw. Demonstrationsanlage, bestehende Biogasanlagen, die Biomassen, biogene Reststoffe bzw. Landschaftsbiomassen gemäß der Biomasseverordnung (Definition Biomasse) einsetzen, in die Lage zu versetzen als steuerbare Stromerzeuger zu fungieren und damit zur Erhöhung der Effizienz bei der Integration der Erneuerbaren Energien beizutragen. Hierbei werden konkrete Lösungen sowohl im technischen als auch im (genehmigungs-)rechtlichen Kontext erarbeitet. Somit werden Biogasanlagen frühzeitig, durch z.B. den Einsatz von effizienten Speichertechnologien, in die Lage versetzt, Lastmanagement zu betreiben und damit als steuerbare Stromerzeuger in Aktion zu treten.

Positiver Nebeneffekt des Projektes ist, dass durch eine steuerbare Stromerzeugung aus Biogas eine Substitution von Strom aus fossilen Energieträgern erreicht werden kann. Des Weiteren kann der Anteil von Wind- und Solarenergie im deutschen Stromnetz dadurch erhöht werden, was den Anteil an Erneuerbaren Energien vergrößert. Dadurch werden Emissionsminderungen und klimaefiziente Technologien gestärkt.

Projektziele

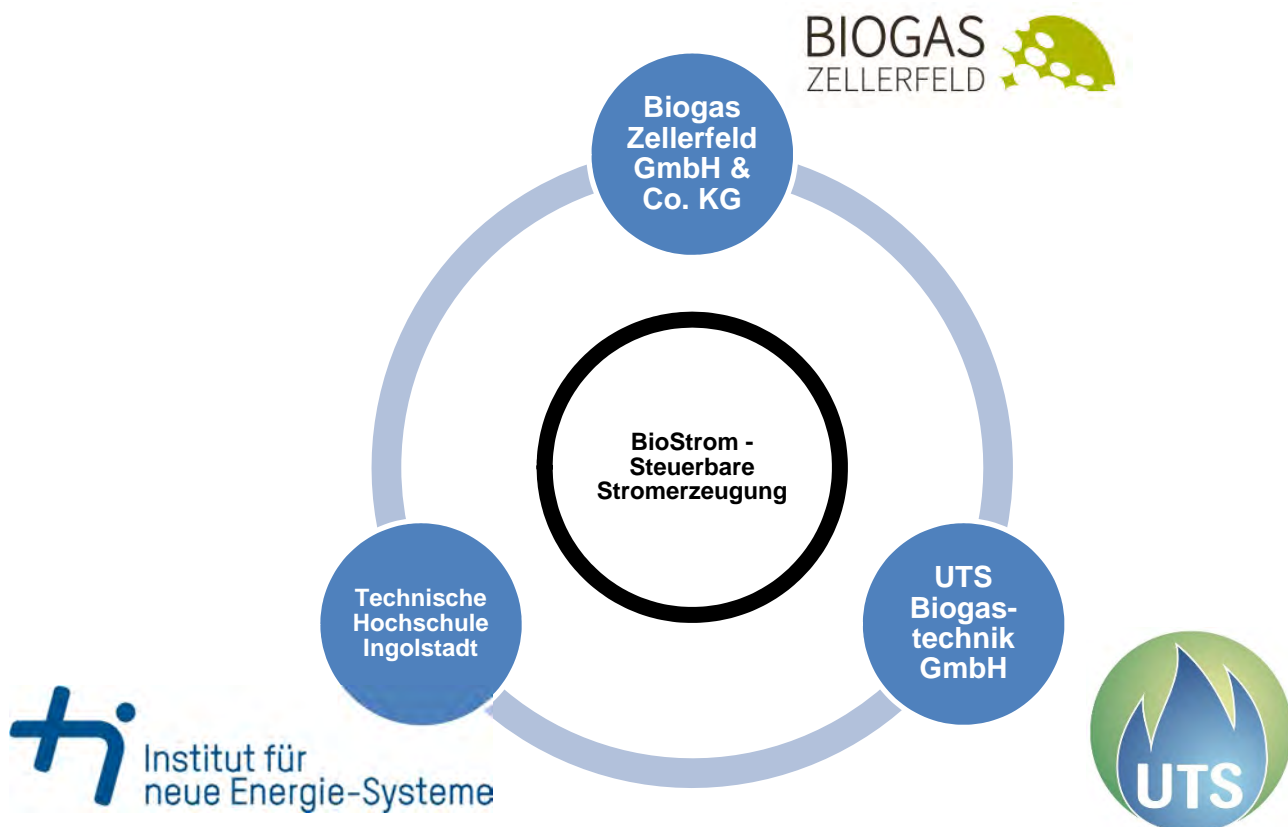
Das Forschungsvorhaben zielt auf einen neuen Anwendungsbereich der Nutzung von Biogas ab. Dabei sollen bestehende Biogasanlagen in die Lage versetzt werden, steuerbar Strom erzeugen zu können.

Die Teil-Ziele lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Entwicklung eines Systems zur steuerbaren, bedarfsgerechten Stromerzeugung durch Biogasanlagen
- Entwicklung eines Systems zur Speicherung von Biogas im Bereich von 4 bis 24 Stunden pro Tag
- Entwicklung eines Systems zur Sicherstellung der Wärmelieferung für interne und externe Verbraucher während BHKW-Stillstand (4 bis 24 Stunden pro Tag)
- Umsetzung der Maßnahmen an einer bestehenden Biogasanlage, die als Substrate Biomassen, biogene Reststoffe bzw. Landschaftsbiomassen gemäß der Biomasseverordnung (Definition Biomasse) einsetzt
- Simulation von Lösungskonzepten als Auslegungsgrundlage bzgl. der steuerbaren Stromerzeugung
- Verifikation von Simulation und praktischem Anlagenbetrieb
- Konkret sollen verschiedene Lösungskonzepte hinsichtlich der steuerbaren Stromerzeugung erstellt werden, daraus soll schließlich ein Konzept an einer bestehenden Biogasanlage (Biogasanlage Zellerfeld) umgesetzt werden. Diese Biogasanlage wird von der *UTS Biogastechnik GmbH* im Rahmen des Projektes umgerüstet und damit in die Lage versetzt, steuerbar Strom zu erzeugen.
- Die entwickelten und umgesetzten Umbaumaßnahmen dienen als Grundlage für deutschlandweite Umbaumaßnahmen an bestehenden und zukünftigen Biogasanlagen.

Kooperation

Das Projekt „BioStrom – Steuerbare Stromerzeugung“ wird als Verbundprojekt der Partner *UTS Biogastechnik GmbH* und dem Institut für neue Energiesysteme (InES – vormals *KOMPETENZFELD ERNEUERBARE ENERGIEN*) der *Technischen Hochschule Ingolstadt* durchgeführt. Desweiteren werden die entwickelten Maßnahmen zur bedarfsgerechten Stromerzeugung an der Biogasanlage der *Biogas Zellerfeld GmbH & Co. KG* (assoziierter Partner) umgesetzt.



2 Potenzial und Bedarf

2.1 Potenzial der Steuerbaren Stromerzeugung

Das Potenzial der Biogasanlagen in Deutschland für eine flexible steuerbare Stromerzeugung wird im Folgenden plakativ verdeutlicht.

Hierzu wird zunächst der Biogasanlagenbestand in Deutschland betrachtet. Der Beitrag der Stromerzeugung aus Biogas an der Bruttostromerzeugung aus Erneuerbaren Energien betrug im Jahr 2013 ca. 18 %. Im selben Jahr waren ca. 7.700 Biogasanlagen in Deutschland in Betrieb (DBFZ 2014). Diese verfügten über eine installierte elektrische Leistung von ca. 3.400 MW_{el} (DBFZ 2014). Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Anlagenleistung von ca. 450 kW_{el}. Abbildung 1 zeigt die Entwicklung des deutschen Anlagenbestands differenziert nach Leistungsklassen. Das Gros der Anlagen liegt, wie dargestellt, im Leistungsbereich zwischen 151...500 kW_{el}.

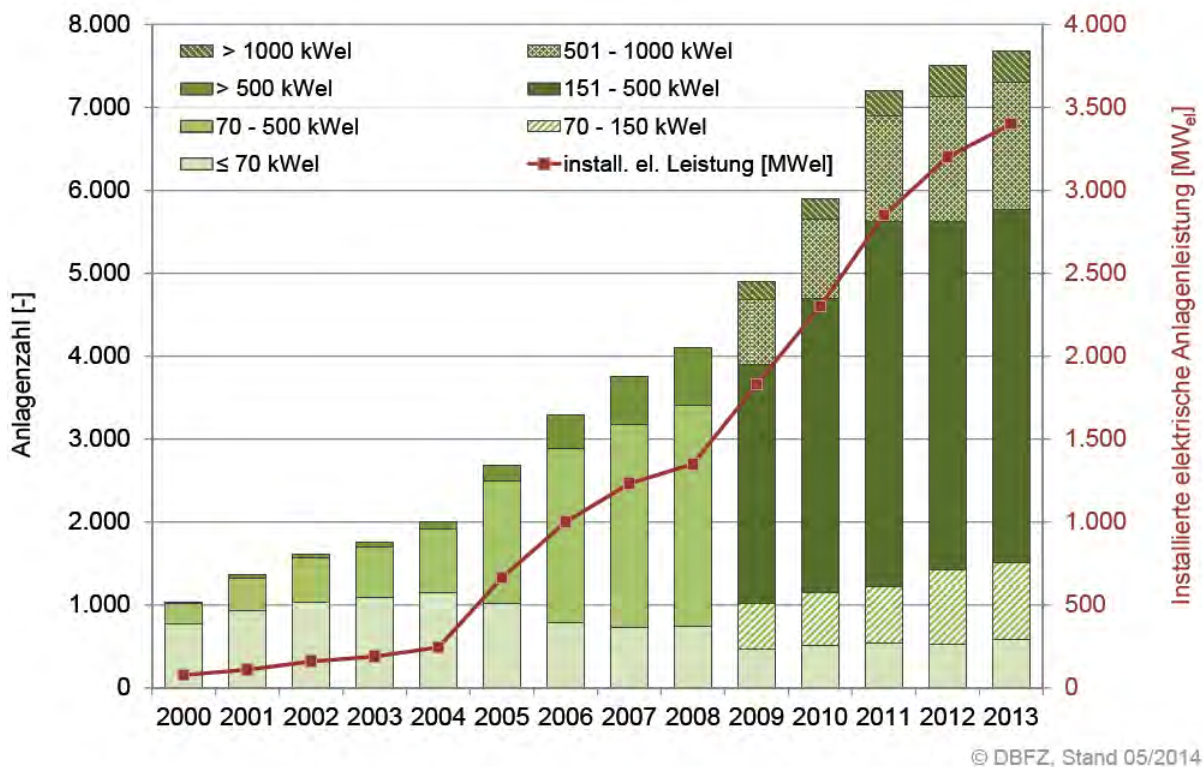


Abbildung 1: Entwicklung des Biogasanlagenbestands in Deutschland (DBFZ 2014)

Die Verteilung der Biogasanlagen in Deutschland ist als relativ homogen anzusehen. Im Gegensatz zur Konzentration der Windkraftanlagen im Norden und Photovoltaik im Süden Deutschlands, ist die Stromerzeugung aus Biogas weniger auf bestimmte Regionen begrenzt. Wie in Abbildung 2 dargestellt gibt es im Norden Deutschlands eine

Anlagenkonzentration in Niedersachsen, im Süden Deutschlands in Bayern und im Süden Baden-Württembergs.

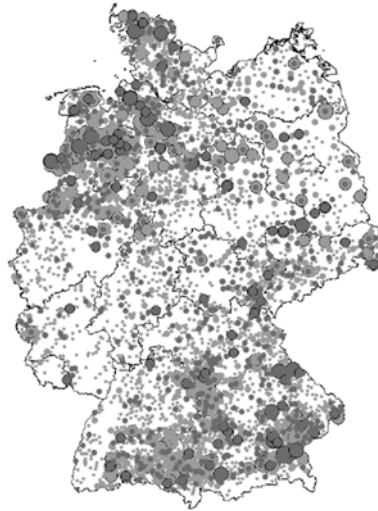


Abbildung 2: Verteilung des Biogasanlagenbestands in Deutschland (DBFZ 2014)

Aufgrund des Beitrags der Biogasanlagen an der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und der homogenen Anlagenverteilung können zukünftig Biogasanlagen in ganz Deutschland durchaus einen bedeutenden Beitrag zum Ausgleich von fluktuierenden erneuerbaren Energieerzeugern und damit zur Netzstabilität beitragen.

Der zukünftige Beitrag der Biogasanlagen zur Stromversorgung kann darin bestehen, durch eine Verlagerung der Stromerzeugung Erzeugungsmanagement zu betreiben und Aufgaben konventioneller Kraftwerke zur Spitzenlastabdeckung (z.B. Gasturbinenkraftwerke oder Pumpspeicherkraftwerke) zu übernehmen und diese zu substituieren.

Bis zur Novellierung des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG) 2012 wurde bei der Vergütung des EEG-Stroms lediglich die Quantität der Energieeinspeisung und nicht die Qualität des Einspeiseprofiles berücksichtigt. Dadurch lag es im wirtschaftlichen Interesse eine möglichst hohe Auslastung der Anlage und hohe Anzahl Volllaststunden zu erreichen. Aus diesem Grund werden konventionelle Biogasanlagen möglichst kontinuierlich mit hohen Volllaststunden betrieben.

Um das Potenzial des aktuellen Anlagenbestands darzustellen werden verschiedene Szenarien betrachtet, bei denen alle Biogasanlagen in Deutschland in der Lage sind flexibel, steuerbar Strom zu erzeugen und die Stromerzeugung auf definierte Zeiträume zu verlagern und zu konzentrieren. Dabei wird davon ausgegangen, dass bei allen Biogasanlagen Kapazitäten geschaffen werden, so dass diese spitzenlastfähig sind und die täglich produzierte Energiemenge (derzeit installierte Leistung 3.400 MW x 24 h) über einen Zeitraum von 12 und 6 erzeugt wird. Dadurch erhöht sich die installierte elektrische Leistung wie in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Potenzial der Erhöhung der Flexibilität des Biogasanlagenbestands

Energiemenge [GWh _{el} /d]	Laufzeit [h/d]	Installierte Leistung [GW _{el}]
81,6	24	3,4
	12	6,8
	6	13,6

Aufgrund der sich ergebenden hohen installierten el. Anlagenleistungen ergibt sich ein enormes Potenzial zur Kompensation von konventionellen Spitzenlastkraftwerken. Verglichen mit einem der größten GuD-Kraftwerke in Deutschland, dem Kraftwerk Irsching, östlich von Ingolstadt, mit einer Nettoleistung von 1,81 GW_{el} (e.on 2015) ergibt sich durch eine Verlagerung der Stromerzeugung aus Biogas um 12 h eine Substitution von 3,8 Gaskraftwerken zur Spitzenlastabdeckung. Wird die Stromerzeugung um 18 h werden entsprechend 7,5 Gaskraftwerke ersetzt. Dies zeigt das bedeutende Potenzial der steuerbaren Stromerzeugung aus Biogas auf, zumal die notwendige Technologie bereits heute verfügbar ist.

2.2 Rolle von Biogas im zukünftigen Energiesystem

Mit dem Energiekonzept der Bundesregierung vom September 2010 (BMWi 2010) und dem zugehörigen Gesetzespaket aus dem Sommer 2011 wurde ein politischer Rahmen für den Klimaschutz und den Umbau der Energieversorgung in Deutschland festgelegt. Ziel ist eine Reduzierung der deutschen Treibhausgasemissionen im Jahr 2050 um 80 % auf 95 % der Treibhausgasemissionen von 1990.

Um dieses Ziel zu erreichen wurden im Rahmen der Novellierung des Erneuerbare Energien Gesetzes (EEG) 2012 die in Tabelle 2 aufgelisteten minimalen Ziele des Anteils Erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung beschrieben (BMJV 2012).

Tabelle 2: Minimalziele des Anteils Erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung (BMJV 2012)

Jahr	Ziel
2020	35 %
2030	50 %
2040	65 %
2050	80 %

Das Energiekonzept der Bundesregierung basiert auf der Leitstudie 2011 (Nitsch et al. 2012). Diese Studie stellt dar, wie die erhebliche Herausforderung der Transformation des Energiesystems gelöst werden kann. Vergleichbare Studien mit sich deckenden Ergebnissen wurden unter anderem von Barzantny et al. (2009), Sachverständigenrat für Umweltfragen (2010) und World Wild Fund of Nature (2009) durchgeführt.

Innerhalb der Leitstudie 2011 wurden, unter Berücksichtigung der verbleibenden bestehenden Energieversorgung und dem aus dem Umbau resultierenden strukturellen und ökonomischen Effekten, in sich konsistente Energieszenarien für einen langfristigen Ausbau der Energieversorgung aus Erneuerbaren Energien entwickelt. Hierfür wurden dynamische Simulationen der zukünftigen Energieversorgung durchgeführt. Die Szenarios wurden in Bezug auf die Lastdeckung überprüft. Aber auch die Rolle von Lastausgleichsoptionen, wie die Flexibilität von Kraftwerken, die Anpassung der Stromverteilung, Lastmanagement und elektrische Energiespeicher wurden untersucht.

Innerhalb des zentralen Szenarios der Studie, Szenario 2011 A, steigt der Anteil der Erneuerbaren Energien an der inländischen Stromerzeugung von 103,5 TWh_{el}/a im Jahr 2010 auf 427,4 TWh_{el}/a im Jahr 2050. Demnach wird, wie in Abbildung 3 dargestellt, die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien hauptsächlich über Windenergie und Photovoltaik erfolgen. Die Stromerzeugung aus Biomasse wird bei etwa 60 TWh_{el}/a erschöpft sein.

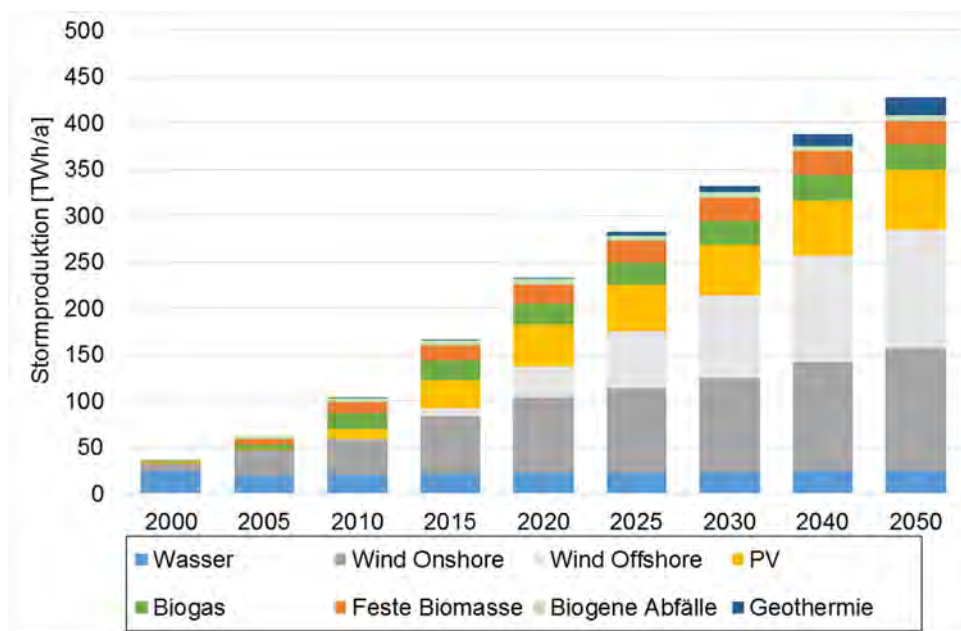


Abbildung 3: Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien nach Energiequelle (nach Nitsch et al. 2012)

Demnach wird die Stromversorgung aus Erneuerbaren Energien stark charakterisiert von fluktuierenden Erzeugern. Nach Nitsch et al. (2012) steigt der Anteil der fluktuierenden Stromerzeugung bezogen auf den Bruttostromverbrauch von 8 % im Jahr 2011 auf 28 % im Jahr 2020 und auf 55 % im Jahr 2050.

Durch die geringen Volllaststunden der fluktuierenden Energiequellen Sonne (850...950 h/a) und Wind (Onshore: 1.800...2.700 h/a; Offshore: 3.300...4.000 h/a) (Nitsch et al. 2012) ist wie in Abbildung 4 dargestellt eine hohe installierte Leistung dieser notwendig.

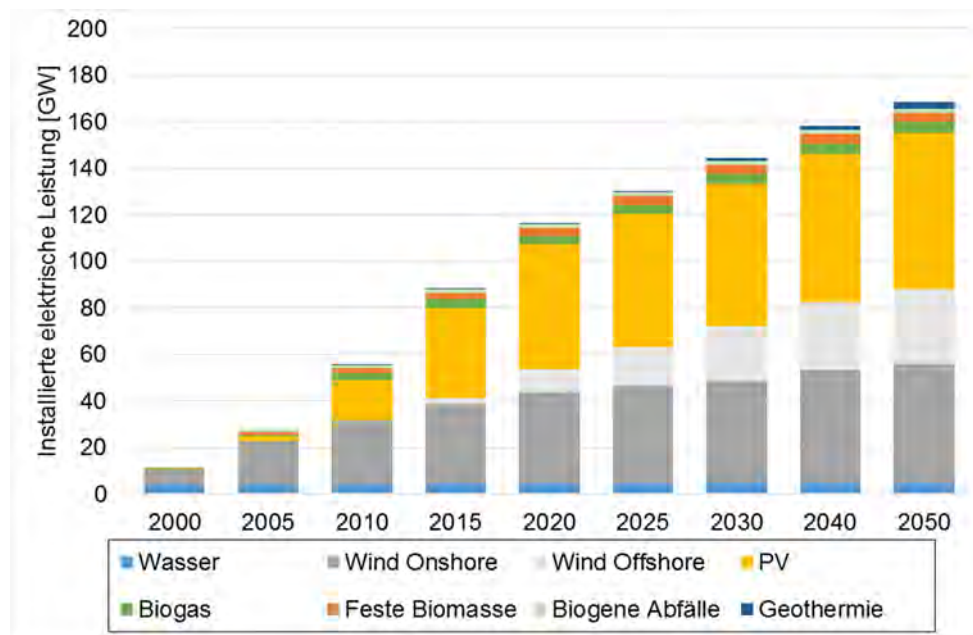


Abbildung 4: Installierte Leistung aus Erneuerbaren Energien
nach Energiequelle (nach Nitsch et al. 2012)

Bereits im Jahr 2020 überschreitet die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien mit einer installierten el. Leistung von 117 GW_{el} die erwartete Netz-Spitzenlast von 80 GW_{el} (Nitsch et al. 2012), wobei der Anteil der fluktuierenden Stromerzeugung signifikant dominiert. Dies zeigt, dass zumindest ab 2020 ein hoher Bedarf an Lastausgleich und Speicheroptionen für die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien besteht.

Nach Nitsch et al. (2012) kann bereits im Jahr 2020 eine stündliche Vollversorgung durch Erneuerbare Energiequellen erwartet werden. Abbildung 5 verdeutlicht wie sich Fluktuationen im Elektrizitätssystem durch die volatilen Leistungen der Stromerzeugung aus Wind und PV auf die residuale Last auswirken. Der Spitzenlastbedarf steigt und der Bedarf an Grundlast verschwindet fast gänzlich. Um die hoch volatile residuale Last zu decken, ohne die Einspeisung aus Erneuerbaren Energiequellen zu blockieren, müssen Must-Run-Einheiten reduziert und der gesamte Kraftwerksbestand flexibilisiert werden. Diese Flexibilität ist auch für den Betrieb von Biomasse und Biogasanlagen notwendig.

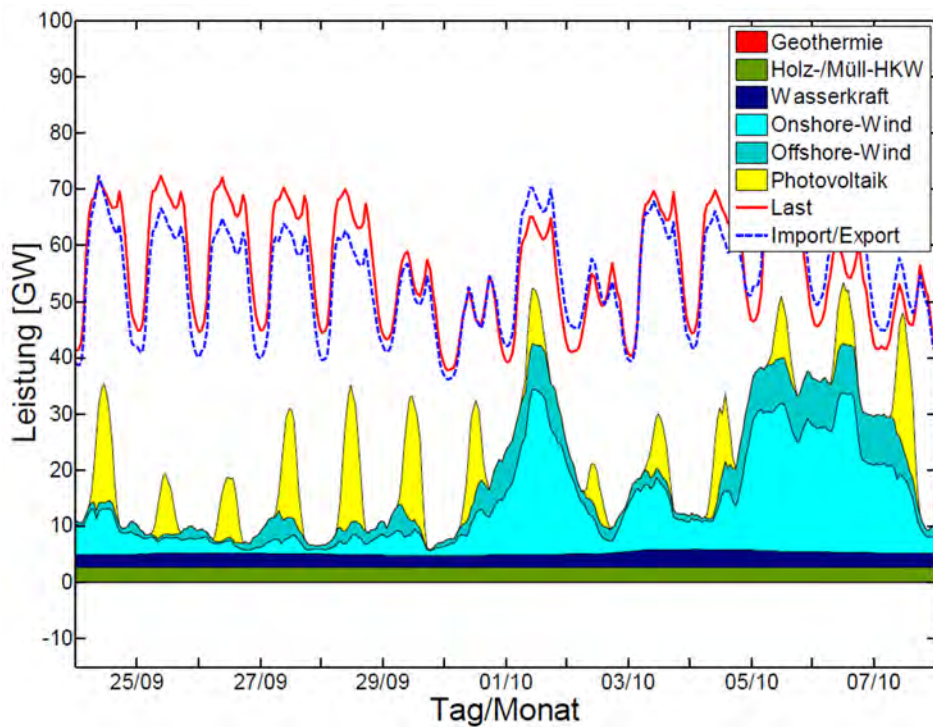


Abbildung 5: Dargebotsabhängige Einspeisung, aktuelle Netzlast sowie Strom Im- und Exporte, beispielhafter Verlauf über zwei Wochen, ohne Biogas (Nitsch et al. 2012)

Abbildung 6 zeigt wie die Anpassung an die sich ändernde residuale Last die Nutzung der potenziell steuerbaren Stromerzeugung verändert. Die Auslastung von fossil betriebenen Kondensationskraftwerken sinkt signifikant im Vergleich zur aktuellen Auslastung, genauso wie die Auslastung der Kraft-Wärme-Kopplung zwischen 2020 und 2050 (Nitsch et al. 2012). Im Jahr 2050 müssen Biogasanlagen flexibel mit ca. 4.000 Volllaststunden im Jahr betreiben werden anstatt der aktuellen Grundlast-Einspeisung.

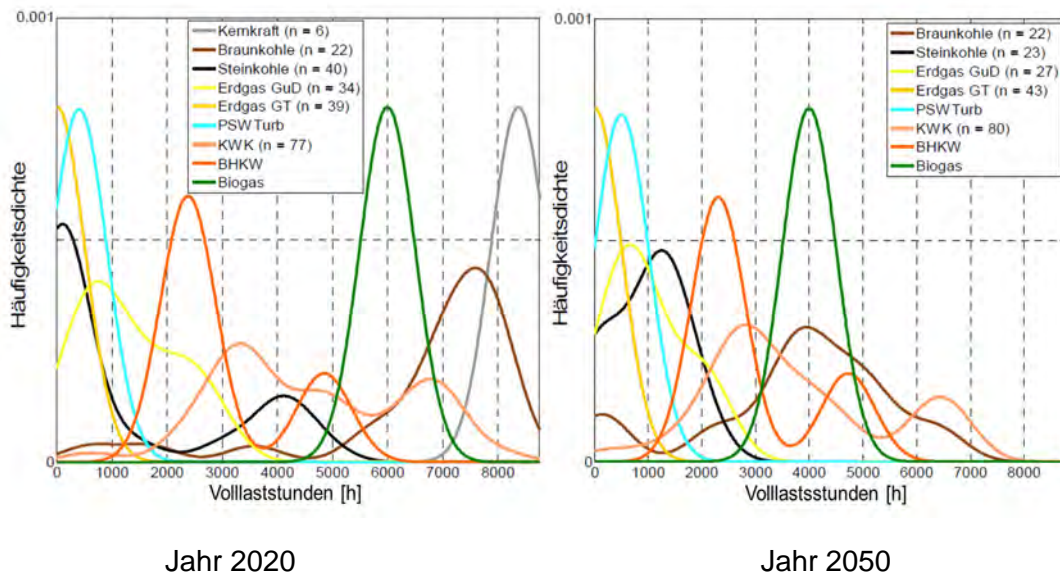


Abbildung 6: Auslastung der potenziell steuerbaren Stromerzeugung in den Jahren 2020 sowie 2050 (Nitsch et al. 2012)

Um diesen Anforderungen an Biogasanlagen in einem durch fluktuierende Erneuerbare Stromerzeugung charakterisierten Elektrizitätssystem gerecht zu werden, sind tiefere Untersuchungen bezüglich der expliziten Rolle von Biogasanlagen und deren Einfluss auf das System notwendig.

Die flexible gesteuerte Verstromung von Biogas hat dabei das Potenzial die Stromerzeugungskosten in einer zukünftigen auf Erneuerbaren Energien basierenden Stromversorgung zu senken. Hartman et al. (2010) untersuchte die vermiedenen spezifischen Stromerzeugungskosten durch konventionelle Stromerzeuger, um den monetären Wert des in Biogasanlagen erzeugten Stroms im Jahr 2020 zu ermitteln. Basierend auf der Leitstudie 2009 (Nitsch et al. 2009) wurde die von konventionellen Kraftwerken zu deckende Last im Jahr 2020 unter Betrachtung von unterschiedlichen Flexibilitätsgraden der Stromerzeugung aus Biogasanlagen berechnet (vgl. Tabelle 3). Demnach würde eine Flexibilisierung der Stromerzeugung aus Biogasanlagen ohne Begrenzung die Stromerzeugungskosten im Jahr 2020 um 30 % senken.

Tabelle 3: Vergleich der Vermiedenen Stromerzeugungskosten durch Biogas bei unterschiedlicher Flexibilität (Hartmann et al. 2010)

	Szenario	Leistungs- faktor	Installierte Leistung [GW]	Volllast- stunden [h/a]	Speicherkapazität (h Bemessungs- leistung)	Vermiedene Stromerzeu- gungskosten (Vergleich zu A)
A	Grundlast	1	1,76	8.000	-	-
B	Niedrige Flexibilität	1,5	2,64	5.333	8	6 %
C	Mittlere Flexibilität	2	3,53	4.000	12	10 %
D	Hohe Flexibilität	4	7,05	2.000	18	25 %
E	keine Begrenzung	24	42,3	333	23	30 %

3 Steuerinstrumente für die steuerbare Stromerzeugung

Damit die steuerbare Stromerzeugung mit Biogas einen sinnvollen Beitrag in einem Elektrizitätssystem mit hohem Anteil an fluktuierenden, dargebotsabhängigen Leistungen aus Erneuerbaren Energie leisten kann, ist es notwendig Steuerinstrumente zu nutzen, die sowohl einen sinnvollen Einsatz der verfügbaren Gasmenge ermöglichen, als auch einen monetären Anreiz für die steuerbare Stromerzeugung bieten.

Entsprechende Anreize für das Erzeugungsmanagement bietet der Stromhandel. Hier wird zwischen Energy-only-Märkten und dem Markt für Regelleistung unterschieden. Bei den Energy-only-Märkten werden Strommengen an der Börse oder außerbörslich, bilateral am OTC-Markt gehandelt.

An der Strombörse werden in Deutschland langfristige Produkte, auf dem Terminmarkt der *EEX Power Derivatives GmbH*, Leipzig, und kurzfristige Produkte auf dem Spotmarkt der *EPEX Spot SE*, Paris, gehandelt.

3.1 Spotmärkte der *EPEX Spot SE*

Für das Erzeugungsmanagement zum Ausgleich fluktuierender Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bieten sich die Spotmärkte der *EPEX Spot SE* an.

Bei den Spotmärkten der *EPEX Spot SE* wird zwischen der Day-Ahead-Auktion und dem Intraday-Markt unterschieden.

Bei der Day-Ahead-Auktion wird am Vortag der Stromlieferung bis 12:00 Uhr der Strom für jede Stunde des folgenden Tages gehandelt. Zur Preisbildung wird für das gesamte Marktgebiet für die jeweilige Stunde die Grenzkostenkurve der Stromerzeugung, die Merit Order, herangezogen.

Hohe und niedrige residuale Lasten, die von der fluktuierenden Stromerzeugung aus Wind und Photovoltaik beeinflusst werden wirken sich so auf den Strompreis aus. Hohe residuale Lasten führen tendenziell zu hohen Strompreisen. Folgt die steuerbare Stromerzeugung aus Biogas diesem Preissignal wird sichergestellt, dass die Stromerzeugung aus Biogas hauptsächlich dann erfolgt, wenn im Marktgebiet im Vergleich hohe residuale Lasten abzudecken sind, bzw. der aktuelle Anteil fluktuierender Stromerzeugung am Markt gering ist.

Zur Verdeutlichung, des Einflusses der residualen Last auf den Strompreis sind in Abbildung 7 exemplarisch die am 25. April 2013 durch konventionelle und erneuerbare Stromerzeugung bereitgestellte Leistung, der aktuelle Stromverbrauch sowie die Strompreise des Spotmarktes der *EPEX Spot SE* dargestellt. Mit dem Rückgang der residualen Last durch den hohen Anteil der regenerativen Stromerzeugung im Zeitraum zwischen 8 und 17 Uhr nimmt auch der Strompreis zu dieser Zeit ab. Die residualen Lasten

sind an diesem Tag zwischen 6 und 11 Uhr sowie zwischen 17 und 23 Uhr am höchsten. Dies deckt sich mit den Strompreisspitzen. Entsprechende, auf den Preisverlauf abgestimmte Fahrpläne ermöglichen höhere Einnahmen durch den Stromverkauf als durch den Grundlastbetrieb erreicht werden würde.

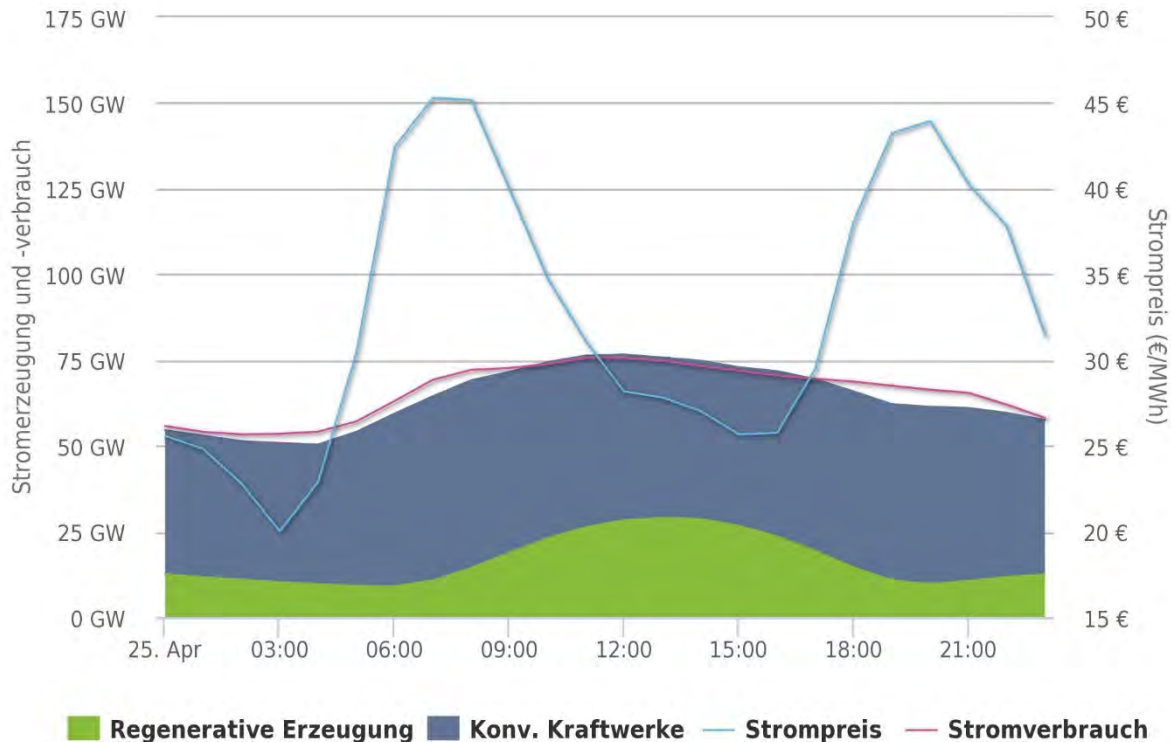


Abbildung 7: Strompreis, Stromerzeugung und Stromverbrauch
am 25.04.2013 (Agora Energiewende 2015)

Der Einfluss der regenerativen Stromerzeugung auf die Strompreise der Day-Ahead-Auktion der *EPEX Spot SE* lässt sich auch an der in [Abbildung 8](#) dargestellten Entwicklung der durchschnittlichen Strompreise der einzeln gehandelten Stunden in den letzten Jahren beobachten. Es ist deutlich zu erkennen, dass das Niveau der Strompreise von Jahr zu Jahr sinkt. Der durchschnittliche Strompreis im Jahr 2011 betrug 51,1 €/MWh. Im Jahr 2014 ist der durchschnittlich Strompreis der Day-Ahead-Auktion auf 33,6 €/MWh gefallen. Dies ist auf den im gleichen Zeitraum mit dem Ausbau der Erneuerbaren Energien verbundenen steigenden Anteil der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch von 20,4 % im Jahr 2011 auf 25,5 % im Jahr 2013 (BMWi 2014) zurückzuführen.

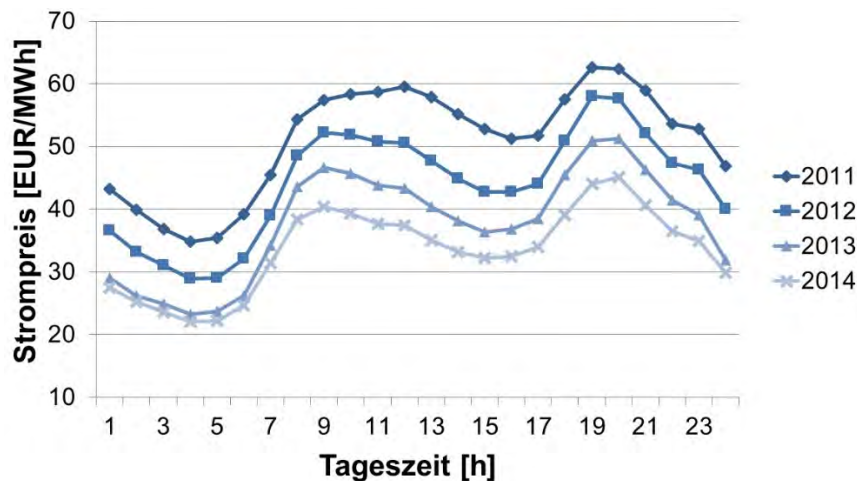


Abbildung 8: Entwicklung der durchschnittlichen Strompreise am Day-Ahead-Auktion der EPEX Spot SE

Am Intraday-Markt der *EPEX Spot SE* werden Stromkontrakte mit Lieferung am selben oder folgenden Tag gehandelt. Es werden ab 15:00 Uhr des laufenden Tages die 15-Minutenkontrakte des nächsten Tages bis 45-Minuten vor Lieferbeginn gehandelt. Die 15-Minuten Kontrakte ermöglichen es kurzfristig Abweichungen von Verbrauchs- und Erzeugungsprognosen zu berücksichtigen.

Die durchschnittlichen Strompreise der Day-Ahead-Auktion und am Intraday-Markt decken sich im Mittel. Dies zeigen die in [Abbildung 9](#) zum Vergleich dargestellten durchschnittlichen Strompreise für das Jahr 2011 der beiden Spotmärkte.

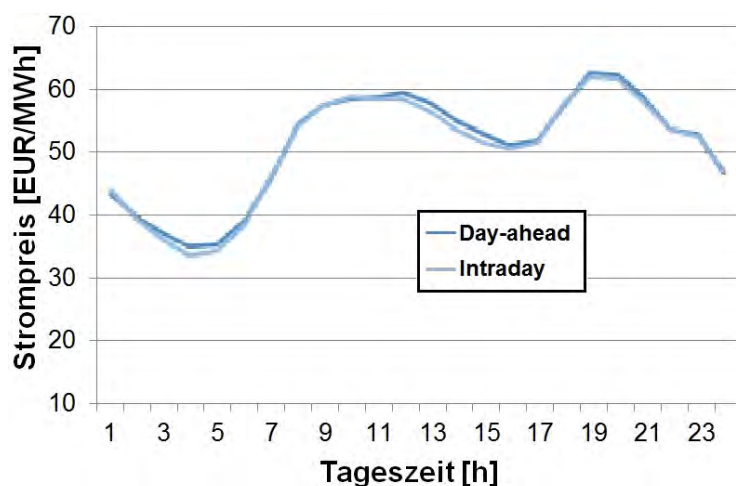


Abbildung 9: Vergleich durchschnittlicher Strompreise der Day-Ahead-Auktion und des Intraday-Marktes

Bei Betrachtung der Märkte bezüglich der maximalen und minimalen Strompreise anhand der in [Abbildung 10](#) und [Abbildung 11](#) dargestellten Candle-Stick-Diagramme wird deutlich, dass der Day-Ahead-Markt deutlich weniger volatil ist als der Intraday-Markt.

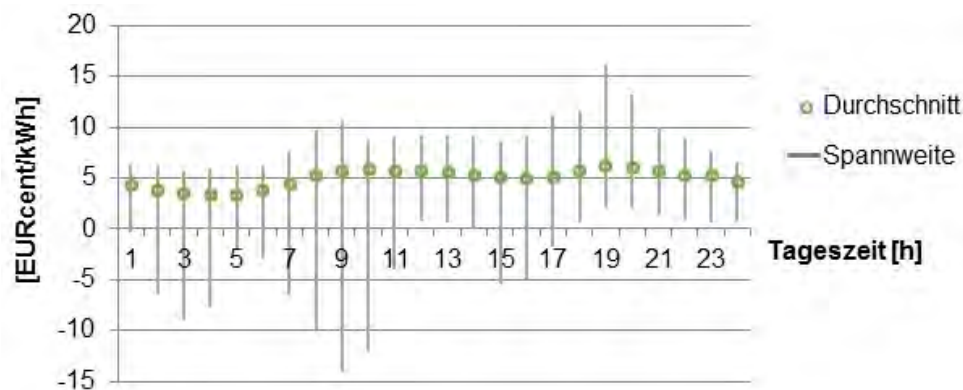


Abbildung 10: Candle-Stick-Diagramm Strompreise Intraday-Markt 2011

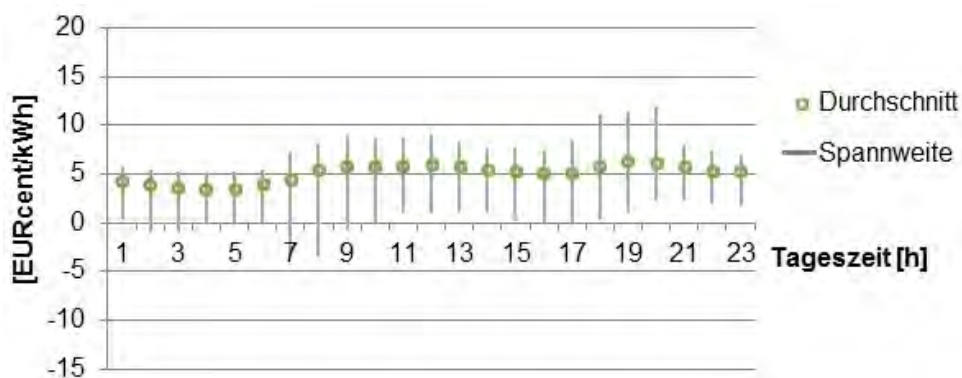


Abbildung 11: Candle-Stick-Diagramm Strompreise Day-Ahead-Auktion 2011

3.2 Regelleistung

Die Bereitstellung von Regelleistung dient der Gewährleistung des Gleichgewichts zwischen Stromerzeugung und -verbrauch bei Abweichungen im Einspeise und Abnahmeverhalten der auf Prognosen beruhenden Lieferungen bzw. Abnahmen aus den Energy-only Märkten. Die Regelleistung wird gemeinsam durch die deutschen Übertragungsnetzbetreiber über die Internetplattform regelleistung.net ausgeschrieben. Ziel der Regelleistung ist es das Netz auf der Sollfrequenz von 50 Hz zu halten. Es wird zwischen positiver und negativer Regelleistung unterschieden. Bei der positiven Regelleistung wird die Leistung der Stromerzeugung kurzfristig erhöht, bei negativer Regelleistung kurzfristig verringert.

Es wird zwischen drei Regelleistungsarten unterschieden (Amprion k.D.):

- **Primärregelleistung:** Wird vom Übertragungsnetzbetreiber automatisch aus regelfähigen Kraftwerken abgerufen, Verfügbarkeit innerhalb von 30 Sekunden, Kraftwerke halten eine Reserve der Erzeugungsleistung frei.
- **Sekundärregelleistung:** Wird vom Übertragungsnetzbetreiber automatisch aus regelfähigen Kraftwerken abgerufen, Verfügbarkeit innerhalb von 5 Minuten, wird vom Regelzonenbetreiber veranlasst, bei dem der vermehrte Verbrauch entstanden ist.
- **Minutenreserve:** Wird vom Übertragungsnetzbetreiber an den Lieferanten angefordert. Sie wird bei länger anstehendem Einsatz von Sekundärregelleistung insbesondere nach Kraftwerksausfällen eingesetzt, in der Regel als Fahrplanlieferung zur vollen Viertelstunde, muss innerhalb von 15 Minuten vollständig aktivierbar und deaktivierbar sein.
(Tertiärregelung)

Die Betreiber von Übertragungsnetzen in Deutschland müssen nach § 22 Abs. 2 EnWG ein Ausschreibungsverfahren für die Bereitstellung von Regelleistung durchführen. Hierfür müssen die Ausschreibungsteilnehmer jedoch präqualifiziert werden. Die Anforderungen für die Präqualifikation der Teilnahme am Regelleistungsmarkt sind im Anhang D des TransmissionCode 2007 (VDN 2007a) definiert.

Da dem Biogasanlagenbetreiber neben dem Verkauf des Stromes auch die Möglichkeit eines zusätzlichen Erlöses mit Regelenergie offen steht, werden im Folgenden die Hauptaufgaben des Biogasanlagenbetreibers für eine Präqualifikation beschrieben. Welche Anforderungen die Präqualifikation nach sich zieht, ist abhängig von der Regelenergieart.

Für die Präqualifikation der Teilnahme an der **Primärregelleistung** muss sichergestellt sein, dass der angebotene Regelbereich pro technische Einheit mindestens ± 2 MW (VDN 2003) beträgt. Die angebotene Primärregelleistung muss über den gesamten Angebotszeitraum verfügbar sein.

Bei der **Sekundärregelleistung** beträgt die Mindestangebotsleistung 5 MW und wird für die Dauer einer Woche in einzelnen Zeitspannen je 1 Stunde ausgeschrieben (regelleistung.net k.D.). Es wird zwischen Haupt- und Nebenzeit und zwischen negativer und positiver Regelleistung unterschieden. Die Nebenzeit erstreckt sich von 00:00 Uhr bis 08:00 Uhr und 20:00 Uhr bis 24:00 Uhr, sowie an Samstagen, Sonntagen und bundeseinheitlichen Feiertagen von 00:00 Uhr bis 24:00 Uhr (regelleistung.net k.D.). Anders als bei der Primärregelleistung bezieht sich dieser Wert auf die insgesamt ausgeschriebene Leistung. Da die Sekundärregelleistung jedoch die Poolbildung zulässt, ist die Teilnahme von Biogasanlagen in einem Pool möglich. Wichtig ist, dass wie in Abbildung 12 dargestellt die präqualifizierbare Regelleistung innerhalb von 5 Minuten aktivierbar bzw. deaktivierbar sein muss. Die maximal pro Abruf abzudeckende Zeitdauer beträgt 15 Minuten.

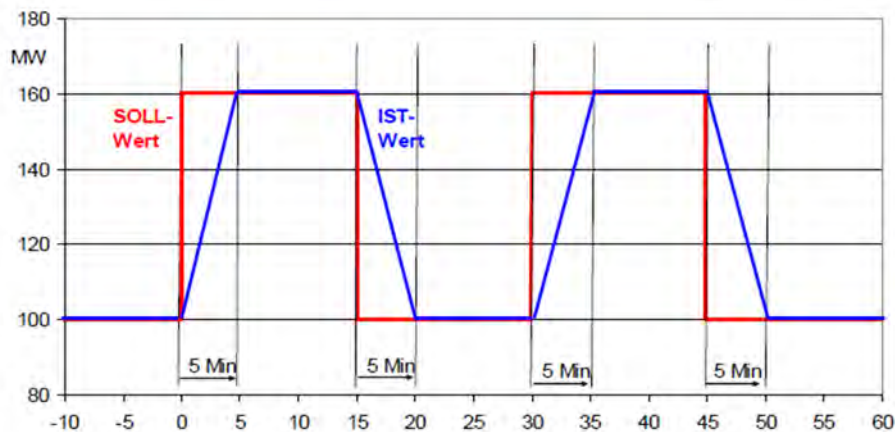


Abbildung 12: Musterprotokoll Präqualifikation (FNN 2007)

Dies muss der zu präqualifizierende Anbieter mittels Messwerten nachweisen. Auch mögliche Totzeiten müssen dabei aufgezeichnet und dokumentiert werden. Die Totzeit ist, wie in Abbildung 13 dargestellt, die Zeit, welche die Anlage bis zu Beginn der Leistungsaufnahme benötigt.

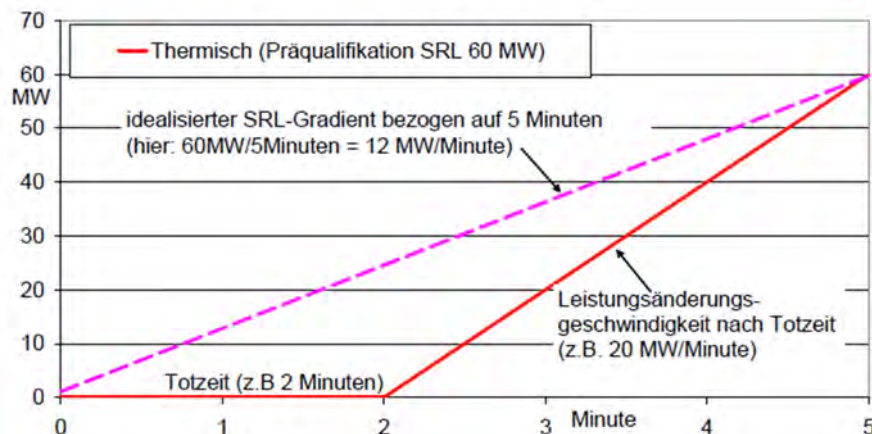


Abbildung 13: Leistungsänderungszeit mit Totzeit (FNN 2007)

Bezüglich der Zuverlässigkeit muss eine Zeitverfügbarkeit der angebotenen Leistung von mindestens 95% für die Dauer eines Ausschreibungszeitraums nachgewiesen werden (FNN 2009).

Der Abruf von Sekundärregelleistung erfolgt gemäß dem TransmissionCode (VDN 2007b) automatisiert nach der IEC Norm 870-5-101. Die Regelungen zur Poolbildung sind in FNN 2009 festgeschrieben.

Anders als bei der Sekundärregelleistung wird die **Minutenregelleistung** täglich über Zeitspannen von vier Stunden ausgeschrieben. Die Mindestangebotsleistung beträgt 5 MW. Auch hier ist das Poolen von mehreren Anlagen möglich. Die Arbeitsverfügbarkeit muss 100 % sein. Ist die Arbeitsverfügbarkeit geringer, kann die technische Einheit innerhalb eines Pools entsprechend VDN 2007b präqualifiziert werden.

Für die Teilnahme von Biogasanlagen am Regelenergiemarkt kommen demnach die Märkte der Sekundär- und Minutenregelleistung in Frage. Bei beiden Märkten wird über einen Leistungspreis die bloße Bereitstellungsbereitschaft vergütet. Wird tatsächlich Regelleistung abgerufen erfolgt die Vergütung der geleisteten bzw. nicht erzeugten Arbeit über einen Arbeitspreis.

3.3 Schlussfolgerungen

Festzuhalten bleibt, dass die Regelleistung eine Systemdienstleistung darstellt bei der um das Stromnetz zu stabilisieren, kurzfristig und ungeplant Leistung bereitgestellt wird. Mit der Teilnahme am Regelenergiemarkt erfolgt somit keine Verstärkung der residualen Last durch eine Verschiebung der Stromerzeugung aus Biogasanlagen, die den in Kapitel 2.2 beschriebenen Bedarf an steuerbarer Stromerzeugung entspricht.

Die Spotmärkte der *EPEX Spot SE* eignen sich als Steuerinstrument für das Erzeugungsmanagement zum Ausgleich der fluktuierenden dargebotsabhängigen Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien. Aufgrund der besseren Planbarkeit im Vergleich zum Intraday-Markt, wird für die Aufstellung von Fahrplänen im Rahmen der Konzeptentwicklung des Vorhabens das Preissignal der Day-Ahead-Auktion herangezogen.

4 Grundlegende Konzepte für eine steuerbare Stromerzeugung mit Biogasanlagen

Um die Stromerzeugung mit Biogasanlagen zu flexibilisieren sind grundsätzlich zwei Konzepte möglich (Gerhardt 2009, Szarka et al. 2013). Das Biogas kann nach Bedarf produziert oder bis zur Verwertung gespeichert werden. Um eine bestimmte Menge an Biogas in kürzeren Zeiträumen zu nutzen haben alle Konzepte gemeinsam, dass die Installation einer höherer elektrischer Leistungen als im Vergleich zum Grundlastbetrieb notwendig ist.

Für die Speicherung von Biogas sind folgende Optionen möglich:

- Vor-Ort-Speicherung:
Das Biogas wird in räumlicher Nähe zur Erzeugung und zur Verwertung gespeichert
- Aufbereitung des Biogases zu Biomethan:
Nutzung des Gasnetzes und der dort integrierten Speicher für eine von der Biogaserzeugung entkoppelte Stromerzeugung

Um eine flexible Biogasproduktion zu erreichen, werden folgende Möglichkeiten angewandt (Gerhardt 2009):

- Fütterungsmanagement:
Variable Fütterung mit schnell abbaubaren Substraten
- Desintegration:
Steigerung der Abbaubarkeit der Substrate durch mechanische, chemische oder thermische Behandlung
- Festbett-Fermenter:
Trennung unterschiedlicher Prozessstufen durch Fixierung von methanbildenden Bakterien an einem Festbett

4.1 Flexible Gasproduktion

Für eine flexible Gasproduktion über Fütterungsmanagement werden unterschiedliche Energiegehalte und Abbaugeschwindigkeiten verschiedener Substrate genutzt. Abbildung 14 zeigt die unterschiedlichen, in Batch-Versuchen ermittelten (Mähnert 2007), spezifischen Gasbildungsrate verschiedener landwirtschaftlicher Substrate. Die höchsten Methanbildungsraten werden demnach beispielsweise bei Maissilage nach zwei Tagen erreicht, wohingegen die höchste Gasbildungsrate von Rindergülle nach sechs Tagen erreicht wird. Dies zeigt, dass die Gasproduktion aus den verschiedenen Substraten zu unterschiedlichen Zeitpunkten und für unterschiedliche Zeiträume zur Verfügung steht. Mit diesem Wissen lässt sich die Gasproduktion an entsprechende Lastkurven anpassen.

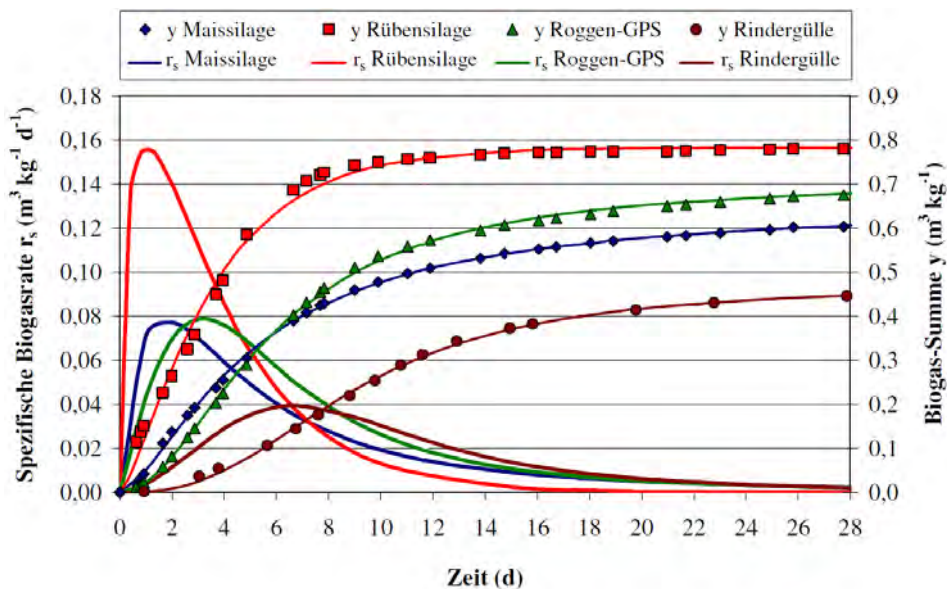


Abbildung 14: Gasbildungsrate und Gasausbeuten unterschiedlicher landwirtschaftlicher Substrate (Mähnert 2007)

Dass eine Anpassung der Biogaserzeugung an ein Lastprofil möglich ist, hat unter anderem Müller et al. (2011) im Rahmen von Experimenten gezeigt. Hierzu wurde in einem Laborfermenter (Reaktorvolumen 10 l) schnell abbaubare Getreideschlempe aus der Ethanolproduktion verwendet und die Fütterungsintervalle so angepasst, dass die Gasbildung kongruent mit einem standardisierten Lastprofil verläuft.

Bei weiteren Versuchen im Labormaßstab wurden die Substrate Mais- und Zuckerrübensilage in unterschiedlichen Anteilen und Mengen verwendet, um eine Strompreiskurve nachzufahren. Dabei konnte eine relativ hohe Übereinstimmung des Preisverlaufs und der Gaserzeugung erreicht werden, was das Potenzial des Fütterungsmanagement für eine gesteuerte Stromerzeugung aufzeigt (Szarka et al. 2013)

Jacobi (2013) gelang es ebenfalls im Labormaßstab 65 bis 70 % der täglich produzierten Gasmenge innerhalb eines halben Tages zu erzeugen. Das bedeutet, dass für ein Erzeugungsszenario in dem die am Tag erzeugte Gasmenge innerhalb von 12 h verwertet werden soll, die zu speichernde Biogasmenge deutlich reduziert werden kann, wenn während der Zeit des BHKW-Stillstands lediglich 30 % der über den Tag erzeugten Strommenge gespeichert werden muss. So kann der benötigte Gasspeicher im Vergleich zu einer kontinuierlichen Gasproduktion um 60 % reduziert werden (Jacobi 2013).

Jedoch können die im Labor erreichten Ergebnisse nicht direkt auf den industriellen Maßstab übertragen werden, da davon auszugehen ist, dass Large-Scale-Fermenter träger auf Fütterungsänderungen reagieren als Labor- oder Technikumsfermenter. Dies ist unter anderem auf eine schlechtere Durchmischung als im Vergleich zu Laborfermentern zurückzuführen (Müller et al. 2011).

4.2 Desintegration

Eine Anpassung der Gaserzeugung an den Bedarf ist auch durch Desintegrationsverfahren möglich, die einen beschleunigten biologischen Abbau der behandelten Substrate ermöglichen (Gerhardt 2009). Dabei ist sowohl eine Vorbehandlung des eingesetzten Substrats, als auch eine Behandlung des Fermenterinhaltens nach der ersten Fermenterstufe möglich. Die Technik stammt hauptsächlich aus der Abwasserbehandlung. Der höhere Grad der Abbaubarkeit wird bei der Desintegration durch das Aufbrechen von flockenartigen Strukturen oder auch durch einen Zellaufschluss der Mikroorganismen und enzymatischen Aufschluss erreicht. Hierzu sind mechanische, chemische, thermische sowie biologische Aufschlussverfahren möglich (Gerhardt 2009).

4.3 Festbett-Fermenter

Grundlage der Verwendung von Festbettfermentern für eine bedarfsgerechte Gaserzeugung ist die Trennung verschiedener Prozessstufen innerhalb des anaeroben Abbaus. Dies ermöglicht eine Optimierung der einzelnen Prozessschritte ohne andere zu beeinflussen.

Durch die Schaffung von unterschiedlichen Milieus für eine erste Hydrolyse- und säurebildende Stufe und einer zweiten anaeroben Methanbildungsphase in unterschiedlichen Reaktoren ist es möglich hoch reaktive Biozönosen zu schaffen. Das erlaubt höhere Raumbelastungen in der methanbildenden Phase, wodurch letztendlich eine schneller Biogaserzeugung und reduzierte hydraulische Verweilzeit erreicht wird. Sehr kurze hydraulische Verweilzeiten können erreicht werden, wenn für die methanbildende Phase Fermenter mit einer großen spezifischen Oberfläche (Festbettfermenter) verwendet werden. So ist eine sehr flexible Biogaserzeugung bei gleichzeitig hoher Prozessstabilität möglich (Großmann et al. 2008). Experimente von Großmann et al. (2008) und Ganagin et al. (2011) zeigen dass Festbettfermenter es ermöglichen die Methanbildung innerhalb weniger Stunden hoch- und runter zu fahren.

Allerdings gilt zu beachten, dass Festbettverfahren nur bei geringen Feststoffgehalten < 5 % (bis max. 10 %) des Gärsubstrates ihre optimale Wirkung entfalten (Kaltschmitt et al. 2009). Aus diesem Grund ist nach der Hydrolyse und säurebildenden Stufe eine Separation der festen und flüssigen Phase des Gärsubstrats notwendig. Die Vergärung der festen Phase mit höherer Trockenmasse erfolgt nach wie vor am günstigsten über einen konventionellen Fermentern mit entsprechender Verweilzeit des Substrates (Kaltschmitt et al. 2009).

In der Praxis werden dabei einige Systeme mittlerweile in ersten Anlagen auch großtechnisch eingesetzt. Hierzu gibt es das durch die *Universität Cottbus* für die Bioabfallvergärung konzipierte *GICON*-Verfahren, das flüssiges Hydrolysat aus einer ersten Stufe in einem Festbettfermenter vergärt. Ein weiteres umgesetztes System für die Praxis bietet die Firma *Energie-Anlagenbau Röhring GmbH* an. Diese Anlagen sind jedoch ursprünglich für eine kontinuierliche Gasproduktion ausgelegt. Um dieselbe Menge an Biogas wie im kontinuierlichen Betrieb zu erzeugen, wären für eine flexible Stromerzeugung große Behälter für die Zwischenspeicherung des Substrates aus der ersten Prozessstufe sowie größere Festbettfermenter notwendig. Dies führt zu einem entsprechend hohen Konstruktions- und Investitionsaufwand für eine flexible gesteuerte Gasproduktion mittels Festbettfermentern.

4.4 Speicherung von Biogas

Eine temporäre Speicherung des Biogases erlaubt eine stabile kontinuierliche Biogasproduktion. Unterschiedliche Lastprofile können über entsprechend proportionierte Gasspeicher realisiert werden. Anlagentechnik zur Gasspeicherung ist bereits am Markt vorhanden und bestehende Anlagen lassen sich mit vertretbarem Aufwand kurzfristig umrüsten. Aus diesem Grund besteht hohes Potenzial für die Umsetzung einer steuerbaren Stromerzeugung mittels einer temporären Speicherung von Biogas. Die folgenden Betrachtungen beziehen sich ausschließlich auf die Zwischenspeicherung von kontinuierlich erzeugten Biogas. Spezifische Aussagen zu diesem Konzept der steuerbaren Stromerzeugung werden in den folgenden Kapiteln getroffen.

5 Analyse Technik relevanter Komponenten

Grundsätzlich sind viele Biogasanlagen dafür geeignet flexibel Strom zu produzieren. Durch eine Zwischenspeicherung des Biogases ist es möglich die Gaserzeugung von der Stromerzeugung zu entkoppeln. So kann ohne einen Eingriff in das bisherige Fütterungsmanagement und damit in den Gärprozess, die Gasmenge an den Bedarf der Stromerzeugung angepasst werden. Um möglichst große Strommengen dann zu erzeugen, wenn ein höherer Preis erzielt werden kann, muss die zwischengespeicherte Gasmenge mit größeren elektrischen Leistungen und über kürzere Betriebszeiten als im Grundlastbetrieb verwertet werden.

Dem entsprechend sind mit dem flexiblen Anlagenbetrieb neue Anforderungen an die Komponenten der Gasspeicherung, der Gasaufbereitung, der Gasverwertung und der Wärmenutzung verbunden. Im Folgenden werden die technischen Anforderungen an diese Komponenten beschrieben sowie unterschiedliche Technologien hin auf ihre Eignung für einen flexiblen Anlagenbetrieb verglichen. Zudem werden Hinweise hinsichtlich des flexiblen Anlagenbetriebs, mit besonderem Fokus auf einzelne Anlagenkomponenten, gegeben.

5.1 Gasspeicher

Die Zwischenspeicherung von Biogas in den Gasspeichern der Anlage bietet die Möglichkeit, die Gaserzeugung über einen gewissen Zeitraum von der Gasverwertung zu entkoppeln. Für eine flexible Stromerzeugung können Gasspeichersysteme zum Einsatz kommen, wie sie auf Biogasanlagen Stand der Technik sind.

Aufgabe des Gasspeichers im Grundlastbetrieb ist es, Schwankungen in der Gasproduktion und -verwertung als Puffer auszugleichen. Um dieser Anforderung gerecht zu werden, sind bei der Auswahl der Gasspeichers dessen Größe und die Genauigkeit der Füllstandsüberwachung nicht zwangsweise ausschlaggebende Kriterien.

Bei der bedarfsgerechten Stromerzeugung stehen jedoch das zur Verfügung stehende tatsächlich nutzbare Gasspeichervolumen (Bruttovolumen abzüglich des nicht-nutzbaren Volumens sprich Lungenvolumen bzw. Nettovolumen), eine möglichst exakte Füllstandsüberwachung und die Kombinationsmöglichkeit (Verschaltbarkeit) mehrerer Gasspeicher zur Erhöhung des gesamten Lungenvolumens (Gasspeichermanagement) im Vordergrund.

Die Größe des zu installierenden Gasspeichervolumens für eine flexible Stromerzeugung hängt in erster Linie vom allgemeinen Anlagenkonzept ab. Hierbei sind Gasspeicherdauern ab 6 h der produzierten Rohbiogasmenge als sinnvoll für eine Vermarktung im Rahmen der flexiblen Stromerzeugung einzuschätzen. Ist an der Anlage bereits ein ausreichendes Gasspeichervolumen vorhanden, kann bei einer entsprechenden installierten Verwertungsleistung auch flexibel Strom erzeugt werden. Dabei gilt: Nicht der Fahrplan

bestimmt das notwendige Gasspeichervolumen, sondern das Gasspeichervolumen und die installierte Leistung bestimmen den Fahrplan.

Da durch die flexible Betriebsweise die Gasspeicher häufiger an die kritischen Betriebszustände „leer“ und „voll“ heranreichen, ist darüber hinaus eine mögliche Überarbeitung und Anpassung sowohl der Genehmigung als auch des Sicherheitskonzeptes (Gefährdungsbeurteilung, Sonderprüfung) zu berücksichtigen. Zudem sind die Vorgaben der Störfallverordnung zu beachten, welche ab einer Menge von 10.000 kg brennbaren Gases (ca. 7.300 Nm³ Biogas bei 50 % Methan) zur Anwendung kommt.

5.1.1 Gasspeichertechnologie

Üblicherweise wird an Biogasanlagen das Biogas in Drucklos- bzw. Niederdruckspeichern in einem Bereich von 0,05 bis 50 mbar Überdruck gespeichert. Sie bestehen meist aus beweglichen Folienmembranen. Diese müssen entsprechenden Sicherheitsanforderungen zur Gasspeicherung gerecht werden. Dazu zählen eine möglichst geringe Gasdurchlässigkeit sowie eine entsprechende Reißfestigkeit und Belastungsfähigkeit. Drucklos- und Niederdruckspeicher können als interne oder externe Speichersysteme ausgeführt sein.

5.1.1.1 Einfachfolienhauben

Häufig werden an Biogasanlagen Einfachfolienhauben aus EPDM als internes Speichersystem auf den Behältern eingesetzt. Diese zeichnen sich durch einen geringen Investitionsaufwand aus und bieten eine direkte Sicht auf die Speichermembran. Bei steigendem Gasspeicherfüllstand dehnt sich die Folie aus. Dadurch verändert sich je nach Füllstand neben der Oberfläche der Gasspeicherhaube auch der Druck im Gasraum. Um zu verhindern, dass die Folie mit Gärsubstrat in Berührung kommt, und zur Wärmedämmung des Behälters wird unter der Gasspeichermembran eine Holzbalkenlage mit entsprechendem Schutz- und Dämmmaterial installiert.

Die Gasspeichermembran ist direkten Witterungseinflüssen und einer wechselnden Belastung durch Dehnen und Zusammenziehen ausgesetzt. Durch das regelmäßige, geplante Be- und Entladen des Gasspeichers in kurzen Abständen wird die sich dehnende Membran bei der steuerbaren Stromerzeugung höher belastet als im Grundlastbetrieb. Dies kann unter Umständen zu einer geringeren Lebensdauer führen.

Um die Stabilität von Einfachfolienhauben bei Wind und Schneelasten zu gewährleisten, sollte die Membran zu jedem Zeitpunkt unter Spannung sein. Dies schränkt das zur Verfügung stehende Lungenvolumen deutlich ein.

Die Füllstandsüberwachung gestaltet sich bei Einfachfolienhauben durch die Vielzahl von Umweltweinflüssen auf die Membran und deren Auswirkung auf den Gasraum schwierig. Ein aktives Gasspeichermanagement ist mit dieser Technologie nicht möglich.

5.1.1.2 Stützengetragene Systeme

Bei stützengetragenen Gasspeichersystemen erfolgt die Abdeckung des Behälters durch eine von einer Stütze getragene Membran. Die Ausführung erfolgt meist in zweischaliger Form mit einer Außenmembran zum Schutz vor Witterungseinflüssen und einer freien, durchhängenden Innenmembran zur Gasspeicherung.

Das für den bedarfsgerechten Betrieb zur Verfügung stehende Lungenvolumen ist bei dieser Gasspeichertechnologie eher gering. Eine exakte Füllstandsmessung und ein Gasspeichermanagement sind mit solchen Systemen nur schwer realisierbar.

5.1.1.3 Luftgetragene Doppelmembranspeicher / Tragluftdächer (intern)

Luftgetragene Systeme, Doppelmembran-Gasspeicher oder Tragluftdächer bestehen aus einer inneren Gasspeichermembran und einer äußeren, formgebenden Membran zum Schutz vor Umgebungseinflüssen und zur Aufnahme einwirkender Lasten (Abbildung 15).

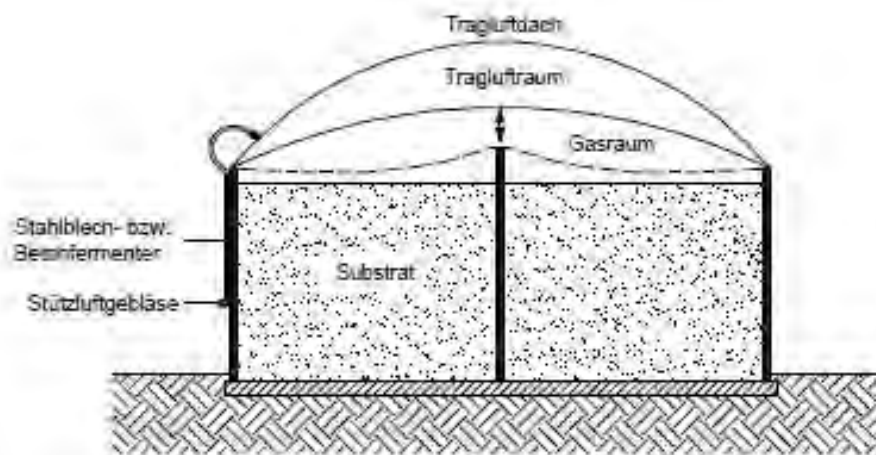


Abbildung 15: Aufbauprinzip Doppelmembran (Tragluftdach) Gasspeicher
(Bayerisches Landesamt für Umwelt 2007)

Die Form und Stabilität der äußeren Folie wird durch das Einblasen von Stützluft in den Zwischenraum zwischen äußerer und innerer Membran gewährleistet (Abbildung 16). Die Stützluft bewirkt einen relativ konstanten Druck auf die Innenmembran und das darin eingeschlossene Biogas. Der durch die Stützluft erzeugte Druck wird dabei entsprechend über Auslassventile und Auslassklappen bei sich änderndem Lungenvolumen permanent angepasst.

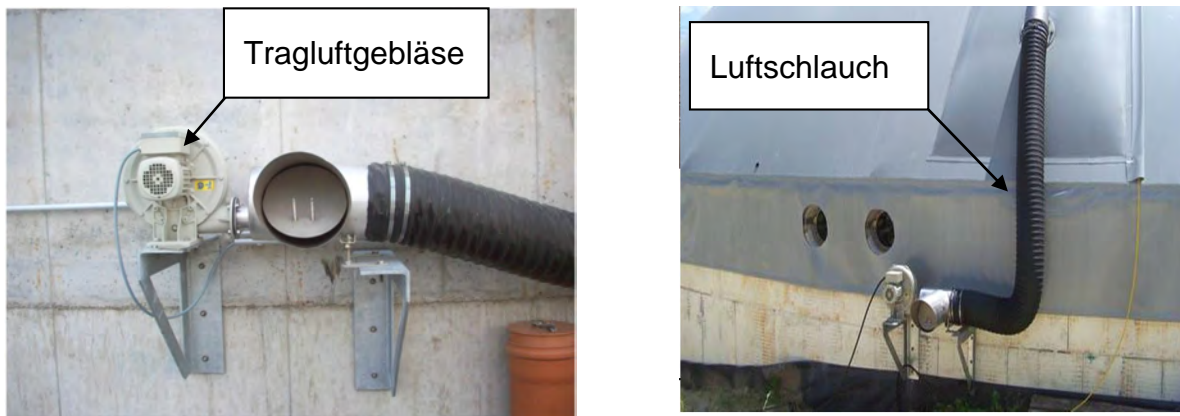


Abbildung 16: Links: Tragluftgebläse; Rechts: Zufuhr Tragluft in Gasspeicher (Sattler/CenoTec 2012)

Durch die permanente Einstellung des Drucks im Speicher und Betriebsdrücke von bis zu 30 mbar bieten Doppelmembrangasspeicher die Möglichkeit eines effektiven Gasspeichermanagements.

Das Lungenvolumen von Doppelmembrangasspeichern wird von der Außenmembran und der Unterkonstruktion begrenzt. Tragluftdächer werden im Allgemeinen als Kegel sowie als $\frac{1}{4}$ - oder $\frac{1}{2}$ -Kugeln ausgeführt. Besonders die $\frac{1}{2}$ -Kugelform ermöglicht große Speichervolumina und etwas höhere Betriebsdrücke.

5.1.1.4 Luftgetragene Doppelmembranspeicher (extern)

Externe, luftgetragene Doppelmembrangasspeicher werden meist als $\frac{3}{4}$ -Kugeln mit einer durch Stützluft getragenen äußeren Folie und einer inneren beweglichen Speichermembran ausgeführt. Die Bauform ermöglicht große Speichervolumina und Betriebsdrücke bis 30 mbar. Bei größeren Volumina ist der mögliche Betriebsdruck geringer. Der Druck im Gasspeicher ist einstellbar, wodurch für das Gasspeichermanagement externe Doppelmembrangasspeicher in Druckkaskaden integriert werden können.

Durch höhere Gasentnahmestromströme bei der flexiblen Stromerzeugung ist zu Spitzenlastzeiten eine entsprechende Modifizierung der Leistungsfähigkeit der Tragluftgebläse zu berücksichtigen. Eine Biogasanlage mit beispielsweise 250 kW_{el} Bemessungsleistung weist im Dauerbetrieb in etwa einen Gasvolumenstrom von 130 Nm³/h bei der Entnahme und Produktion auf. Wird nun die Verwertungsleistung im Taktbetrieb auf 500 kW_{el} verdoppelt, so erhöht sich der Entnahmestrom ebenfalls in etwa auf das Doppelte. Bei gleichbleibender Gasproduktion erfolgt die Entnahme somit in der Hälfte der Zeit. Dies führt dazu, dass das Tragluftgebläse während der Spitzenlastzeiten den doppelten Volumenstrom bereitstellen muss, um einen konstanten Druck für die Außenhülle und auf das Gasvolumen aufrechterhalten zu können. Ein ausgewogenes Verhältnis von zugeführter Stützluft zur Gasproduktion und -entnahme führt zu einer genaueren

Füllstandsbestimmung, stabileren Dächern und letztlich zu mehr Betriebssicherheit und einem optimierten Gasspeichermanagement.

5.1.1.5 Foliensäcke (Extern)

Desweiteren kommen auf Biogasanlagen häufig Folienkissen und aufgehängte Foliensäcke als Speicher zum Einsatz. Das nutzbare Volumen von Folienkissen ist relativ groß. Sie können theoretisch als letztes Glied in Druckkaskaden integriert werden.

5.1.2 Bewertung der Gasspeichertechnologien

In Tabelle 4 werden übliche Gasspeichertechnologien hinsichtlich der nutzbaren Volumina, der Möglichkeiten zur Füllstandsüberwachung und des Gasspeichermanagements bewertet. Diese Eigenschaften müssen für einen flexiblen Anlagenbetrieb möglichst vollständig erfüllt werden.

Tabelle 4: Bewertung einzelner Gasspeichertechnologien

Speichertechnologie	Nutzbares Volumen	Füllstandsüberwachung	Gasspeichermanagement
Einfachfolienhauben (EPDM)	0	0	-
Stützengetragene Systeme	0	0	-
Tragluftsysteme	+	+	+
Luftgetragene Doppelmembrangasspeicher (extern)	+	+	+
Foliensack (extern)	0	0	0
	Geeignet	△	+
	Nicht geeignet	△	-
	Eingeschränkt geeignet	△	0

Wie der Vergleich eindeutig zeigt, sind für den flexiblen Anlagenbetrieb Tragluft-Speichersysteme am besten geeignet. Es können die größten nutzbaren Volumina ermöglicht und der Füllstand am exaktesten überwacht werden. Dazu bieten sie als einzige übliche Gasspeichertechnologie die Möglichkeit des aktiven Gasspeichermanagements.

5.1.3 Gasspeichermanagement

Erhöhtes Augenmerk bei der bedarfsorientierten Verwertung des Biogases ist dem Gasspeichermanagement zuzuwenden. Einer nach wie vor annähernd kontinuierlichen Gasproduktion steht im Fall der bedarfsgerechten Stromerzeugung eine diskontinuierliche Verwertung des Biogases entgegen. Dies wird ermöglicht durch das regelmäßige Entleeren und Befüllen der Gasspeicher.

Um bedarfsgerecht Strom zu erzeugen, müssen zu jedem Zeitpunkt die erzeugte Gasmenge, die gespeicherte Gasmenge und der Gasbedarf bekannt sein. Zudem ist einerseits sicherzustellen, dass das erzeugte Gas zu jedem Zeitpunkt gespeichert bzw. verwertet werden und andererseits der Bedarf abgedeckt werden kann.

Ziel des Gasspeichermanagements ist es, mit hinreichender Genauigkeit die aktuelle Situation in den Gasspeichern abzubilden und zu steuern. Auf Biogasanlagen erfolgt die Gasspeicherung oftmals an mehreren Speicherorten intern auf verschiedenen Behältern oder in externen Speichern. Hierbei dehnt sich das Gas je nach den am Speicherort herrschenden Bedingungen in unterschiedlichem Maße aus und strömt zu jeder Zeit zum Ort des niedrigsten Druckniveaus im Speichersystem.

Wünschenswert für den flexiblen Betrieb ist es, dass sich dieser Gasspeicherort möglichst direkt vor der Gasaufbereitungsstrecke bzw. der Gasverwertung befindet, um eine kurzfristige Entnahme von Gas in größeren Mengen sicherstellen zu können. Dazu bietet es sich an, eine Druckkaskade zu erzeugen, bei der der niedrigste Druck im System an dem Ort herrscht, wo das Gas letztendlich für die Verwertung entnommen wird.

Gut geeignet für den Aufbau von Druckkaskaden sind luftgetragene Doppelmembran-Gasspeicher. Über die Stützluft können voneinander unabhängige Druckstufen eingestellt werden, sodass im letzten Gasspeicher in der Kaskade zu jedem Zeitpunkt der niedrigste Druck herrscht. Bei der bedarfsgerechten Gasverwertung muss jedoch sichergestellt sein, dass die Auslegung der einzelnen Stützluftgebläse dem maximalen Gasbedarf entspricht. Auch die Druckverluste in Verbindungen zwischen den einzelnen Gasspeichern (Gas-Pendelleitungen) müssen diesen Anforderungen entsprechen.

In die Druckkaskade können auch drucklose Gasspeicher integriert werden, jedoch sollten diese am Ende der Druckkaskade installiert werden.

Normierung des Gasvolumens

Zur Betriebsführung und Steuerung der Anlage bei der bedarfsgerechten Stromerzeugung ist die Erfassung der verfügbaren Gas- bzw. Energiemengen von enormer Bedeutung. Da sich das Volumen von Gasen in Abhängigkeit von Druck und Temperatur verändert, ist es für Vergleiche von Biogaserträgen und Biogasvolumenangaben sowie für Aussagen über die gespeicherten Energiemengen erforderlich, dieses auf den Normzustand umzurechnen. Für trockene Gase lässt sich das Normvolumen nach folgender Formel 1 berechnen:

$$V_N = \frac{V \times T_N \times p_a}{T \times p_N} \quad (1)$$

mit: V_N = Normvolumen des Gases [Nm³]
 V = tatsächliches Volumen in [m³]
 T = Gastemperatur [K]
 T_N = Normtemperatur 273,15 K
 p_a = Gasdruck absolut [mbar]
 p_N = Normdruck 1.013,25 mbar

Da in internen Gasspeichern das Biogas üblicherweise mit Wasserdampf gesättigt ist, muss der Wassergehalt des Gases berücksichtigt werden, um die gespeicherte Energiemenge ermitteln zu können. Eine relativ einfache und praktikable Möglichkeit dies zu berücksichtigen, ist die Verwendung eines Korrekturfaktors in Abhängigkeit von der Gastemperatur (siehe Tabelle 5) (KTBL 2009).

Tabelle 5: Wasserdampf-Korrekturfaktor zur Berechnung des Normvolumens (nach KTBL 2009)

	Temperatur [°C]								
	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Wassergehalt [g/m ³]	6,8	9,4	12,8	17,3	23,1	30,4	39,7	51,2	65,3
Wasserdampfgehalt [l/m ³]	8,5	11,7	16,0	21,5	28,7	37,9	49,4	63,7	81,3
Korrekturfaktor	0,991	0,988	0,984	0,978	0,971	0,962	0,951	0,936	0,919

Großen Einfluss auf das speicherbare Normvolumen hat demnach die Gastemperatur. Diese hängt neben der Umgebungstemperatur hauptsächlich davon ab, ob der Gasspeicher auf einem beheizten Fermenter installiert ist und wie sich die Sonneneinstrahlung auf die Temperatur im Gasraum auswirkt. Doppelschalige Gasspeicher minimieren Umgebungseinflüsse. Zusätzlich verringern helle Außenmembranen den Einfluss der Sonneneinstrahlung, dessen Auswirkung auf die Gastemperatur vor allem bei wechselnder Bewölkung und bei Sonnenaufgang berücksichtigt werden muss.

Wie wichtig es ist, auf die Normierung der Gasvolumina zu achten, zeigt das Beispiel in Tabelle 6. Bei den Bedingungen in diesem Beispiel beläuft sich der Betrag des verfügbaren, nutzbaren Normvolumens auf lediglich 86 % des Lungenvolumens.

Tabelle 6: Beispiel zur Normierung des Lungenvolumens

Lungenvolumen des Gasspeichers	2.000 m³
Mittlere Temperatur im Gasraum	30 °C
Überdruck im Gasspeicher (Betriebsdruck)	5 mbar
Umgebungsdruck	1.000 mbar
Korrekturfaktor Wasserdampf (vgl. Tabelle 5)	0,962
Verfügbares Biogasvolumen normiert*	1.720 Nm³
$V_N = \frac{2.000 \text{ m}^3 \times 273,15 \text{ K} \times 1.005 \text{ mbar}}{303,15 \text{ K} \times 1013,25 \text{ mbar}} \times 0,962 = 1.720 \text{ Nm}^3$	

5.1.4 Füllstandsüberwachung

Um die im Gasspeicher gespeicherte Energiemenge zu erfassen, muss neben der Gaszusammensetzung, dem Druck und der Temperatur im Gasraum das genutzte Lungenvolumen bekannt sein. Im Folgenden werden die verfügbaren Technologien zur Überwachung des Füllstandes mit Hauptfokus auf Tragluftsysteme bewertet.

Bei Tragluftsystemen erfolgt die Messung des Füllstandes über die Lage der Innenmembran. Da der Druck im Gasspeicherraum und zwischen Innenmembran und Außenmembran annähernd gleich ist, kann sich die Speichermembran je nach Strömungsverhältnissen im Gasraum und im Traglufttraum unterschiedlich und unregelmäßig ausformen (vgl. [Abbildung 17](#)). Das stellt die verschiedenen Messverfahren zur Bestimmung der Lage der Innenmembran vor Herausforderungen, so dass diese unterschiedlich gut für die Füllstandsüberwachung geeignet sind.

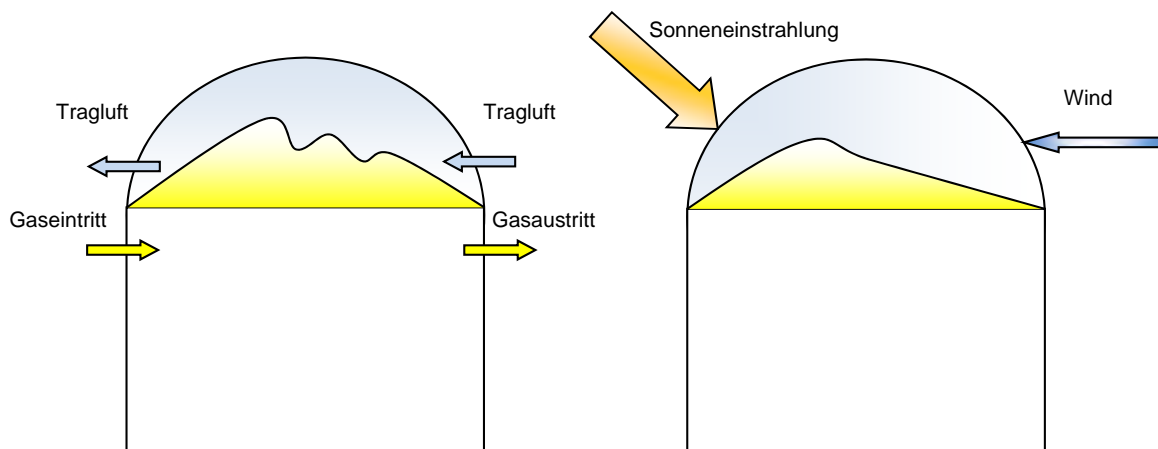


Abbildung 17: Schematische Darstellung der unregelmäßigen Ausformung der Gasspeichermembran bei Tragluftfoliendächern

Die Füllstandsmessung kann mit Systemen, die auf der Gasspeichermembran montiert werden erfolgen oder mit Systemen, welche berührungslos den Abstand der Gasspeichermembran zu einem Referenzpunkt messen.

5.1.4.1 Berührungslose Systeme (Ultraschall)

Berührungslose Systeme, die mittels eines Ultraschallsignals den Abstand zwischen der Außenmembran und der Speichermembran messen, werden bei internen, auf Behältern verbauten Tragluftsystemen nicht eingesetzt. Bei externen $\frac{3}{4}$ -Kugeln ist diese Technologie jedoch sehr gut anzuwenden, da hier die Speichermembran so gestaltet werden kann, dass sie sich definiert ausformt. Bei behälterverbauten Systemen ist dies nicht möglich, da die Speichermembran keinen definierten Reflexionspunkt bietet.

5.1.4.2 Seilzüge

Bei Seilzug-Messsystemen wird ein an der Speichermembran angebrachtes Seil so über die Membran geführt, dass eine Lageänderung der Membran auf das Seil übertragen wird. Das Seil wird durch die Außenmembran geführt und endet über Umlenkrollen in einem Messrohr. Ändert sich die Lage der Membran, ändert sich entsprechend die Position des Seilendes im Messrohr. Am Seilende ist ein Magnet angebracht, welcher am Messrohr installierte Reed-Kontakte schaltet (vgl. [Abbildung 18](#)).

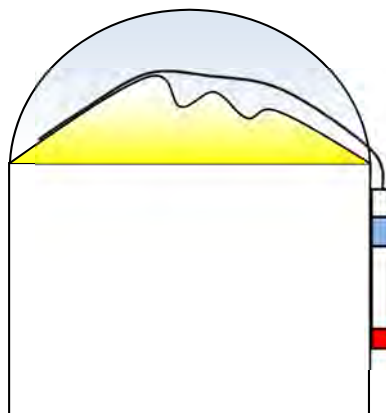


Abbildung 18: Schematische Darstellung eines Seilzug-Messsystems zur Füllstandsüberwachung
(Durchhängen der Speichermembran und Verfälschung des Messwertes)

Nachteilig an Seilzug-Systemen ist, dass der Messwert schwer interpretierbar ist, da bei gespanntem Seil die Speichermembran durchhängen kann oder Auswölbungen vom Seil nicht erfasst werden. Weiter werden die Messwerte über die von den Reed-Kontakten geschaltete Widerstandskette nur grob aufgelöst, was die Interpretation der Messwerte erschwert. Desweiteren ist dieses mechanische Messsystem sehr störungsanfällig: beispielsweise kann sich das Seil verfangen, wodurch das Ergebnis unbrauchbar für das Gasspeichermanagement wird.

5.1.4.3 Schlauchwaagen

Stand der Technik bei der Füllstandsüberwachung beweglicher Gasspeichermembranen sind Schlauchwaagen. Bei diesem System wird an einer definierten Stelle an der Innenmembran ein mit Flüssigkeit gefüllter Schlauch befestigt. Bei Änderung der Höhe der Speichermembran ändert sich der Druck der Wassersäule im Schlauch. Diese Druckänderung wird gemessen und die Höhe des definierten Messpunktes kann bestimmt werden.

Ein großer Vorteil dieses Systems ist, dass auf der Speichermembran auch mehrere Schlauchwaagen installiert werden können, wodurch die gesamte Ausformung der Membran besser berücksichtigt werden kann. Mit drei auf der Speichermembran verteilten Schlauchwaagen (vgl. Abbildung 19) können aussagekräftige Ergebnisse erreicht werden.

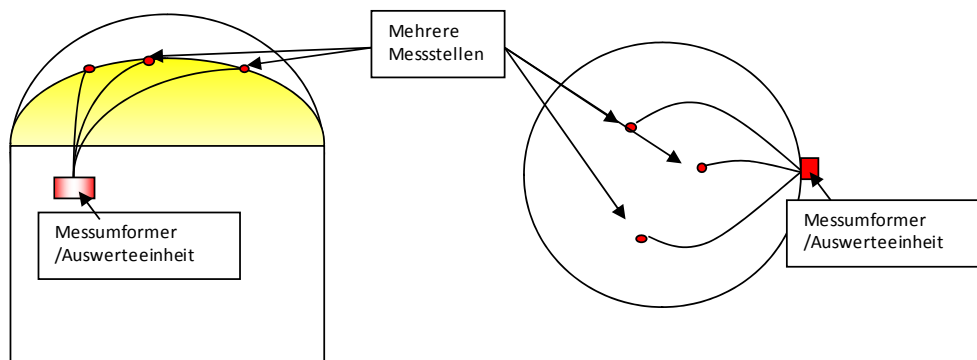


Abbildung 19: Platzierung mehrerer Schlauchwaagen auf der Speichermembran

5.2 Gasstrecke und BHKW

Bei der Flexibilisierung der Stromerzeugung stellt sich die Frage, durch welche Betriebsweise und Kommunikationstechnik die Flexibilität erreicht wird. Mögliche Betriebsweisen für die flexible Stromerzeugung sind das Takten der Stromerzeugungsaggregate bei Nennlast oder deren Betrieb im Teillastbereich.

Motoren von Biogas-BHKW sind aus heutiger Sicht weit entwickelt und für den Betrieb mit Biogas optimiert. Aufgrund der bisherigen Förderstruktur im EEG wurden sie an den Grundlastbetrieb angepasst und für eine hohe Anzahl von Volllaststunden optimiert. Da BHKW oft ursprünglich für den KWK-Betrieb oder als Notstromaggregate eingesetzt wurden und somit auch flexibel betrieben werden können, besitzen BHKW-Hersteller im Allgemeinen jedoch viel Erfahrung mit dem flexiblen Betrieb von Blockheizkraftwerken. Diese Erfahrungen können somit auch auf Biogas-BHKW übertragen werden.

5.2.1 Kommunikationstechnik

In der Regel ist ein Zugriff des Stromvermarkters auf die Anlagensteuerung bei flexiblem Anlagenbetrieb nicht zwingend notwendig. Der Stromvermarkter arbeitet im Allgemeinen mit BioStrom – Steuerbare Stromerzeugung mit Biogasanlagen

dem Biogasanlagenbetreiber einen Stundenfahrplan aus. Der Stundenfahrplan zeigt dem Anlagenbetreiber, zu welchen Zeiten durch eine flexible Fahrweise i.d.R. höhere Erlöse als der veröffentlichte Marktwert für steuerbare Energie zu erzielen sind. Hierbei kann der Stromvermarkter den Stundenfahrplan an die jeweiligen Marktgegebenheiten anpassen. Den Stundenfahrplan erhält der Biogasanlagenbetreiber in der Regel mit ausreichender Vorlaufzeit.

Bei Änderungen des Lieferumfanges, z. B. Anlagenerweiterungen, (teilweisen) Stilllegungen oder Wartungsarbeiten, muss der Biogasanlagenbetreiber dem Stromvermarkter dies zeitnah mitteilen, sofern diese planbar und vorher bekannt sind. Sind derartige Änderungen für den Betreiber lediglich kurzfristig vorhersehbar, so sollte der Biogasanlagenbetreiber dem Stromvermarkter dies unverzüglich melden.

Neben der vorher genannten Vorgehensweise kann zusätzlich auch Kommunikationstechnik installiert werden, wodurch der Stromvermarkter direkten Zugriff auf die Fahrweise der Biogasanlage hat. Hierfür gibt es derzeit keinen einheitlichen Standard. Somit muss die entsprechende Kommunikationstechnik mit dem jeweiligen Stromvermarkter und dem BHKW-Hersteller abgestimmt werden.

5.2.2 BHKW-Taktbetrieb

Taktung ist eine unterbrochene Betriebsweise des BHKW im Wechsel zwischen Stillstand und Betrieb des Aggregates, wobei ein Takt den Betrieb vom Start bis hin zum Stopp bezeichnet. Grundsätzlich sind BHKW mit Verbrennungsmotoren gut zur Taktung geeignet. Sie können dauerhaft in Bereitschaft gehalten werden und erlauben schnelle Reaktionszeiten. Die Taktung kann durch einen definierten Fahrplan zu festgelegten Zeiten oder kurzfristig nach Preissignal bzw. Bedarf erfolgen. Häufigere Starts und Stopps führen zu veränderten Betriebsbedingungen und Belastungen. Diese sind in entsprechendem Maße bei der Umstellung von Bestands-BHKW sowie der Auslegung und Einbindung zusätzlicher Einheiten zu berücksichtigen.

Start und Stopp sind mit veränderten Belastungen gegenüber dem Nennlastbetrieb von Aggregaten verbunden. Unter Nennlast arbeitet der Motor in seinem optimalen Bereich (höchster Wirkungsgrad und minimaler Verschleiß).

Während der Verbrennung entstehen im Brennraum hohe Temperaturen, die zu entsprechenden Belastungen der Komponenten führen. Im Nennlastbetrieb pendelt sich dabei ein stabiler Betriebszustand ein, auf den die einzelnen Bauteile, Komponenten und auch die Schmierung abgestimmt bzw. ausgelegt sind. Beim Start jedoch sind die Komponenten noch kalt und die zur Reibungsminimierung nötige Schmierung besteht noch nicht. Mit der einsetzenden Verbrennung werden die Materialien hohen Temperaturen ausgesetzt. Komponenten wie Zylinder, Zylinderköpfe und Kolben sowie die Abgasseite unterliegen beim Start hohen Temperaturunterschieden, was zu Spannungen in den Materialien und unterschiedlichen Spaltmaßen führen kann. Dies bringt Reibungseffekte mit

sich, welche durch den zu Beginn des Taktes noch nicht aufgebauten Schmierfilm verstärkt werden können.

Um eine hohe Standzeit und Betriebssicherheit zu erhalten, müssen die vom BHKW-Hersteller vorgegebenen Mindestlaufzeiten pro Start eingehalten werden. Entsprechend sind auch die Wartungsabläufe und -pläne nach den Herstellerangaben dem Taktbetrieb anzupassen. Die entsprechenden Vorgaben der Hersteller hierzu sind unterschiedlich und variieren von 1,5...12 Betriebsstunden pro Start. Allgemein gilt, je größer die Leistung des BHKWs, desto höher die Mindestlaufzeit pro Start. Eine detaillierte Absprache des Fahrplans zur flexiblen Stromerzeugung mit den jeweiligen BHKW-Herstellern ist grundsätzlich zu empfehlen, um die notwendige Sicherheit für den Betrieb und mögliche Garantieansprüche bei Defekten des Aggregates zu erhalten.

Die aus häufigem Start und Stopp resultierenden ungünstigeren Betriebsbedingungen können zu geringeren Standzeiten des Motors, verminderten Wirkungsgraden und höherem Betreuungsaufwand des Aggregates führen. Zudem ist während der Anfahr- und Abstellphase mit höheren Abgasemissionen und bei Zündstrahlmotoren zusätzlich mit einem erhöhten Zündölverbrauch zu rechnen. Eine vollständige Vermeidung der Belastungen für den Startvorgang ist nicht möglich, jedoch lassen sich durch unterstützende Maßnahmen über Hilfseinrichtungen diese Einflüsse deutlich abmildern.

5.2.2.1 Hilfseinrichtungen zur Startunterstützung

Wichtigste Hilfseinrichtungen zur Erreichung langer Standzeiten bei flexibel betriebenen BHKW sind Vorwärmung und Vorschmierung. Bei vielen modernen Aggregaten werden derartige Einrichtungen bereits serienmäßig eingesetzt. Ein weiterer Vorteil des Einbaus von Starthilfeeinrichtungen ist neben der Standzeiterhöhung eine höhere Startbereitschaft des BHKW, da geringere Widerstände überwunden werden müssen und bessere Bedingungen für die einsetzende Verbrennung herrschen (van Busshuysen und Schäfer 2004).

Vorwärmung

Die Vorwärmung des Aggregates vor dem Start ist eine effektive Möglichkeit zur Minimierung auftretender Startbelastungen. Sie führt zu erhöhter Startbereitschaft und -fähigkeit. Hierzu werden die Motorkomponenten und das Schmieröl im Vorfeld des Startes auf eine Temperatur von ca. 56...60 °C erwärmt (GE Jenbacher 2012). Genutzt wird dazu der Kühlwasserkreislauf des BHKW (Zacharias 2001). Der anfallende Installationsaufwand beschränkt sich auf die Installation der Wärmequelle, zusätzliche Bauteile für die Umschaltung des Kühlkreislaufes und die entsprechende Einbindung in die Motorsteuerung. Als Wärmequelle kann beispielsweise ein in den Kühlkreislauf eingebundener elektrischer Heizstab eingesetzt werden. Es kann auch ein Wärmespeicher im Heizkreis oder die auf der Biogasanlage vorhandene Prozesswärme genutzt werden.

Die notwendigen Betriebszeiten der Vorwärmung hängen dabei von der Fahrweise des BHKW, der Dauer der Stillstandszeiten zwischen den Betriebstakten und der zur Verfügung stehenden Heizleistung ab. Stillstandszeiten unter zwei Stunden erfordern in der Regel kein Vorwärmen, da der Motor noch über ausreichend Temperatur verfügt. Wichtiges Kriterium für die Auskühlung des Motors ist der Aufstellort des BHKW, in dem zwar für eine gute Belüftung zu sorgen ist, aber kein allzu starker Zug herrschen sollte, wenn das Aggregat still steht. Die Vorwärmung kann entweder periodisch für eine permanente Warmhaltung erfolgen oder über einen definierten Fahrplan zu festen Zeiten, entsprechend vor dem jeweiligen Start.

Bestehende Aggregate können entsprechend nachgerüstet werden. Im Vergleich zum allgemeinen Investitionsaufwand eines Biogas-BHKW sind die Kosten für eine zusätzliche Vorwärmung als gering anzusehen.

Vorschmierung

Bei der Vorschmierung wird mittels einer zur Hauptölpumpe parallel angeordneten separaten Elektropumpe vor dem Start Schmieröl zu den Lagerstellen gefördert und somit eine Minimierung der Reibung erreicht. Weiterer Vorteil einer separaten Elektroölpumpe ist die Möglichkeit der Nachschmierung des Aggregates nach dem Abstellen, um noch nachdrehende Teile wie den Turbolader weiterhin mit Schmieröl zu versorgen und eine langsame Abkühlung heißer Bauteile sicher zu stellen (GE Jenbacher 2012). Analog zur Vorwärmung kann die Vorschmierung über periodischen Betrieb für permanente Bereitschaft oder bei definiertem Fahrplan kurz vor dem jeweiligen Start erfolgen.

Die notwendige Leistung der Pumpe ist dabei abhängig von der Aggregatgröße. Für übliche Größen von Biogas-BHKW kann nach Aussagen von Herstellern mit einem Leistungsbedarf von ca. 2...5 kW_{el} der separaten Elektropumpe ausgegangen werden. Kleine Aggregate bis ca. 500 kW_{el} erfordern in der Regel nach Herstellerangaben oft keine Vorschmieranlage, da bereits mit dem Anlasser die Schmierung einsetzt und nach etwa zwei bis drei Sekunden ein ausreichend hoher Öldruck erreicht ist.

Anlassersysteme

In höherem Maße gefordert sind durch den Taktbetrieb die Anlasserkomponenten, die einer häufigeren Belastung ausgesetzt sind. In der Regel werden batteriebetriebene Anlassersysteme eingesetzt. Diese beziehen die Antriebsenergie aus den Starterbatterien, welche über mechanische Vorrichtungen, sogenannte Schubschraubtriebstarter (Zacharias 2001), auf das Motorschwungrad übertragen wird und dieses in Bewegung setzt. Ziel ist es, eine möglichst hohe Startdrehzahl zu generieren, um ein leichteres Starten zu ermöglichen (van Basshuysen und Schäfer 2004).

Als alternatives Anlassersystem kann ein Netzstartgerät eingesetzt werden. Hierbei wird der Motor durch Nutzung der Energie aus dem allgemeinen Stromnetz gestartet. Vorteil eines Netzstartgerätes gegenüber batteriebetriebenen Anlassern ist die höhere mögliche Anlasedrehzahl (ca. 20 %) sowie eine höhere Belastbarkeit.

Für ein sicheres Startverhalten gilt unabhängig vom gewählten System, dass permanent einwandfrei funktionierende Anlasser ein wichtiges Kriterium für den Taktbetrieb darstellen. Dies erfordert somit eine gezielte Betreuung und Wartung, um stets Starticherheit zu gewährleisten.

5.2.2.2 Kondensatbildung durch Taktbetrieb

Bei den mit dem Taktbetrieb einhergehenden häufigeren Kaltstarts entsteht im Vergleich zum Grundlastbetrieb eine größere Menge an Kondensat im Abgas. Heiße Gase kommen mit noch kalten Bauteilen in Berührung, wodurch Wasserdampf an entsprechenden Bauteilwänden kondensiert. Das entstehende Kondensat kann je nach Verbrennungsluftverhältnis pH-Werte von 4 bis 6 bei Magermotoren und ca. 7 bei stöchiometrischem ($\lambda=1$) Betrieb besitzen (Zacharias 2001). Wird der Motor warm gestartet, verringert sich die anfallende Kondensatmenge.

Das anfallende Kondensat muss über Kondensatabscheider bzw. Kondensatfallen abgeführt werden. Dabei ist auf eine umweltgerechte Neutralisation des Kondensates zu achten, um schädliche Umweltauswirkungen zu vermeiden und entsprechende gesetzliche Vorgaben zu erfüllen.

Problematischer ist jedoch die Kondensatbildung im Abgastrakt nach dem Abstellen des Motors. Hier besteht vor allem in Verbindung mit H_2S eine erhebliche Korrosionsgefahr. Betroffen sind hierbei besonders der Turbolader, der Abgaswärmetauscher und die Katalysatoren. Deshalb ist im Taktbetrieb besonderes Augenmerk auf die Reinigung des Biogases zu richten. Die vollständige Entfernung des H_2S wird in diesem Zusammenhang immer wichtiger.

5.2.3 BHKW-Teillastbetrieb

Eine weitere Option für die flexible Stromerzeugung in Biogasanlagen ist der Teillastbetrieb von BHKW. Der Vorteil im Vergleich zum Taktbetrieb bei Nennlast besteht darin, dass trotz flexiblen Betriebes zusätzliche Startvorgänge vermieden werden können.

Biogas-BHKW können im Allgemeinen im unteren Leistungsbereich mit bis zu minimal 40% ihrer Nennleistung betrieben werden. Für den Motor bedeutet dies jedoch höhere Belastungen, da im Teillastbereich keine optimalen Betriebsbedingungen herrschen. Die Nebenantriebe, der Kühlkreislauf und der Schmierölkreislauf sind für den Nennlastbetrieb aufeinander abgestimmt. Pumpen oder Turbolader arbeiten im Teillastbereich nicht mehr in ihrem optimalen Betriebspunkt. Dies verursacht beispielsweise einen erhöhten Schmierölverbrauch sowie Hilfsenergiebedarf. Auch der Teillastbetrieb ist mit einer größeren Menge an anfallendem Kondensat verbunden, da der im Vergleich mit dem Nennlastbetrieb geringere Abgasvolumenstrom schneller abkühlt. Desweiteren erfolgt die Verbrennung des Brennstoff-Luft-Gemisches nicht mehr optimal. Der Motor wird durch unverbrannte Bestandteile des Gasgemisches höheren Belastungen ausgesetzt und es erhöhen sich die Schadstoffemissionen (Jung und Müller 2008).

Um allzu hohe Belastungen zu vermeiden erfolgen von Seiten der Hersteller unterschiedliche Vorgaben zur maximal möglichen Teillast (40...50 % der Nennleistung) sowie zu möglichen Betriebszeiten in den Teillastbereichen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass ein Teillastbetrieb zu erhöhten Motorbelastungen und geringeren elektrischen Wirkungsgraden bei der Gasverwertung führt. In Abbildung 20 ist die Wirkungsgradkennlinie eines beispielhaften BHKWs im Teillastbereich dargestellt. Im Teillastbereich weist das BHKW entsprechend einen geringeren elektrischen Wirkungsgrad auf. Ein deutlicher Abfall des elektrischen Wirkungsgrades ist hierbei bereits ab 85 % der Nennleistung festzustellen. In der Praxis ist von noch deutlicheren Wirkungsgradeinbußen auszugehen, die zusätzlich 1 bis 2 Prozentpunkte betragen können (Jung und Müller 2008).

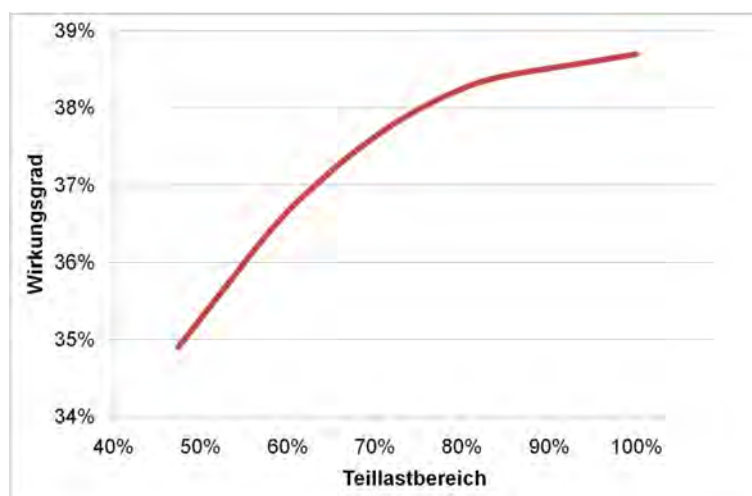


Abbildung 20: Kennlinie Wirkungsgrad BHKW (2G Energietechnik 2011)

Allgemein gilt, dass ab ca. 90 % Teillast ein energetisch effizienterer Betrieb von Biogas-BHKW durch Takten bei Volllast erreicht werden kann (Jung und Müller 2008). Hohe Teillastbetriebszeiten bergen das Risiko, zusätzliche Strommarkterlöse durch eine schlechtere Verwertung des Biogases und den damit verbundenen erhöhten Rohstoffeinsatz zu verspielen.

Neben dem elektrischen Wirkungsgrad wirkt sich ein Teillastbetrieb auch ungünstig auf die Abgasemissionen aus. Durch die weniger effiziente Verbrennung erhöht sich vor allem der Ausstoß an Kohlenwasserstoffen, auch „Methanschluß“ genannt. Untersuchungen von Aschmann et. al (2010) zeigten für 70 % Volllast bis zu dreifach erhöhte Kohlenwasserstoffkonzentration im Abgas. Dies wirkt sich erheblich auf die Treibhausgasbilanz des erzeugten Stroms aus.

Es ist anzunehmen, dass das BHKW im Teillastbetrieb etwas geringeren Belastungen als bei häufigeren Starts ausgesetzt ist, jedoch kann dem BHKW im Volllast-Taktbetrieb durch kürzere Betriebszeiten für die Erzeugung der gleichen Strommenge eine längere Lebensdauer in Jahren zugeschrieben werden.

Dennoch ergeben sich auf Biogasanlagen immer wieder Situationen, in denen ein zeitweiser Teillastbetrieb durchaus interessant erscheint, z. B. wenn Startprobleme durch kurzfristige Störungen der Vergärung auftreten oder Limitationen von Seiten der Wärmeabnehmer bestehen. Gerade die Wärmeversorgung der Biogasanlage oder externer Abnehmer kann je nach Gegebenheiten vor Ort ein wichtiges Argument für oder gegen den Teillastbetrieb sein.

5.2.4 Gasstrecke und Gasaufbereitung

Die Gasstrecke einschließlich der Gasaufbereitung muss bei einer flexiblen Stromerzeugung auf den erhöhten Gasdurchfluss bei der maximalen Stromproduktion ausgelegt sein. Hierfür sind vor allem Anpassungen hinsichtlich der Dimensionierung von Gasleitungen (höherer Gasfluss, Druckverluste), Armaturen, Gastrocknung und Entschwefelung (verstärkte Kondensatbildung) vorzunehmen.

Durch die mit der flexiblen Stromerzeugung verbundenen ungünstigen Bedingungen für das BHKW, welche durch den Taktbetrieb bzw. den Teillastbetrieb hervorgerufen werden, kann das BHKW vorwiegend durch hohe Wasserdampf- und Schwefelwasserstoffgehalte im Biogas stärker belastet sein als im Grundlastbetrieb. Diese Punkte sind in Absprache mit dem jeweiligen BHKW-Hersteller zu klären, um gegebenenfalls Anpassungen vorzunehmen.

6 Wärmenutzung bei steuerbarer Stromerzeugung

Für die Gesamteffizienz der Stromerzeugung aus Biogas ist eine möglichst vollständige Nutzung der bei der Vor-Ort-Verstromung anfallenden Wärme essenziell. Dies gilt auch für die Stromerzeugung mit flexiblen Biogasanlagen. Die bei der Verwertung des Biogases anfallende Wärme wird zum einen für die Heizung des Fermenters intern benötigt, zum anderen kann die Abwärme für externe Anwendungen verwendet werden.

Nach der DBFZ-Betreiberbefragung 2014 (DBFZ 2014) wird an 51 % der Biogasanlagen mehr als 50 % nach Abzug des Eigenwärmebedarfs verfügbare Wärmemenge genutzt.

Bei Biogas-BHKW kann die Wärme aus dem Motor-Kühlwasserkreislauf, dem Abgasstrom sowie der Ladeluftkühlung entnommen werden. Die Kühlwassertemperaturen der Motor- und Ladeluftkühlung liegen bei etwa 80...90 °C. Zum Auskoppeln der Wärme werden meist Plattenwärmetauscher eingesetzt. Wärme aus dem 400...600 °C heißen Abgasstrom wird vorwiegend mittels Rohrbündelwärmetauscher ausgekoppelt. Durch die hohe Temperatur des Abgasstroms kann hier Wärme auf einem deutlich höheren Temperaturniveau und somit Heißwasser über 90 °C und selbst Dampf für Prozesszwecke ausgekoppelt werden. Der thermische Wirkungsgrad eines Biogas-BHKW ist etwas höher als der elektrische und liegt zwischen 41...45 %, wobei abhängig vom jeweiligen BHKW ca. 40...45 % der Wärme dem Abgasstrom entnommen werden kann.

Erfolgt die Stromerzeugung einer Biogasanlage kontinuierlich, steht eine konstante Wärmeleistung rund um die Uhr zur Verfügung. Erfolgt die Stromerzeugung einer Biogasanlage dagegen gesteuert nach Bedarf, ist auf der einen Seite über gewisse Zeiträume keine oder weniger Wärmeleistung als im Vergleich zum kontinuierlichen BHKW-Betrieb verfügbar. Auf der anderen Seite stehen durch die Installation zusätzlicher Verstromungskapazitäten zu Zeiten eines hohen Strombedarfs entsprechend höhere Wärmeleistungen zur Verfügung.

6.1 Eigenwärmebedarf bei steuerbarer Stromerzeugung

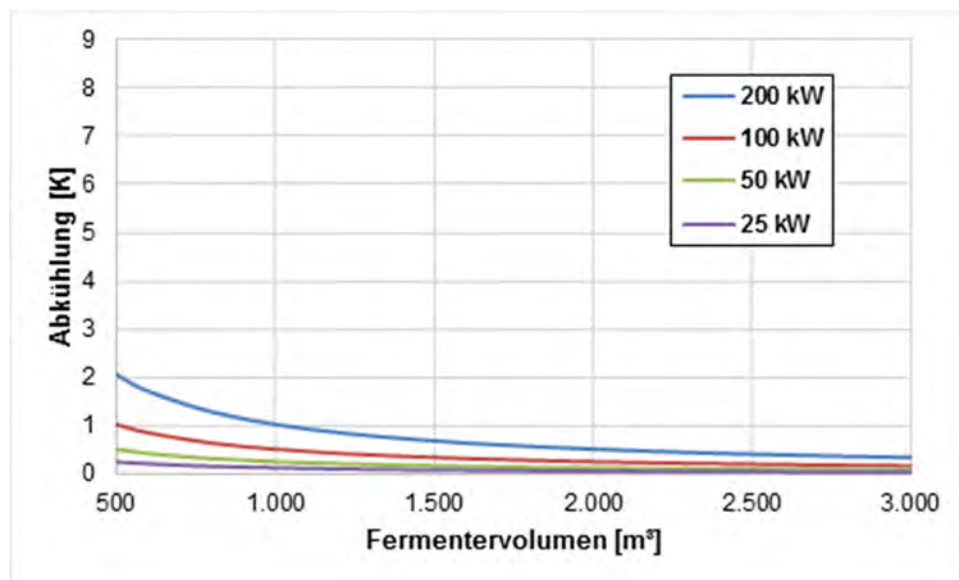
In erster Linie wird an Biogasanlagen Wärme benötigt, um den Gärprozess aufrechtzuerhalten. Dazu ist für die Vergärung ein stabiles, gleichmäßiges Temperaturniveau notwendig. Der Wärmebedarf zur Fermenterbeheizung ist dabei von vielen Faktoren abhängig und hochgradig anlagenspezifisch. Neben dem Temperaturniveau der Prozessführung und den eingesetzten Substraten, der Behältergröße sowie der Verweilzeit spielt auch die bauliche Ausführung der Behälter (z.B. Größe der Oberfläche oder Lage der Behälter im Erdreich) eine Rolle. Neben der Wärmeisolation der Behälterwände hat die Art der Behälterabdeckung eine hohe Bedeutung. Beispielsweise isolieren Betondecken und Behälterabdeckungen mit Doppelmembranen deutlich besser als einfache Behälterabdeckungen.

Je nach Wärmeverlusten der Behälter ist zur Aufrechterhaltung der Substrattemperatur dabei mehr oder weniger thermische Energie notwendig. Im Durchschnitt liegt der mittlere Eigenwärmebedarf einer Biogasanlagen bei ca. 26 % der produzierten Wärmemenge

(DBFZ 2014). Momentan erfolgt die Wärmebereitstellung auf Biogasanlagen durch den permanenten Betrieb von BHKWs.

Wird im Zuge des flexiblen Anlagenbetriebs die Stromerzeugung über längere Zeiträume ausgesetzt, steht entsprechend die thermische Leistung die für die Fermenterbeheizung benötigt wird nicht zur Verfügung. Je nach Behälter und Witterungsbedingungen kühlt dann der Behälter aus. In [Abbildung 21](#), [Abbildung 22](#) und [Abbildung 23](#) ist dargestellt um welche Temperaturdifferenz sich der Fermenterinhalt verschiedener Behältergrößen abkühlt, wenn die benötigte Wärmeleistung zur Aufrechterhaltung der Substrattemperatur über unterschiedlich lange Zeiträume nicht zur Verfügung steht (bei den Abbildungen wurde dem Fermenterinhalt die spezifische Wärmekapazität von Wasser unterstellt). So kühlen sich beispielsweise 1.500 m³ bei einem relativ hohen thermischen Leistungsbedarf zur Aufrechterhaltung der Substrattemperatur von 100 kW_{th} bei 6 h ohne Wärmezufuhr um lediglich 0,3 K, bei 12 h ohne Wärmezufuhr um 0,7 K und bei 24 h ohne Wärmezufuhr um 1,4 K ab.

Wie die Darstellung der Abkühlung des Fermenterinhalt zeigt, können BHKW-Stillstandszeiten von 12 h sowie kurzfristige Wartungsarbeiten oder Störungen im Anlagenbetrieb in der Regel durch die in den Behältern gespeicherte Wärme überbrückt werden. Voraussetzung ist jedoch, dass die verbaute Anlagentechnik zur Beheizung des Fermenterinhalt in der Lage ist, die zur Aufrechterhaltung der Substrattemperatur notwendige Energiemenge während der BHKW-Betriebszeiten zur Verfügung zu stellen. Problematisch in diesem Zusammenhang kann eine unzureichende Durchmischung des Fermenterinhalt und eine damit verbundene inhomogene Temperaturverteilung im Fermenter sein.



[Abbildung 21](#): Abkühlung des Fermenterinhalt nach 6 h ohne Wärmezufuhr bei unterschiedlichen thermischen Leistungsbedarfen zur Aufrechterhaltung der Substrattemperatur

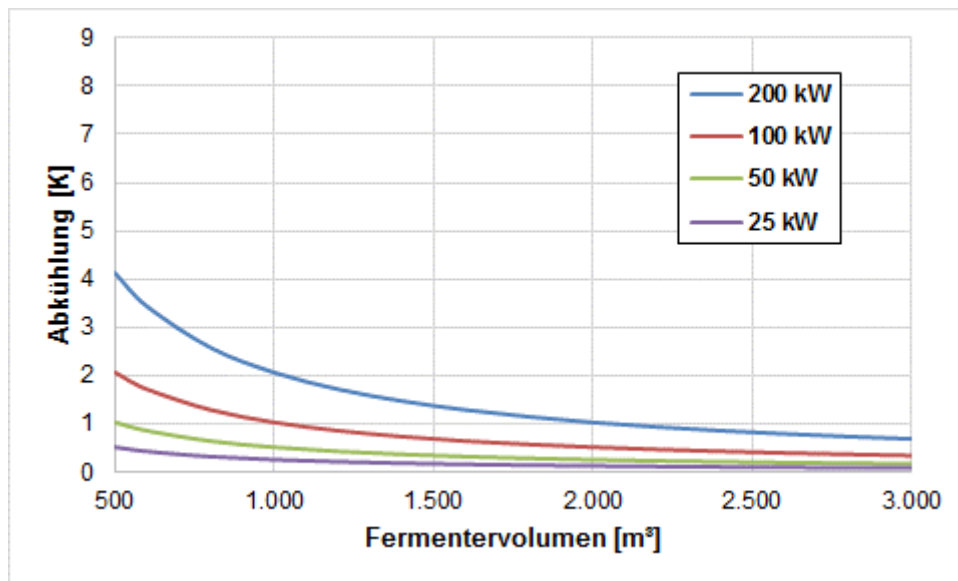


Abbildung 22: Abkühlung des Fermenterinhalt nach 12 h ohne Wärmezufuhr bei unterschiedlichen thermischen Leistungsbedarfen zur Aufrechterhaltung der Substrattemperatur

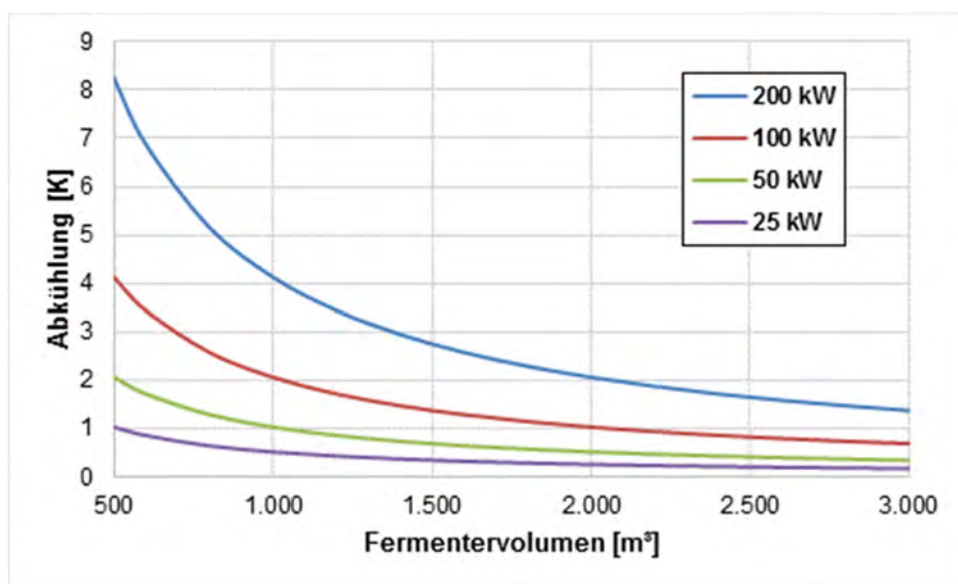


Abbildung 23: Abkühlung des Fermenterinhalt nach 24 h ohne Wärmezufuhr bei unterschiedlichen thermischen Leistungsbedarfen zur Aufrechterhaltung der Substrattemperatur

Entsprechend des Jahresverlaufes ändert sich der Wärmebedarf zur Fermenterbeheizung. Abbildung 24 stellt dar wie sich die Wärmelast einer beispielhaften Biogasanlage zur Aufrechterhaltung der Substrattemperatur bezogen auf die Jahreshöchstlast verhält.

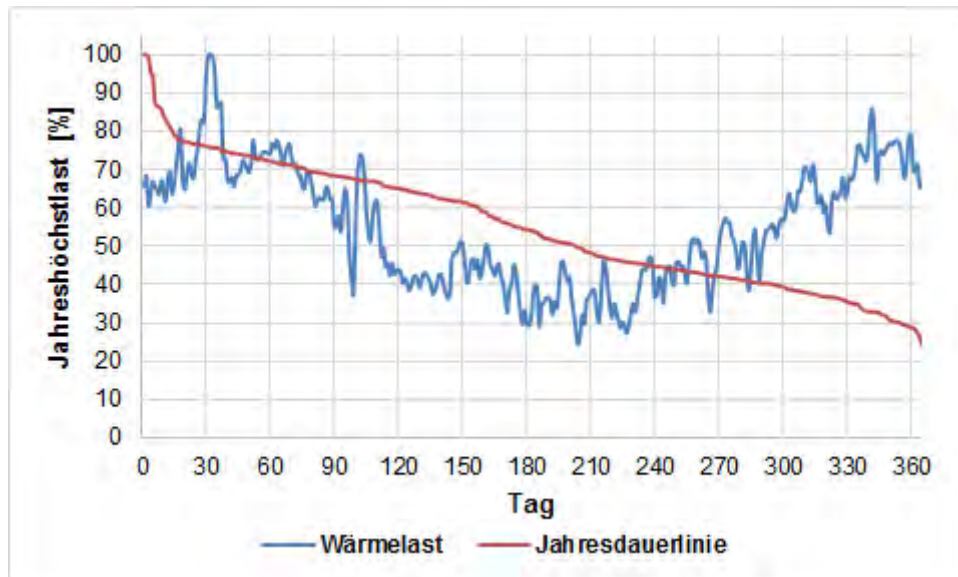


Abbildung 24: Wärmelast der Fermenterbeheizung im Jahresverlauf

Um die Wärmeversorgung der Fermenter sicherzustellen, können die Stillstandzeiten der Gasverwertung entsprechend durch Fahrpläne angepasst (Grundlast/Spitzenlast) oder über separate Wärmespeicher überbrückt werden.

6.2 Externe Wärmenutzung bei steuerbarer Stromerzeugung

Für die mit der steuerbaren Stromerzeugung verbundene Entkopplung von Strom- und Wärmeerzeugung gilt es neben dem internen Wärmebedarf auch den externen Wärmebedarf zu berücksichtigen.

Aktuell wird die Wärme am häufigsten für die Beheizung von Sozialgebäuden und Stallungen genutzt. Aber auch Trocknungsprozesse und die Versorgung von Nahwärmenetzen sind weit verbreitet. [Abbildung 25](#) stellt die Häufigkeit der im Rahmen der DBFZ-Betreiberbefragung genannten externen Wärmekonzepte dar. Häufig sind mehrere Konzepte an einer Anlage umgesetzt.

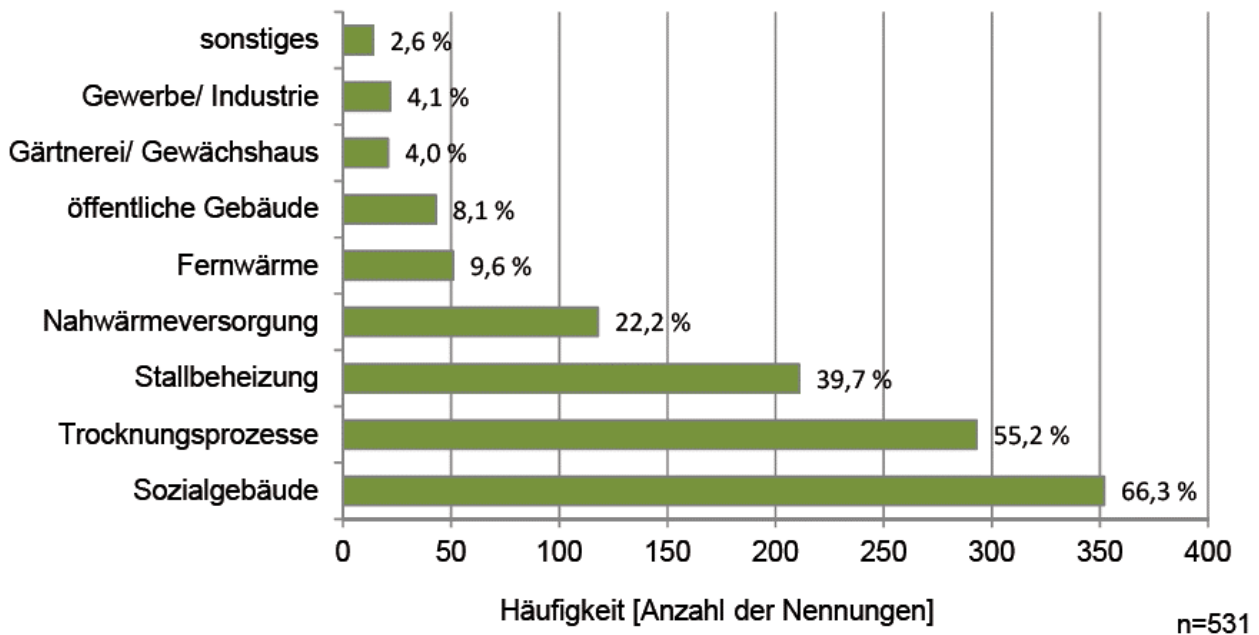


Abbildung 25: Häufigkeit der Art der Wärmenutzung, absolute Anzahl der Nennungen und relative Häufigkeit (DBFZ 2014)

Die verwendeten Konzepte unterscheiden sich dahingehend deutlich, wie viel Wärme zu welcher Jahreszeit genutzt werden kann.

Wird die Wärme zur Beheizung von Gebäuden (Sozialgebäude, Stallungen, öffentliche Gebäude) genutzt, ist der Verlauf der Wärmelast stark jahreszeitabhängig. Stellvertretend wird in [Abbildung 26](#) die Heizlast eines Ein-/Zweifamilienwohnhauses inkl. Warmwasserbereitstellung bezogen auf die Jahreshöchstlast dargestellt. Es zeigt sich, dass während der Wintermonate die Last relativ hoch ist, während in den Sommermonaten hingegen relativ wenig Wärme benötigt wird. Die Last zur Warmwasserbereitstellung ist dagegen über das ganze Jahr konstant.

Ähnliche Lastverläufe treten auch bei der Wärmeversorgung von Nah- und Fernwärmenetzen auf. Hier muss jedoch differenziert werden, ob die Biogas-Wärme im jeweiligen Netz zur Grundlastversorgung oder zur Vollastversorgung eingesetzt wird.

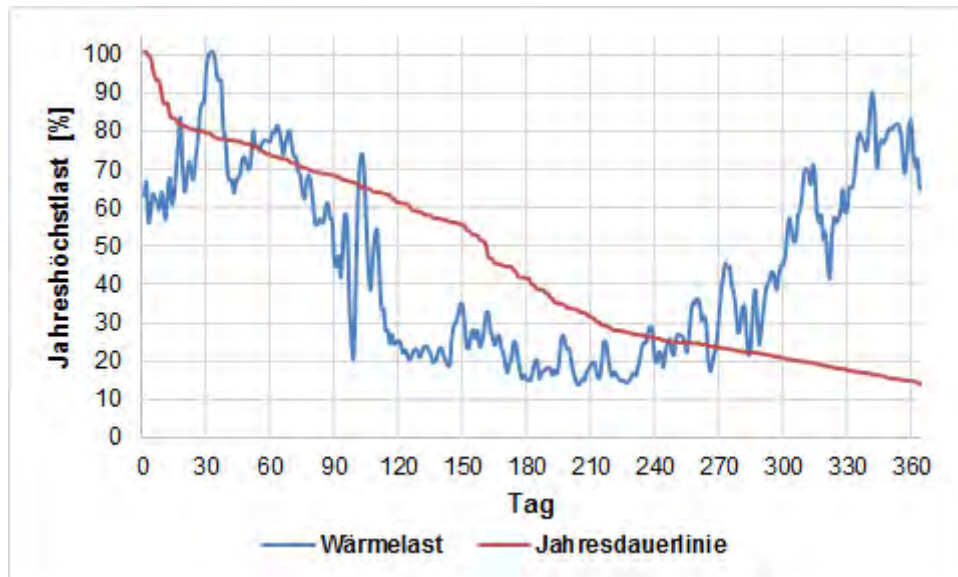


Abbildung 26: Wärmelast eines im Jahresverlauf Ein-/Zweifamilienwohnhauses
inkl. Warmwasserbereitstellung

Sowohl der interne Wärmebedarf zur Fermenterbeheizung, als auch die externe Wärmenutzung zu Heizzwecken besitzen einen ähnlichen Lastgang. Das bedeutet, es wird mehr Wärmeenergie im Winter benötigt als im Sommer, jedoch steht im Sommer mehr Wärme zur Verfügung.

Wie in [Abbildung 25](#) dargestellt, wird die extern nutzbare Wärme häufig zum Trocknen von Wirtschaftserzeugnissen eingesetzt. Zur Trocknung werden meist je nach Wirtschaftsgut und Leistungsgröße Satz Trockner, Bandtrockner oder Schubwendetrockner eingesetzt. Auch diese Art der Wärmenutzung ist, wie in [Abbildung 27](#) dargestellt, meist saisonabhängig.

Trockengut	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Saatgut												
Heutrocknung												
Getreide/Raps												
Körnermais												
Kräuter												
Obst												
Pilze												
Gemüse												
Biertreber												
Milchprodukte												
Stückholz												
Hackschnitzel												
Pellets												
Klärschlamm												
Gärrest												

Abbildung 27: Trocknungsperioden unterschiedlicher Wirtschaftsgüter
 (Institut für angewandtes Stoffstrommanagement 2010)

6.3 Sicherstellung der Wärmeversorgung

Während der Stillstandzeiten der Gasverwertung, gilt es die Versorgung von externen und internen Wärmelasten sicher zu stellen. Dabei sind je nach Flexibilität der Anlage unterschiedlich Zeiträume zu überbrücken.

Um externe Wärmekonzepte mit Konzepten zur steuerbaren Stromerzeugung in Einklang zu bringen sind unterschiedliche Strategien möglich.

- Anpassung der Flexibilität der Stromerzeugung**
 Berücksichtigung des Wärmebedarfs bei der Fahrplanerstellung
- Anpassung der Wärmenutzung an die Stromerzeugung**
 Pausieren der Wärmenutzung bei BHKW-Stillstand
- Entkopplung der Wärmeversorgung von der Stromerzeugung**
 Bedarfsgerechte Wärmebereitstellung über Speicher oder zusätzliche Wärmeversorgung

Die Anpassung der Flexibilität an die Stromerzeugung ermöglicht die Sicherstellung der Wärmeversorgung direkt über die installierten BHKW ohne eine Investition in zusätzliche Anlagentechnik. Die Flexibilität der Stromerzeugung ist jedoch somit vom Wärmebedarf begrenzt und variiert je nach Wärmenutzungskonzept im Jahresverlauf. Im praktischen flexiblen Anlagenbetrieb kann, um den Wärmebedarf sicherzustellen, ein Teil der

installierten Leistung in Grundlast betrieben, oder die Fahrpläne der Stromerzeugung können dem aktuellen Wärmebedarf angepasst werden.

Ob eine Anpassung der Wärmenutzung an die Stromerzeugung möglich ist, hängt vom Wärmeverbraucher ab. Potenziell dafür geeignet ist beispielsweise die Trocknung von Wirtschaftsgütern. Mit der Unterbrechung der Wärmenutzung geht eine Verringerung des Durchsatzes und des Wärmenutzungsgrades einher. Mit der Installation zusätzlicher Verstromungseinheiten steht gleichzeitig auch eine höhere thermisch Leistung zur Verfügung. Dadurch ist es möglich höhere Trocknungskapazitäten zu installieren und so den Durchsatz und den Wärmenutzungsgrad beizubehalten.

Zur Entkopplung der Wärme- von der Stromerzeugung ist es möglich die überschüssige Wärme während der Stromerzeugung zu speichern oder die benötigte Wärme separat zu erzeugen.

6.3.1 Wärmespeicherung

Thermische Energie lässt sich in sensiblen, latenten und thermochemischen Speichersystemen speichern. Die Anforderungen an Wärmespeicher bei der steuerbaren Stromerzeugung zur Überbrückung von BHKW-Stillstandszeiten sind geprägt von hohen Lade- und Entladeleistungen sowie kurzen Speicherzyklen. Aufgrund dessen empfehlen sich für die steuerbare Stromerzeugung sensible Wärmespeicher.

Bei der sensiblen Speicherung von thermischer Energie wird ein Speichermedium erhitzt oder abgekühlt. Aufgrund der hohen spezifischen Wärmekapazität von Wasser wird als Speichermedium Wasser verwendet. Durch die Erwärmung nimmt das Wasser Energie auf, welche bei Bedarf abgegeben werden kann. Die speicherbare Energie ist neben der spezifischen Wärmekapazität abhängig von der Masse des Speichers und der Temperaturdifferenz mit der der Speicher betrieben wird (vgl. Formel 2).

$$E_{th} = m * c * \Delta T \quad (2)$$

mit: E_{th} = Thermische Energie [kWh_{th}]
 m = Masse [kg] Thermisch gespeicherte Energie
 c = spezifische Wärmekapazität (Wasser (20 °C): 4,182 (kJ/(kg*K))
 ΔT = Temperaturdifferenz [K]

Je nach Dauer der BHKW-Stillstandszeiten und benötigter Wärmeleistung ergeben sich unterschiedliche Speichergrößen mit denen die fehlende Wärmeerzeugung überbrückt werden muss. [Abbildung 28](#) stellt entsprechend benötigte Speichergrößen bei einer

nutzbaren Temperaturdifferenz von 30 K dar. Wie zu erkennen, werden je nach Anforderungen teils sehr große Speichervolumina erreicht.

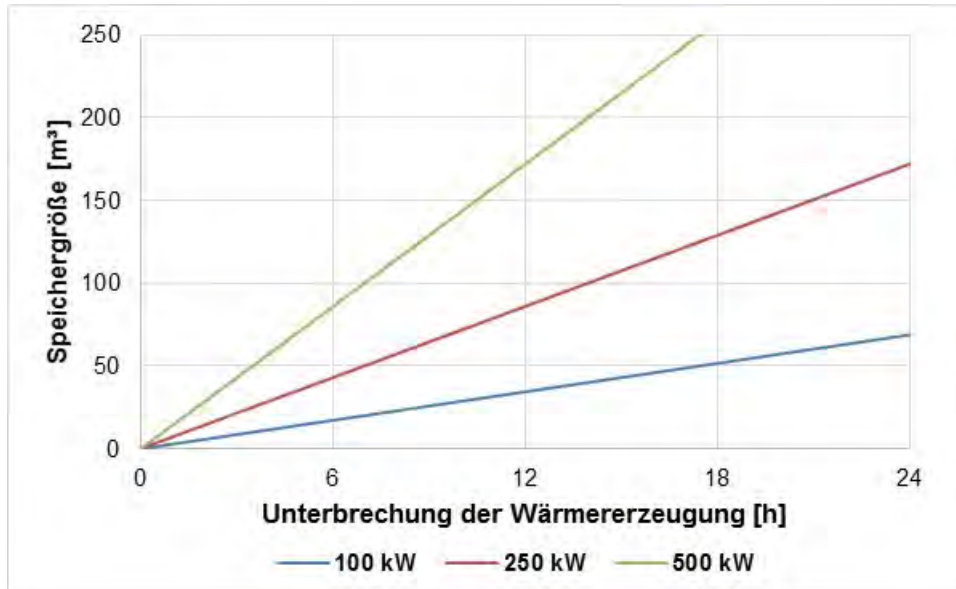


Abbildung 28: Wärmespeichergrößen in Abhängigkeit der Überbrückungsdauer bei einer Temperaturspreizung von 20 K

Für die Bereitstellung der Wärme während der BHKW-Stillstandszeiten bzw. des Beladens des Speichers während der Stromerzeugung, ist für die Auslegung des Wärmespeichers vor allem notwendig, dass neben der speicherbaren Wärmemenge auch Lade- und Entladeleistung des Wärmespeichers entsprechend den Anforderungen ausgelegt sind.

Sensible Wärmespeicher werden als stehende und liegende Zylinder (auch unterirdisch) aus glasfaserverstärkten Kunststoff (GFK) oder Stahl angeboten. Investitionskosten für unterschiedliche Speichergrößen werden in [Tabelle 7](#) dargestellt. Zu den Investitionen in den eigentlichen Wärmespeicher addieren sich Kosten für Druckhaltung und Entgasung, Fundamente, die hydraulische Einbindung sowie das Speichermanagement (Daniel 2011). Insgesamt summieren sich die zusätzlichen Investitionen auf 70...80 % der Investitionen in den Wärmespeicher.

Tabelle 7: Investitionskosten für zylindrische Wärmespeicher

Speichergröße [m ³]	Investitionskosten [€]
20	17.000...20.000
50	29.000...40.000
100	40.000...70.000
200	ab 60.000

Zur Wärmespeicherung können auch Erdbeckenspeicher verwendet werden, die vorwiegend für die saisonale Wärmespeicherung von Energie genutzt werden. Sie werden in Größen von 100 m³ bis 20.000 m³ angeboten. Die spezifischen Kosten belaufen sich auf 120 bis 360 €/m³ (Reuß k.D.).

6.3.2 Zusätzliche Wärmeerzeugungseinheit

Neben der Speicherung von Wärme kann diese in einer zusätzlichen Wärmeerzeugungseinheit auch unabhängig von der Stromerzeugung während eines BHKW-Stillstandes separat erzeugt werden.

Im Vergleich zu Wärmespeichersystemen ist es mit zusätzlichen Wärmeerzeugungseinheiten möglich über lange Zeiträume die Wärmeversorgung sicherzustellen. Jedoch sinkt entsprechend der Wärmenutzungsgrad, wenn die Wärme in separaten Wärmeerzeugern erzeugt wird, da die bei der flexiblen Stromerzeugung anfallenden hohen Wärmeleistungen während den Stromerzeugungsphasen ungenutzt bleiben. Zusätzlich fallen Kosten für den benötigten Brennstoff an.

Neben dem an der Biogasanlage vorhandenen Energieträger Biogas können prinzipiell weitere Brennstoffe wie Erdgas, Heizöl oder Holz verwendet werden.

Soll Biogas als Brennstoff in der zusätzlichen Wärmeerzeugungseinheit verwendet werden, steht das zur Wärmeerzeugung verbrauchte Gas zur Stromerzeugung nicht zur Verfügung bzw. das zur Wärmenutzung benötigte Gas muss zusätzlich erzeugt werden. Somit sinkt die erzeugte Strommenge, bzw. steigt der Substratbedarf. Entsprechend müssen die entgangenen Einnahmen aus dem Stromverkauf bzw. zusätzlichen Substratkosten bei der Ermittlung der Wärmegestehungskosten der zusätzlichen Wärmeerzeugungseinheit berücksichtigt werden. Investitionskosten in passende Heizsysteme verschiedener Leistungsgrößen sind in Tabelle 8 dargestellt. Der Normnutzungsgrad (bezogen auf H_i) eines Biogas-Heizkessels liegt bei bis zu 96 % (Buderus 2015).

Tabelle 8: Richtpreise für Heizkessel samt Gasbrenner verschiedener Leistungsgrößen

Leistung [kW_{th}]	Investitionskosten [€]
150	10.000
250	14.500
500	21.000
750	27.000

7 Rechtliche Aspekte

7.1 Vergütungsrecht

Beim EEG 2012 wurde mit der Einführung der Instrumente optionales Marktprämienmodell und Flexibilitätsprämie vom Gesetzgeber die Möglichkeit geschaffen die steuerbare Stromerzeugung mit Biogas zu ermöglichen.

7.1.1 Optionales Marktprämienmodell

Im Rahmen des EEG 2012 wurde mit der Einführung des Marktprämienmodells eine Möglichkeit geschaffen höhere Stromvergütungen als im Vergleich zur regulären Stromvergütung für Biomasse nach § 27 EEG 2012 zu erzielen. Die Regelungen hierzu wurden in §§ 33a bis 33i EEG 2012 festgeschrieben, und im Allgemeinen bei der EEG-Novellierung 2014 mit den §§ 34 bis 36 weiter umgesetzt.

Kern des Marktprämienmodells ist die optionale Marktprämie. Wechselt eine Anlage in das Marktprämienmodell verzichtet diese auf den Bezug der EEG-Vergütung. Der erzeugte Strom kann direkt an Dritte oder an der Börse vermarktet werden. Die optionale Marktprämie dient dazu den Preisunterschied zwischen dem Marktwert des erzeugten Stroms und der regulären EEG-Vergütung der jeweiligen Anlage auszugleichen und berechnet sich nach Formel 3:

$$\text{Marktprämie} = \text{anzulegender Wert} - \text{Referenzwert} \quad (3)$$

Als anzulegender Wert ist die reguläre EEG-Vergütung anzunehmen die theoretisch tatsächlich von der Anlage in Anspruch genommen werden könnte. Der Referenzwert für Strom aus Biomasse berechnet sich aus der Differenz zwischen dem tatsächlichen Monatsmittelwert der Stundenkontrakte am Spotmarkt (Day-Ahead-Auktion) der *EPEX Spot SE* (MW_{EPEX}) sowie der Managementprämie (P_M). Die Höhe der Managementprämie wird jährlich festgelegt. Der Betrag der Managementprämie für die Jahre von 2012...2014 ist in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9: Betrag der Managementprämie (P_M) 2012...2014

Jahr	P_M in ct/kWh
2012	0,30
2013	0,275
2014	0,25

Mit der Novelle für das Jahr 2014 entfällt die Managementprämie. Im Rahmen einer Übergangsregelung wurde zur Kompensation der anzulegende Wert vor dem 01.01.2015

um 0,25 ct/kWh erhöht. Nach dem 31.12.2014 muss der anzulegende Wert um 0,2 ct/kWh erhöht werden.

Die Marktprämie kann in Anspruch genommen werden wenn

- die Anlage für den Strom kein vermiedenes Netznutzungsentgelt in Anspruch genommen wird,
- die Anlage fernsteuerbar nach § 6 EEG 2012 bzw. § 36 EEG 2012 ist und
- der Strom in einem Bilanz- oder Unterbilanzkreis bilanziert wird, in dem ausschließlich Strom aus Erneuerbaren Energien nach § 20 Absatz 1 Nummer 1 direkt vermarktet wird, oder Strom dessen Einstellung in den Bilanz- oder Unterbilanzkreis nicht von dem Anlagenbetreiber oder dem Direktvermarktungsunternehmer zu vertreten ist.

Abbildung 29 stellt die Vergütungsstruktur des Marktprämienmodells im Vergleich zur regulären EEG-Vergütung dar. Bereits wenn über die Direktvermarktung der Marktwert der Monatsmittelwerte der Day-Ahead-Auktion der *EPEX Spot SE* erreicht werden ist über die Managementprämie bzw. die Erhöhung des anzulegenden Wertes insgesamt eine höhere Stromvergütung als im Vergleich zur regulären Stromvergütung möglich.

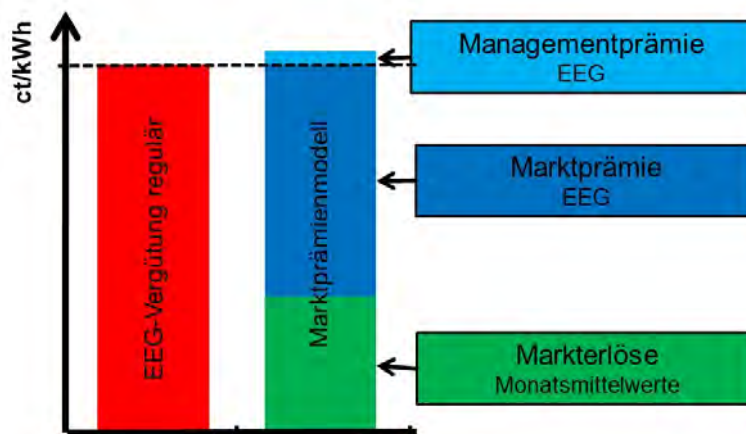


Abbildung 29: Stromvergütung im Marktprämienmodell

Um Markterlöse zu erzielen muss der erzeugte Strom über entsprechende Dienstleister vermarktet werden. Üblicherweise werden die Stromvermarkter anteilig über erzielte Mehrerlöse bei der Vermarktung des erzeugten Stroms entlohnt. Höhere Markterlöse als die für die Berechnung der Marktprämie herangezogenen Monatsmittelwerte der Day-Ahead-Auktion der *EPEX Spot SE* können durch auf Strompreise optimierte Fahrpläne und geschickte Vermarktung des Stroms durch den Stromvermarkter an unterschiedlichen Märkten, z.B. der Teilnahme am Regelleistungsmarkt, erzielt werden.

7.1.2 Flexibilitätsprämie

Da die flexible Stromerzeugung mit Biogas mit Mehrinvestitionen in zusätzliche Stromerzeugungs- sowie evtl. zusätzliche Wärme- und Gasspeicherkapazitäten verbunden ist, sind die Stromgestehungskosten beim flexiblen steuerbaren Anlagenbetrieb höher als im regulären Grundlastbetrieb. Um eine Realisierung der Flexibilisierung der Stromerzeugung mit Biogasanlagen dennoch wirtschaftlich zu gestalten wurde im Rahmen des EEG 2012 und dem § 33 i mit der Flexibilitätsprämie (FP) eine Kapazitätskomponente in die Vergütungsstruktur integriert, die das Bereitstellen höherer Stromerzeugungskapazitäten als für den Grundlastbetrieb notwendig honoriert. Die Flexibilitätsprämie wird nach § 54 EEG 2014 in der unten beschriebenen Form für Anlagen zur Erzeugung von Strom aus Biogas die nach dem 31. Juli 2014 geltenden Inbetriebnahmebegriff, vor dem 1. August 2014 in Betrieb genommen worden sind, weitergeführt. Die Flexibilitätsprämie kann ergänzend zur Marktprämie für die Bereitstellung von zusätzlich installierter Leistung für eine bedarfsorientierte Stromerzeugung in Anspruch genommen werden. Der Anspruch auf die Flexibilitätsprämie besteht für eine Dauer von 10 Jahren nach erstmaliger Beantragung.

Um die Flexibilitätsprämie beanspruchen zu können, muss im Rahmen eines Umweltgutachtens die technische Eignung der Anlage zum bedarfsorientierten Betrieb bescheinigt werden. Hierzu muss, unter anderem ein dreitägiger Probetrieb einer bedarfsorientierten Fahrweise durchgeführt werden.

Ein bedarfsorientierter Betrieb der Stromerzeugung liegt dann vor, wenn Vereinbarungen bzw. Ziele von Erzeuger und Stromvermarkter eingehalten werden, zum Beispiel wenn das wirtschaftliche Interesse des Anlagenbetreibers und des Stromvermarkters ein Übertreffen des durchschnittlichen Börsenpreises ist (Grantner K.D.).

Die Höhe der Kapazitätskomponente (KK) beträgt 130 € pro kW flexibel bereitgestellter zusätzlich installierter Leistung (P_{Zusatz}) und Jahr.

P_{Zusatz} berechnet sich aus der Differenz zwischen der installierten elektrischen Leistung (P_{inst}) und der Bemessungsleistung (P_{Bem}). Die Bemessungsleistung einer Anlage berechnet sich aus dem Quotienten der Summe der in dem jeweiligen Kalenderjahr erzeugten Kilowattstunden, und der Summe der vollen Zeitstunden des jeweiligen Kalenderjahres. Zusätzlich wurde für die Berechnung von P_{Zusatz} ein Korrekturfaktor (f_{Kor}) eingeführt, welcher Unterschiede in der Anlagenauslastung bei der direkten Biogasnutzung und der Nutzung von Biomethan berücksichtigt. Dieser beträgt

- 1,1 für Biogas, und
- 1,6 für Biomethan.

Damit berechnet sich P_{Zusatz} nach folgender Formel 4:

$$P_{\text{Zusatz}} = P_{\text{inst}} - (f_{\text{Kor}} \times P_{\text{Bem}}) \quad (4)$$

Ziel der Flexibilitätsprämie ist es eine tatsächliche Flexibilität der Stromerzeugung zu schaffen. Hierzu wird abweichend von Formel 4 P_{Zusatz} folgendermaßen festgesetzt:

- $P_{Zusatz} = 0$, wenn $P_{Bem} \leq 0,2 \cdot P_{inst}$
- $P_{Zusatz} = 0,5 \cdot P_{inst}$, wenn P_{Zusatz} (nach Formel 4) $\geq 0,5 \cdot P_{inst}$

Die Höhe der Flexibilitätsprämie in ct/kWh berechnet sich nach Formel 5:

$$FP = \frac{P_{Zusatz} \times KK \times 100 \frac{\text{Cent}}{\text{Euro}}}{P_{Bem} \times 8760 h} \quad (5)$$

7.2 Genehmigungsrecht

Aus der Umstellung und Umrüstung einer Biogasanlage auf steuerbare Stromerzeugung ergeben sich neben der notwendigen technischen Anpassung auch rechtliche Aspekte, die es zu beachten gilt. Hierzu erfolgt ein Überblick über wesentliche Aspekte der Direktvermarktung und der lastorientierten Einspeisung von Strom, ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

Aufgrund der vielfältigen rechtlichen Aspekte und der unterschiedlichen individuellen Gegebenheiten sind für die Umstellung auf flexible Betriebsweise der Biogasanlage im Vorfeld fachlicher Beistand bei der Planung und Umsetzung zu empfehlen. Hierzu können als Ansprechpartner die jeweiligen Planer, spezialisierte Rechtsanwälte, Institutionen, Ämter oder Fachverbände geeignete Unterstützung und Information geben. Eine sorgfältige Vorgehensweise ermöglicht hier das Potenzial einer Biogasanlage erfolgreich umzusetzen und auszubauen.

7.2.1 Privilegierte Anlagen § 35 BauGB

Etwa die Hälfte der Biogasanlagen in Deutschland sind als privilegiertes Vorhaben realisiert (DBFZ 2012). Der § 35 BauGB berechtigt zum Bauen im Außenbereich wenn die energetische Nutzung von Biomasse einem land- oder forstwirtschaftlichen Betrieb, oder dem Anschluss an eine öffentliche Versorgungseinheit dient. Darin ist auch die Höhe der installierbaren Leistung elektrisch begrenzt. Bis Mitte 2011 war diese Grenze bei 500 kW_{el} installierter Leistung. Bei der Novellierung des EEG hinsichtlich höherer Flexibilität wurde diese Regelung überarbeitet und nunmehr auf eine Jahresproduktionsmenge an Biogas von 2,3 Mio. Nm³ und 2,0 MW Feuerungswärmeleistung der Anlage festgelegt. Dies bedeutet je nach Methangehalt im Biogas und elektrischem Wirkungsgrad ungefähr 500...580 kW_{el} durchschnittliche Jahresbemessungsleistung und je nach elektrischem Wirkungsgrad der Verstromung etwa 700...900 kW_{el} an installierbarer Leistung.

7.2.2 Störfallverordnung

Desweiteren ist zu beachten, dass ab entsprechender Größe des Gasspeichervolumens zusätzliche Pflichten und Kosten aus der Störfallverordnung entstehen. Diese legt eine Mengengrenzung von 10.000 kg (Grundpflichten) und 50.000 kg (erweiterte Pflichten) für hochentzündliche Stoffe fest. Für entsprechend große Gasspeichervolumen können dadurch zusätzliche Kosten für Sicherheitsberichte, Feuerwehreinsatzpläne und Störfallbeauftragte entstehen. Je nach Gaszusammensetzung und daraus resultierender Dichte würde die Mengengrenzung von 10.000 kg zu Gasspeichervolumen von ca. 7.300 Nm³ (bei 75 % Methangehalt) bis zu 9.500 Nm³ (bei 50 % Methangehalt) führen. Zur Berechnung des relevanten Gasspeichervolumens ist dabei das gesamte Volumen (Behälter- plus Speichervolumen) von abgedeckten Behältern, die als Wechselbehälter (z.B. Gärrestlager) dienen, mit zu berücksichtigen. Hier bieten externe Gasspeicher den Vorteil, dass das anzusetzende Volumen gleich dem Gasspeichervolumen ist.

7.2.3 Bundesimmissionsschutzgesetz BImSchG

Durch die Umstellung einer Biogasanlage auf lastorientierte Stromeinspeisung gelten die gleichen Rahmenbedingungen wie in der bisher üblichen Dauerbetriebsweise einer Biogasanlage.

7.2.4 Erneuerbare Energien Gesetz (EEG)

Die für die lastorientierte, steuerbare Stromerzeugung erforderlichen rechtlichen Aspekte finden sich vor allem in den Novellierungen des EEG 2012 und 2014. Darin sind die entsprechenden Voraussetzungen und Vergütungsansprüche für die Direktvermarktung und lastorientierte Stromeinspeisung geregelt. Im Wesentlichen sind folgende Punkte zu beachten:

- Endlager abgedeckt
- 150 Tage hydraulische Verweilzeit in gasdichtem System
- Vorhandene Gasverbrauchseinrichtung (Gasfackel, etc.)
- Meldung Anlagenregister
- Bescheinigung der technischen Eignung eines lastorientierten Betriebs durch Umweltgutachterin/Umweltgutachter
 - Prüfung durch Probetrieb
 - Probetrieb bis zu 3 Tage
- Installierte, Zusatz- und Bemessungsleistung EEG-Konform
- Erzeugter Strom zu 100 % direkt vermarktet
- Keine vermiedenen Netzentgelte werden in Anspruch genommen

- Stromverbrauch nicht in unmittelbarer Nähe und Durchleitung durch das öffentliche Stromnetz
- Durch Direktvermarktung entfällt Vorgabe zur Wärmenutzung von 60 % aus EEG 2012
- ¼ stündliche Messung und Bilanzierung der IST-Einspeisung
- Fernsteuerbarkeit der Anlage
- Direkt vermarkteter Strom in gesondertem Bilanzkreis bilanziert
- Meldung an den Netzbetreiber
- Meldung von Standort, installierter Leistung und Inanspruchnahme der Flexibilitätsprämie an die Bundesnetzagentur (BNetzA)

7.2.5 Genehmigungsbehörden

Hierzu sind jegliche genehmigungspflichtigen Änderungen an der Biogasanlage den entsprechenden Behörden zur Prüfung vorzulegen und die entsprechend gültigen Nachweise zu führen. Dies betrifft beispielsweise Anlagen die nach § 35 BauGB genehmigt sind und aufgrund der Flexibilisierung die installierte Anlagenleistung entsprechend der neuen Vorgaben anpassen.

8 Konzeptentwicklung

Grundlage der Konzeptentwicklung ist ein wirtschaftlicher und für das Stromnetz sinnvoller Einsatz der Stromerzeugungskapazitäten von Biogasanlagen, die steuerbar Strom erzeugen. Hierzu werden im Folgenden auf das in Kapitel 3 beschriebene Steuerinstrument, der Day-Ahead-Auktion des Spotmarkts der *EPEX Spot*, optimierte Fahrpläne entwickelt und die auf die Wirtschaftlichkeit einflussnehmenden Faktoren diskutiert.

Aufbauend auf die entwickelten Betriebskonzepte erfolgt die Betrachtung und Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Gesamtkonzepten.

Anschließend wird der Einfluss der steuerbaren Stromerzeugung auf die Treibhausgasemissionen diskutiert.

8.1 Simulation optimierter Stromerzeugungskonzepte

8.1.1 Vorgehensweise Fahrplanerstellung

Im Folgenden wird das angewandte Verfahren der optimierten Fahrplanerstellung für die BHKW einer Biogasanlage im Hinblick auf eine Erlösmaximierung des an der *EPEX Spot* Day-Ahead-Auktion gehandelten Stroms vorgestellt. Dabei werden unter anderem die Auswahl der Zeiträume der Fahrplangestaltung und die daraus resultierenden möglichen Erlöse betrachtet.

Im Rahmen einer Simulationen werden die optimalen Betriebszeiten eines oder mehrerer an einer Biogasanlage installierten BHKW berechnet. Hierzu werden alle Komponenten auf deren wichtigste Eigenschaften reduziert.

Zur Vereinfachung der Optimierung wird die Beschreibung der Anlage auf die nötigsten Stoffströme und Komponenten beschränkt, vgl. [Abbildung 30](#). Die Verfahrensschritte vor dem Fermenter werden nicht berücksichtigt. Lediglich die Biogasmenge, welche vom Fermenter in den Gasspeicher strömt ist für die Simulation relevant. Aus dem Biogasspeicher wird das Gas an zwei Blockheizkraftwerke weitergegeben. Die erzeugten Strom- und Wärmemengen ergeben sich aus den definierten Parametern der jeweiligen BHKW. Das für den Prozess und die Fahrplanerstellung wichtigste Element ist die Steuereinheit der Biogasanlage. Basierend auf Preissignalen der *EPEX Spot* Day-Ahead-Auktion und den Biogasspeicherkapazitäten ermittelt die Steuereinheit Fahrpläne für die jeweiligen BHKW. Durch Optimierung der Steuereinheit und der damit verbundenen Betriebsweise der BHKW können so maximale Erlöse auf dem Strommarkt erzielt werden.

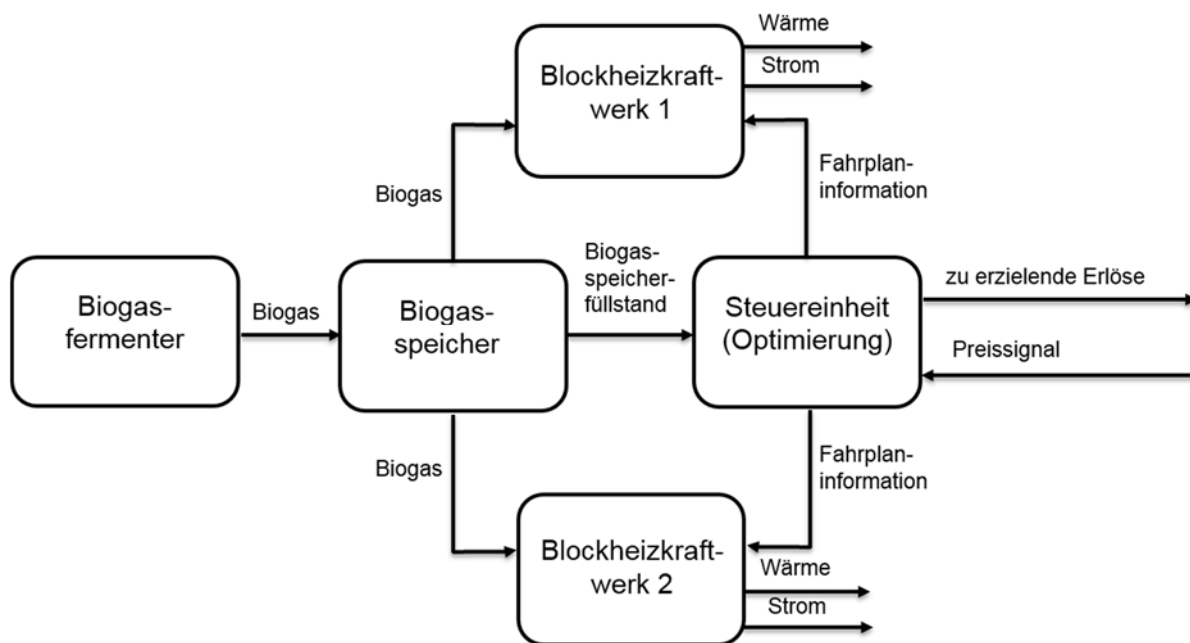


Abbildung 30: Informationsflussdiagramm für Optimierung

8.1.2 Optimierungsverfahren

Mathematisch kann das Bestimmen des Maximums oder Minimums einer Funktion, innerhalb eines bestimmten Bereichs als Optimierung bezeichnet werden. Als zu maximierende Funktion wird die Maximierung der erzielbaren Erlöse an der *EPEX Spot Day-Ahead*-Auktion durch den Stromverkauf der Biogasanlage definiert.

Das Optimierungsproblem der Erlösmaximierung durch die flexible Fahrweise von mit Biogasanlagen gekoppelten BHKW wurde innerhalb des Programms *Matlab* zweistufig mit heuristischen und nachfolgend mit exakten Optimierungsverfahren gelöst. Die Formulierung des Optimierungsproblems wird so allgemein gehalten, dass die Vorgehensweise auf möglichst viele Anlagen übertragen werden kann.

Heuristische Verfahren lösen mit limitierten Eingangsdaten und begrenztem zeitlichen Aufwand aufgrund von Schlussfolgerungen das zu optimierende Problem. Die Lösung solcher Verfahren muss nicht das globale Optimum sein, sondern kann als lokales Optimum davon abweichen. Vorteil dieser Verfahren ist, dass diese oft Problemstellungen, welche nicht mit exakten Verfahren gelöst werden können, optimieren. Exakte Verfahren führen nicht bei jeder Problemstellung zu einem Ergebnis. Wird ein Ergebnis ermittelt, so ist dies jedoch immer das globale Optimum.

Alle für die Steuerung wichtigen Komponenten der Biogasanlage werden mittels linearer Funktionen physikalisch beschrieben. Im Falle der oben beschriebenen Biogasanlage sind Biogasspeicherfüllstand, Biogasverbrauch der BHKW und sowohl die elektrische als auch die thermische Leistung der BHKW als Variablen definiert. Als Nebenbedingungen werden

alle Ungleichungen, Gleichungen und Schranken bezeichnet. Wichtigste Einschränkung ist die maximale Biogasspeicherkapazität. Bei der gegebenen Problemstellung handelt es sich schließlich um eine lineare Optimierung.

8.1.3 Mathematische Beschreibung der Biogasanlage

Wichtigster Bestandteil ist die Definition von Variablen und Parametern, sowie einer Zielfunktion und eingrenzenden Nebenbedingungen. Während die Zielfunktion als kontinuierliches Problem formuliert werden kann, sind Nebenbedingungen teilweise binär.

Kern des Optimierungsproblems ist die Zielfunktion. Ziel der Optimierung ist es, die durch den Stromverkauf an der *EPEX Spot Day-Ahead-Auktion* erzielbaren Erlöse mithilfe einer flexiblen Fahrweise einer Biogasanlage zu maximieren.

Die produzierte Strommenge wird an der *EPEX Spot Day-Ahead-Auktion* verkauft. Wie in Formel 6 dargestellt, werden die von allen BHKW in allen Zeiteinheiten erzielten Erlöse maximiert. Die maximal zu erzielenden Erlöse sollen durch eine Stromproduktion, welche zu hochpreisigen Zeiten stattfinden soll, mit einem entsprechenden Fahrplan erreicht werden. Die für die Optimierung gewählten Zeitintervalle entsprechen je eine Stunde.

$$\max \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T r_{CHP,n,t} \quad (6)$$

mit: n = Index des BHKW
 N = Anzahl an installierten BHKWs
 t = Index der Zeiteinheit
 T = Anzahl der Zeiteinheiten
 $r_{CHP,n,t}$ = Erlöse des BHKW n in der Zeiteinheit t an der *EPEX Spot Day-Ahead-Auktion* [€]

In Formel 7 ist dargestellt, wie sich die an der Strombörse erzielbaren Erlöse r eines BHKW n zu einer Zeiteinheit t ergeben. Diese errechnen sich durch den in einer Zeiteinheit t an der Strombörse gehandelten Strompreis $e_{EPEX,t}$ und die produzierte elektrische Leistung eines BHKW $P_{CHP,el,n,t}^{gen}$ in dieser Zeiteinheit.

$$r_{CHP,n,t} = P_{CHP,el,n,t}^{gen} * e_{EPEX,t} \quad (7)$$

mit: $r_{CHP,n,t}$ = Erlöse des BHKW n in der Zeiteinheit t an der *EPEX Spot Day-Ahead-Auktion* [€]
 $P_{CHP,el,n,t}^{gen}$ = elektrische Leistung des BHKW n in der Zeiteinheit t [kWh]
 $e_{EPEX,t}$ = am Strommarkt erzielbarer Preis in der Zeiteinheit t [€/kWh]

Die Gasproduktion im Fermenter wird in jedem Zeitschritt als konstant angenommen (vgl. Formel 8). Damit wird von einer gleichmäßigen Fütterung des Fermenters ausgegangen. Eine Modifikation der Fütterung ist nicht vorgesehen.

$$B_{new,t} = \frac{P_{rated}}{\eta_{CHP,el,n}} \quad (8)$$

mit: $B_{new,t}$ = Gas aus dem Fermenter pro Zeiteinheit t [kW]
 P_{rated} = Bemessungsleistung der Biogasanlage [kW]
 $\eta_{CHP,el,n}$ = elektrischer Wirkungsgrad des BHKW n

Mit Formel 9 wird die Auslastung des Biogasspeichers dargelegt. Der Biogasspeicher wird im Hinblick auf seinen Füllstand untersucht. Die Biogasspeicherkapazität stellt eine wesentliche Einschränkung innerhalb der Optimierung dar.

Auch Speicherverluste, welche während der Speicherung des Biogases auftreten, können berücksichtigt werden. Außerdem können mögliche, bei der Ein- und Ausspeicherung des Biogases, auftretende Verluste in Betracht gezogen werden.

$$B_{kWh,t} = B_{kWh,t-1} * (1 - l_{bstor}) + \Delta t * (B_{new,t} * l_{bstor,charge} - \frac{B_{CHP,n,t}}{1 - l_{bstor,discharge}}) \quad (9)$$

mit: $B_{kWh,t}$ = Biogasspeicherfüllstand in der Zeiteinheit t [kWh]
 l_{bstor} = Speicherverluste bei der Speicherung
 t = Zeitintervallindex
 $B_{new,t}$ = Gas aus dem Fermenter pro Zeiteinheit t [kW]
 $l_{bstor,charge}$ = Speicherverluste bei der Biogaseinspeisung [%]
 $B_{CHP,n,t}$ = Gasverbrauch des BHKW n in der Zeiteinheit t [kW]
 $l_{bstor,discharge}$ = Speicherverluste bei der Biogasausspeisung [%]

Eine wesentliche Restriktion ist die maximale Kapazität des Gasspeichers (vgl. Formel 10). Der Füllstand zu jedem Zeitpunkt t darf weder negativ werden, noch über die definierte maximale Kapazität steigen.

$$0 \leq B_{kWh,t} \leq B_{kWh,max,t} \quad (10)$$

mit: $B_{kWh,t}$ = Biogasspeicherfüllstand in der Zeiteinheit t [kWh]
 $B_{kWh,max,t}$ = maximal zur Verfügung stehender Biogasspeicherfüllstand in der Zeiteinheit t [kWh]

Die Übereinstimmung des Speicherinhalts in der ersten und letzten Zeiteinheit der Simulation (vgl. Formel 11) gewährleistet, dass über den Optimierungszeitraum die gleiche Menge an Gas verbraucht sowie erzeugt wird.

$$B_{kWh,t} (\text{erste Zeiteinheit}) = B_{kWh,t} (\text{letzte Zeiteinheit}) \quad (11)$$

mit: $B_{kWh,t}$ = Biogasspeicherfüllstand in der Zeiteinheit t [kWh]

Weiterer Fokus liegt auf der mathematischen Modellierung der BHKW (vgl. Formel 12). Die verwendeten BHKW sollen, wie in Kapitel 5.2 beschrieben, ausschließlich in Vollast betrieben werden. Ein Teillastbetrieb ist nicht vorgesehen. Somit nimmt die Variable $Profil_{CHP,n,t}$ entweder den Wert 0 oder 1 an.

$$P_{CHP,el,n,t}^{gen} = Profil_{CHP,n,t} * P_{CHP,el,n} \quad (12)$$

mit: $P_{CHP,el,n,t}^{gen}$ = elektrische Leistung des BHKW n in der Zeiteinheit t [kW_{el}]
 $Profil_{CHP,n,t}$ = Fahrweise des BHKW n in der Zeiteinheit t [0,1]
 $P_{CHP,el,n}$ = elektrische Leistung des BHKW n [kW_{el}]

Der angenommene Brennstoffverbrauch eines BHKW $B_{CHP,n}$ wird aus dem Quotienten der elektrischen Leistung des BHKW $P_{CHP,el,n}$ und dessen elektrischen Wirkungsgrad bestimmt (Formel 13).

$$B_{CHP,n} = \frac{P_{CHP,el,n}}{\eta_{CHP,el}} \quad (13)$$

mit: $B_{CHP,n}$ = Biogasverbrauch des BHKW n [kW]
 $P_{CHP,el,n}$ = elektrische Leistung des BHKW n [kW_{el}]
 $\eta_{CHP,el,n}$ = elektrischer Wirkungsgrad des BHKW n

In Formel 14 wird die benötigte Menge an Biogas eines BHKW $B_{CHP,n,t}$ pro Zeitschritt beschrieben. Gas wird demnach verbraucht, wenn die Variable $Profil_{CHP,n,t}$ den Wert 1 besitzt.

$$B_{CHP,n,t} = Profil_{CHP,n,t} * B_{CHP,n} \quad (14)$$

mit: $P_{CHP,el,n,t}^{gen}$ = elektrische Leistung des BHKW n in der Zeiteinheit t [kW_{el}]
 $Profil_{CHP,n,t}$ = Fahrweise des BHKW n in der Zeiteinheit t [0,1]
 $B_{CHP,n}$ = Biogasverbrauch des BHKW n [kW]

8.1.4 Parameterstudie

Ziel der Parameterstudie ist es optimale Fahrpläne für unterschiedliche Anlagenkonzepte zu erstellen. Es wird unter anderem analysiert, welche Zeithorizonte für die Fahrplanerstellung sinnvoll sind. Hierzu wird verglichen inwieweit die zusätzlichen spezifischen Erlöse mit der Aktualität bzw. dem Grad der Flexibilität der Fahrpläne variieren. Die zusätzlichen Erlöse ergeben sich aus der Differenz der Mehrerlöse einer flexiblen Fahrweise im Vergleich zu den Erlösen einer grundlastbetriebenen Fahrweise.

Die in den Simulationen betrachtete Bemessungsleistung P_{rated} der Biogasanlage beträgt 550 kW_{el}. Der elektrische Wirkungsgrad der verwendeten BHKW beträgt 40,7 %.

Untersucht werden Varianten mit jeweils unterschiedlichen installierten Leistungen. Die installierte Leistung beträgt jeweils die 1-, 1,25-, 1,5-, 1,75-, 2-, 2,5- und 3-fache Leistung der Bemessungsleistung. Die Kombination der installierten BHKW-Leistungen können Tabelle 10 entnommen werden.

Tabelle 10: Installierte Leistungen in der Parameterstudie

Überbauung	1	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3
BHKW1 [kW _{el}]	550	550	550	550	550	550	550
BHKW2 [kW _{el}]	0	137,5	275	412,5	550	825	1100

Um Effekte verschiedener Gasspeicherkapazitäten zu untersuchen, wird zusätzlich die Gasspeicherkapazität zwischen 6 h, 8 h, 12 h, 18 h und 24 h der erzeugten Gasmenge variiert.

Die betrachteten Strompreise $e_{EPEX,t}$, basieren auf den an der *Strombörse EPEX Spot Day-Ahead*-Auktion im Jahr 2014 erzielten Stundenpreisen.

8.1.5 Ergebnis-Analyse

Die nachfolgenden Betrachtungen zeigen, inwieweit durch eine optimierte Fahrplangestaltung einer steuerbaren Biogasanlage mit unterschiedlichen Speichergrößen, spezifische zusätzliche Erlöse pro Jahr im Vergleich zu einer in Grundlast betriebenen Biogasanlage erwirtschaftet werden können.

Optimierung – Durchschnittstag

Im ersten betrachteten Fahrplan „Durchschnittstag“ soll an jedem Tag des Jahres der gleiche Fahrplan gelten. Der Optimierung für den Fahrplan „Durchschnittstag“ liegt der Durchschnitt der Strompreise an der *EPEX Spot Day-Ahead*-Auktion aller Tage des Jahres 2014 auf Stundenbasis zugrunde.

Wird der Fahrplan „Durchschnittstag“ 365 Tage im Jahr gefahren, ergeben sich die in Abbildung 32 dargestellten spezifischen zusätzlichen Erlöse am Strommarkt.

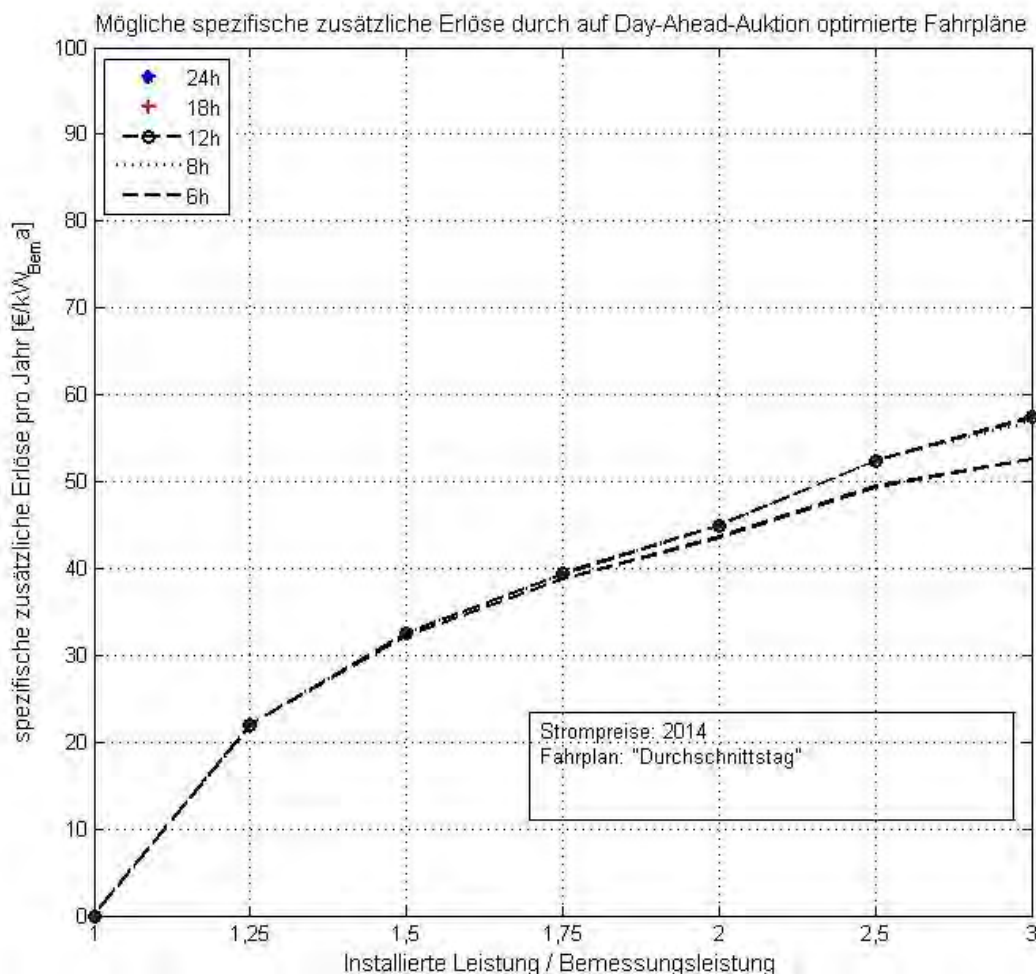


Abbildung 31: Erlöse mit optimiertem Fahrplan „Durchschnittstag“

Ein starker Anstieg der spezifischen zusätzlichen Erlöse wird schon bei einer 1,25-fachen installierten Leistung erreicht. Während bei der 1,5-fachen installierten Leistung die Größe des Biogasspeichers noch keine Auswirkung auf die spezifischen zusätzlichen Erlöse hat, wird ab dem 1,75-fachen der Bemessungsleistung ein Anstieg der spezifischen zusätzlichen Erlöse, bei größerer Speicherkapazität festgestellt (vgl. Abbildung 31). Der maximal zu erlösende Ertrag beim Fahrplan „Durchschnittstag“ wird mit 57,46 €/kW_{Bema} bei einer Speichergröße von 24 Stunden und der 3-fachen installierten Leistung erreicht.

Ob eine Speicherkapazität von 8 h, 12 h, 18 h oder 24 h zur Verfügung steht, ist bei der Fahrplanerstellung für einen „Durchschnittstag“ irrelevant und hat keinen Einfluss auf die zu erzielenden Erlöse, da für den optimalen Fahrplan auf Tagesbasis (optimiert auf 24 Zeitschritte) eine theoretische Gasspeicherkapazität von 8 h ausreichend ist. Höhere Erlöse sind auch bei einer Installation größerer Gasspeicherkapazitäten nicht möglich.

In Abbildung 32 sind die Fahrpläne, bzw. die erzeugten Leistungen $P_{CHP,el,n,t}^{gen}$ der beiden BHKW bei 2-facher installierter Leistung und 12 h Biogasspeicherkapazität dargestellt. Der Speicherfüllstand wird mit einem maximalen Füllstand von unter 60 % nicht vollständig ausgenutzt.

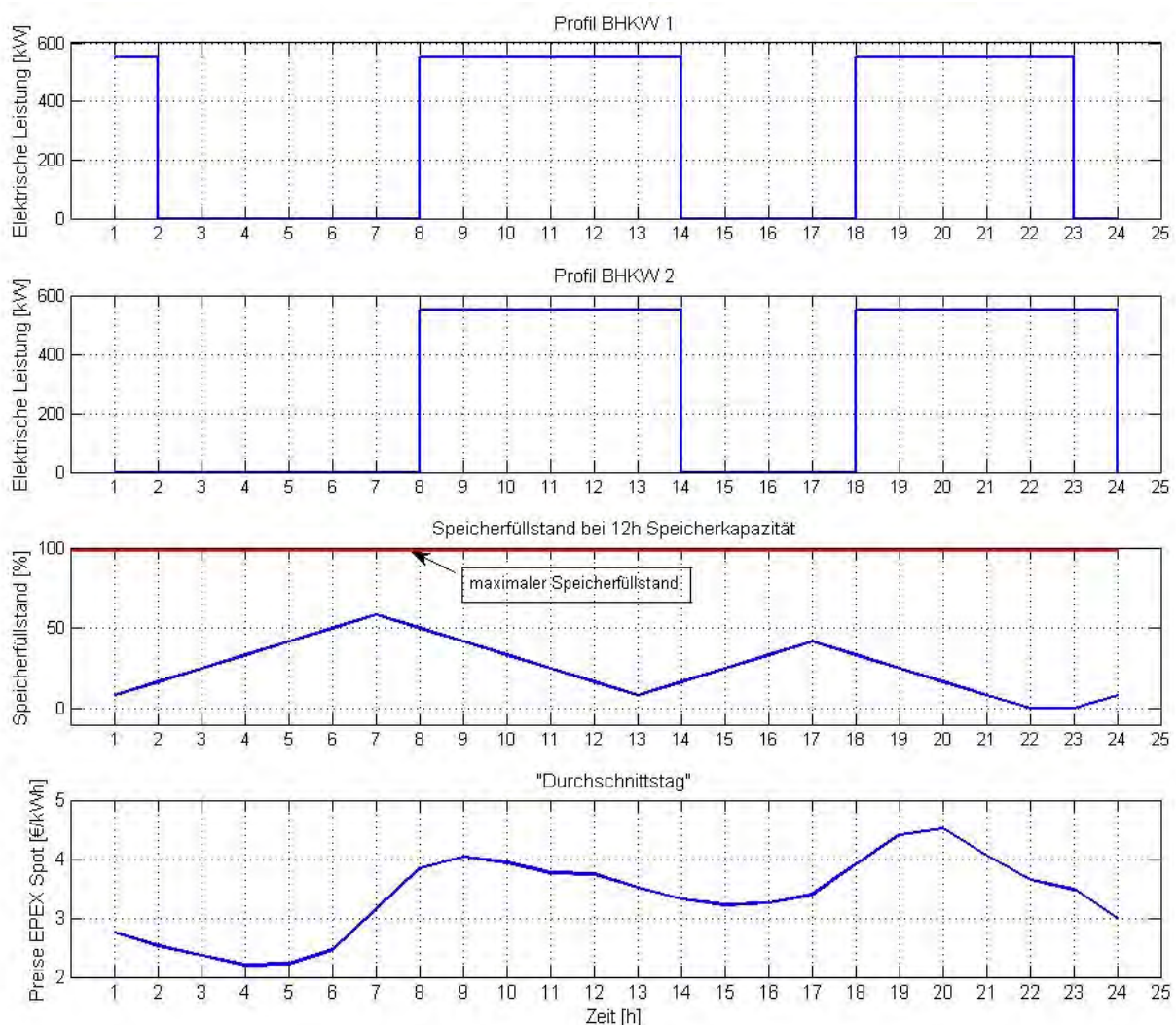
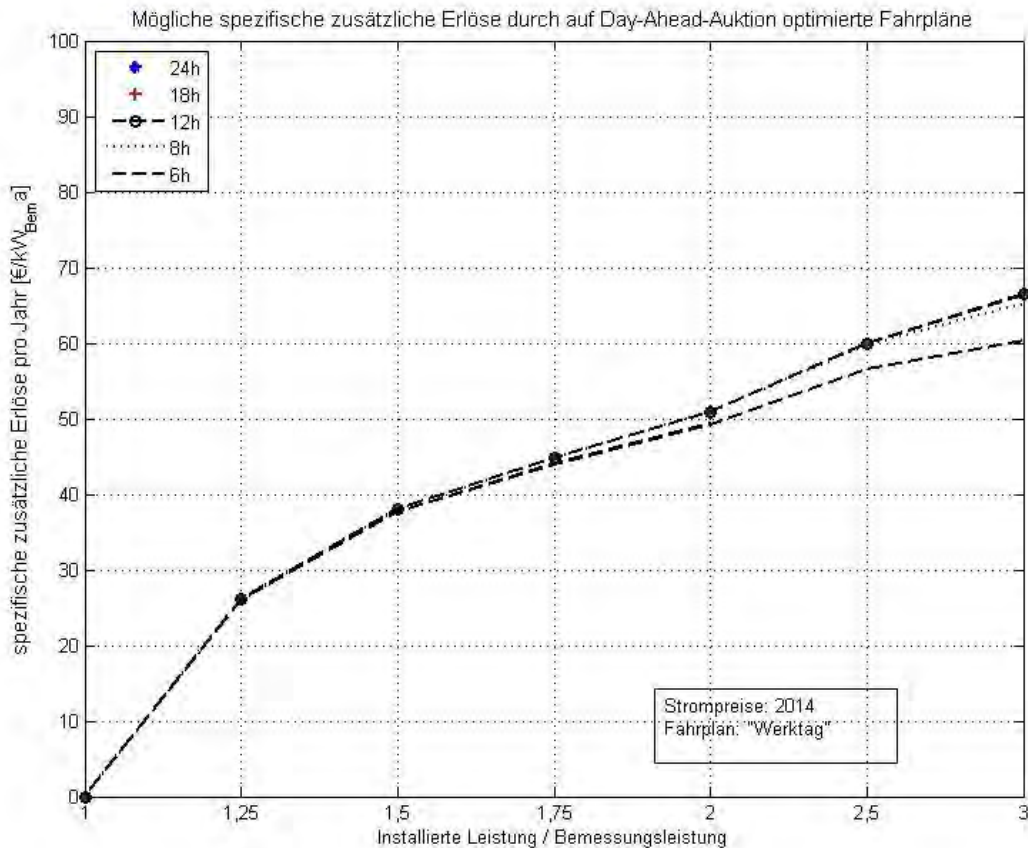


Abbildung 32: Fahrplan, Speicherfüllstand, Strompreise bei 2-fach installierter Leistung, 12h Speicher, "Durchschnittstag"

Optimierung – Werktag/Wochenende

Bei den Fahrplänen „Werktag“ und „Wochenende“ werden die durchschnittlichen Strompreise aller Werktage bzw. aller Wochenendtage 2014 betrachtet. Die optimierten

Fahrpläne beruhen auf 24 Zeitschritten. In [Abbildung 33](#) und [Abbildung 34](#) sind jeweils die erreichten spezifischen zusätzlichen Erlöse dargestellt.



[Abbildung 33](#): Erlöse mit optimiertem Fahrplan „Werktag“

Ein Anstieg der spezifischen zusätzlichen Erlöse ist bei dem Fahrplan „Werktag“ ab einer 1,25-fachen installierten Leistung festzustellen. Ein Einfluss der Gasspeichergröße ist auch hier ab der Installation des 1,75-fachen der Bemessungsleistung vorhanden. Ebenso ist ab einer Speicherkapazität von 8 Stunden kein relevanter Einfluss der Speichergröße auf die zu erzielenden spezifischen zusätzlichen Erlöse gegeben. Die spezifischen Erlöse betragen maximal 66,49 €/kW_{Bem}.a bei einem Speicher von 24 h und 3-facher installierter Leistung.

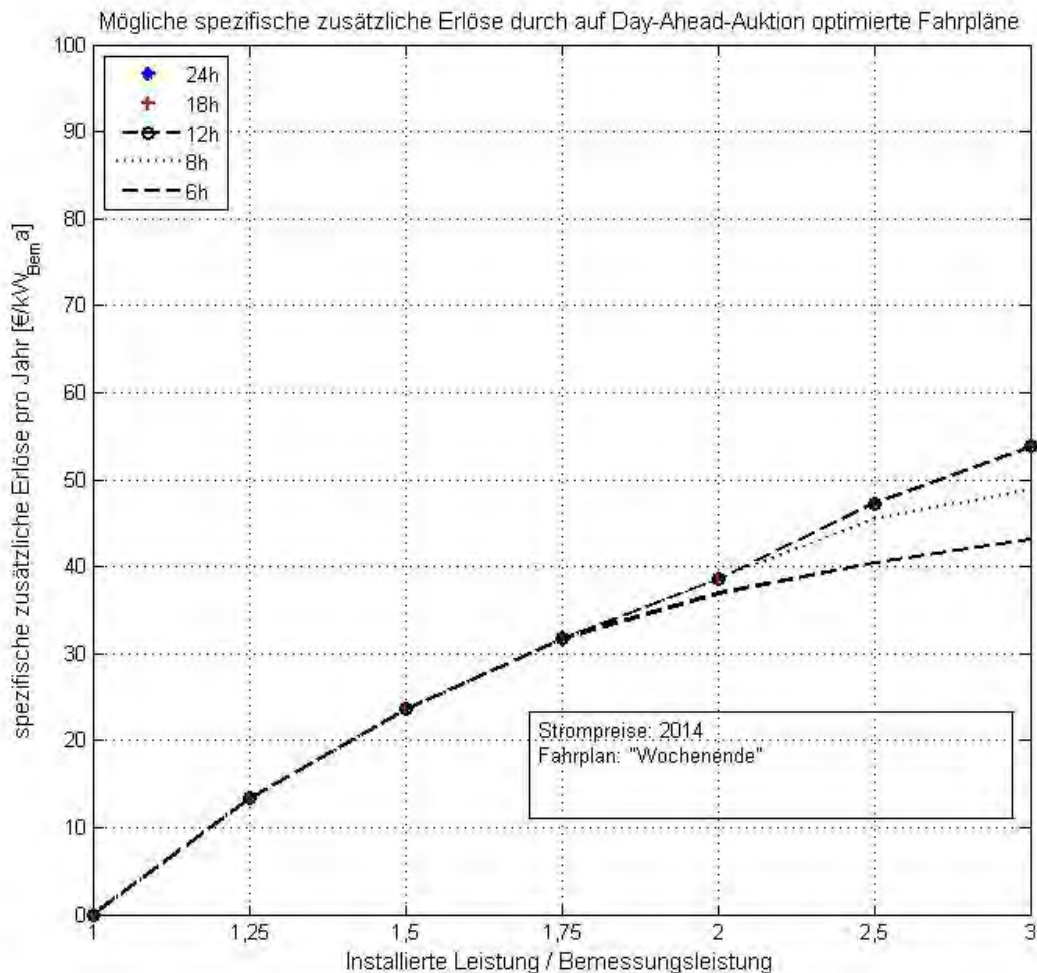


Abbildung 34: Erlöse mit optimiertem Fahrplan „Wochenende“

Der auf das durchschnittliche Wochenende optimierter Fahrplan „Wochenende“ weist mit maximal 53,95 €/kW_{Bema} bei einer Speichergöße von 24 h und 3-facher installierter Leistung im Vergleich zu den Fahrplänen „Werktag“ und „Durchschnittstag“ geringere spezifische zusätzliche Erlöse auf. Die Spreizung der spezifischen zusätzlichen Erlöse steigert sich mit zunehmender Speichergöße. Der optimale Fahrplan bedarf einer Gasspeicherkapazität von 12 h.

In [Abbildung 35](#) und [Abbildung 36](#) sind exemplarisch die Fahrpläne „Werktag“ und „Wochenende“ bei 2-facher Leistung und dargestellt. Der Vergleich des Fahrplanes „Werktag“ mit dem „Durchschnittstag“ zeigt, dass sich kaum Abweichungen beim Stromerzeugungsprofil sowie beim Speicherfüllstand ergeben. Am Wochenende verlagern sich die Preisspitzen an der *EPEX Spot Day-Ahead-Auktion* im Tagesverlauf in spätere Stunden. Die Stromproduktion der BHKW verschiebt sich entsprechend von Vormittag nach Mitternacht. Allgemein fallen die Preisunterschiede der *EPEX Spot Day-Ahead-Auktion* am

Wochenende niedriger aus. Auch sind durchschnittlich die Preisunterschiede im Tagesverlauf geringer, woraus sich letztlich die geringeren zusätzlichen Erlöse ergeben.

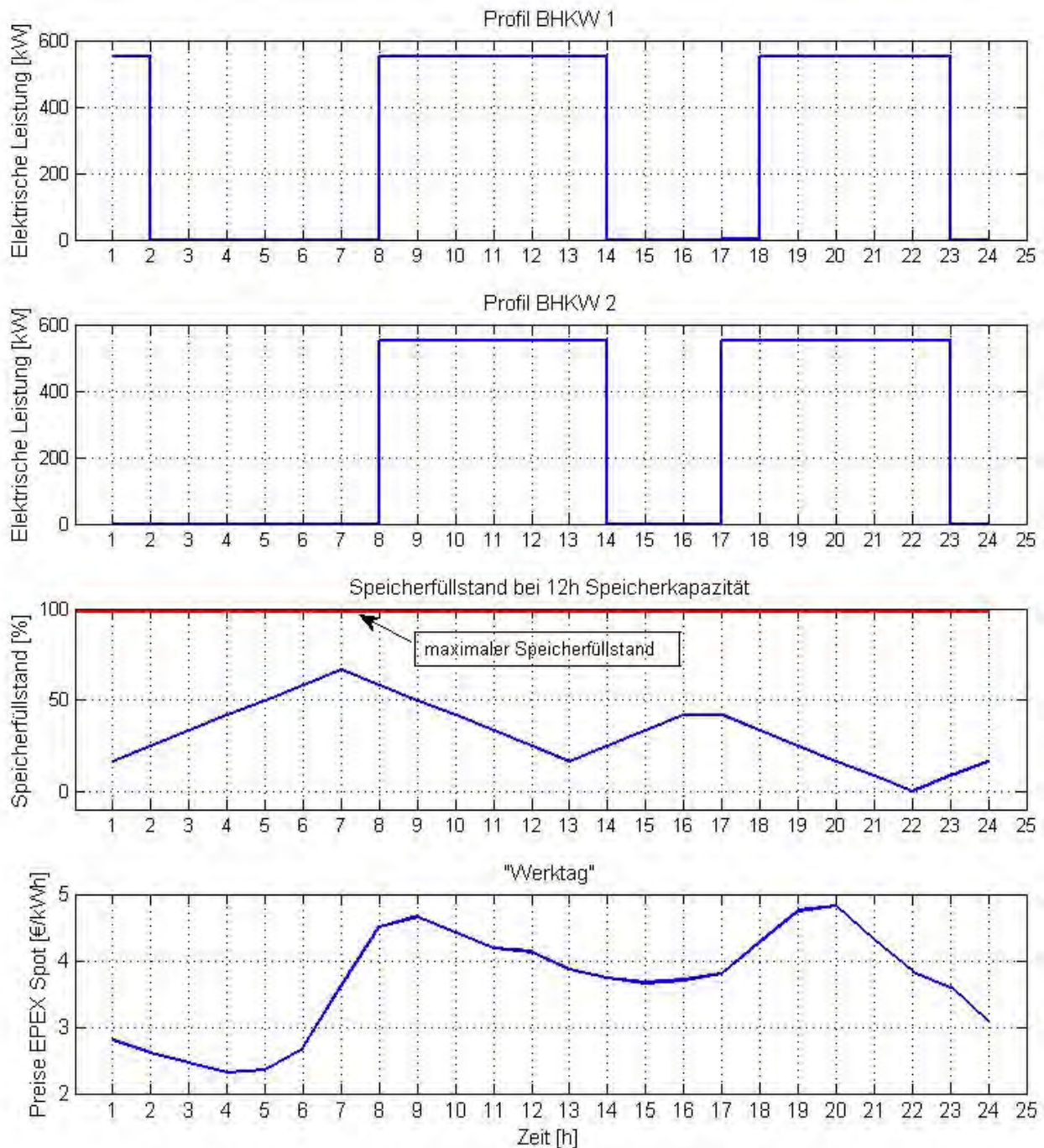


Abbildung 35: Fahrplan, Speicherfüllstand, Strompreise bei 2-fache installierter Leistung, 12h Speicher, "Werktag"

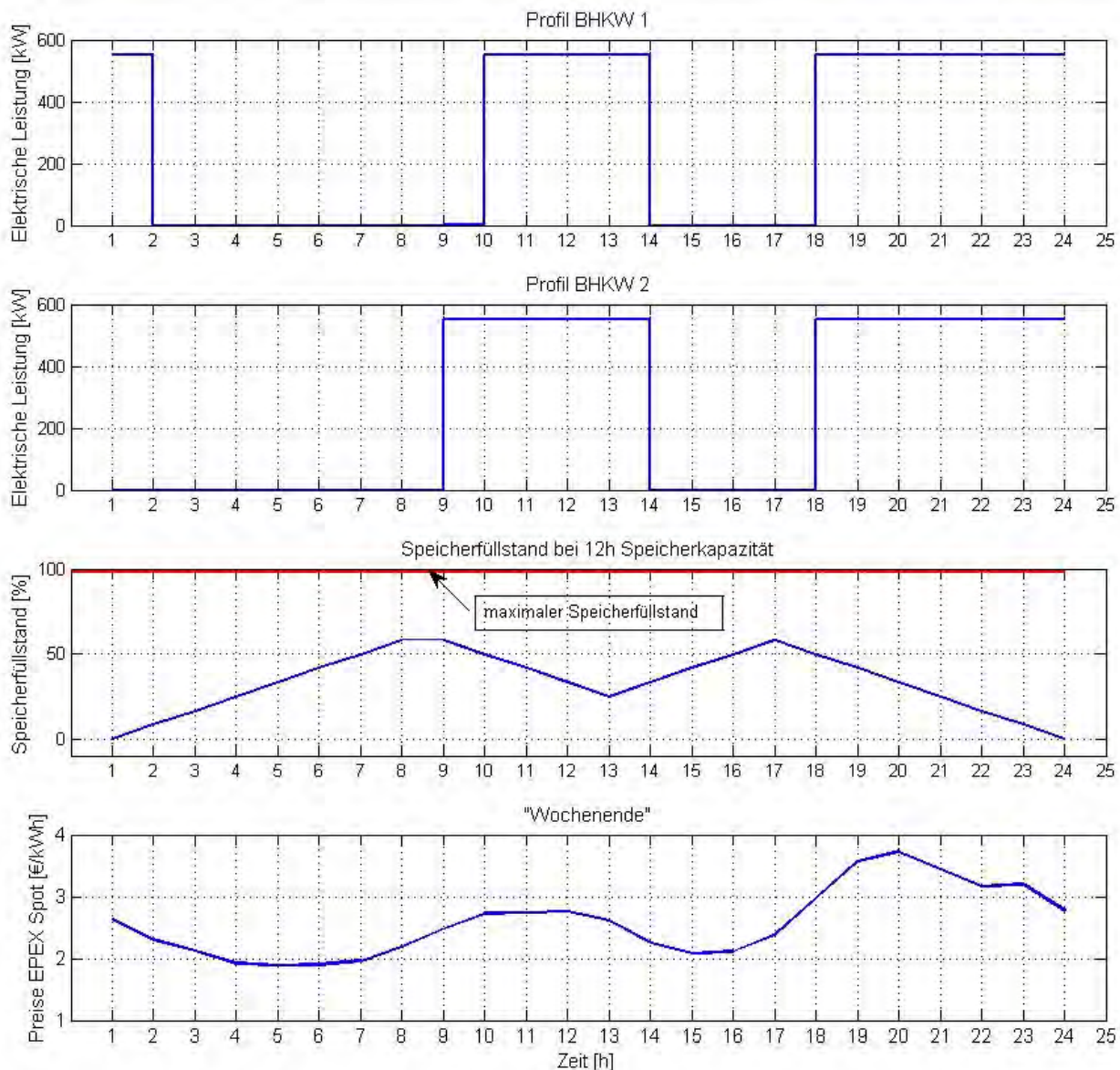


Abbildung 36: Fahrplan, Speicherfüllstand, Strompreise bei 2-fach installierter Leistung, 12h Speicher, "Wochenende"

Optimierung – Woche

Der Fahrplan „Woche“ wird auf 168 Zeiteinheiten optimiert. [Abbildung 37](#) stellt den Verlauf der Stromerzeugung bei einer Verdopplung der Leistung und bei 12 h Gasspeicherkapazität, beginnend am Montag dar. Tendenziell werden an den Werktagen höhere Preise an der *EPEX Spot Day-Ahead-Auktion* erzielt als am Wochenende. Aus diesem Grund ist es sinnvoll den Fahrplan „Woche“ so zu gestalten, dass an Werktagen mehr Biogas verstromt wird als am Wochenende und somit in diesem Zeitraum vorhandene Speicherkapazitäten genutzt werden. Dies ist vor allem an den in [Abbildung 37](#) dargestellten Gasspeicherfüllständen zu erkennen. So ist der Gasspeicherfüllstand sonntags und montags am höchsten.

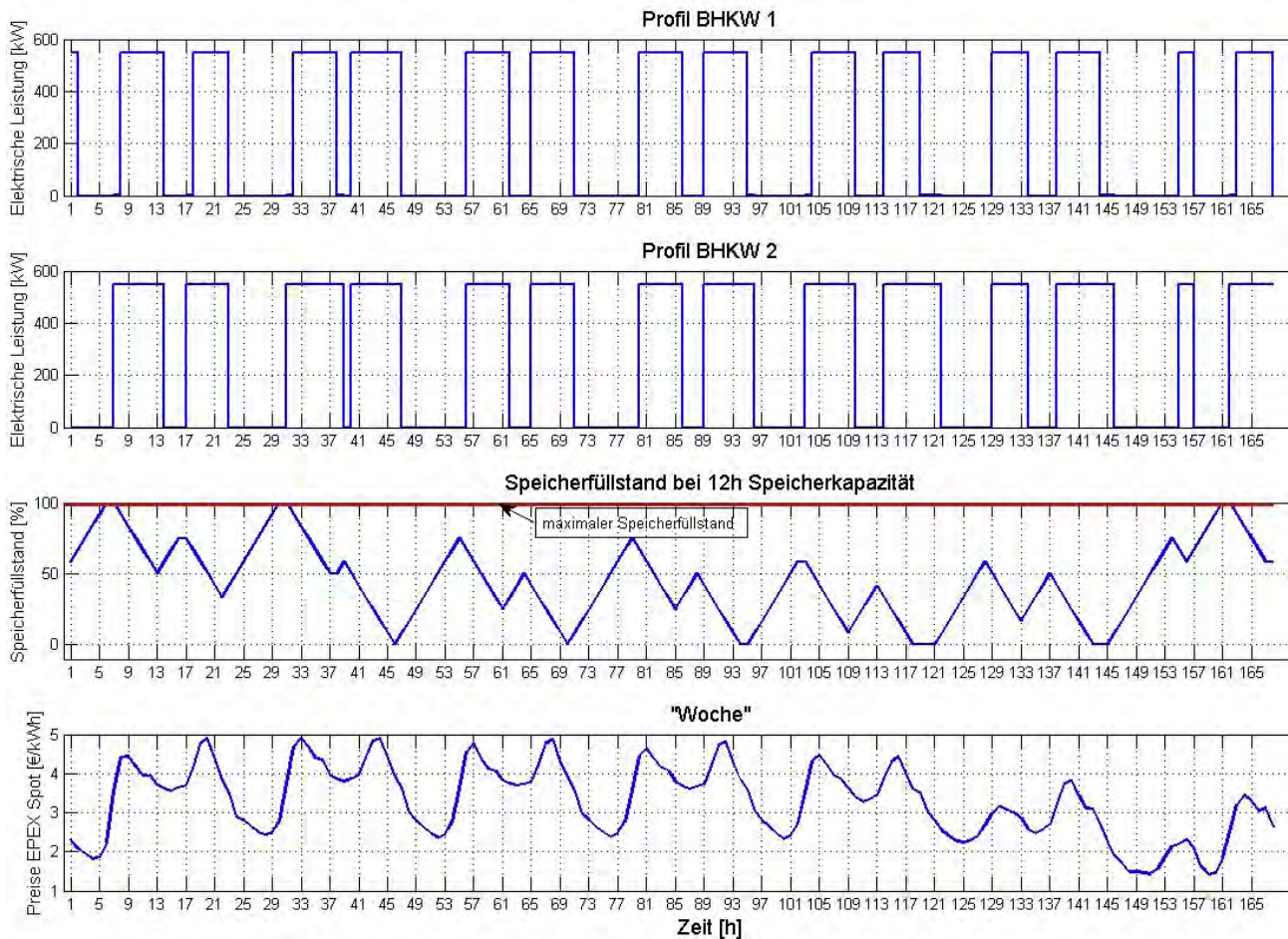


Abbildung 37: Fahrplan, Speicherfüllstand, Strompreise bei 2-fach installierter Leistung, 12h Speicher, "Woche"

Wird für den Fahrplan „Woche“ eine Speicherkapazität von 24 Stunden betrachtet, wie in [Abbildung 38](#) dargestellt, kann die Stromerzeugung am Wochenende noch weiter verlagert werden, um letztlich hohe Strompreise noch besser ausnutzen zu können. Dies zeigt, dass eine vorausschauende Fahrplanerstellung einen großen Einfluss auf die letztlich Gasspeicherausnutzung hat.

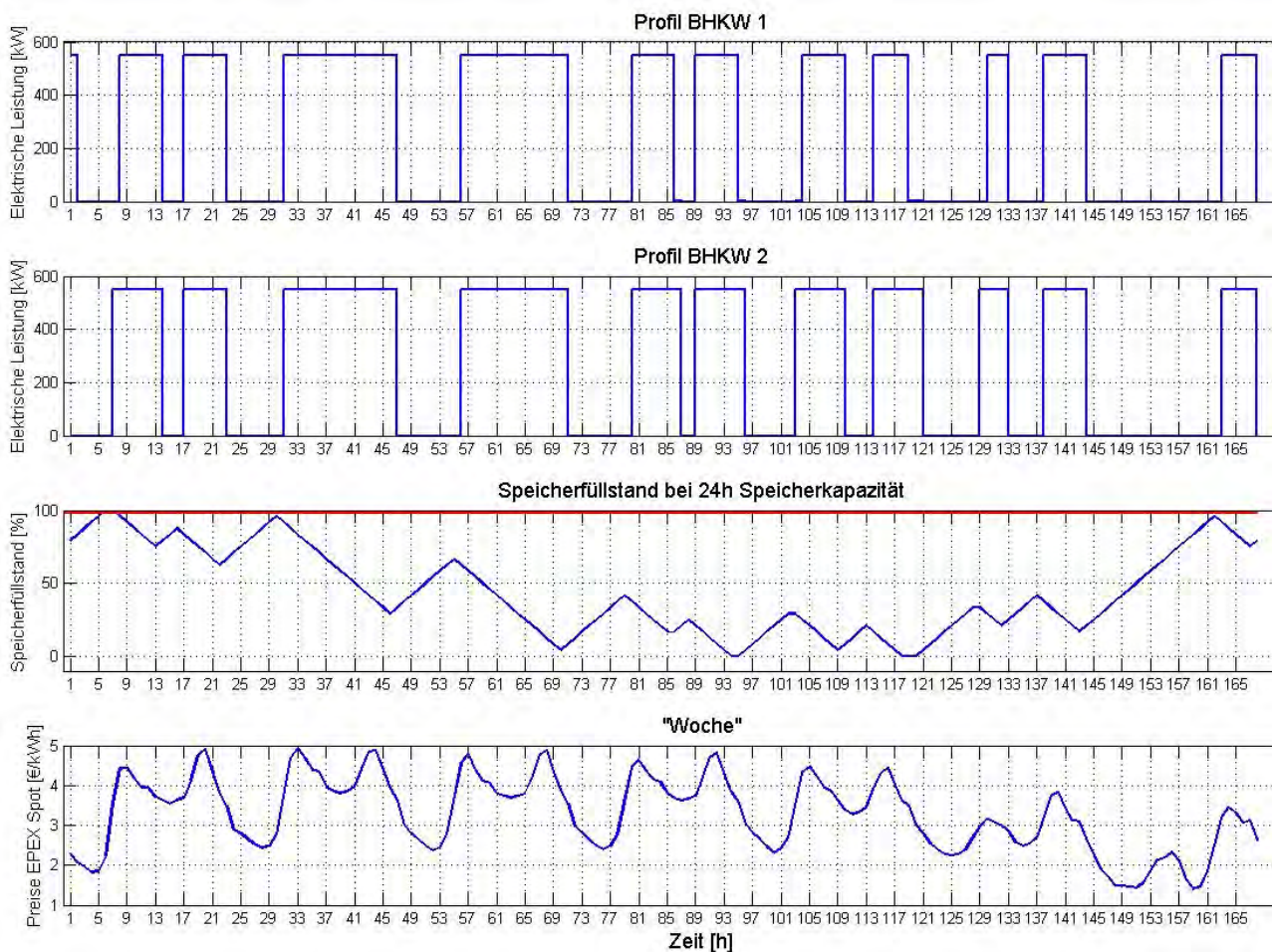


Abbildung 38: Fahrplan, Speicherfüllstand, Strompreise bei 2-fach installierter Leistung, 24h Speicher, "Woche"

Der Einfluss der Gasspeichergöße auf die zu erzielenden zusätzlichen Erlöse wird auch bei der Visualisierung der spezifischen zusätzlichen Erlöse der unterschiedlichen betrachteten Konzepte (vgl. [Abbildung 39](#)) deutlich. Schon ab einer 1,25-fachen installierten Leistung ist ein Unterschied bei verschiedenen Speichergrößen zu erkennen. Bei einer Verdreifachung der installierten Leistung können mit einer Speicherkapazität von 6 h spezifische zusätzliche Erlöse von 56,85 €/kW_{BemA}, und mit einer Speicherkapazität von 18 h spezifische zusätzliche Erlöse von 75,28 €/kW_{BemA} erzielt werden. Die höchsten spezifischen zusätzlichen Erlöse werden bei einer Speicherkapazität von 24 h und 3-facher installierter Leistung mit 78,29 €/kW_{BemA} erreicht.

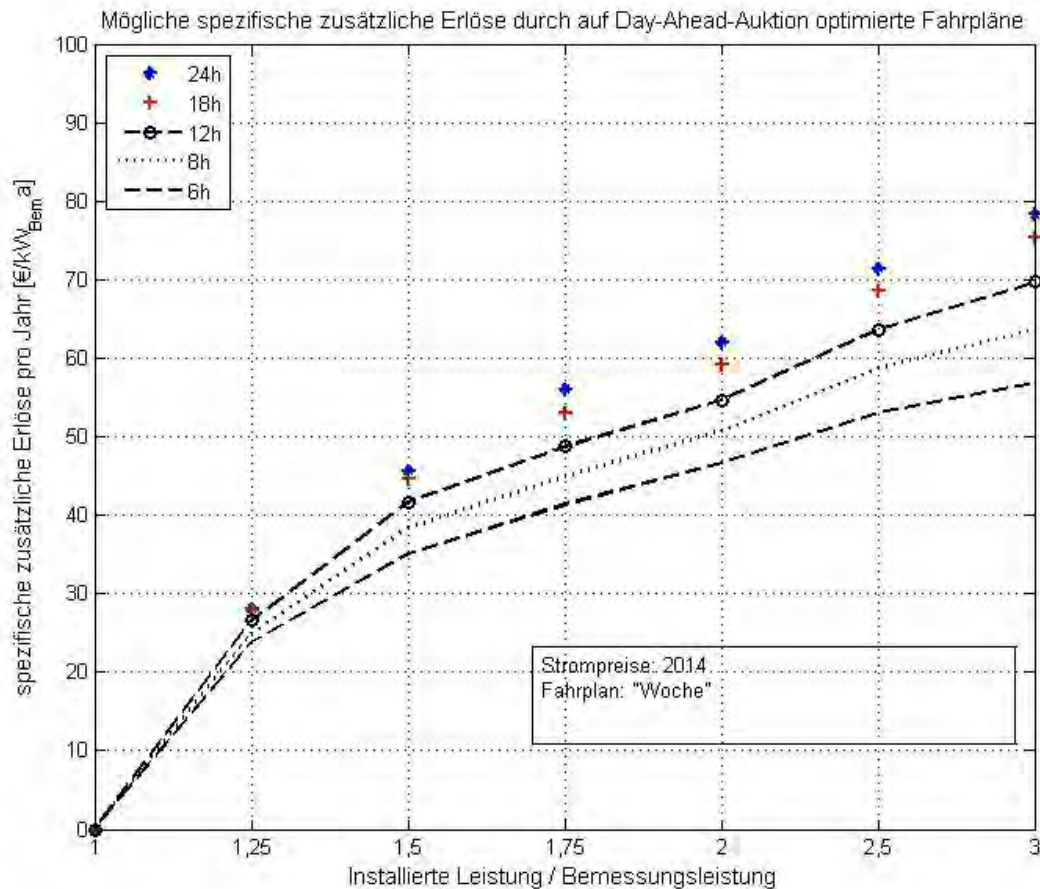


Abbildung 39: Erlöse mit optimiertem Fahrplan „Woche“

Optimierung – Jahr

Im Fall des Fahrplans „Jahr“ wird der BHKW-Einsatz für jede an der Day-Ahead-Auktion der *EPEX Spot* gehandelte Stunde des Jahres 2014 optimiert. Die Optimierung erfolgt auf 8760 Zeitschritten, bzw. 8760 Stunden. [Abbildung 40](#) stellt die erzielbaren spezifischen zusätzlichen Erlöse der betrachteten Konzepte dar. Auch hier sind schon durch eine 1,25-fache Erhöhung der installierten Leistung zusätzliche spezifische Erlöse von knapp 30 €/kW_{Bem} a zu erreichen. Mit zunehmender installierter Leistung zeigt sich ein steigender Einfluss der Speicherkapazitäten auf die zusätzlichen Erlöse. So sind bei der 3-fachen installierten Leistung bei einer Speichergöße von 6 h spezifische zusätzliche Erlöse von 63,81 €/kW_{Bem} a realisierbar. Bei einer Speicherkapazität von 12 h betragen diese 81,20 €/kW_{Bem} a. Die höchsten spezifischen zusätzlichen Erlöse mit 92,80 €/kW_{Bem} a ergeben sich bei 3-facher installierter Leistung und einer Speicherkapazität von 24 h.

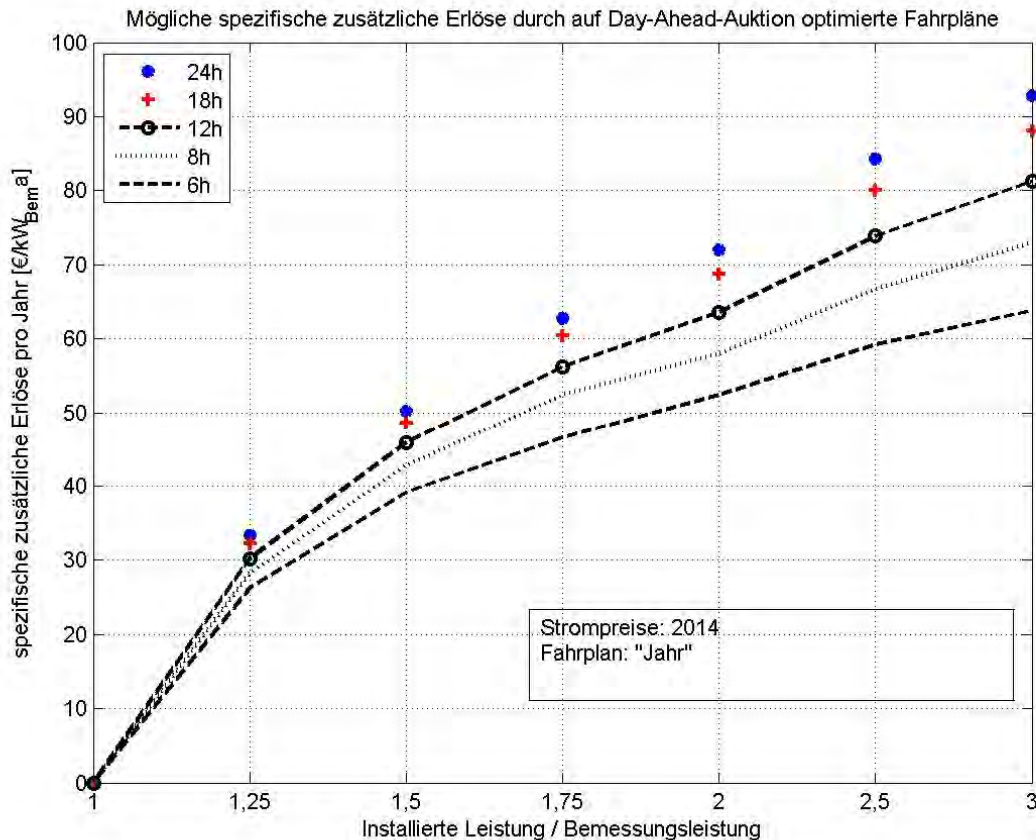


Abbildung 40: Erlöse mit optimiertem Fahrplan „Jahr“

Als beste Alternative zur Fahrplanerstellung hat sich die Betrachtung eines Zeithorizonts von einem Jahr im Falle des Fahrplans „Jahr“ erwiesen. Grund hierfür ist, dass hier keine Durchschnittspreise verwendet werden und auftretende Preisspitzen im vollen Maße abgefahren werden können. So können bei einer sehr flexiblen Fahrplangestaltung der betrachteten Konzepte um bis zu 62 % höhere Erlöse erzielt werden als bei festen Tagesfahrplänen.

8.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen zur steuerbaren Stromerzeugung wird im Folgenden über einen Zeitraum von 10 Jahren (Laufzeit der Flexibilitätsprämie) näher betrachtet.

Hierbei werden die auftretenden zusätzlich zu erwartenden Kosten sowie die Mehrerlöse berücksichtigt.

8.2.1 Vorgehensweise

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird hinsichtlich der auflaufenden Kosten in 4 Bereiche unterteilt. Hierbei werden die zusätzlich auftretenden Kosten für die Flexibilisierung der Biogasanlage betrachtet.

- Kapitalgebundene Kosten
- Bedarfsgebundene Kosten
- Betriebsgebundene Kosten
- Sonstige Kosten

Kapitalgebundene Kosten

Bei den kapitalgebundenen Kosten werden sämtliche zusätzliche Investitionen betrachtet.

- **Zusätzliches BHKW** – Installierte Leistung abzüglich der Bemessungsleistung.
 - Die Kosten werden gemäß ASUE 2014 berechnet. Zudem werden 60% Zuschlag für die Installation, sowie 2% für die Flexibilisierung des BHKW veranschlagt.
- **Zusätzlicher Gasspeicher** – Eine Gasspeicherdauer von 6 h der produzierten Biogasmenge (Bemessungsleistung) wird vorausgesetzt. Gasspeicherdauern und somit darüberhinausgehende Gasspeicherkapazitäten fließen in die kapitalgebundenen Kosten ein.
 - Die Kosten werden gemäß eigens angeforderter Angebote für interne Tragluftfolienspeicher berechnet. Zudem werden 10% Zuschlag für die Installation und zusätzliche Tragluftgebläse veranschlagt.
- **Füllstandsüberwachung** – 3 Schlauchwaagen inklusive Steuerung und Installation.
 - Die Kosten werden gemäß eigens angeforderter Angebote pauschal mit 10.000 € angesetzt.
- **Gasstrecke / Aufbereitung** – Gasleitung sowie Gasaufbereitung (Aktivkohlefilter/Entfeuchtung) angepasst an Leistung des zusätzlichen BHKW
 - Es werden 85 €/kW installierte Leistung des zusätzlichen BHKW veranschlagt (Keymer 2013).
- **Steuerung** – Anpassungen hinsichtlich der Steuerung zur Flexibilisierung der Biogasanlage (Einbindung der Messtechnik sowie Möglichkeit zur Fahrplaneingabe).
 - Es werden gemäß eigens angeforderter Angebote pauschal 10.000 € angesetzt.

- **Trafo / Netz** – Anpassungen der Einspeiseleistung des Trafo / Netzes an die Leistung des zusätzlichen BHKW.
 - Es werden 80 €/kW installierte Leistung des zusätzlichen BHKW veranschlagt.
- **Zusätzlicher Wärmespeicher** – Wärmespeicher zum Ausgleich der fluktuierenden Wärmeproduktion aufgrund der flexibilisierten Fahrweise der BHKW.
 - Die Kosten werden gemäß eigens angeforderter Angebote berechnet. Zudem werden 75% Zuschlag für Installation und Entgasung veranschlagt.

Zur Berechnung der jährlichen Rückzahlungsbeträge wird die Annuitätenmethode verwendet. Hierbei bleibt im Gegensatz zum Tilgungsdarlehen die Höhe der zu zahlenden Rate über die gesamte Laufzeit von 10 Jahren konstant. Voraussetzung hierfür ist ein konstanter Zins für das Darlehen, welcher mit 2 % angesetzt wird.

Bedarfsgebundene Kosten

Bei den bedarfsgebundenen Kosten werden die Energiekosten der zusätzlich installierten Verbraucher aufgeführt. Als Strompreis für den Strombezug werden 21 ct/kWh_{el} veranschlagt. Die bedarfsgebundenen Kosten gliedern sich wie folgt auf.

- **Zusätzliche Eigenenergie BHKW** – Stromverbrauch durch Hilfseinrichtungen und Taktung
 - Es wird von 10 kWh/Takt zusätzlichen Stromverbrauch ausgegangen, wobei maximal 5 Starts/Tag angenommen werden.
- **Eigenenergie Gasspeicher** – Stromverbrauch der Tragluftgebläse in Abhängigkeit der Bemessungsleistung
 - Es wird eine Laufzeit von 2920 h/a des Tragluftgebläses durch die Flexibilisierung angenommen.
- **Wärmespeicher** – Pumpenstrom durch zusätzlich installierten Wärmespeicher
 - Es wird eine Laufzeit von 4380 h/a einer Umwälzpumpe mit 1,1 kW_{el} (25 m³/h) angenommen.

Zur Berechnung der jährlichen bedarfsgebundenen Kosten wird die Barwertmethode (Aufzinsung) angewendet. Dadurch wird der Gegenwartswert von zukünftigen Zahlungen ermittelt. Hierfür wird von einer Inflation von 2% ausgegangen.

Betriebsgebundene Kosten

Bei den betriebsgebundenen Kosten werden Positionen wie beispielsweise die Instandhaltung, Wartung und Inspektion der zusätzlich installierten technischen Einrichtungen betrachtet. Die betriebsgebundenen Kosten gliedern sich wie folgt auf.

- **BHKW** – Instandhaltungskosten durch Flexibilisierung
 - Es werden zusätzlich 5 % der üblicherweise anfallenden Wartungskosten je kWh_{el} gemäß ASUE 2014 angesetzt.
- **Gasspeicher** – Instandhaltungskosten durch Flexibilisierung
 - Es werden 3 % der Investitionen für den zusätzlichen Gasspeicher angesetzt.

- **Gasstrecke / Aufbereitung** – Instandhaltungskosten für v.A. Aktivkohlefilter
 - Es wird 1 % der Investitionskosten für Gasstrecke / Aktivkohlefilter angesetzt.
- **Steuerung** – Wartungskosten durch Flexibilisierung
 - Es werden 3 % der Investitionskosten für die Steuerung angesetzt.
- **Trafo/Netz** – Instandhaltungskosten v.A. für Trafo
 - Es wird 1 % der Investitionskosten für Trafo/Netz angesetzt.
- **Wärmespeicher** – Wartungskosten für zusätzlichen Wärmespeicher
 - Es wird 1 % der Investitionskosten für den Wärmespeicher angesetzt.
- **Arbeitsaufwand** – Zusätzlicher Arbeitsaufwand des Anlagenbetreibers durch Flexibilisierung
 - Es wird von einer Steigerung um 10 % der üblichen Arbeitszeit (6 h/d bei einer 500 kW_{el}-Biogasanlage (KTBL 2009)) ausgegangen. Die Kosten je Arbeitsstunde betragen 15 €/h.

Zur Berechnung der jährlichen betriebsgebundenen Kosten wird die Barwertmethode (Aufzinsung) angewendet. Dadurch wird der Gegenwartswert von zukünftigen Zahlungen ermittelt. Hierfür wird von einer Inflation von 2 % ausgegangen.

Sonstige Kosten

Die sonstigen Kosten beinhalten einmalig auflaufende, als auch jährlich wiederkehrende Kostenpositionen. Diese gliedern sich wie folgt auf.

- **Planung** – Planung der Umbaumaßnahmen
 - Für die Planung werden pauschal 40.000 € angesetzt.
- **Genehmigung**
 - Für die notwendigen Genehmigungen werden pauschal 8.000 € angesetzt (Keymer 2013).
- **Gutachten** – Gutachten zur flexiblen Stromerzeugung (z.B. Umweltgutachten)
 - Für die notwendigen Gutachten werden pauschal 3.500 € angesetzt.
- **Versicherung**
 - Für die notwendigen Versicherungen werden 0,5 % der kapitalgebundenen Kosten angesetzt.

Zur Berechnung der jährlichen sonstigen Kosten werden sowohl die Barwert- (Aufzinsung), als auch die Annuitätenmethode angewendet.

Zusätzliche Erlöse

Um die zusätzlichen Erlöse durch eine flexible Fahrweise beziffern zu können werden folgende Positionen berücksichtigt.

- Flexibilitätsprämie (vgl. Kapitel 7.1.2)
- Anzulegender Wert (vgl. Kapitel 7.1.1)
- Mehrerlös durch flexible Fahrweise (vgl. Kapitel 8.1)

Kosten-Erlös-Gegenüberstellung

Zur Bewertung der Kosten und Erlöse durch die Flexibilisierung von Biogasanlagen werden schließlich folgende Kennzahlen ermittelt.

- Jährlicher Gewinn bzw. Verlust
- Rendite: Gewinn bzw. Verlust vs. Investitionen
- Zusätzliche Stromgestehungskosten durch die Flexibilisierung

Somit ergibt sich je Variante folgendes Übersichtsblatt (Tabelle 11)

Sämtliche Übersichtsblätter aller Varianten finden sich im Anhang.

Tabelle 11: Beispiel Übersichtsblatt Wirtschaftlichkeitsberechnung

Variante 2.3.6

Rahmendaten		Betriebsdauer [h/a]	Stromerzeugung [kWh _{el} /a]
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550		
Installierte Leistung [kW _{el}]	1.100		
P _{rossatz} [kW _{el}]	495		
BHKW 1 [kW _{el}]	550	3.650	2.007.500
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	550	5.110	2.810.500
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.818.000		
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , a]	52,42		

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	6
zusätzliche Speicherkapazität [h]	0
zusätzliche Speichergröße [m ³]	0
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	54

Rahmendaten	
Strombezugskosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	490.114,47	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74
zusätzlicher Gasspeicher	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	42.075,00	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	39.600,00	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53
zusätzlicher Wärmespeicher	65.913,08	7.337,87	7.337,87	7.337,87	7.337,87	7.337,87	7.337,87	7.337,87	7.337,87	7.337,87	7.337,87
Summe	651.702,55	72.551,78	72.551,78	72.551,78	72.551,78	72.551,78	72.551,78	72.551,78	72.551,78	72.551,78	72.551,78
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.705,49	2.759,60	2.814,79	2.871,09	2.928,51	2.987,08	3.046,82	3.107,76	3.169,91	3.233,31	3.297,98
Gasspeicher	300,00	306,00	312,12	318,36	324,73	331,22	337,85	344,61	351,50	358,53	365,70
Gasstrecke / Aufbereitung	420,75	429,17	437,75	446,50	455,43	464,54	473,83	483,31	492,98	502,84	512,89
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	396,00	403,92	412,00	420,24	428,64	437,22	445,96	454,88	463,98	473,26	482,72
Wärmespeicher	659,13	672,31	685,76	699,47	713,46	727,73	742,29	757,13	772,28	787,72	803,48
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	7.886,37	8.044,10	8.204,98	8.369,08	8.536,46	8.707,19	8.881,34	9.058,96	9.240,14	9.424,95	9.613,44
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	3.258,51	3.323,68	3.390,16	3.457,96	3.527,12	3.597,66	3.669,61	3.743,01	3.817,87	3.894,22	3.972,11
Summe	54.258,51	9.001,34	9.067,81	9.135,61	9.204,77	9.275,31	9.347,27	9.420,66	9.495,52	9.571,88	9.649,76
Ausgaben		94.785,90	95.117,03	95.454,78	95.799,28	96.150,68	96.509,11	96.874,70	97.247,61	97.627,97	98.015,94
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	64.350,00	63.088,24	61.851,21	60.638,44	59.449,45	58.283,78	57.140,96	56.020,55	54.922,11	53.845,20	52.789,41
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.636,00	9.447,06	9.261,82	9.080,22	8.902,17	8.727,62	8.556,49	8.388,72	8.224,23	8.062,97	7.904,88
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	28.832,22	29.408,87	29.997,05	30.596,99	31.208,93	31.833,11	32.469,77	33.119,16	33.781,55	34.457,18	35.146,32
Summe	102.818,22	101.944,16	101.110,08	100.315,65	99.560,56	98.844,51	98.167,22	97.528,43	96.927,89	96.365,35	95.840,61
Gewinn/Verlust	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe	7.158,27	5.993,05	4.860,87	3.761,27	2.693,82	1.658,11	653,73	-319,72	-1.262,62	-2.175,33	-3.175,33
Rendite		1%	1%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020

8.2.2 Parameterstudie

Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit erfolgt anhand einer Parameterstudie.

Hierbei werden das Verhältnis von installierter Leistung zur Bemessungsleistung, der jeweils optimierte Fahrplan sowie die entsprechende Gasspeicherdauer variiert.

Hinsichtlich des Leistungsverhältnisses werden folgende Szenarien betrachtet:

- 1,25 = $P_{\text{Inst}} / P_{\text{Bem}} = 687,5 / 550$
- 1,75 = $P_{\text{Inst}} / P_{\text{Bem}} = 962,5 / 550$
- 2 = $P_{\text{Inst}} / P_{\text{Bem}} = 1100 / 550$
- 3 = $P_{\text{Inst}} / P_{\text{Bem}} = 1650 / 550$

Zudem werden die jeweiligen optimierten Fahrpläne betrachtet:

1. Fahrplan optimiert gemäß EPEX-Preis im Tagesdurchschnitt (#1)
→ auf den durchschnittlichen Tagesverlauf angepasster Fahrplan für das ganze Jahr
2. Fahrplan optimiert gemäß EPEX-Preis während Woche (#2)
→ auf den durchschnittlichen Wochenverlauf angepasster Fahrplan für das ganze Jahr
3. Fahrplan optimiert gemäß EPEX-Preis während Jahr (#3)
→ Täglich variierender Fahrplan

Als weiterer Parameter dient die Gasspeicherdauer, welche wie folgt gestaffelt wird:

- 6 h Gaspeicherdauer der produzierten Biogasmenge
- 12 h Gaspeicherdauer der produzierten Biogasmenge
- 24 h Gaspeicherdauer der produzierten Biogasmenge

Somit ergibt sich letztlich für die unterschiedlichen Varianten folgende Nomenklatur:

- Leistungsverhältnis.Fahrplan.Gasspeicherdauer → 1,25.1.6 (als Beispiel)

Die Auswertung hinsichtlich des kumulierten Gewinn/Verlusts sowie der durchschnittlichen Rendite und der zusätzlichen Stromgestehungskosten über 10 Jahre ist in Tabelle 12 dargestellt.

Tabelle 12: Zusammenfassung der Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Verhältnis	Gasspeicherdauer h															
	6				12				24							
	1 Tag	2 Woche	3. Jahr	1 Tag	2 Woche	3. Jahr	1 Tag	2 Woche	3. Jahr	1 Tag	2 Woche	3. Jahr				
1,25	Pberm. 550 Pinst. 687,5 BHKW1 550 BHKW2 137,5	146.706 €	-5,09%	-142.663 €	-4,85%	-130.056 €	-4,40%	-268.181 €	-7,26%	-249.565 €	-6,07%	-320.497 €	-7,92%	-320.530 €	-6,54%	-278.782 €
	Kumulierter Gewinn/Verlust über 10 Jahre															
	Durchschnittliche Rendite über 10 Jahre															
	Durchschnittliche Zusatzerlöse pro Jahr über 10 Jahre															
	Durchschnittliche zusätzliche Stromgestehungskosten über 10 Jahre [€/kWh]															
1,75	550 962,5 550 412,5	73.208 €	-1,26%	-60.910 €	-1,04%	-30.438 €	-0,52%	-196.945 €	-2,95%	-157.156 €	-2,31%	-108.556 €	-3,55%	-175.801 €	-2,42%	-133.317 €
	Kumulierter Gewinn/Verlust über 10 Jahre															
	Durchschnittliche Rendite über 10 Jahre															
	Durchschnittliche Zusatzerlöse pro Jahr über 10 Jahre															
	Durchschnittliche zusätzliche Stromgestehungskosten über 10 Jahre [€/kWh]															
2	550 1100 550 550	21.783 €	-0,31%	-7.166 €	-0,10%	23.021 €	0,33%	-144.560 €	-1,84%	-97.177 €	-1,22%	-44.376 €	-2,39%	-119.402 €	-1,41%	-58.189 €
	Kumulierter Gewinn/Verlust über 10 Jahre															
	Durchschnittliche Rendite über 10 Jahre															
	Durchschnittliche Zusatzerlöse pro Jahr über 10 Jahre															
	Durchschnittliche zusätzliche Stromgestehungskosten über 10 Jahre [€/kWh]															
3	550 1650 550 1100	63.450 €	-0,58%	-36.797 €	-0,33%	5.897 €	0,05%	-167.414 €	-1,40%	-97.369 €	-0,81%	-26.449 €	-1,79%	-101.793 €	-0,82%	-14.948 €
	Kumulierter Gewinn/Verlust über 10 Jahre															
	Durchschnittliche Rendite über 10 Jahre															
	Durchschnittliche Zusatzerlöse pro Jahr über 10 Jahre															
	Durchschnittliche zusätzliche Stromgestehungskosten über 10 Jahre [€/kWh]															

Leistungsverhältnis: Epex, Gasspeicherdauer

> 0 %
0 bis -2%
< -2%

Nomenklatur

8.2.3 Ergebnis-Analyse

Die Rendite der einzelnen in Tabelle 12 dargestellten Varianten lässt sich in 3 Typen einteilen:

- Grün: Rendite > 0%
- Gelb: Rendite -2% – 0%
- Rot: Rendite < -2%

Anhand der Parameterstudie lässt sich feststellen, dass lediglich 2 der betrachteten Varianten (grün) ein positives Ergebnis über die 10-jährige Laufzeit erzielen. Die Rendite ist jedoch auch bei diesen Szenarien als niedrig zu bezeichnen.

Grund für die positive Rendite ist, dass bei den Varianten 2.3.6 und 3.3.6 keine zusätzlichen Investitionen für einen Gasspeicher notwendig sind. Zudem werden diese Varianten nach dem sehr variablen Fahrplan #3 betrieben. Diese Art der Fahrplangestaltung zeigt sich aus wirtschaftlicher Sicht als am sinnvollsten.

Leistungsverhältnis P_{Inst} / P_{Bem}

Im Folgenden werden die betrachteten Leistungsverhältnisse näher bewertet.

- 1,25 = $P_{Inst} / P_{Bem} = 687,5 / 550$ ↓
 - Die erzielbare Flexibilitätsprämie sowie die Mehreinnahmen am Strommarkt können die auflaufenden Investitionen nicht decken. Somit ist dieses Leistungsverhältnis aus wirtschaftlicher Sicht nicht zu empfehlen.
- 1,75 = $P_{Inst} / P_{Bem} = 962,5 / 550$ ↓
 - Die erzielbare Flexibilitätsprämie sowie die Mehreinnahmen am Strommarkt können die auflaufenden Investitionen nicht decken. Somit ist dieses Leistungsverhältnis aus wirtschaftlicher Sicht nicht zu empfehlen.
- 2 = $P_{Inst} / P_{Bem} = 1100 / 550$ ↑
 - Die erzielbare Flexibilitätsprämie sowie die Mehreinnahmen am Strommarkt können die auflaufenden Investitionen decken. Somit ist dieses Leistungsverhältnis aus wirtschaftlicher Sicht zu empfehlen.
- 3 = $P_{Inst} / P_{Bem} = 1650 / 550$ ↗
 - Die erzielbare Flexibilitätsprämie sowie die Mehreinnahmen am Strommarkt können die auflaufenden Investitionen decken. Somit ist dieses Leistungsverhältnis aus wirtschaftlicher Sicht zu empfehlen.

Hinsichtlich der Erhöhung der installierten Leistung lassen somit sich Leistungserhöhungen ab dem 2-fachem der installierten Leistung als wirtschaftlich aussichtsreich beurteilen. Leistungsverhältnisse von 1,25 bzw. 1,75 sind aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht zu empfehlen.

Fahrplan

Zudem werden die jeweiligen optimierten Fahrpläne betrachtet.

Es ist festzustellen, dass durch Fahrweise #3 die höchste Rendite durch die zusätzlichen Einnahmen am Strommarkt erzielt werden können. Darauf folgend bietet Fahrplan #2 eine gute Rendite, falls eine Gasspeicherdauer von 6h vorhanden/benötigt wird.

1. Fahrplan optimiert gemäß EPEX-Preis im Tagesdurchschnitt (#1) → ↘
2. Fahrplan optimiert gemäß EPEX-Preis während Woche (#2) → ↗
3. Fahrplan optimiert gemäß EPEX-Preis während Jahr (#3) → ↑

Gasspeicherdauer

Bei der Gasspeicherdauer und deren Einfluss auf die Rendite ist festzustellen, dass bei einer Gasspeicherdauer von 6h (keine zusätzlichen Investitionen in Gasspeicher) und einem $P_{\text{Inst}}/P_{\text{Bem}}$ -Verhältnis von 2 die höchste Rendite erreicht werden kann.

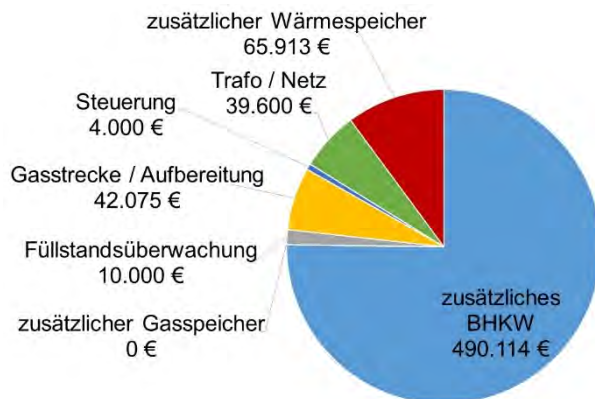
Ab einer Gasspeicherdauer von 12 h kann eine höhere Rendite bei einem $P_{\text{Inst}}/P_{\text{Bem}}$ -Verhältnis von 3 erreicht werden.

Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei einer höheren Leistung und größerem Gasspeicher besser zu den entsprechenden hochpreisigen Zeiten Strom produziert werden kann.

Kapitalgebunden Kosten

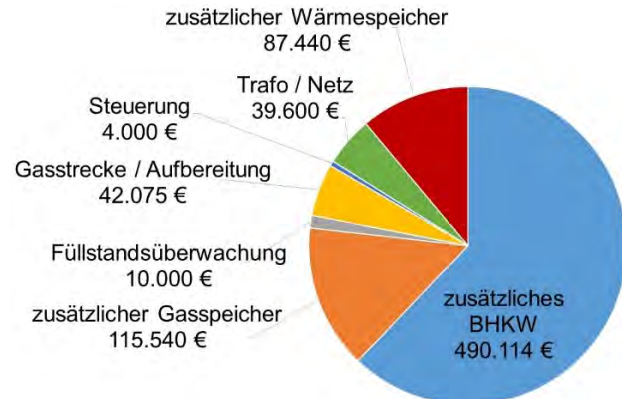
Die Wirtschaftlichkeit der Konzepte mit hohen Gasspeicherdauern scheitert meist aufgrund der für Gas- und Wärmespeichererweiterung angenommenen Investitionskosten. Bei einer Verdopplung der installierten Leistung im Vergleich zur Bemessungsleistung fallen ca. 75 % der jährlichen Gesamtkosten auf die kapitalgebundenen Kosten. Für die Varianten 2.3.6 und 2.3.24 sind in [Abbildung 41](#) die jeweils angenommenen Investitionen aufgeschlüsselt. Sind an einer bestehenden Anlage die auf steuerbare Stromerzeugung umgerüstet werden soll bereits größere nutzbare Gasspeichervolumina vorhanden oder zusätzliche Investitionen in Wärmespeicher oder den Netzanschluss nicht notwendig fallen die zu tätigen Investitionen entsprechend geringer aus.

Variante 2.3.6



Investitionskosten gesamt: 651.703 €

Variante 2.3.24



Investitionskosten gesamt: 788.769 €

Abbildung 41: Aufteilung der Investitionskosten bei Varianten 2.3.6 und 2.3.24

Kann in Variante 2.3.6 auf den zusätzlichen Wärmespeicher und die Anpassung des Netzanschlusses verzichtet werden, beträgt die zu erwartende Rendite durchschnittlich 2,6 % im Jahr. Ist bei Variante 2.3.24 keine Investition in Gas- und Wärmespeicher sowie in den Netzanschluss notwendig steigt die zu erwartende Rendite gar auf durchschnittlich 4,6 %. Dies zeigt, wie die an den jeweiligen Anlagen bestehenden Voraussetzungen die Wirtschaftlichkeit einer Umrüstung auf steuerbare Stromerzeugung beeinflussen.

Zusammenfassung

Die Wirtschaftlichkeit bei der Flexibilisierung von Biogasanlagen ist als mäßig einzustufen.

Lediglich bei 2 Varianten (2.3.6; 3.3.6) stellt sich eine positive Rendite ein, da hier nur in ein zusätzliches BHKW und deren Peripherie-Komponenten investiert werden muss.

Wenn im Gegensatz zu der getroffenen Annahme von 6h Gasspeicherdauer ein größerer Gasspeicher bereits vorhanden ist und dadurch zusätzliche Investitionen (bis auf zusätzliche BHKW) vermieden werden können, kann bei einer Verdreifachung der Leistung ebenfalls eine positive Rendite erreicht werden.

Als Betriebsweise wird sowohl Fahrplan #2 auch #3 empfohlen, wobei sich #3 (Jahresfahrplan) als die beste Wahl zeigt, vor allem bei großen Gasspeichern.

Gasspeicherdauern von 12h – 24h bieten erst ab einer Verdreifachung der Leistung einen positiven Effekt.

Letztlich ist die Wirtschaftlichkeit einer steuerbaren Stromerzeugung von den Voraussetzungen vor Ort abhängig. Sind an einer Biogasanlage entsprechend Gasspeichervolumina vorhanden und/oder eventuelle Wärmelieferungen mit wenig Aufwand zu erfüllen, ist die Umrüstung auf steuerbare Stromerzeugung auch aus wirtschaftlichen Gründen eine Option.

8.3 Einfluss der steuerbaren Stromerzeugung auf Treibhausgasemissionen

Die im Vorhaben entwickelten Anlagenkonzepte zur bedarfsgerechten Stromerzeugung aus Biogas betreffen keine der Biogasgewinnung vorgelagerte Prozesse. Im Vergleich zum regulären Grundlast-Anlagenbetrieb ändern sich lediglich die Nutzungsweise der Gasspeicher, die Gasaufbereitung und die Gasverwertung.

Um das Treibhausgaseinsparpotenzial der Konzepte zur steuerbaren bedarfsgerechten Stromerzeugung zu bewerten, werden im Folgenden die mit der modifizierten Anlagenkonzeptionierung und dem veränderten Anlagenbetrieb einhergehenden Änderungen hinsichtlich der Treibhausgasbelastungen und -gutschriften betrachtet.

8.3.1 Treibhausgasbelastungen bei der steuerbaren Stromerzeugung

8.3.1.1 Methanemissionen

Für die Bilanzierung von diffusen Methanverlusten aus offenen Gärrestlagern, unvollständiger Verbrennung im BHKW und Diffusion durch Folienabdeckungen an Biogasanlagen werden im Allgemeinen auf die eingesetzte Methanmenge pauschalisierte Methanverluste (vgl. Tabelle 13) verwendet (Vogt et al. 2008).

Tabelle 13: Methanverluste bezogen auf die eingesetzte Methanmenge (Vogt et al. 2008)

Emissionsquelle	Methanverluste
Folienabdeckungen	0,5 %
Abgas von Gas-BHKW	0,5 %
Abgas von Zündstrahl-BHKW	0,9 %
Offene Gärrestlager	2,5 %

Die Methanemissionen werden durch eine bedarfsgerechte Stromerzeugung aus Biogas folgendermaßen beeinflusst (vgl. Tabelle 14):

Tabelle 14: Einfluss der steuerbaren Stromerzeugung auf die Methanemissionen

Emissionsquelle	Wirkung der steuerbaren Stromerzeugung	Folge
Offene Gärrestlager	Anreiz nicht abgedeckte Gärrestlager als Gasspeicher zu nutzen	Emissions-Minderung
Unvollständige Verbrennung BHKW	Häufigere Starts	Emissions-Erhöhung
	Einsatz hocheffizienter BHKW	Emissions-Minderung
Diffusion durch Folienabdeckungen	Größere Oberflächen durch größere Gasspeicher	Emissions-Erhöhung
	Höhere Qualität und besseres Gasspeichermanagement	Emissions-Minderung

Einzelne für eine steuerbare Stromerzeugung notwendige Anlagenmodifikationen können zu einer Erhöhung der Methanemissionen führen. Jedoch werden diese durch den für eine bedarfsgerechte Stromerzeugung notwendigen Einsatz von qualitativ hochwertigeren Komponenten ausgeglichen. Insgesamt ist damit keine Anpassung der pauschalisierten Methanverluste notwendig und es ergeben sich im Vergleich zu einem konventionellen Grundlast-Anlagenbetrieb keine Veränderungen hinsichtlich der Methanemissionen.

8.3.1.2 Eigenstrombedarf

Die steuerbare Stromerzeugung aus Biogas ist mit einer geringen Erhöhung des Eigenstromverbrauchs verbunden. Der Stromverbrauch steigt vor allem für die Komponenten der Gasspeicherung (Gasspeichermanagement) und BHKW (v.a. Vorwärmung).

Für die Vorwärmung des BHKWs kann von einem Stromverbrauch von ca. 10 kWh pro Start ausgegangen werden (Aschmann 2013). Bei einer Biogasanlage mit einer Bemessungsleistung von 500 kW_{el} und durchschnittlich 4 Starts pro Tag ergibt sich somit ein Strombedarf von ca. 0,3 % der erzeugten Strommenge.

8.3.2 Treibhausgasgutschriften bei der steuerbaren Stromerzeugung

8.3.2.1 Gutschriften durch Wärmenutzung

Die Wärmegutschrift für die Treibhausgasbilanzierung von Biogasanlagen die steuerbar Strom erzeugen ist, wie beim konventionellen Anlagenbetrieb, abhängig vom Wärmekonzept der Biogasanlage. Wird die Wärmenutzung über Wärmespeicher von der Stromerzeugung entkoppelt entstehen keine zusätzlichen Treibhausgasemissionen. Werden hierzu jedoch zusätzliche Biogasbrenner installiert, entfällt die entsprechende Stromgutschrift für die Verstromung des Biogases. Wird die benötigte Wärme für die

Biogaserzeugung konventionell erzeugt, muss die Treibhausgasbilanz mit den entstehenden Emissionen belastet werden.

8.3.2.2 Gutschriften durch Stromerzeugung

Gutschriften für Biogas-Treibhausgasbilanzen werden vor allem durch den eingespeisten Strom geprägt (Vogt et al. 2008). Entsprechend wirken sich hohe elektrische Wirkungsgrade von BHKWs positiv auf die Treibhausgasbilanz einer Biogasanlage aus.

Kern der Anlagenmodifikation bei Konzepten zur steuerbaren Stromerzeugung ist die Installation von hohen elektrischen Leistungen. Nach ASUE 2011 ist der Einsatz von BHKWs mit höheren Leistungen mit einer Erhöhung des el. Wirkungsgrades verbunden. Auch der Tausch von älteren BHKWs geht im Allgemeinen mit einer Erhöhung des Wirkungsgrades einher. Dabei entspricht die Erhöhung des el. Wirkungsgrades eines Biogas-BHKWs um 1 Prozentpunkt einer Verminderung der Treibhausgasemissionen um ca. $1 \text{ g CO}_2\text{e kWh}_{\text{el}}^{-1}$ (Effenberger 2013).

Jedoch ist der mit steuerbaren Stromerzeugung verbundene Taktbetrieb mit einem Kraftstoffmehrverbrauch verbunden. Bezogen auf den Wirkungsgrad entspricht ein Start pro Tag einer Wirkungsgradverringerung um 0,15 Prozentpunkte (Häring 2012). Bei durchschnittlich vier Starts pro Tag verringert sich demnach der el. Wirkungsgrad um 0,6 Prozentpunkte.

Vergleichssystem

Die Höhe der Gutschriften für Strom ist abhängig vom jeweiligen Vergleichssystem. Da die steuerbare bedarfsgerechte Stromerzeugung aus Biogas den Kraftwerkseinsatz zur Deckung der residualen Last direkt beeinflusst sind entsprechende Berechnungen sehr komplex.

Holzhammer 2013 beschäftigt sich mit der Fragestellung, inwieweit sich die CO_2 -Emissionen des konventionellen Kraftwerksparks durch die Flexibilisierung der Stromerzeugung aus Biogas ändern. Darin wird beschrieben, dass sich, wenn Biogasanlagen bedarfsorientiert Strom erzeugen, zwar der Bedarf an konventionell betriebenen Kraftwerken reduziert (zur Reduzierung der Strommengen, die ansonsten gespeichert werden müssten), es aber gleichzeitig zu einer Erhöhung der Vollbenutzungsstunden der noch betriebenen konventionellen Kraftwerkskapazitäten kommt.

Holzhammer 2013 berechnet aufbauend auf der Leitstudie 2011 (Nitsch et al. 2012) für das Jahr 2030 (60 % EE-Anteil) Treibhausgasbilanzen des gesamten deutschen Kraftwerksparks unter Berücksichtigung einer bedarfsgerechten Stromerzeugung aus Biogasanlagen auf Basis einer simulierten, optimierten sowie kostenminimalen Kraftwerkseinsatzplanung. Dabei erfolgt die Kraftwerkseinsatzreihenfolge von konventionellen Kraftwerken sowie KWK durch die Grenzkosten (Merit-Order) der einzelnen Kraftwerke. Die Residuallast unterliegt systematischen Schwankungen im Tagesverlauf, im Wochenverlauf sowie im Jahresverlauf.

Diese Schwankungen sind zum Teil auf Erzeugungsschwankungen aus EE zurückzuführen. Die vom Biomassepotenzial abhängigen, durch Biogas im Jahr 2030 bereitgestellten, minimalen bzw. maximalen Strommengen wurden in einer eigenen Potenzialabschätzung festgelegt. Tabelle 15 stellt die minimal und maximal bereitgestellten Strommengen aus Biogas und die installierten elektrischen Leistungen, je nach Flexibilität dar. Die Flexibilität der Biogasanlagen beschreibt Holzhammer 2013 durch deren Volllaststunden.

Tabelle 15: Durch Biogas erzeugte Strommengen und bereitgestellte Leistungen im Jahr 2030 bei unterschiedlichen Flexibilitäten (Holzhammer 2013)

Szenario	Min	Max
Strommenge [TWh/a]	30,5	52
Volllaststunden	Leistung [GW_{el}]	
8.760	3,5	5,9
5.500	5,6	9,4
4.000	7,6	13
2.500	12,2	20,8
1.500	20,4	34,6

Nach Holzhammer 2013 führt im Max-Szenario, unter der Bedarfsberücksichtigung im Tages- und Wochenverlauf, bereits eine überschaubare Verringerung der Volllaststunden auf 5.500 h/a zu einer CO₂-Emissionsminderung von über 3 Mio. Tonnen. Eine Erhöhung der Flexibilität von 2.500 h/a auf 1.500 h/a beeinflusst die CO₂-Emissionen des konventionellen Kraftwerkparks hingegen kaum noch. Beim Min-Szenario liegen die gesamten CO₂-Emissionen aus konventionellen Kraftwerken erwartungsgemäß höher. Auch der Flexibilisierungsgrad führt zu geringeren CO₂-Emissionsreduzierungen. Insgesamt kann durch die Flexibilisierung der Stromerzeugung aus Biogas, abhängig von der Flexibilität und der Berücksichtigung der residualen Last im Wochen- oder Jahresverlauf sowie den erzeugten Strommengen (Min-Szenario bzw. Max-Szenario) eine Reduzierung der CO₂-Emissionen zwischen 2...8 % erreicht werden (Holzhammer 2013).

Die Flexibilität der Biogasanlagen beschreibt Holzhammer durch deren Volllaststunden. Die im Rahmen des Vorhabens „BioStrom“ entwickelten Anlagenkonzepte bewegen sich im Bereich von 4.000 Volllaststunden und decken den Bedarf im Tages- und Wochenverlauf ab. Damit finden sich die betrachteten Gesamtkonzepte im Rahmen dieser Studie wieder.

Holzhammer 2013 beschreibt jedoch auch, dass entsprechende Studien stark von der Untersuchungsmethodik abhängig sind.

Um die direkte Wirkung der im Vorhaben entwickelten Gesamtkonzepte auf die aktuelle residuale Last und den Kraftwerkspark zu ermitteln, reicht die den Projektpartnern zur Verfügung stehende Datenbasis nicht aus. Zur oben vorgestellten Studie vergleichbare Ergebnisse können aufgrund dessen nicht erreicht werden.

In Anbetracht der aktuell hohen Exportüberschüsse Deutschlands ist davon auszugehen, dass eine Flexibilisierung der Stromerzeugung aus Biogas keinen Einfluss auf die aktuelle Kraftwerkseinsatzplanung hat (Eberl et al. 2013), wodurch für die Betrachtung der Höhe der Gutschriften für Strom als Vergleichssystem der allgemeine Deutsche Strommix anwendbar ist.

8.3.3 Zusammenfassung

Im Vergleich zu einem konventionellen Grundlast-Anlagenbetrieb ergeben sich keine Veränderungen hinsichtlich der Methanemissionen.

Insgesamt gleichen die Zugewinne beim Wirkungsgrad durch größere Leistungen und modernere Motoren die Verluste durch das Takten aus und es ergeben sich bei einem steuerbaren bedarfsgerechten Betrieb von Biogasanlagen bei der erzeugten Strommenge keine Änderungen hinsichtlich der Effizienz der Biomassenutzung im Vergleich zum konventionellen Anlagenbetrieb.

Die Auswirkungen der im Vorhaben entwickelten Anlagenkonzepte zur bedarfsgerechten Stromerzeugung auf das Treibhausgaseinsparpotenzial sind kaum einzuschätzen. Auf der einen Seite werden durch den Einsatz von höherwertigen Komponenten die Methanemissionen verringert und die Effizienz der Stromproduktion erhöht. Auf der anderen Seite führen jedoch die veränderte Betriebsweise der Stromerzeugung und ein leicht erhöhter Hilfsenergieaufwand dazu, dass sich die Emissionseinsparungen relativieren.

9 Demonstration der steuerbaren Stromerzeugung

Zur Demonstration der steuerbaren Stromerzeugung im Rahmen des Forschungsvorhabens konnte die Biogasanlage „BGA Zellerfeld“ in Egling an der Paar und deren Betreiber gewonnen werden (vgl. [Abbildung 42](#)). Die BGA Zellerfeld wurde in den Jahren 2011 und 2012 errichtet und wird gemeinschaftlich von drei Landwirten betrieben. Die Inbetriebnahme der Anlage erfolgte im Jahr 2012.



Abbildung 42: Biogasanlage Zellerfeld

Fermenter und Nachgärer (NG) der Anlage sind jeweils als teilweise unterirdische, befahrbare Stahlbetonbehälter mit einem Volumen von je ca. 1.800 m³ ausgeführt. Als Endlager dient ebenfalls ein teilweise unterirdischer Betonbehälter der von einem Doppelmembran-Tragluftspeicher abgedeckt ist. Das Endlager hat einen Durchmesser von 32 m und ein Fassungsvermögen von ca. 6.400 m³. Das nutzbare flexible Volumen des Gasspeichers beträgt 2.700 m³.

Bei Inbetriebnahme der Anlage wurde ein Gas-Otto-BHKW mit einer el. Leistung von 549 kW_{el} installiert und mit einer Bemessungsleistung von 500 kW_{el} betrieben.

Im Zuge der Umrüstung auf steuerbare Stromerzeugung im Jahr 2013 wurde zusätzlich zum bestehenden BHKW ein zusätzliches Blockheizkraftwerk mit einer el. Leistung von 889 kW_{el} installiert. Gleichzeitig mit der Inbetriebnahme des zusätzlichen BHKWs erfolgte eine Erhöhung der Bemessungsleistung auf ca. 700 kW_{el}. Kenndaten der Anlage sind in [Tabelle 16](#) zusammengefasst.

Tabelle 16: Kennzahlen der BGA Zellerfeld

Standort	Egling a.d. Paar	
Bemessungsleistung	ca. 700 kW _{el}	
Installierte Leistung	1.438 kW _{el} BHKW 1: 549 kW _{el} BHKW 2: 889 kW _{el}	
Nutzbarer Gasspeicher	2.700 m ³ Tragluftdach auf Endlager	
Substrateinsatz	Rindergülle	10 %
	Grünroggen (GPS)	15 %
	Mais (GPS)	55 %
	Zuckerrüben	20 %

Das nutzbare Gasspeichervolumen von 2.700 m³ reicht aus um die bei einer Bemessungsleistung von 700 kW_{el} entstehende Gasmenge über einen Zeitraum von ca. 6 h zu speichern.

Durch die installierte Leistung der Anlage kann der volle Gasspeicher unter Berücksichtigung der weiter produzierten Gasmenge innerhalb ca. 6 h vollständig entleert werden.

Anpassungen an die steuerbare Stromerzeugung

Im Zuge der Umrüstung auf steuerbare Stromerzeugung wurden die Stromerzeugung, die Gasstrecke sowie die Gasspeicher entsprechend den Anforderungen an die flexible Stromerzeugung angepasst.

Wie in Kapitel 5.2.2 empfohlen, sind beide BHKWs zur Vorbereitung auf den flexiblen Betrieb mit einer Kühlwasservorwärmung sowie einer Vorschmiereinheit ausgestattet. Die Vorwärmung besteht aus einem in den Primärwasserkreislauf integrierten elektrischen Heizstab und einer Wasserpumpe. Während des Stillstands des Motors wird so die Motorkühlwassertemperatur ständig auf ca. 60 °C gehalten. Die Vorschmiereinheit besteht aus einer in dem Motorölkreislauf integrierten Ölpumpe, die den Öldruck 1 Minute vor Start aufbaut. Um den Turbolader nachzukühlen wird der Öldruck bis 15 Minuten nach Motorstopp aufrechterhalten.

Die Brennstoffversorgung beider BHKW findet jeweils über separate Gasstrecken inkl. Gastrocknung in elektrisch betriebenen Gaskühlern und Feinentschwefelung mittels Aktivkohle statt.

Um die Gasqualität an den BHKW sicherzustellen wird die Gasstrecke vor dem BHKW-Start mit Gas aus dem Gasspeicher gespült.

Zur Gaszwischenlagerung wird der bereits vor Umrüstung auf steuerbare Stromerzeugung an der Anlage vorhandene Doppelmembran-Tragluftspeicher mit einem nutzbaren Volumen von 2.700 m³ genutzt. Mit der Installation des zusätzlichen BHKWs steigt die maximale Gasentnahme von ca. 250 Nm³_{Biogas}/h auf ca. 750 Nm³_{Biogas}/h. Um die Stabilität des Gasspeichers bei maximaler Gasentnahme zu gewährleisten wurde die Leistung der Tragluftgebläse entsprechend angepasst.

Das bestehende Seilzugsystem zur Füllstandsüberwachung wurde um ein, wie in Kapitel 5.1.4 beschriebenes, Schlauchwaagensystem, bestehend aus 3 Schlauchwaagen ergänzt.

9.1 Betriebs und Stromerzeugungskonzept

Ziel der steuerbaren Stromerzeugung an der BGA Zellerfeld ist es durch die Nutzung des im Rahmen des EEG 2012 eingeführten Marktprämienmodells und die dadurch ermöglichte Direktvermarktung höhere Stromvergütungen zu erzielen. Hierfür wird der an der Anlage erzeugte Strom über einen Stromhändler vermarktet. Höhere Vergütungen als im Vergleich zur ordinären EEG-Vergütung sind hierbei, wie in Kapitel 6.4 beschrieben, bereits durch den üblichen Grundlastbetrieb über die Managementprämie (EEG 2012) bzw. den „anzulegenden Wert“ (EEG 2014) sowie über eventuelle zusätzliche Gewinne aus einer profitablen Vermarktung des Stroms durch den Stromvermarkter möglich.

Um darüber hinaus zusätzliche Gewinne für die Betreiber der Anlage zu generieren, wurden die Verstromungskapazitäten der Anlage, wie beschrieben, erhöht. Unter Ausnutzung der an der Anlage vorhandenen Gasspeicherkapazitäten ist es so möglich die Stromerzeugung der Demonstrationsanlage an das Steuerinstrument, den Strommarkt anzupassen.

Die an der Anlage geschaffene Flexibilität lässt sich folgendermaßen beschreiben:

- Das nutzbare Gasspeichervolumen von 2.700 m³ reicht aus um die bei einer Bemessungsleistung von 700 kW_{el} entstehende Gasmenge über einen Zeitraum von ca. 6 h zu speichern.
- Durch die installierte Leistung der Anlage kann der gefüllte Gasspeicher unter Berücksichtigung der weiter produzierten Gasmenge innerhalb ca. 6 h vollständig entleert werden.

Für die BGA Zellerfeld wurden auf Basis der in Kapitel 8.1 beschriebenen Methodik Fahrpläne erstellt, die unter der Berücksichtigung der technischen Möglichkeiten der Komponenten die verbaute Infrastruktur bei einer strompreisgeführten Stromerzeugung optimal ausnutzen. Abbildung 43 stellt einen für die BGA Zellerfeld entwickelten Fahrplan und den daraus resultierenden Verlauf des Gasspeicherfüllstands für einen Tag dar.

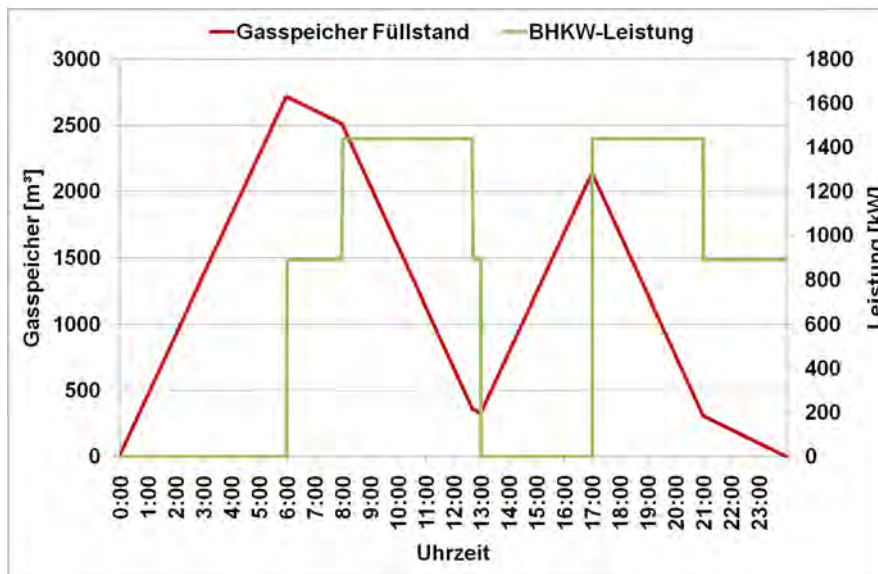


Abbildung 43: Auf den Strommarkt optimierter Fahrplan der BGA Zellerfeld

Die Eingabe des Fahrplans erfolgt in Absprache mit dem Stromvermarkter manuell über die Anlagensteuerung. So kann der Fahrplan individuell an die aktuellen Strompreise, die aktuelle Gasproduktion oder eventuelle BHKW-Wartungen angepasst werden. Die Abrechnung mit dem Stromvermarkter erfolgt über die ¼-Stunden-Messung der registrierenden Leistungsmessung des Energieversorgers.

9.1.1 Einschränkung der Flexibilität durch Netzanschluss

Die BGA Zellerfeld teilt sich den Netzverknüpfungspunkt mit mehreren größeren PV-Freiflächenanlagen, deren maximale Einspeiseleistung insgesamt 5.000 kW_{el} beträgt. Mit der gesamten Einspeiseleistung der Biogasanlage von 1.438 kW_{el} sind somit am Netzanschluss insgesamt 6.438 kW_{el} angeschlossen.

Wie in [Abbildung 44](#) dargestellt, ist der gemeinsame Netzverknüpfungspunkt der BGA Zellerfeld und der PV-Freiflächenanlage für eine maximale Einspeiseleistung von 5.000 MW_{el} ausgelegt. Somit ist die Kapazität des Netzanschlusses zu gering um eine gleichzeitige maximale Einspeisung der Biogasanlage und der PV-Freiflächenanlage zu gewährleisten.

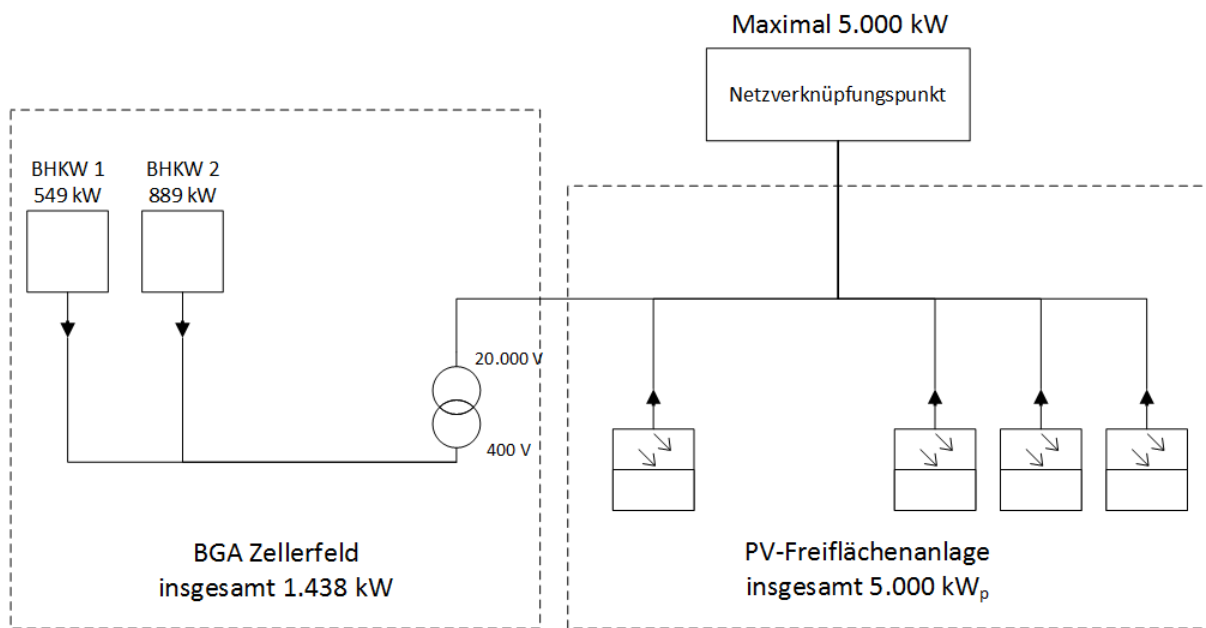


Abbildung 44: Schematische Darstellung des Netzanschlusses der BGA Zellerfeld

Da ein Ausbau der Kapazität des Netzanschlusses während der Projektlaufzeit nicht realisiert werden konnte, musste bei der Fahrplanerstellung der Demonstrationsanlage berücksichtigt werden, dass der mit der PV-Freiflächenanlage gemeinsame Netzanschluss zu Zeiten hoher solarer Einstrahlungen ausgelastet ist.

Aus diesem Grund ist die Flexibilität der Stromerzeugung der BGA Zellerfeld zu Zeiten hoher solarer Lasten begrenzt und es kann zu Zeiten hoher solarer Einstrahlungen nicht die maximale Flexibilität der Biogasanlage genutzt werden. Somit war während des Anlagen-Monitorings die Integration eines rein auf den Strommarkt optimierten Fahrplanes nicht möglich.

Bei der Erstellung der umgesetzten Fahrpläne wird die Einschränkung durch den Netzanschluss berücksichtigt, in dem je nach Sonnenscheindauer und Strahlungsintensität Zeiten festgelegt werden, zu denen ausschließlich das kleinere BHKW 1 mit einer Nennleistung von 550 kW_{el} betrieben wird. In den Sommermonaten wird bei Sonnenschein zusätzlich in den Mittagsstunden die Leistung auf 450 kW_{el} begrenzt. Die Berücksichtigung der PV-Freiflächenanlage in der Fahrplangestaltung erfolgt manuell und nicht vorausschauend, wodurch teilweise unvorhergesehene Überlastungen des Netzverknüpfungspunktes auftraten. Außerhalb dieser Einschränkungen erfolgt die Stromerzeugung wie beschrieben optimiert nach Strompreisen.

Zur Veranschaulichung des flexiblen Anlagenbetriebs an der Biogasanlage Zellerfeld mit der Einschränkung durch den Netzanschluss sind in [Abbildung 45](#) Messwerte aus dem in Kapitel 9 beschriebenen Anlagenmonitoring dargestellt, die einen Fahrplan der BGA Zellerfeld bei einer aktuellen Bemessungsleistung von 860 kW_{el} repräsentieren. Für diesen

exemplarischen Tag wurde um den Netzanschluss nicht zu überlasten die erzeugte Leistung zwischen 9 und 18 Uhr auf maximal 549 kW begrenzt. Unter dieser Einschränkung ergibt sich der in [Abbildung 45](#) dargestellte auf den Day-Ahead-Auktion der *EPEX Spot* optimierte Fahrplan, bei dem die Stromerzeugung zwischen 0 und 4 Uhr ausgesetzt wird und die restliche Zeit außerhalb der Leistungsbegrenzung mit beiden BHKWs zur Nennlast Strom erzeugt wird.

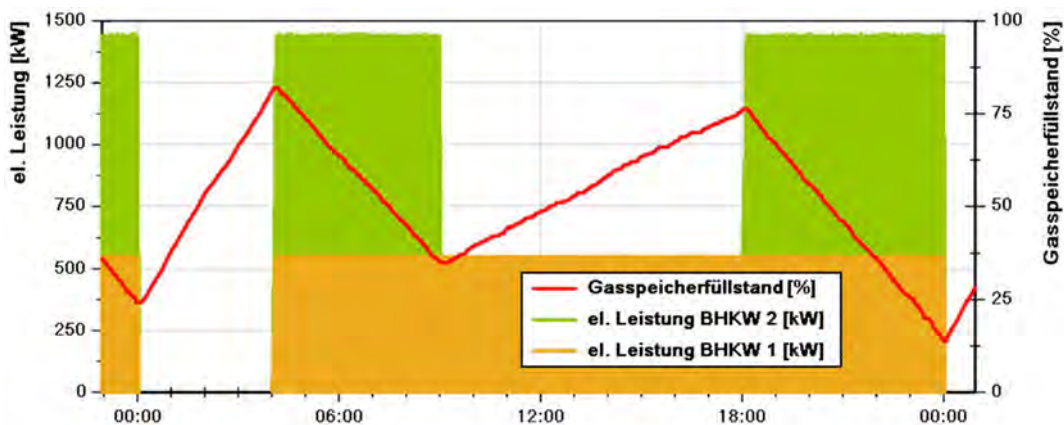


Abbildung 45: Darstellung eines Fahrplans der BGA Zellerfeld über reale Messwerte (13.08.2014)

Die Demonstrationsanlage ist seit März 2014 in der Lage flexibel Strom zu erzeugen. Seit 1. Juli 2014 wird das oben beschriebene Betriebskonzept umgesetzt.

9.2 Messkonzept

Ziel des Monitorings an der Demonstrationsanlage ist es die Wirksamkeit der umgesetzten Maßnahmen sicherzustellen sowie die Potenziale bzw. Grenzen der betroffenen Komponenten zu analysieren, um so eine Optimierung der steuerbaren Stromerzeugung im praktischen Betrieb zu ermöglichen.

Hierzu wurde im Zuge des Vorhabens an der Demonstrationsanlage umfangreich Messtechnik verbaut, die ein detailliertes wissenschaftliches Monitoring der steuerbaren Stromerzeugung erlaubt. Schematisch ist das Messtechnikkonzept in [Abbildung 46](#) dargestellt.

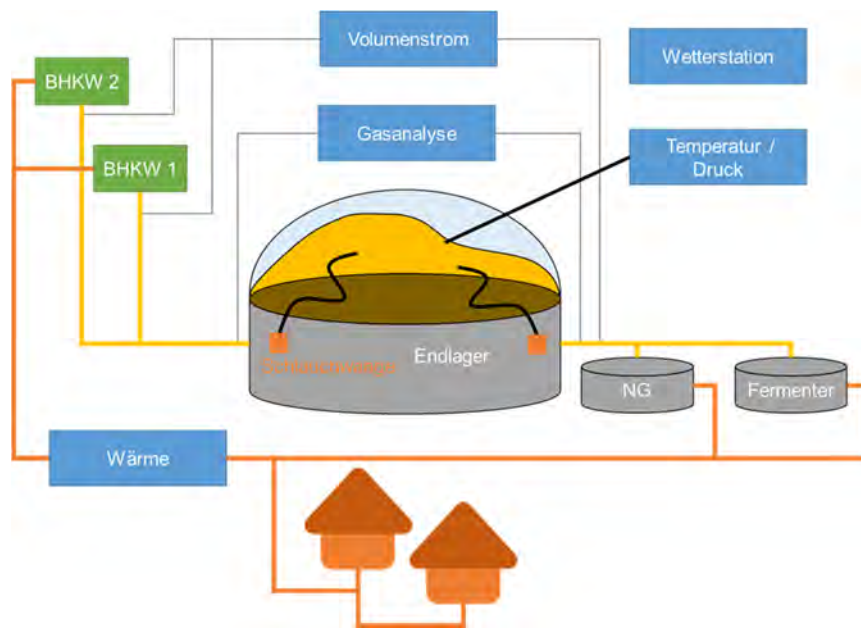


Abbildung 46: Schematische Darstellung des Messkonzepts an der BioStrom Demonstrationsanlage

Kern des Monitorings ist die Analyse des Gasspeichers. Zur Füllstandüberwachung wird das in Kapitel 5.1.4 beschriebene Schlauchwaagensystem mit drei Schlauchwaagen eingesetzt. Darüber hinaus wird der Füllstand mit dem bereits vor der Umrüstung auf steuerbare Stromerzeugung installierten Seilzugsystem überwacht, wodurch ein Vergleich der beiden Systeme ermöglicht wird.

Zusätzlich zum Füllstand des Speichers wird das in den Speicher ein- und ausgehende Biogas bilanziert. Hierzu wird die Zusammensetzung und der Volumenstrom des in bzw. aus dem Gasspeicher strömenden Biogases aufgezeichnet. Die Zusammensetzung des Biogases (Anteil CH_4 , CO_2 und O_2) wird vor und nach dem Gasspeicher analysiert. Die Messung des Volumenstroms erfolgt mittels thermischer Gasmassendurchflussmesser. Um die BHKW einzeln bilanzieren zu können, wird jeweils vor den beiden BHKW der jeweilige Massenstrom aufgezeichnet.

Für die letztendliche Bilanzierung der in den Gasspeicher ein- und ausströmenden Energiemengen, wird der Wasseranteil des Biogases bei den Massenstrommessungen über Messungen der Gastemperatur kompensiert. Die Temperaturmessung für die Taupunktbestimmung des einströmenden Biogases erfolgt kurz vor dem Endlager. Für die Kompensation des Wassergehaltes an der BHKW-Seite des Gasspeichers wird die Gastemperatur direkt nach dem Gaskühlungsaggregat der Gastrocknung gemessen.

Zur Normierung des Gasspeicherinhaltes, wie in Kapitel 5.1.3 beschrieben, wird die Temperatur des sich im Gasspeicher befindlichen Gases in der Mitte des Freibords (Raum zwischen Oberkannte Füllstand Endlager und nutzbares Gasspeichervolumen) ca. 1,5 m entfernt von der Behälterwand aufgezeichnet. Zudem wird für die Normierung der absolute Luftdruck im Gasspeicher aufgenommen.

Um den Einfluss der Umgebungsbedingungen auf die Bedingungen im Gasspeicher zu bewerten, wurde an der Anlage eine Wetterstation installiert. Aufgezeichnet werden Umgebungstemperatur, relative Luftfeuchte, atmosphärischer Luftdruck, Globalstrahlung sowie die Windgeschwindigkeit auf Höhe des Gasspeichers.

Um über die Speicherung des Biogases hinaus Auswirkungen auf den Biogasanlagenbetrieb bei steuerbarer Stromerzeugung analysieren zu können werden an der Anlage die Temperatur des Substrats in allen Behältern sowie die Druckverhältnisse in allen Behältern aufgezeichnet.

Neben der Aufzeichnung der verbrauchten Wärmemengen des Fermenters, des Nachgärers sowie der externen Wärmenutzung erfolgt eine Erfassung der erzeugten Strommengen.

Die Auswertung der Messergebnisse im Rahmen des Monitorings der steuerbaren Stromerzeugung an der Demonstrationsanlage beziehen sich hauptsächlich auf den Zeitraum seit der Umsetzung des in Kapitel 9.1 beschriebenen Betriebskonzepts (1.07.2014) bis zum Projektende (30.11.2014).

9.3 Ergebnisse aus dem Monitoring

9.3.1 Betrieb BHKW

Das Histogramm in Abbildung 47 zeigt die relative Häufigkeit der Höhe der aktuellen Leistungseinspeisung für den Zeitraum vom 1.07.2014 bis 30.11.2014 (Klassenbreite: 10 kW). Die im Diagramm dargestellten Leistungsschwerpunkte belegen die Umsetzung der in Kapitel 9.1 beschriebenen Betriebsweise der steuerbaren Stromerzeugung an der Demonstrationsanlage. Das Histogramm zeigt wie häufig in dem genannten Zeitraum welche Leistung eingespeist worden ist. Zu 12,8 % der Zeitpunkte wurde kein Strom erzeugt. Das heißt im betrachteten Zeitraum wurde die Stromerzeugung im Durchschnitt 3 Stunden am Tag ausgesetzt. Insgesamt 43,1 % der Messwerte liegen im Bereich von 450...550 kW_{el} und 33,1 % zwischen 1.430...1.450 kW_{el}.

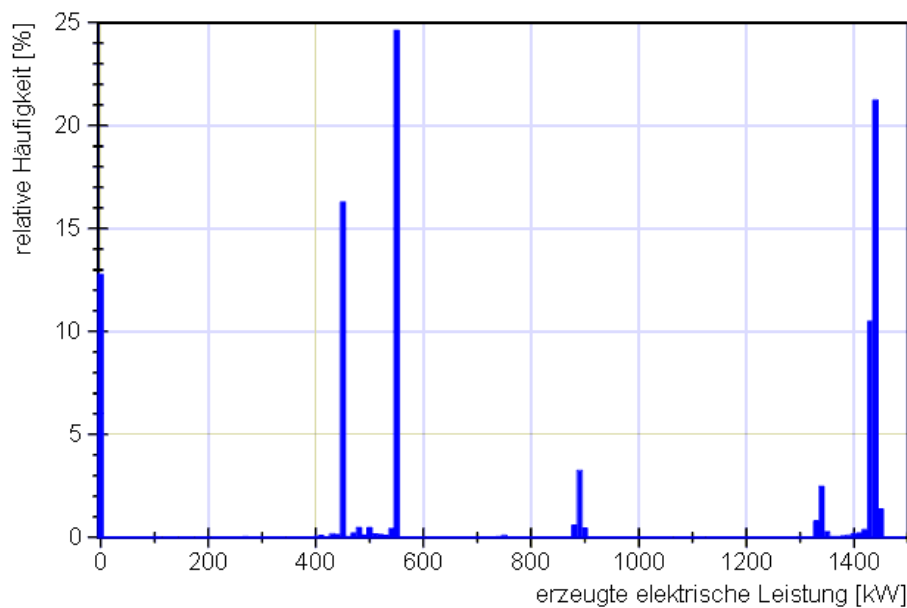


Abbildung 47: Histogramm der an der BGA Zellerfeld erzeugten elektrischen Leistung (1.07 bis 30.11.2014)

Die Visualisierung der erzeugten elektrischen Leistung zeigt, dass die von den Betreibern eingegebenen Fahrpläne zuverlässig nachgefahren werden können.

Exemplarisch für den Normalbetrieb der steuerbaren Stromerzeugung an der Demonstrationsanlage ist in [Abbildung 48](#) die erzeugte Leistung sowie der Gasspeicherfüllstand zwischen den 13. und 16. August 2014 dargestellt. [Abbildung 49](#) zeigt im Vergleich hierzu exemplarisch den Betrieb der Stromerzeugung bei hoher solarer Einstrahlung am 20.07.2014. Die Bemessungsleistung während den in [Abbildung 48](#) und [Abbildung 49](#) dargestellten Zeiträumen betrug jeweils ca. 800 kW_{el}. Um die geringe Auslastung der Anlage während der Umrüstung der Demonstrationsanlage auf steuerbare Stromerzeugung auszugleichen wurde die durchschnittliche Leistung der Anlage Ende November zeitweise auf 975 kW_{el} erhöht, um zum Jahresende die ursprünglich geplante Strommenge zu erzeugen. Die zugehörige Fahrweise der Anlage ist [Abbildung 50](#) zu entnehmen.

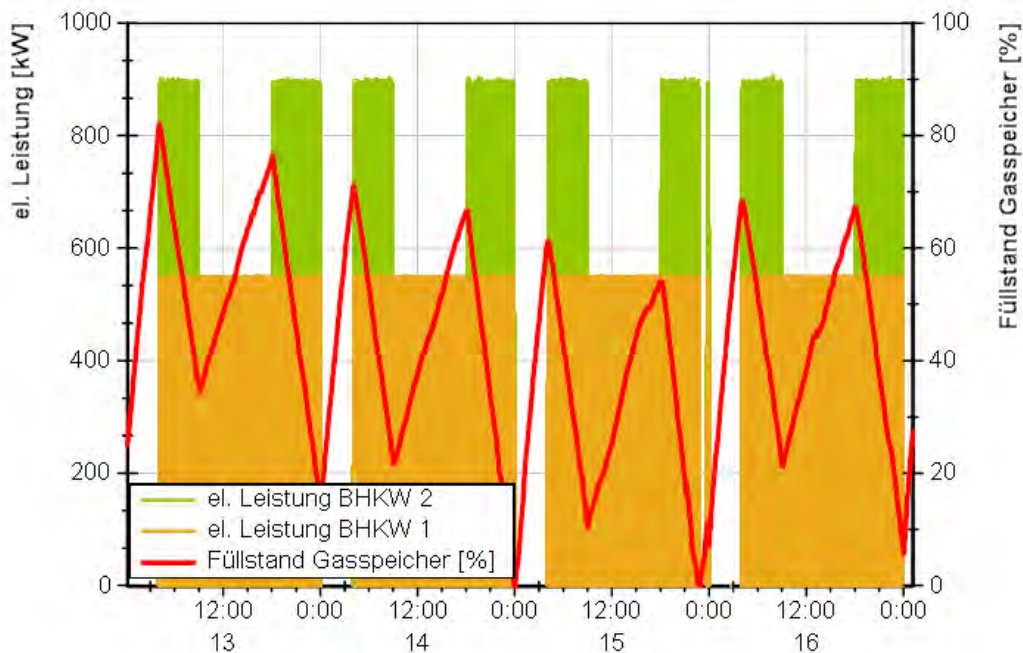


Abbildung 48: Normalbetrieb der BGA Zellerfeld (13. bis 16. August 2014)

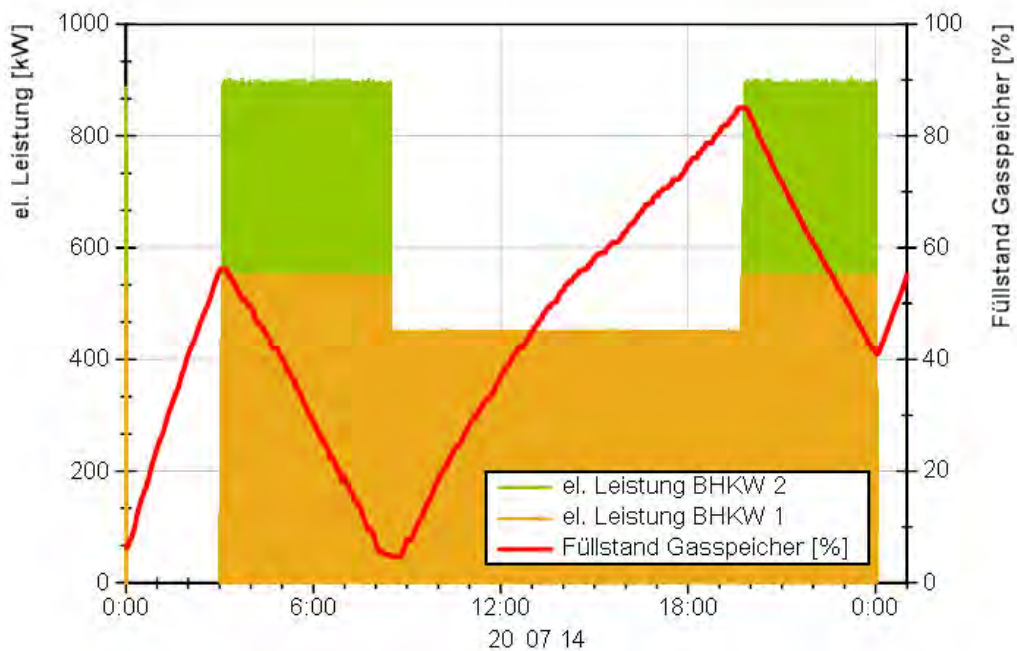


Abbildung 49: Fahrweise der BGA Zellerfeld bei hoher solarer Einstrahlung (20. Juli 2014)

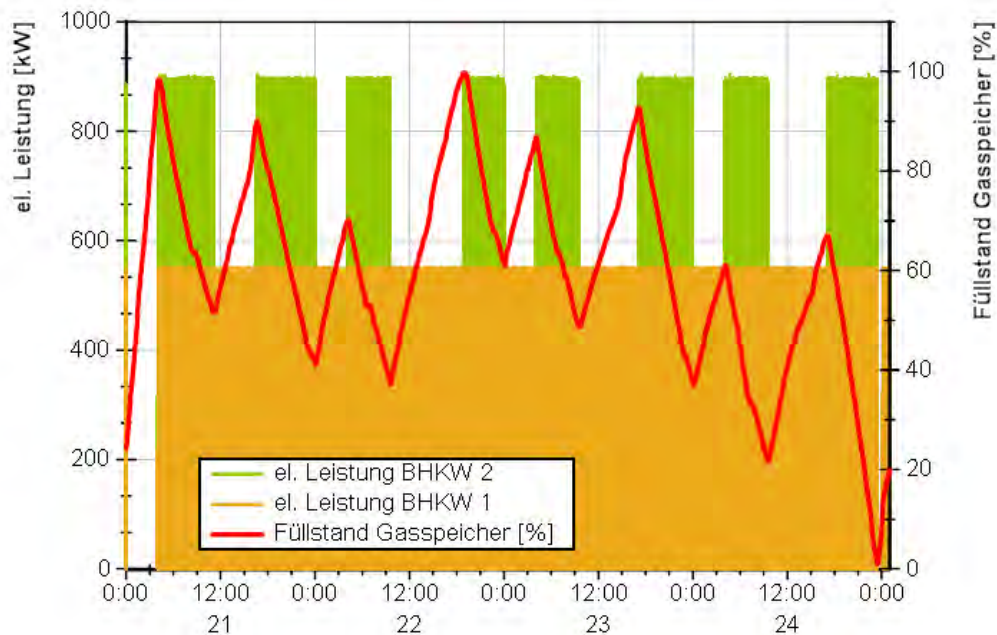


Abbildung 50: Fahrweise bei erhöhter Bemessungsleistung (21. bis 24. November 2014)

Die Starts der beiden BHKWs erfolgten während des Monitorings durchwegs zuverlässig. Zur Beurteilung des Startverhaltens der beiden BHKW ist in [Abbildung 51](#) ein typischer Start und Ausschaltvorgang der BHKW dargestellt. Die Lastanfahrt nach Lastanforderung an beide BHKW um 3:00 Uhr beginnt nach der Synchronisation des Generators mit dem Stromnetz. Für die Synchronisation benötigt das BHKW 1 45 Sekunden während die Lastanfahrt von BHKW 2 erst nach 90 Sekunden beginnt. Die Leistungssteigerung von BHKW 1 erfolgt mit ca. 2,5 kW_{el}/Sekunde, die von BHKW 2 mit ca. 32 kW_{el}/Sekunde. Nennlast wird an BHKW 1 5 Minuten und 15 Sekunden nach Lastanforderung erreicht. Das größere BHKW 2 benötigt ab der Lastanforderung 6 Minuten und 5 Sekunden bis zur Nennlast.

Für eine Präqualifikation für die Teilnahme am Sekundärregelleistungsmarkt (vgl. Kapitel 3.2) dauert damit der Anfahrvorgang mit den an beiden BHKWs eingestellten Rampen zur Leistungssteigerung zu lange und müsste in Abstimmung mit dem BHKW-Hersteller angepasst werden.

Der Ausschaltvorgang ist bei beiden BHKW nach 2 Minuten und 55 Sekunden beendet. Die Lastabnahme bei BHKW 1 erfolgt mit 3,1 kW_{el}/Sekunde bei BHKW 2 mit 5,1 kW_{el}/Sekunde.

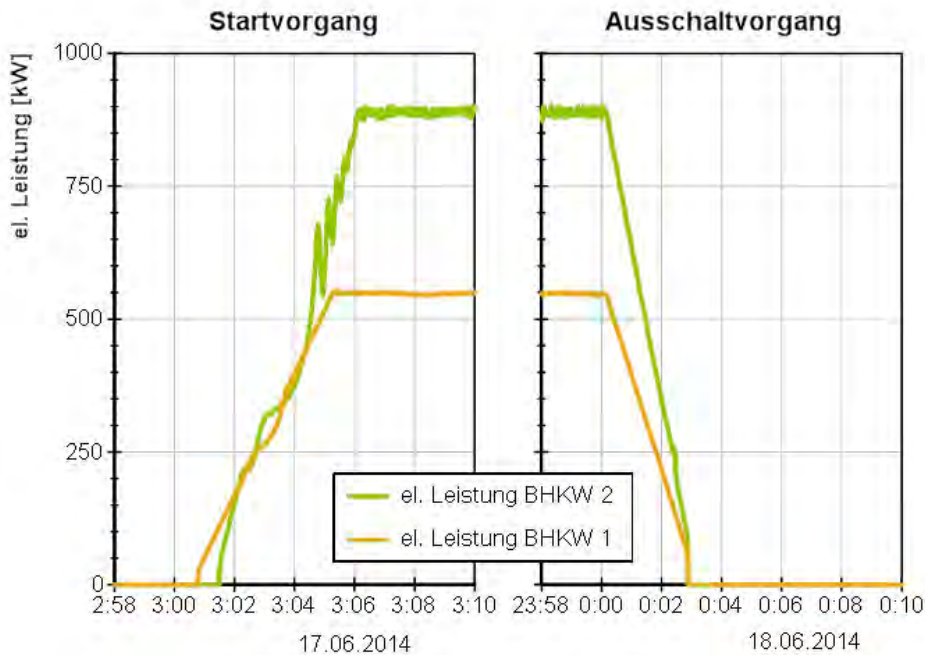


Abbildung 51: Leistungsbereitstellung während des Starts- und Ausschaltvorgangs der BHKWs

Die im Rahmen des Monitorings erfassten Volumenströme und die Erfassung der Gaszusammensetzung ermöglichen eine Beurteilung der elektrischen Wirkungsgrade der beiden BHKWs. Der aus den Messwerten berechnete Wirkungsgrad bei Nennlast liegt bei BHKW 1 zwischen 39,5...40 %, der von BHKW 2 zwischen 43...44 %.

Damit liegt der an der Demonstrationsanlage gemessene Wirkungsgrad von BHKW 1 geringfügig unter dem in der technischen Beschreibung des BHKWs angegebenen elektrischen Wirkungsgrads von 40,7 %. In der technischen Beschreibung von BHKW 2 wird ein elektrischer Wirkungsgrad von 42 % angegeben. Damit liegen die gemessenen Werte von BHKW 2 zwischen 1...2 Prozentpunkte über den Herstellerangaben.

Wie beschrieben wird das BHKW 1 zeitweise in Teillast mit einer elektrischen Leistung von 450 kW_{el} (82 % der Nennleistung) betrieben. Während des Teillastbetriebs sinkt der gemessene elektrische Wirkungsgrad um ca. 1,5 Prozentpunkte auf 38...38,5 Prozentpunkte ab.

9.3.2 Betrieb Gasspeicher

Ziel des Gasspeicherbetriebs im Rahmen der steuerbaren Stromerzeugung ist es das zur Verfügung stehende Speichervolumen möglichst vollständig und gleichmäßig auszunutzen. Aufgrund der Einschränkungen durch den Netzanschluss der Demonstrationsanlage ist die Flexibilität der Anlage eingeschränkt und der Fahrplan der Anlage konnte nicht vollständig auf den zur Verfügung stehend Gasspeicher optimiert werden. Das Histogramm in

Abbildung 52 stellt die Auslastung des an der Demostationsanlage zur Verfügung stehenden Gasspeichervolumens für den Zeitraum zwischen 1.07.2014 und 30.11.2014 dar.

Wie deutlich zu erkennen ist, wurde der Gasspeicher nicht gleichmäßig ausgenutzt. Die Gasspeicherfüllstände befinden sich deutlich häufiger im Bereich zwischen 0...40 % als im Bereich zwischen 60...100 %. Füllstände zwischen 80...100 % werden nur sporadisch ausgenutzt. Der typische zeitliche Verlauf des Gasspeicherfüllstands spiegelt sich auch in den Abbildung 48 und Abbildung 49 wieder.

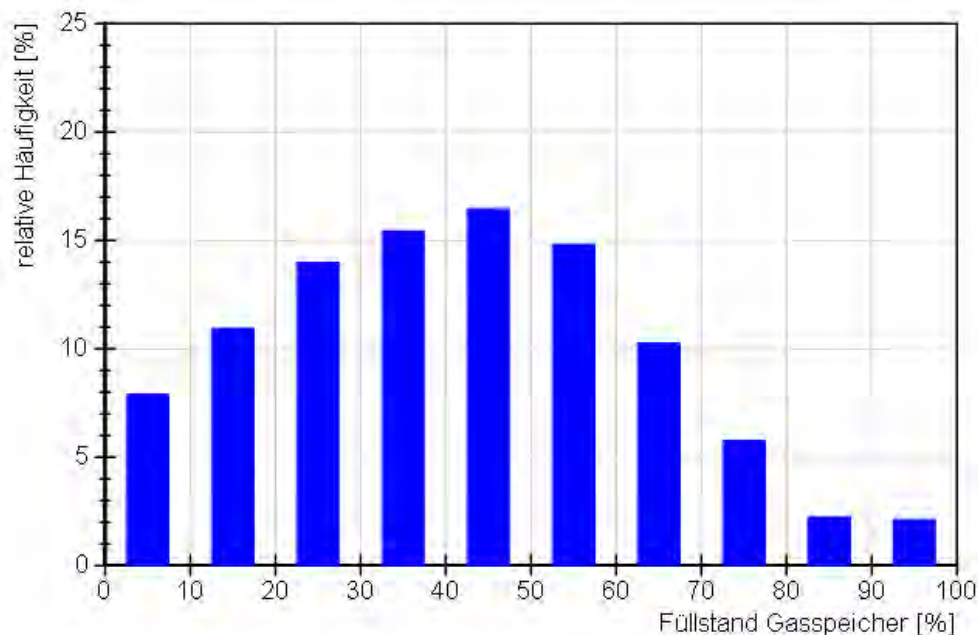


Abbildung 52: Gasspeicherauslastung an der BGA Zellerfeld (1.07 bis 30.11.2014)

Das der Gasspeicher nicht vollständig ausgenutzt wird hat zur Folge, dass relativ häufig (an ca. 20 % der Tage im betrachteten Zeitraum) die Stromerzeugung durch die Unterschreitung des in der Anlagensteuerung hinterlegten Gasspeicherfüllstands-Grenzwert von 5 % unterbrochen wird. Eine solche Sicherheitsabschaltung der Stromerzeugung ist beispielsweise in Abbildung 48 am 15. August um kurz vor 23 Uhr abgebildet.

Die Gasspeicherauslastung könnte verbessert werden in dem die Fütterungsmenge und damit die erzeugte Gasmenge besser an die über die Fahrpläne definierte aktuelle Bemessungsleistung angepasst wird.

9.3.3 Zustände im Gasspeicher

Da sich das Volumen von Gasen in Abhängigkeit von Druck und Temperatur verändert, ist es für Vergleiche von Biogaserträgen, Biogasvolumenangaben und für Aussagen über die gespeicherten Energiemengen erforderlich, diese auf den Normzustand zu beziehen (vgl. Kapitel 5.1.3). Großen Einfluss auf das speicherbare Normvolumen hat demnach die Temperatur des gespeicherten Gases.

In Abbildung 53 und Abbildung 54 ist die Temperatur des Gases im Gasspeicher am kältesten bzw. wärmsten Tag des Jahres dargestellt. Um den Einfluss der Umgebungsbedingungen auf die Temperatur des Gases im Speicher aufzuzeigen, sind in den Abbildungen gleichzeitig die Umgebungstemperatur, die Temperatur des Substrates im Endlager, die Temperatur des in den Gasspeicher strömenden Gases und die Sonneneinstrahlung (Globalstrahlung) visualisiert.

Im Allgemeinen folgt die Temperatur im Gasraum sowohl im Winter, als auch im Sommer der Umgebungstemperatur.

Ein direkter Einfluss der Sonneneinstrahlung auf die Temperatur im Gasraum ist nicht erkennbar, jedoch erwärmt sich das in den Speicher strömende Gas bei warmen Außenbedingungen während die Sonne scheint in der oberirdisch verlegten Gasstrecke durch die Sonneneinstrahlung um teilweise 5 °C. Bei kalten Außenbedingungen folgt die in den Gasspeicher einströmende Gasmenge tendenziell der Außentemperatur und kühlt in der Gasstrecke vor dem Endlager im Vergleich zur Gastemperatur im Fermenter und Nachgärer um ca. 15 °C auf bis zu 25 °C ab.

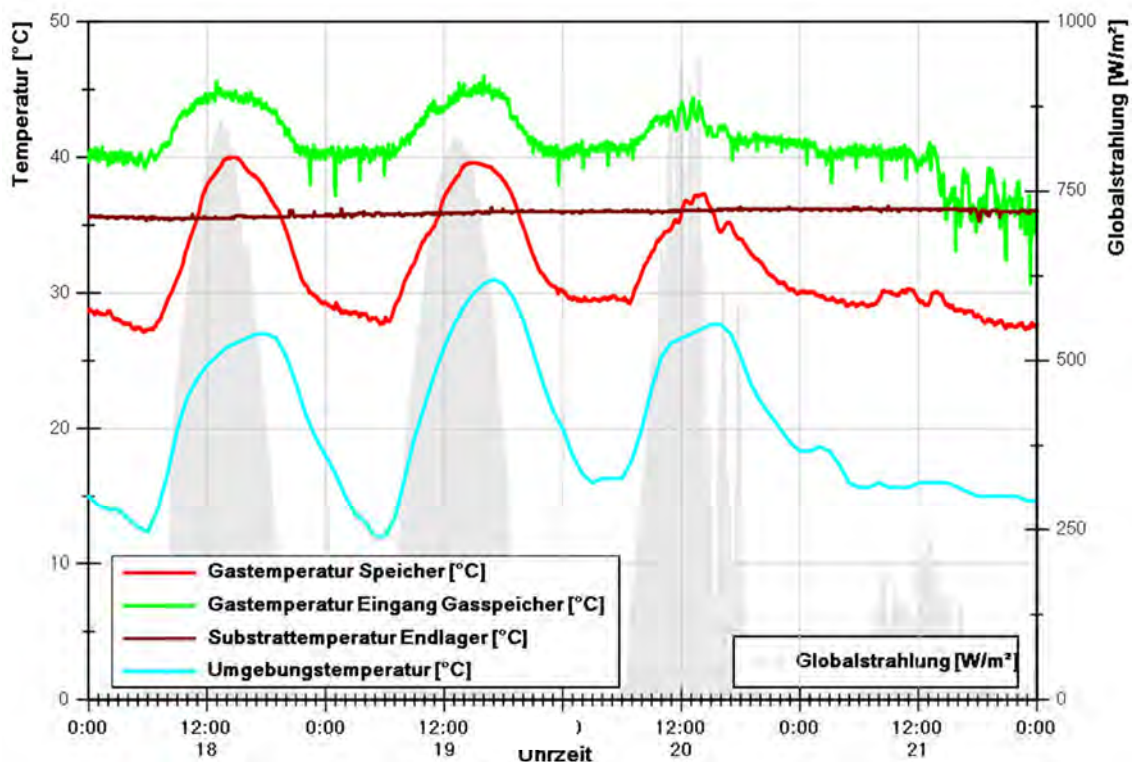


Abbildung 53: Temperatur im Gasspeicher der Demonstrationsanlage und einflussnehmende Faktoren (18. bis 21. Juli 2014)

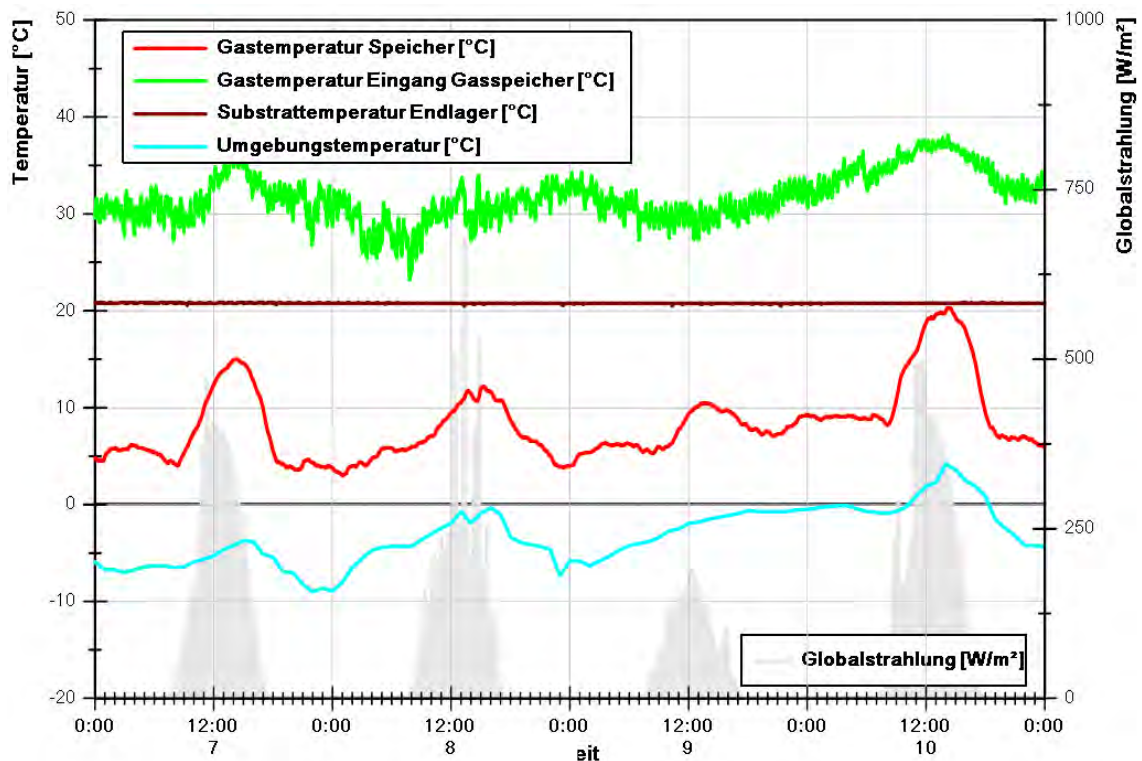


Abbildung 54: Temperatur im Gasspeicher der Demonstrationsanlage und einflussnehmende Faktoren (7. bis 10. Februar 2015)

Die bisher höchste während des Monitorings im Gasspeicher gemessene Temperatur wurde am 18. Juli 2014 gemessen (vgl. [Abbildung 53](#)) und betrug 40 °C. Das Normvolumen zu diesem Zeitpunkt betrug 2.133 Nm³ und damit 79 % des Betrages des zur Verfügung stehenden Lungenvolumens. Die bisher niedrigste Temperatur im Gasspeicher wurde mit 3 °C am 8. Februar 2015 aufgezeichnet (vgl. [Abbildung 54](#)). Aus den Bedingungen zu diesem Zeitpunkt ergibt sich ein Normvolumen von 2.570 Nm³ (ca. 95 % des Betrages des zur Verfügung stehenden Lungenvolumens). Bei sehr kalten Außenbedingungen lässt sich somit bis zu 20 % mehr Energie im Gasspeicher speichern als bei sehr heißen Außenbedingungen. Im Tagesverlauf schwankt das normierte Volumen Sommer wie Winter um bis zu 170 Nm³.

Eine Entmischung der einzelnen Bestandteile des sich im Gasspeicher befindlichen Biogases kann über die verbaute Messtechnik nicht nachgewiesen werden. Jedoch steigt der Methangehalt im Gasspeicher über dem Endlager um 0...1 Prozentpunkt im Vergleich zu dem aus Fermenter und Nachgärer strömenden Biogases. Diese Erhöhung ist auf das im Endlager entstehende Biogas zurückzuführen. Die Menge des im Endlager entstehenden Biogases konnte bisher aufgrund von Problemen bei der Erfassung des in den Gasspeicher einströmenden Volumenstroms nicht quantifiziert werden.

9.3.4 Gasspeichermanagement

Erhöhtes Augenmerk bei der bedarfsorientierten Verwertung des Biogases ist dem Gasspeichermanagement zuzuwenden. Ziel des Gasspeichermanagements ist es, mit hinreichender Genauigkeit die aktuelle Situation in den Gasspeichern abzubilden und zu steuern.

Es ist sicherzustellen, dass das erzeugte Gas zu jedem Zeitpunkt gespeichert bzw. verwertet und der Bedarf abgedeckt werden kann. Um bedarfsgerecht Strom zu erzeugen müssen zu jedem Zeitpunkt die erzeugte Gasmenge, die gespeicherte Gasmenge und der Gasbedarf bekannt sein.

Bei dem an der Demonstrationsanlage zur Gasspeicherung verwendeten Tragluftsystemen erfolgt die Bestimmung des Füllstandes über die Messung der Lage der Innenmembran. Da der Druck im Gasspeicherraum sowie zwischen Innenmembran und Außenmembran annähernd identisch ist, kann sich die Speichermembran, je nach den dort vorherrschenden Strömungen, im Gasraum und Tragluftraum unterschiedlich und unregelmäßig ausformen. Das stellt die verschiedenen Messverfahren zur Bestimmung der Lage der Innenmembran vor Herausforderungen, so dass die verschiedenen Verfahren, wie in Kapitel 5.1.4 beschrieben, unterschiedlich gut für die Füllstandüberwachung geeignet sind.

An der BioStrom-Demonstrationsanlage sind ein Seilzug-System und gleichzeitig ein Schlauchwaagen-System installiert. So ist es möglich einen direkten Vergleich der beiden Systeme miteinander durchzuführen.

Wie in [Abbildung 55](#) dargestellt, wird das Seil des Seilzug-Messsystems beim Gasspeicher der Demonstrationsanlage in einer Linie über die Mitte des Speichers geführt, während die drei an der Speichermembran angebrachte Schlauchwaagen gleichmäßig um die Mitte des Speichers angeordnet sind. Die Messwerte der jeweiligen Schlauchwaagen werden für die Verwendung in der Anlagensteuerung gemittelt.

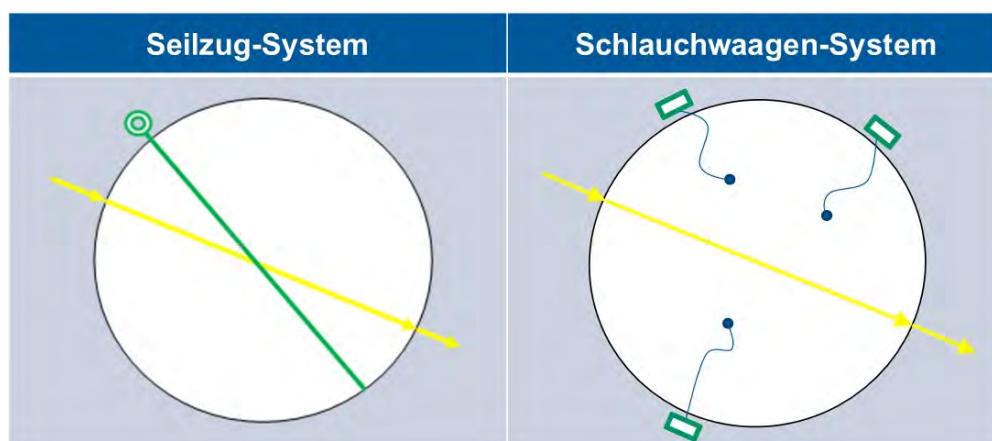


Abbildung 55: Schematische Darstellung der Positionierung der verbauten Systeme zur Füllstandüberwachung

Abbildung 56 zeigt den direkten Vergleich der Messwerte der beiden Systeme. In der Darstellung ist ein Abgleich der Ausgangssignale des Seilzug-Systems abgebildet. Deutlich zu erkennen ist, dass bereits kurz nach dem Abgleich, sowohl des unteren Füllstandes als auch des oberen Füllstandes, der Füllstandmesswert des Seilzug-Systems um bis zu 20 Prozentpunkte geringer ist als der des Schlauchwaagen-Systems. Dies zeigt wie schwer der Füllstandwert über das Seilzugsystem interpretierbar ist.

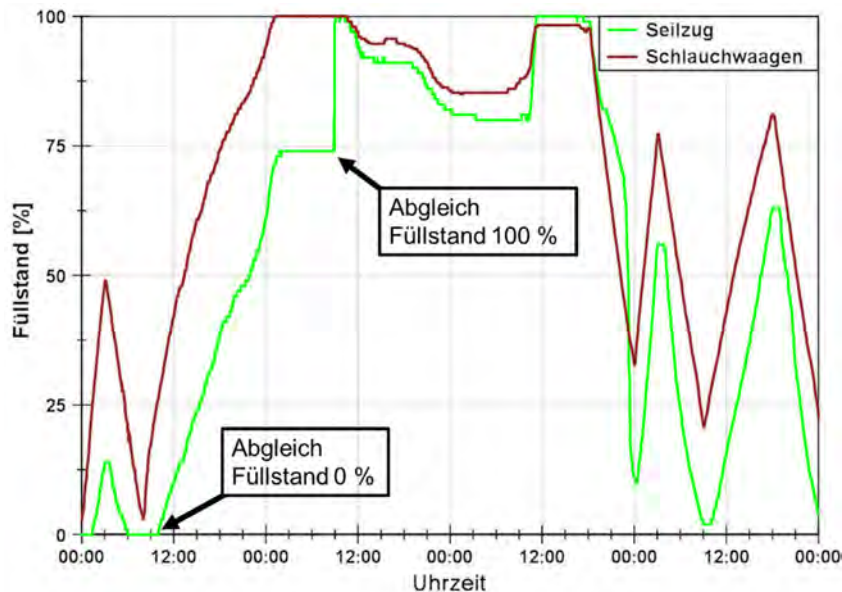


Abbildung 56: Vergleich Seilzug vs. Schlauchwaage
bei Abgleich des Seilzug-Systems

Zurückzuführen ist dies auf eventuell vorhandene Auswölbungen der Speichermembran die vom Seil nicht erfasst werden. Ein gesteuerter betrieb der Stromerzeugung allein mit der Füllstandüberwachung mittels des verbauten Seilzug-Systems wäre aufgrund dieser Messunsicherheiten mit dem an der Anlage vorhandenen Gasspeicher nicht möglich.

Die Messwerte des Schlauchwaagen-Systems sind während des Monitoring-Zeitraums durchwegs plausibel.

Die Betriebsdrücke des Gasspeichers befanden sich während des gesamten Aufzeichnungszeitraums im für den Betrieb des Speichers zulässigen Bereich. Dies zeigt, dass die in der Steuerung der Stromerzeugung hinterlegten Betriebsgrenzen für den Gasspeicherbetrieb von 5 % bzw. 95 % sich in Kombination mit dem Schlauchwaagen-System während des Betriebs der steuerbaren Stromerzeugung bewähren.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass die genaue Kenntnis der Messcharakteristik der Systeme zur Füllstandüberwachung und die Berücksichtigung der Bedingungen im Gasspeicher bei unterschiedlichen Umwelteinflüssen, eine bessere Ausnutzung der Gasspeicher im Sinne der flexiblen Stromerzeugung ermöglicht. So können beispielsweise Sicherheitspuffer verringert und die Flexibilität der Stromerzeugung weiter ausgereizt werden.

10 Fazit

Biogasanlagen sind durch die Zwischenspeicherung von Biogas technisch in der Lage die Stromerzeugung so zu verlagern, dass die dargebotsabhängige und fluktuierende Stromerzeugung aus Wind und Photovoltaik ausgeglichen werden kann. Als geeignetes Steuerinstrument konnten die Spotmärkte der *EPEX Spot* identifiziert werden.

Um die steuerbare Stromerzeugung an Biogasanlagen technisch, wirtschaftlich und nachhaltig umsetzen zu können, werden folgende Grundempfehlungen gegeben:

- Für das Gasspeichermanagement und eine optimale Ausnutzung der Gasspeicherkapazitäten ist eine möglichst exakte Füllstandsüberwachung unverzichtbar. Als Gasspeichertechnologie werden Tragluftdächer empfohlen. Ein geeignetes System zur Füllstandsüberwachung können Schlauchwaagen-Systeme sein, bei denen mehrere Messpunkte auf der Gasspeichermembran überwacht werden.
- Der Betrieb der BHKW in Volllast ist dem Teillastbetrieb vorzuziehen.
- Um einen sicheren Taktbetrieb zu gewährleisten werden zur Startunterstützung eine Vorwärmung des Aggregats sowie Nutzung einer Vorschmierung empfohlen.
- Als wirtschaftlich sinnvoll sind Anlagenkonzepte ab einer doppelten Überbauung der Bemessungsleistung.
- Je flexibler die Fahrplangestaltung für die steuerbare Stromerzeugung an aktuelle Strompreise angepasst wird, desto höher werden die zusätzlichen Einnahmen und desto sinnvoller können größere Gasspeicher ausgenutzt werden.

Insgesamt kann für die Umrüstung einer Biogasanlage auf steuerbare Stromerzeugung festgestellt werden, dass neben der Investition in zusätzliche Verstromungskapazitäten Investitionen in Gasspeicher und Wärmespeicher notwendig sein können, wodurch sich diese Anlagenkonzepte unter derzeitigen Bedingungen nur schwer wirtschaftlich darstellen lassen. Der Aufwand zur Umstellung des Betriebskonzepts muss im Einzelfall betrachtet werden und ist höchst anlagenspezifisch.

11 Ausblick

Der Ausbau der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien findet hauptsächlich dezentral in den Mittel- und Niederspannungsnetzen statt. Da der Zubau der erneuerbaren Stromerzeuger ungeplant und unstrukturiert vonstattengeht, erfolgt der Netzausbau verzögert und es können Netzengpässe entstehen. Insbesondere in den Mittel- und Niederspannungsnetzen mit hohem Anteil an fluktuierenden Stromerzeugern erschwert sich die Spannungshaltung. Um dem entgegenzuwirken ist ein sukzessiver Ausbau des Verteilnetzes notwendig. Ein rein marktgetriebener Einsatz von flexiblen Stromerzeugungsanlagen und von Stromspeichern würde die für den Verteilnetzausbau notwendigen Investitionen dahingegen noch deutlich erhöhen (dena 2012). Werden jedoch Stromspeicher oder Stromerzeugungsanlagen unter netztechnischen Gesichtspunkten eingesetzt, kann dadurch eine deutliche Reduktion des Netzausbaubedarfs erreicht werden (dena 2012). Flexible Biogasanlagen haben in diesem Zusammenhang ein beachtliches Potenzial um Laststeuerung unter netztechnischen Gesichtspunkten zu betreiben. Hierfür müssen jedoch neue Steuerinstrumente geschaffen werden, die einen lokalen und netzdienlichen Betrieb von steuerbaren Biogasanlagen ermöglichen.

Für die Zeit nach Ablauf der EEG-Vergütungen müssen Betreiber von Biogasanlagen Möglichkeiten nutzen Strom und Wärme möglichst sinnvoll zu erzeugen und zu veräußern. Die im Vorhaben beschriebene steuerbare Stromerzeugung ist Teil der zukünftigen Betriebsstrategien von Biogasanlagen.

Die Flexibilität der Stromerzeugung aus Biogas kann zusätzlich zur Ausnutzung der Gasspeicher über die Steuerung der Gaserzeugung weiter erhöht werden. Durch eine flexible Fütterung mit geeigneten Substraten ist es theoretisch möglich im Wochen- und auch im Tagesverlauf die zu speichernde Gasmenge in gewissem Maße zu verringern. Dies geht mit erheblichen Einsparungen des Speicherbedarfes einher (Jacobi 2013). Investitionen in zusätzliche Gasspeicher können so verringert werden.

Die im Vorhaben beschriebenen Umrüstungsmaßnahmen zur steuerbaren Stromerzeugung können dazu genutzt werden die durchschnittliche Leistung der Anlage im Jahresverlauf einem Wärmekonzept anzupassen, wodurch die Gesamteffizienz von Biogasanlage deutlich erhöht werden kann.

Quellenangaben

AGORA ENERGIEWENDE (2015) *Agorameter* [WWW] Agora Energiewende. Verfügbar unter: http://www.agora-energiewende.de/service/aktuelle-stromdaten/?tx_agoragraphs_agoragraphs%5BinitialGraph%5D=powerGenerationPrice&tx_agoragraphs_agoragraphs%5Bcontroller%5D=Graph [Zugriff am 18.02.2015].

AMPIRON (k. D.) *Primärregelung, Sekundärregelung, Minutenreserve* [WWW] Amprion. Verfügbar unter: <http://www.amprion.de/primarregelung-sekundaerregelung-minutenreserve> [Zugriff am 21.03.2012].

ASCHMANN, V., EFFENBERGER, M. UND GRONAUER, A. (2010): *Kohlenwasserstoffverbindungen im Abgas biogasbetriebener Blockheizkraftwerke (BHKW)*. LANDTECHNIK, 65. Jahrgang, Heft 5.2010, S. 338-341.

ASCHMANN, A. (2013) Technik des Intervallbetriebs. *Nachhaltig und erneuerbar in die Zukunft, C.A.R.M.E.N.-Symposium 2013*. Straubing, 1.-2.07.2013. Straubing: C.A.R.M.E.N. e.V..

ASUE (Hrsg.) (2011) *BHKW-Kendaten 2011*. Berlin: Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. (ASUE).

ASUE (Hrsg.) (2014) *BHKW-Kendaten 2014/15*. Berlin: Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. (ASUE).

BARZANTNY, K. ACHNER, S und VOMBER, S. (2009) *Klimaschutz: Plan B 2050 – Energiekonzept für Deutschland*. Hamburg: Greenpeace.

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (LfU) (Hrsg.) (2007) *Biogashandbuch Bayern – Materialienband – Kapitel 1.1. – 1.5.* [WWW] Bayerisches Landesamt für Umwelt. Verfügbar bei: <http://www.lfu.bayern.de/abfall/biogashandbuch/doc/kap1bis15.pdf>, Zugriff: 16.09.2013.

BUDERUS (2015) *Produktdaten Buderus Logano GE615-570* [WWW] Buderus AG. Verfügbar unter: http://www.buderus.de/sixcms/detail.php/2326522?_artnr=5056030,5868636 [Zugriff am 14.03.2015].

BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (BMWi) *Zeitreihen zur Entwicklung der Erneuerbaren Energien in Deutschland* [WWW] BMWi. Verfügbar unter: http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2013.pdf?__blob=publicationFile&v=13 [Zugriff am 18.02.2015].

BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNOLOGIE (BMWi) (Hrsg.) (2010) *Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung – 28. September 2010*. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ (BMJV) (Hrsg.) (2012) *Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG)* [WWW] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. Verfügbar unter: http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/eeg_2009/gesamt.pdf [Zugriff am 17.01.14].

DANIEL, T. (2011) *Pufferspeicher im Gartenbau* [WWW] Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein. Verfügbar unter: <http://www.umweltgutachter.de/uploads/images/3IKIHryTket4dV4Wea2SXQ/eeg-2012-umweltgutachter-omnicert-biogas-direktvermarktung-flexibilitaetspraemie-wasistzubeachten.pdf> [Zugriff am 14.04.2013].

DEUTSCHE ENERGIE-AGENTUR GMBH (dena) (Hrsg.) (2005), *Energiewirtschaftliche Planung für die Netzintegration von Windenergie in Deutschland an Land und Offshore bis zum Jahr 2020*, Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH.

DEUTSCHE ENERGIE-AGENTUR (Hrsg.) (2012) *Ausbau- und Innovationsbedarf der Stromverteilnetze in Deutschland bis 2030 – Endbericht*. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH

DEUTSCHES BIOMASSE FORSCHUNGSZENTRUM (DBFZ) (Hrsg.) (2012) *Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse – Endbericht zur EEG-Periode 2009 bis 2011*. Leipzig: Deutsches Biomasse Forschungszentrum (DBFZ).

DEUTSCHES BIOMASSE FORSCHUNGSZENTRUM (DBFZ) (Hrsg.) (2014) *d (Vorhaben I/II Biomasse)*. Zwischenbericht Juni 2014, Leipzig: Deutsches Biomasse Forschungszentrum (DBFZ).

EBERL, B. PELLINGER, C. und VON ROON, S. (2013) Analyse der deutschen Elektrizitätsexporte 2012. *e/m/w*, 4 2013, Seiten 28-31.

E.ON (K.D.) Kraftwerk Irsching [WWW] E.ON SE. Verfügbar unter: <http://www.eon.com/de/ueber-uns/struktur/asset-finder/irsching.html> [Zugriff am 24.02.2015]

FORUM NETZTECHNIK UND NETZBETRIEB IM VDE (FNN) (Hrsg.) (2007) *Transmission Code 2007 Anhang D2 Teil 1 Unterlagen zur Präqualifikation von Anbietern zur Erbringung von Sekundärregelleistung für die ÜNB* [WWW] [regelleistung.net](http://www.regelleistung.net). Verfügbar unter: <https://www.regelleistung.net/ip/action/static/prequalSrl> [Zugriff am 22.03.2012].

FORUM NETZTECHNIK UND NETZBETRIEB IM VDE (FNN) (Hrsg.) (2009) Transmission Code 2007 Anhang D2 Teil 2 Anforderungen für die Umsetzung des SRL-Poolkonzepts zwischen ÜNB und Anbietern [WWW] regelleistung.net. Verfügbar unter: <https://www.regelleistung.net/ip/action/static/prequalSrl> [Zugriff am 22.03.2012].

GANAGIN, W. et al. (2011) Flexible Biogasproduktion zur Erzeugung von Spitzenlaststrom. In: *20. BIOGAS Jahrestagung Fachverband Biogas e.V., Nürnberg, 11.-13.01.2010*. Freising: Fachverband Biogas e.V. pp. 157-167.

GE JENBACHER (Hrsg.) (2012) *Technische Beschreibung BHKW JMS 312 GS-B.L.* Jenbach (Austria): GE Jenbacher GmbH & Co OG.

GERHARDT, N. (2009) *Technische Potenziale einer variablen Stromeinspeisung durch Biogasanlagen* [WWW] Institut für Solare Energieversorgungstechnik (ISET). Verfügbar unter: <http://renknownet.iset.uni-kassel.de/renknowNET/obj.download;jsessionid=7E95E0A8302D56B919E0D854B920037A?objName=694&lang=es> [Zugriff am 14.06.2010].

GRANTNER, T. (K.D.) *Direktvermarktung Was bringt sie und was ist zu beachten?* [WWW] OMNICERT. Verfügbar unter: <http://www.umweltgutachter.de/uploads/images/3IKIHryTket4dV4Wea2SXQ/eeg-2012-umweltgutachter-omnicert-biogas-direktvermarktung-flexibilitaetspraemie-wasistzubeachten.pdf> [Zugriff am 27.01.2015].

GROSSMANN, J. et al. (2008) Zweistufige Trocken-Nass-Vergärung - Überführung vom Labor in die Praxis als GICON-Verfahren. *Internationales Fachsymposium Trockenfermentation, Berlin, 21.-22. Februar*. Kirchberg/Jagst: International Biogas and Bioenergy Centre of Competence (IBBK).

HARTMANN, K. et al. (2010) *Endbericht - Die Rolle des Stromes aus Biogas in zukünftigen Energieversorgungsstrukturen*. Hanau: Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES).

HOLZHAMMER, U. NELLES, M. UND SCHOLWIN, F. (2013) Auswirkung der flexiblen Stromproduktion aus Biogas auf den konventionellen Kraftwerkspark und dessen CO₂-Emissionen. In: *Optimierte Erfassung und Verwertung von Bioabfall, Rostock, 7. Biomasse-Forum 2013, 21.-22. Juni 2013*. Witzenhausen: Witzenhausen-Institut, Seiten 145-167.

INSTITUT FÜR ANGEWANDTES STOFFSTROMMANAGEMENT (2010) *Nutzungsvarianten für die Abwärme von Konversionstechnologien zur effizienten Biomassenutzung* [WWW] Verfügbar unter: http://www.agintec.de/UserImages/file/2010-05-25_Bericht%20KSI%20NOK.pdf [Zugriff am 12.03.12].

JACOBI, H. TROMMLER M. und MAUKY, E. (2013): Bedarfsgerechte Biogasproduktion – Option für die Flexibilisierung erneuerbarer Energien. *ew – Magazin für die Energiewirtschaft*, 112 (1-2), pp. 22-25.

- JUNG, U. UND MÜLLER, R. (2008) Teillast oder Takten?. *BWK Das Energie-Fachmagazin*, Ausgabe 6/2008 Seiten 45-47.
- KALTSCHMITT, M. et al. (2009) *Energie aus Biomasse*. 2. Auflage, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- KEYMER, U. (2013) Direktvermarktung – Eine ökonomische Analyse für die Praxis. *FNR/KTBL-Kongress Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven*, Kassel, 10. – 11.09.2013, S. 46-59.
- KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT E.V. (KTBL) (Hrsg.) (2009) *Faustzahlen Biogas*. 2. Auflage, Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL).
- MÄHNERT, P. (2007) *Kinetik der Biogasproduktion aus nachwachsenden Rohstoffen und Gülle*. Dissertation (Dr. rer. agr.), Humboldt-Universität Berlin.
- MÜLLER, M. et al. (2011) Auswirkungen der flexiblen Fahrweise von Biogasanlagen zum Ausgleich von Nachfrageschwankungen. In: *20. BIOGAS Jahrestagung Fachverband Biogas e.V.*, Nürnberg, 11.-13.01.2011. Freising: Fachverband Biogas e.V. pp. 179-185.
- NITSCH, J. et al. (2009) *Leitstudie 2009 – Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland unter Berücksichtigung der europäischen und globalen Entwicklung*. Berlin: Bundesministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (BMU).
- NITSCH, J. et al. (2012) Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global, Schlussbericht BMU - FKZ 03MAP146. Berlin: Bundesministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (BMU).
- REGELLEISTUNG.NET (k.D) *Gemeinsame Ausschreibung Sekundärregelleistung* [WWW] regelleistung.net. Verfügbar unter: <https://www.regelleistung.net/ip/action/static/ausschreibungSrl> [Zugriff am 21.03.12].
- REUß, M. (k. D.) *Saisonale Wärmespeicherung im Untergrund – eine Lösung für die effiziente Wärmenutzung auch bei Biogas?* [WWW] Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung Verfügbar bei: <http://www.carmen-ev.de/dt/portrait/sonstiges/reuss.pdf> [Zugriff am 14.03.12].
- SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (Hrsg.) (2010) *100% erneuerbare Stromversorgung bis 2050: klimaverträglich, sicher, bezahlbar*. Berlin: Sachverständigenrat für Umweltfragen.
- SATTLER/CENOTEC (2012) *Portfolio DMGS Tankmontierte Gasspeicher*, [e-mail] Greven: Ceno Membrane Technology GmbH, Helmut Wiedau vom 10.04.2012.
- SZARKA, N. et al. (2013) A novel role for bioenergy: A flexible, demand-oriented power supply. *Energy*, 61, pp. 18-26.

VAN BASSHUYSEN, R. und SCHÄFER, F. (2004) *Lexikon Motorentchnik*. 1. Auflage, Wiesbaden: Vieweg Verlag.

VERBAND DER NETZBETREIBER VDN (2003) *Transmission Code 2003 Anhang D 1: Unterlagen zur Präqualifikation für die Erbringung von Primärregelleistung für die ÜNB* [WWW] Verfügbar bei: <https://www.regelleistung.net/ip/action/static/prequal> [Zugriff am 22.03.12].

VERBAND DER NETZBETREIBER (VDN) (Hrsg.) (2007a) *TransmissionCode 2007 Netz- und Systemregeln der deutschen Übertragungsnetzbetreiber* [WWW] regelleistung.net. Verfügbar unter: <https://www.regelleistung.net/ip/action/static/prequal> [Zugriff am 22.03.2012].

VERBAND DER NETZBETREIBER (VDN) (Hrsg.) (2007b) *Transmission Code Anhang D 3: Unterlagen zur Präqualifikation für die Erbringung von Minutenreserveleistung* [WWW] regelleistung.net Verfügbar unter: <https://www.regelleistung.net/ip/action/static/prequal> [Zugriff am 22.03.2012].

VOGT, R. et al. (2008) *Optimierung für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland*. Forschungsprojekt des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), FKZ: 0327544. Heidelberg: Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (ifeu).

WORLD WILD FUND OF NATURE (WWF) (Hrsg.) (2009) *Modell Deutschland. Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken*. Basel/Berlin: WWF.

ZACHARIAS, F. (2001) *Gasmotoren*. 1. Auflage, Würzburg: Vogel.

2G ENERGIE-TECHNIK (2011) *Planungsdaten 2G-KWK-190BG/50 Hz*. Version 1.3, Heek: 2G Energietechnik GmbH.

Anhang - Übersichtsbblätter Wirtschaftlichkeitsberechnung

Variante 1,25.1.6

Rahmendaten		Betriebsdauer Stromerzeugung	
		[h/a]	[kWh _{el} /a]
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550		
Installierte Leistung [kW _{el}]	688		
P _{zusatz} [kW _{el}]	83		
BHKW 1 [kW _{el}]	550	6.935	3.814.250
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	138	7.300	1.003.750
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.818.000		
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	21,99		

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	6
zusätzliche Speicherkapazität [h]	0
zusätzliche Speichergröße [m ³]	0
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	10

Rahmendaten	
Strombezugs-kosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	192.268,01	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53
zusätzlicher Gasspeicher	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	7.012,50	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	6.600,00	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76
zusätzlicher Wärmespeicher	16.317,81	1.816,60	1.816,60	1.816,60	1.816,60	1.816,60	1.816,60	1.816,60	1.816,60	1.816,60	1.816,60
Summe	236.198,32	26.295,14	26.295,14	26.295,14	26.295,14	26.295,14	26.295,14	26.295,14	26.295,14	26.295,14	26.295,14
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.705,49	2.759,60	2.814,79	2.871,09	2.928,51	2.987,08	3.046,82	3.107,76	3.169,91	3.233,31	3.297,98
Gasspeicher	300,00	306,00	312,12	318,36	324,73	331,22	337,85	344,61	351,50	358,53	365,70
Gasstrecke / Aufbereitung	70,13	71,53	72,96	74,42	75,91	77,42	78,97	80,55	82,16	83,81	85,48
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	66,00	67,32	68,67	70,04	71,44	72,87	74,33	75,81	77,33	78,88	80,45
Wärmespeicher	163,18	166,44	169,77	173,17	176,63	180,16	183,77	187,44	191,19	195,01	198,91
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	6.709,79	6.843,99	6.980,87	7.120,49	7.262,90	7.408,16	7.556,32	7.707,45	7.861,59	8.018,83	8.179,20
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	1.180,99	1.204,61	1.228,70	1.253,28	1.278,34	1.303,91	1.329,99	1.356,59	1.383,72	1.411,39	1.439,62
Summe	52.180,99	6.882,26	6.906,36	6.930,93	6.956,00	6.981,56	7.007,64	7.034,24	7.061,37	7.089,05	7.117,28
Ausgaben		45.210,07	45.474,82	45.744,86	46.020,30	46.301,25	46.587,82	46.880,12	47.178,27	47.482,38	47.792,57
[Zusatz-] Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	10.725,00	10.514,71	10.308,54	10.106,41	9.908,24	9.713,96	9.523,49	9.336,76	9.153,68	8.974,20	8.798,24
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.636,00	9.447,06	9.261,82	9.080,22	8.902,17	8.727,62	8.556,49	8.388,72	8.224,23	8.062,97	7.904,88
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	12.093,80	12.335,68	12.582,39	12.834,04	13.090,72	13.352,53	13.619,58	13.891,98	14.169,82	14.453,21	14.742,28
Summe	32.454,80	32.297,44	32.152,75	32.020,66	31.901,14	31.794,12	31.699,57	31.617,45	31.547,73	31.490,39	31.445,39
Gewinn/Verlust		€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		-12.912,63	-13.322,07	-13.724,20	-14.119,16	-14.507,13	-14.888,25	-15.262,67	-15.630,53	-15.991,99	-16.347,18
Rendite		-4%	-5%	-5%	-5%	-5%	-5%	-5%	-5%	-6%	-6%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,009	0,009	0,009	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010

Variante 1,25.2.6

Rahmendaten		Betriebsdauer Stromerzeugung	
		[h/a]	[kWh _{el} /a]
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550		
Installierte Leistung [kW _{el}]	688		
P _{zusatz} [kW _{el}]	83		
BHKW 1 [kW _{el}]	550	7.094	3.901.700
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	138	6.675	917.813
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.819.513		
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	23,85		

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	6
zusätzliche Speicherkapazität [h]	0
zusätzliche Speichergröße [m ³]	0
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	14

Rahmendaten	
Strombezugskosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	192.268,01	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53
zusätzlicher Gasspeicher	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	7.012,50	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	6.600,00	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76
zusätzlicher Wärmespeicher	22.268,31	2.479,05	2.479,05	2.479,05	2.479,05	2.479,05	2.479,05	2.479,05	2.479,05	2.479,05	2.479,05
Summe	242.148,82	26.957,59	26.957,59	26.957,59	26.957,59	26.957,59	26.957,59	26.957,59	26.957,59	26.957,59	26.957,59
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.706,34	2.760,47	2.815,68	2.871,99	2.929,43	2.988,02	3.047,78	3.108,74	3.170,91	3.234,33	3.299,01
Gasspeicher	300,00	306,00	312,12	318,36	324,73	331,22	337,85	344,61	351,50	358,53	365,70
Gasstrecke / Aufbereitung	70,13	71,53	72,96	74,42	75,91	77,42	78,97	80,55	82,16	83,81	85,48
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	66,00	67,32	68,67	70,04	71,44	72,87	74,33	75,81	77,33	78,88	80,45
Wärmespeicher	222,68	227,14	231,68	236,31	241,04	245,86	250,78	255,79	260,91	266,13	271,45
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	6.770,15	6.905,55	7.043,66	7.184,54	7.328,23	7.474,79	7.624,29	7.776,77	7.932,31	8.090,96	8.252,77
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	1.210,74	1.234,96	1.259,66	1.284,85	1.310,55	1.336,76	1.363,49	1.390,76	1.418,58	1.446,95	1.475,89
Summe	52.210,74	6.912,61	6.937,31	6.962,50	6.988,20	7.014,41	7.041,15	7.068,42	7.096,23	7.124,60	7.153,54
Ausgaben		45.964,43	46.231,01	46.502,93	46.780,28	47.063,18	47.351,74	47.646,07	47.946,29	48.252,51	48.564,86
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	10.728,37	10.518,01	10.311,77	10.109,58	9.911,35	9.717,01	9.526,48	9.339,69	9.156,56	8.977,02	8.801,00
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.639,03	9.450,02	9.264,73	9.083,07	8.904,97	8.730,36	8.559,18	8.391,35	8.226,82	8.065,50	7.907,36
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	13.116,01	13.378,33	13.645,90	13.918,81	14.197,19	14.481,13	14.770,76	15.066,17	15.367,50	15.674,85	15.988,34
Summe	33.483,40	33.346,36	33.222,40	33.111,46	33.013,51	32.928,51	32.856,42	32.797,21	32.750,87	32.717,37	32.696,70
Gewinn/Verlust	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe	-12.618,07	-13.008,62	-13.391,47	-13.766,77	-14.134,68	-14.495,33	-14.848,86	-15.195,42	-15.535,14	-15.868,16	-16.195,16
Rendite		-4%	-4%	-5%	-5%	-5%	-5%	-5%	-5%	-5%	-5%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010

Variante 1,25.3.6

Rahmendaten		Betriebsdauer Stromerzeugung	
		[h/a]	[kWh _{el} /a]
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550		
Installierte Leistung [kW _{el}]	688		
P _{zusatz} [kW _{el}]	83		
BHKW 1 [kW _{el}]	550	7.070	3.888.500
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	138	6.760	929.500
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.818.000		
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	26,24		

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	6
zusätzliche Speicherkapazität [h]	0
zusätzliche Speichergröße [m ³]	0
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	15

Rahmendaten	
Strombezugskosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	192.268,01	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53
zusätzlicher Gasspeicher	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	7.012,50	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	6.600,00	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76
zusätzlicher Wärmespeicher	23.706,24	2.639,13	2.639,13	2.639,13	2.639,13	2.639,13	2.639,13	2.639,13	2.639,13	2.639,13	2.639,13
Summe	243.586,75	27.117,67	27.117,67	27.117,67	27.117,67	27.117,67	27.117,67	27.117,67	27.117,67	27.117,67	27.117,67
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.705,49	2.759,60	2.814,79	2.871,09	2.928,51	2.987,08	3.046,82	3.107,76	3.169,91	3.233,31	3.297,98
Gasspeicher	300,00	306,00	312,12	318,36	324,73	331,22	337,85	344,61	351,50	358,53	365,70
Gasstrecke / Aufbereitung	70,13	71,53	72,96	74,42	75,91	77,42	78,97	80,55	82,16	83,81	85,48
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	66,00	67,32	68,67	70,04	71,44	72,87	74,33	75,81	77,33	78,88	80,45
Wärmespeicher	237,06	241,80	246,64	251,57	256,60	261,74	266,97	272,31	277,76	283,31	288,98
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	6.783,68	6.919,35	7.057,74	7.198,89	7.342,87	7.489,73	7.639,52	7.792,32	7.948,16	8.107,12	8.269,27
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	1.217,93	1.242,29	1.267,14	1.292,48	1.318,33	1.344,70	1.371,59	1.399,02	1.427,00	1.455,54	1.484,65
Summe	52.217,93	6.919,95	6.944,79	6.970,13	6.995,98	7.022,35	7.049,24	7.076,68	7.104,66	7.133,20	7.162,31
Ausgaben		46.145,64	46.412,65	46.685,00	46.962,79	47.246,14	47.535,16	47.829,95	48.130,65	48.437,35	48.750,19
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	10.725,00	10.514,71	10.308,54	10.106,41	9.908,24	9.713,96	9.523,49	9.336,76	9.153,68	8.974,20	8.798,24
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.636,00	9.447,06	9.261,82	9.080,22	8.902,17	8.727,62	8.556,49	8.388,72	8.224,23	8.062,97	7.904,88
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	14.431,87	14.720,51	15.014,92	15.315,21	15.621,52	15.933,95	16.252,63	16.577,68	16.909,23	17.247,42	17.592,37
Summe	34.792,87	34.682,27	34.585,27	34.501,84	34.431,94	34.375,53	34.332,61	34.303,16	34.287,15	34.284,59	34.295,48
Gewinn/Verlust		€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		-11.463,37	-11.827,38	-12.183,16	-12.530,86	-12.870,61	-13.202,54	-13.526,80	-13.843,49	-14.152,76	-14.454,71
Rendite		-4%	-4%	-4%	-4%	-4%	-4%	-5%	-5%	-5%	-5%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010

Variante 1,25.1.12

Rahmendaten		Betriebsdauer Stromerzeugung	
		[h/a]	[kWh _{el} /a]
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550		
Installierte Leistung [kW _{el}]	688		
P _{zusatz} [kW _{el}]	83		
BHKW 1 [kW _{el}]	550	6.935	3.814.250
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	138	7.300	1.003.750
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.818.000		
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	21,99		

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	12
zusätzliche Speicherkapazität [h]	6
zusätzliche Speichergröße [m ³]	1976
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	10

Rahmendaten	
Strombezugs-kosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	192.268,01	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53
zusätzlicher Gasspeicher	80.758,69	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	7.012,50	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	6.600,00	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76
zusätzlicher Wärmespeicher	16.317,81	1.816,60	1.816,60	1.816,60	1.816,60	1.816,60	1.816,60	1.816,60	1.816,60	1.816,60	1.816,60
Summe	316.957,01	35.285,72	35.285,72	35.285,72	35.285,72	35.285,72	35.285,72	35.285,72	35.285,72	35.285,72	35.285,72
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.705,49	2.759,60	2.814,79	2.871,09	2.928,51	2.987,08	3.046,82	3.107,76	3.169,91	3.233,31	3.297,98
Gasspeicher	2.722,76	2.777,22	2.832,76	2.889,42	2.947,20	3.006,15	3.066,27	3.127,60	3.190,15	3.253,95	3.319,03
Gasstrecke / Aufbereitung	70,13	71,53	72,96	74,42	75,91	77,42	78,97	80,55	82,16	83,81	85,48
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	66,00	67,32	68,67	70,04	71,44	72,87	74,33	75,81	77,33	78,88	80,45
Wärmespeicher	163,18	166,44	169,77	173,17	176,63	180,16	183,77	187,44	191,19	195,01	198,91
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	9.132,56	9.315,21	9.501,51	9.691,54	9.885,37	10.083,08	10.284,74	10.490,44	10.700,24	10.914,25	11.132,53
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	1.584,79	1.616,48	1.648,81	1.681,79	1.715,42	1.749,73	1.784,73	1.820,42	1.856,83	1.893,96	1.931,84
Summe	52.584,79	7.294,13	7.326,46	7.359,44	7.393,08	7.427,38	7.462,38	7.498,07	7.534,48	7.571,62	7.609,50
Ausgaben		57.083,74	57.406,15	57.735,00	58.070,44	58.412,58	58.761,56	59.117,53	59.480,61	59.850,95	60.228,71
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	10.725,00	10.514,71	10.308,54	10.106,41	9.908,24	9.713,96	9.523,49	9.336,76	9.153,68	8.974,20	8.798,24
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.636,00	9.447,06	9.261,82	9.080,22	8.902,17	8.727,62	8.556,49	8.388,72	8.224,23	8.062,97	7.904,88
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	12.093,80	12.335,68	12.582,39	12.834,04	13.090,72	13.352,53	13.619,58	13.891,98	14.169,82	14.453,21	14.742,28
Summe	32.454,80	32.297,44	32.152,75	32.020,66	31.901,14	31.794,12	31.699,57	31.617,45	31.547,73	31.490,39	31.445,39
Gewinn/Verlust		€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		-24.786,30	-25.253,40	-25.714,34	-26.169,30	-26.618,46	-27.061,99	-27.500,07	-27.932,88	-28.360,57	-28.783,32
Rendite		-7%	-7%	-7%	-7%	-7%	-7%	-7%	-7%	-7%	-7%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012

Variante 1,25.2.12

Rahmendaten		Betriebsdauer Stromerzeugung	
		[h/a]	[kWh _{el} /a]
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550		
Installierte Leistung [kW _{el}]	688		
P _{zusatz} [kW _{el}]	83		
BHKW 1 [kW _{el}]	550	7.093	3.901.150
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	138	6.675	917.813
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.818.963		
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	26,55		

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	12
zusätzliche Speicherkapazität [h]	6
zusätzliche Speichergröße [m ³]	1976
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	15

Rahmendaten	
Strombezugskosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	192.268,01	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53
zusätzlicher Gasspeicher	80.758,69	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	7.012,50	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	6.600,00	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76
zusätzlicher Wärmespeicher	23.706,24	2.639,13	2.639,13	2.639,13	2.639,13	2.639,13	2.639,13	2.639,13	2.639,13	2.639,13	2.639,13
Summe	324.345,44	36.108,25	36.108,25	36.108,25	36.108,25	36.108,25	36.108,25	36.108,25	36.108,25	36.108,25	36.108,25
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.706,03	2.760,15	2.815,36	2.871,66	2.929,10	2.987,68	3.047,43	3.108,38	3.170,55	3.233,96	3.298,64
Gasspeicher	2.722,76	2.777,22	2.832,76	2.889,42	2.947,20	3.006,15	3.066,27	3.127,60	3.190,15	3.253,95	3.319,03
Gasstrecke / Aufbereitung	70,13	71,53	72,96	74,42	75,91	77,42	78,97	80,55	82,16	83,81	85,48
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	66,00	67,32	68,67	70,04	71,44	72,87	74,33	75,81	77,33	78,88	80,45
Wärmespeicher	237,06	241,80	246,64	251,57	256,60	261,74	266,97	272,31	277,76	283,31	288,98
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	9.206,98	9.391,12	9.578,94	9.770,52	9.965,93	10.165,25	10.368,56	10.575,93	10.787,44	11.003,19	11.223,26
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	1.621,73	1.654,16	1.687,24	1.720,99	1.755,41	1.790,52	1.826,33	1.862,85	1.900,11	1.938,11	1.976,88
Summe	52.621,73	7.331,81	7.364,90	7.398,64	7.433,06	7.468,17	7.503,98	7.540,51	7.577,76	7.615,77	7.654,53
Ausgaben		58.019,86	58.344,54	58.675,72	59.013,51	59.358,07	59.709,51	60.067,98	60.433,62	60.806,58	61.186,99
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	10.727,14	10.516,81	10.310,59	10.108,43	9.910,22	9.715,90	9.525,40	9.338,62	9.155,51	8.975,99	8.799,99
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.637,93	9.448,95	9.263,67	9.082,03	8.903,95	8.729,37	8.558,20	8.390,39	8.225,88	8.064,58	7.906,46
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	14.605,15	14.897,25	15.195,20	15.499,10	15.809,08	16.125,26	16.447,77	16.776,72	17.112,26	17.454,50	17.803,59
Summe	34.970,22	34.863,00	34.769,46	34.689,56	34.623,26	34.570,53	34.531,37	34.505,74	34.493,65	34.495,08	34.510,04
Gewinn/Verlust	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		-23.156,86	-23.575,08	-23.986,16	-24.390,26	-24.787,53	-25.178,14	-25.562,24	-25.939,97	-26.311,49	-26.676,95
Rendite		-6%	-6%	-6%	-6%	-7%	-7%	-7%	-7%	-7%	-7%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,013	0,013	0,013

Variante 1,25.3.12

Rahmendaten		Betriebsdauer Stromerzeugung [h/a] [kWh _{el} /a]	
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550		
Installierte Leistung [kW _{el}]	688		
P _{zusatz} [kW _{el}]	83		
BHKW 1 [kW _{el}]	550	7.045	3.874.750
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	138	6.860	943.250
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.818.000		
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	30,23		

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	12
zusätzliche Speicherkapazität [h]	6
zusätzliche Speichergröße [m ³]	1976
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	17

Rahmendaten	
Strombezugs-kosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	192.268,01	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53
zusätzlicher Gasspeicher	80.758,69	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	7.012,50	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	6.600,00	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76
zusätzlicher Wärmespeicher	26.523,46	2.952,76	2.952,76	2.952,76	2.952,76	2.952,76	2.952,76	2.952,76	2.952,76	2.952,76	2.952,76
Summe	327.162,66	36.421,88	36.421,88	36.421,88	36.421,88	36.421,88	36.421,88	36.421,88	36.421,88	36.421,88	36.421,88
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.705,49	2.759,60	2.814,79	2.871,09	2.928,51	2.987,08	3.046,82	3.107,76	3.169,91	3.233,31	3.297,98
Gasspeicher	2.722,76	2.777,22	2.832,76	2.889,42	2.947,20	3.006,15	3.066,27	3.127,60	3.190,15	3.253,95	3.319,03
Gasstrecke / Aufbereitung	70,13	71,53	72,96	74,42	75,91	77,42	78,97	80,55	82,16	83,81	85,48
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	66,00	67,32	68,67	70,04	71,44	72,87	74,33	75,81	77,33	78,88	80,45
Wärmespeicher	265,23	270,54	275,95	281,47	287,10	292,84	298,70	304,67	310,76	316,98	323,32
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	9.234,61	9.419,30	9.607,69	9.799,84	9.995,84	10.195,76	10.399,67	10.607,67	10.819,82	11.036,22	11.256,94
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	1.635,81	1.668,53	1.701,90	1.735,94	1.770,66	1.806,07	1.842,19	1.879,04	1.916,62	1.954,95	1.994,05
Summe	52.635,81	7.346,18	7.379,55	7.413,59	7.448,31	7.483,72	7.519,84	7.556,69	7.594,27	7.632,60	7.671,70
Ausgaben		58.376,05	58.701,58	59.033,62	59.372,30	59.717,76	60.070,12	60.429,53	60.796,13	61.170,06	61.551,47
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	10.725,00	10.514,71	10.308,54	10.106,41	9.908,24	9.713,96	9.523,49	9.336,76	9.153,68	8.974,20	8.798,24
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.636,00	9.447,06	9.261,82	9.080,22	8.902,17	8.727,62	8.556,49	8.388,72	8.224,23	8.062,97	7.904,88
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	16.626,34	16.958,87	17.298,04	17.644,00	17.996,88	18.356,82	18.723,96	19.098,44	19.480,41	19.870,01	20.267,41
Summe	36.987,34	36.920,63	36.868,40	36.830,63	36.807,30	36.798,41	36.803,94	36.823,91	36.858,32	36.907,19	36.970,53
Gewinn/Verlust		€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		-21.455,42	-21.833,18	-22.202,99	-22.565,00	-22.919,35	-23.266,18	-23.605,62	-23.937,81	-24.262,88	-24.580,95
Rendite		-6%	-6%	-6%	-6%	-6%	-6%	-6%	-6%	-6%	-6%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,013	0,013	0,013	0,013

Variante 1,25.1.24

Rahmendaten	Betriebsdauer Stromerzeugung	
	[h/a]	[kWh _{el} /a]
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550	
Installierte Leistung [kW _{el}]	688	
P _{zusatz} [kW _{el}]	83	
BHKW 1 [kW _{el}]	550	6.935
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	138	7.300
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.818.000	
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	21,99	

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	24
zusätzliche Speicherkapazität [h]	18
zusätzliche Speichergröße [m ³]	5927
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	10

Rahmendaten	
Strombezugs-kosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	192.268,01	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53
zusätzlicher Gasspeicher	115.539,58	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	7.012,50	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	6.600,00	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76
zusätzlicher Wärmespeicher	16.317,81	1.816,60	1.816,60	1.816,60	1.816,60	1.816,60	1.816,60	1.816,60	1.816,60	1.816,60	1.816,60
Summe	351.737,90	39.157,76	39.157,76	39.157,76	39.157,76	39.157,76	39.157,76	39.157,76	39.157,76	39.157,76	39.157,76
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.705,49	2.759,60	2.814,79	2.871,09	2.928,51	2.987,08	3.046,82	3.107,76	3.169,91	3.233,31	3.297,98
Gasspeicher	3.766,19	3.841,51	3.918,34	3.996,71	4.076,64	4.158,18	4.241,34	4.326,17	4.412,69	4.500,94	4.590,96
Gasstrecke / Aufbereitung	70,13	71,53	72,96	74,42	75,91	77,42	78,97	80,55	82,16	83,81	85,48
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	66,00	67,32	68,67	70,04	71,44	72,87	74,33	75,81	77,33	78,88	80,45
Wärmespeicher	163,18	166,44	169,77	173,17	176,63	180,16	183,77	187,44	191,19	195,01	198,91
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	10.175,98	10.379,50	10.587,09	10.798,83	11.014,81	11.235,11	11.459,81	11.689,00	11.922,79	12.161,24	12.404,47
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	1.758,69	1.793,86	1.829,74	1.866,34	1.903,66	1.941,74	1.980,57	2.020,18	2.060,59	2.101,80	2.143,83
Summe	52.758,69	7.471,52	7.507,39	7.543,99	7.581,31	7.619,39	7.658,22	7.697,83	7.738,24	7.779,45	7.821,49
Ausgaben		62.197,46	62.544,70	62.898,88	63.260,15	63.628,65	64.004,51	64.387,89	64.778,94	65.177,81	65.584,66
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	10.725,00	10.514,71	10.308,54	10.106,41	9.908,24	9.713,96	9.523,49	9.336,76	9.153,68	8.974,20	8.798,24
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.636,00	9.447,06	9.261,82	9.080,22	8.902,17	8.727,62	8.556,49	8.388,72	8.224,23	8.062,97	7.904,88
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	12.093,80	12.335,68	12.582,39	12.834,04	13.090,72	13.352,53	13.619,58	13.891,98	14.169,82	14.453,21	14.742,28
Summe	32.454,80	32.297,44	32.152,75	32.020,66	31.901,14	31.794,12	31.699,57	31.617,45	31.547,73	31.490,39	31.445,39
Gewinn/Verlust	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		-29.900,01	-30.391,95	-30.878,22	-31.359,02	-31.834,53	-32.304,94	-32.770,44	-33.231,21	-33.687,43	-34.139,27
Rendite		-7%	-8%	-8%	-8%	-8%	-8%	-8%	-8%	-8%	-8%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,014	0,014

Variante 1,25.2.24

Rahmendaten		Betriebsdauer Stromerzeugung	
		[h/a]	[kWh _{el} /a]
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550		
Installierte Leistung [kW _{el}]	688		
P _{zusatz} [kW _{el}]	83		
BHKW 1 [kW _{el}]	550	7.039	3.871.450
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	138	6.882	946.275
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.817.725		
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	28,02		

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	24
zusätzliche Speicherkapazität [h]	18
zusätzliche Speichergröße [m ³]	5927
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	32

Rahmendaten	
Strombezugskosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	192.268,01	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53
zusätzlicher Gasspeicher	115.539,58	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	7.012,50	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	6.600,00	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76
zusätzlicher Wärmespeicher	45.269,68	5.039,72	5.039,72	5.039,72	5.039,72	5.039,72	5.039,72	5.039,72	5.039,72	5.039,72	5.039,72
Summe	380.689,77	42.380,87	42.380,87	42.380,87	42.380,87	42.380,87	42.380,87	42.380,87	42.380,87	42.380,87	42.380,87
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.705,34	2.759,44	2.814,63	2.870,93	2.928,34	2.986,91	3.046,65	3.107,58	3.169,73	3.233,13	3.297,79
Gasspeicher	3.766,19	3.841,51	3.918,34	3.996,71	4.076,64	4.158,18	4.241,34	4.326,17	4.412,69	4.500,94	4.590,96
Gasstrecke / Aufbereitung	70,13	71,53	72,96	74,42	75,91	77,42	78,97	80,55	82,16	83,81	85,48
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	66,00	67,32	68,67	70,04	71,44	72,87	74,33	75,81	77,33	78,88	80,45
Wärmespeicher	452,70	461,75	470,99	480,41	490,01	499,81	509,81	520,01	530,41	541,01	551,83
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	10.465,35	10.674,65	10.888,15	11.105,91	11.328,03	11.554,59	11.785,68	12.021,39	12.261,82	12.507,06	12.757,20
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	1.903,45	1.941,52	1.980,35	2.019,96	2.060,35	2.101,56	2.143,59	2.186,46	2.230,19	2.274,80	2.320,29
Summe	52.903,45	7.619,17	7.658,00	7.697,61	7.738,01	7.779,21	7.821,25	7.864,12	7.907,85	7.952,45	7.997,95
Ausgaben		65.863,37	66.219,47	66.582,69	66.953,17	67.331,07	67.716,52	68.109,68	68.510,70	68.919,74	69.336,97
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	10.724,39	10.514,11	10.307,95	10.105,83	9.907,68	9.713,41	9.522,95	9.336,22	9.153,16	8.973,69	8.797,73
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.635,45	9.446,52	9.261,29	9.079,70	8.901,67	8.727,12	8.556,00	8.388,24	8.223,76	8.062,51	7.904,43
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	15.411,74	15.719,97	16.034,37	16.355,06	16.682,16	17.015,80	17.356,12	17.703,24	18.057,30	18.418,45	18.786,82
Summe	35.771,57	35.680,60	35.603,61	35.540,59	35.491,50	35.456,33	35.435,07	35.427,70	35.434,23	35.454,65	35.488,98
Gewinn/Verlust		€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		-30.182,78	-30.615,86	-31.042,10	-31.461,67	-31.874,73	-32.281,45	-32.681,97	-33.076,47	-33.465,09	-33.847,99
Rendite		-7%	-7%	-7%	-7%	-7%	-7%	-7%	-8%	-8%	-8%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014

Variante 1,25.3.24

Rahmendaten	Betriebsdauer Stromerzeugung	
	[h/a]	[kWh _{el} /a]
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550	
Installierte Leistung [kW _{el}]	688	
P _{zusatz} [kW _{el}]	83	
BHKW 1 [kW _{el}]	550	7.012 3.856.600
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	138	6.992 961.400
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.818.000	
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	33,35	

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	24
zusätzliche Speicherkapazität [h]	18
zusätzliche Speichergröße [m ³]	5927
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	26

Rahmendaten	
Strombezugskosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	192.268,01	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53	21.404,53
zusätzlicher Gasspeicher	115.539,58	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	7.012,50	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68	780,68
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	6.600,00	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76	734,76
zusätzlicher Wärmespeicher	38.261,67	4.259,54	4.259,54	4.259,54	4.259,54	4.259,54	4.259,54	4.259,54	4.259,54	4.259,54	4.259,54
Summe	373.681,76	41.600,69	41.600,69	41.600,69	41.600,69	41.600,69	41.600,69	41.600,69	41.600,69	41.600,69	41.600,69
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.705,49	2.759,60	2.814,79	2.871,09	2.928,51	2.987,08	3.046,82	3.107,76	3.169,91	3.233,31	3.297,98
Gasspeicher	3.766,19	3.841,51	3.918,34	3.996,71	4.076,64	4.158,18	4.241,34	4.326,17	4.412,69	4.500,94	4.590,96
Gasstrecke / Aufbereitung	70,13	71,53	72,96	74,42	75,91	77,42	78,97	80,55	82,16	83,81	85,48
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	66,00	67,32	68,67	70,04	71,44	72,87	74,33	75,81	77,33	78,88	80,45
Wärmespeicher	382,62	390,27	398,07	406,04	414,16	422,44	430,89	439,51	448,30	457,26	466,41
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	10.395,42	10.603,33	10.815,40	11.031,70	11.252,34	11.477,38	11.706,93	11.941,07	12.179,89	12.423,49	12.671,96
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	1.868,41	1.905,78	1.943,89	1.982,77	2.022,43	2.062,87	2.104,13	2.146,21	2.189,14	2.232,92	2.277,58
Summe	52.868,41	7.583,43	7.621,55	7.660,42	7.700,08	7.740,53	7.781,78	7.823,87	7.866,79	7.910,57	7.955,23
Ausgaben		64.976,13	65.330,09	65.691,12	66.059,38	66.435,00	66.818,13	67.208,93	67.607,54	68.014,12	68.428,84
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	10.725,00	10.514,71	10.308,54	10.106,41	9.908,24	9.713,96	9.523,49	9.336,76	9.153,68	8.974,20	8.798,24
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.636,00	9.447,06	9.261,82	9.080,22	8.902,17	8.727,62	8.556,49	8.388,72	8.224,23	8.062,97	7.904,88
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	18.345,25	18.712,15	19.086,39	19.468,12	19.857,48	20.254,63	20.659,73	21.072,92	21.494,38	21.924,27	22.362,75
Summe	38.706,25	38.673,92	38.656,75	38.654,75	38.667,90	38.696,22	38.739,71	38.798,40	38.872,30	38.961,44	39.065,86
Gewinn/Verlust		€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		-26.302,21	-26.673,33	-27.036,37	-27.391,48	-27.738,78	-28.078,42	-28.410,53	-28.735,24	-29.052,68	-29.362,97
Rendite		-6%	-6%	-6%	-6%	-7%	-7%	-7%	-7%	-7%	-7%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,013	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014

Variante 1,75.1.6

Rahmendaten		Betriebsdauer Stromerzeugung	
		[h/a]	[kWh _{el} /a]
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550		
Installierte Leistung [kW _{el}]	963		
P _{zusatz} [kW _{el}]	358		
BHKW 1 [kW _{el}]	550	5.475	3.011.250
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	413	4.380	1.806.750
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.818.000		
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	38,73		

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	6
zusätzliche Speicherkapazität [h]	0
zusätzliche Speichergröße [m ³]	0
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	38

Rahmendaten	
Strombezugskosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	403.611,82	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70
zusätzlicher Gasspeicher	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	30.387,50	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	28.600,00	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94
zusätzlicher Wärmespeicher	51.659,70	5.751,10	5.751,10	5.751,10	5.751,10	5.751,10	5.751,10	5.751,10	5.751,10	5.751,10	5.751,10
Summe	528.259,03	58.809,24	58.809,24	58.809,24	58.809,24	58.809,24	58.809,24	58.809,24	58.809,24	58.809,24	58.809,24
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.705,49	2.759,60	2.814,79	2.871,09	2.928,51	2.987,08	3.046,82	3.107,76	3.169,91	3.233,31	3.297,98
Gasspeicher	300,00	306,00	312,12	318,36	324,73	331,22	337,85	344,61	351,50	358,53	365,70
Gasstrecke / Aufbereitung	303,88	309,95	316,15	322,47	328,92	335,50	342,21	349,06	356,04	363,16	370,42
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	286,00	291,72	297,55	303,51	309,58	315,77	322,08	328,52	335,09	341,80	348,63
Wärmespeicher	516,60	526,93	537,47	548,22	559,18	570,36	581,77	593,41	605,28	617,38	629,73
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	7.516,96	7.667,30	7.820,65	7.977,06	8.136,60	8.299,34	8.465,32	8.634,63	8.807,32	8.983,47	9.163,14
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	2.641,30	2.694,12	2.748,00	2.802,96	2.859,02	2.916,20	2.974,53	3.034,02	3.094,70	3.156,59	3.219,72
Summe	53.641,30	8.371,77	8.425,66	8.480,62	8.536,68	8.593,86	8.652,18	8.711,67	8.772,35	8.834,25	8.897,38
Ausgaben		80.037,00	80.348,00	80.665,22	80.988,79	81.318,83	81.655,47	81.998,84	82.349,08	82.706,32	83.070,71
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	46.475,00	45.563,73	44.670,32	43.794,43	42.935,72	42.093,84	41.268,47	40.459,28	39.665,97	38.888,20	38.125,69
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.636,00	9.447,06	9.261,82	9.080,22	8.902,17	8.727,62	8.556,49	8.388,72	8.224,23	8.062,97	7.904,88
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	21.301,29	21.727,32	22.161,87	22.605,10	23.057,20	23.518,35	23.988,72	24.468,49	24.957,86	25.457,02	25.966,16
Summe	77.412,29	76.738,10	76.094,01	75.479,75	74.895,10	74.339,81	73.813,68	73.316,49	72.848,06	72.408,19	71.996,72
Gewinn/Verlust		€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		-3.298,90	-4.253,99	-5.185,47	-6.093,69	-6.979,02	-7.841,79	-8.682,35	-9.501,02	-10.298,13	-11.073,99
Rendite		-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-2%	-2%	-2%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017

Variante 1,75.2.6

Rahmendaten	Betriebsdauer Stromerzeugung	
	[h/a]	[kWh _{el} /a]
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550	
Installierte Leistung [kW _{el}]	963	
P _{zusatz} [kW _{el}]	358	
BHKW 1 [kW _{el}]	550	5.475
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	413	4.381
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.818.413	
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	41,34	

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	6
zusätzliche Speicherkapazität [h]	0
zusätzliche Speichergröße [m ³]	0
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	41

Rahmendaten	
Strombezugskosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	403.611,82	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70
zusätzlicher Gasspeicher	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	30.387,50	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	28.600,00	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94
zusätzlicher Wärmespeicher	54.632,61	6.082,06	6.082,06	6.082,06	6.082,06	6.082,06	6.082,06	6.082,06	6.082,06	6.082,06	6.082,06
Summe	531.231,93	59.140,21	59.140,21	59.140,21	59.140,21	59.140,21	59.140,21	59.140,21	59.140,21	59.140,21	59.140,21
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.705,72	2.759,84	2.815,03	2.871,34	2.928,76	2.987,34	3.047,08	3.108,03	3.170,19	3.233,59	3.298,26
Gasspeicher	300,00	306,00	312,12	318,36	324,73	331,22	337,85	344,61	351,50	358,53	365,70
Gasstrecke / Aufbereitung	303,88	309,95	316,15	322,47	328,92	335,50	342,21	349,06	356,04	363,16	370,42
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	286,00	291,72	297,55	303,51	309,58	315,77	322,08	328,52	335,09	341,80	348,63
Wärmespeicher	546,33	557,25	568,40	579,77	591,36	603,19	615,25	627,56	640,11	652,91	665,97
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	7.546,92	7.697,86	7.851,82	8.008,86	8.169,03	8.332,41	8.499,06	8.669,04	8.842,42	9.019,27	9.199,66
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	2.656,16	2.709,28	2.763,47	2.818,74	2.875,11	2.932,61	2.991,27	3.051,09	3.112,11	3.174,36	3.237,84
Summe	53.656,16	8.386,94	8.441,12	8.496,39	8.552,77	8.610,27	8.668,92	8.728,75	8.789,77	8.852,01	8.915,50
Ausgaben		80.413,68	80.725,60	81.043,76	81.368,27	81.699,28	82.036,91	82.381,29	82.732,56	83.090,85	83.456,31
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	46.478,98	45.567,63	44.674,14	43.798,18	42.939,39	42.097,44	41.272,00	40.462,75	39.669,36	38.891,53	38.128,95
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.636,83	9.447,87	9.262,62	9.081,00	8.902,94	8.728,37	8.557,22	8.389,44	8.224,94	8.063,66	7.905,55
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	22.739,73	23.194,52	23.658,41	24.131,58	24.614,21	25.106,50	25.608,63	26.120,80	26.643,21	27.176,08	27.719,60
Summe	78.855,53	78.210,02	77.595,17	77.010,76	76.456,54	75.932,31	75.437,85	74.972,98	74.537,51	74.131,27	73.754,10
Gewinn/Verlust		€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		-2.203,67	-3.130,43	-4.033,00	-4.911,73	-5.766,97	-6.599,06	-7.408,31	-8.195,05	-8.959,58	-9.702,21
Rendite		0%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-2%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017

Variante 1,75.3.6

Rahmendaten		Betriebsdauer Stromerzeugung	
		[h/a]	[kWh _{el} /a]
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550		
Installierte Leistung [kW _{el}]	963		
P _{zusatz} [kW _{el}]	358		
BHKW 1 [kW _{el}]	550	5.388	2.963.400
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	413	4.496	1.854.600
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.818.000		
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	46,51		

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	6
zusätzliche Speicherkapazität [h]	0
zusätzliche Speichergröße [m ³]	0
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	42

Rahmendaten	
Strombezugskosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	403.611,82	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70
zusätzlicher Gasspeicher	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	30.387,50	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	28.600,00	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94
zusätzlicher Wärmespeicher	55.591,63	6.188,82	6.188,82	6.188,82	6.188,82	6.188,82	6.188,82	6.188,82	6.188,82	6.188,82	6.188,82
Summe	532.190,95	59.246,97	59.246,97	59.246,97	59.246,97	59.246,97	59.246,97	59.246,97	59.246,97	59.246,97	59.246,97
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.705,49	2.759,60	2.814,79	2.871,09	2.928,51	2.987,08	3.046,82	3.107,76	3.169,91	3.233,31	3.297,98
Gasspeicher	300,00	306,00	312,12	318,36	324,73	331,22	337,85	344,61	351,50	358,53	365,70
Gasstrecke / Aufbereitung	303,88	309,95	316,15	322,47	328,92	335,50	342,21	349,06	356,04	363,16	370,42
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	286,00	291,72	297,55	303,51	309,58	315,77	322,08	328,52	335,09	341,80	348,63
Wärmespeicher	555,92	567,03	578,38	589,94	601,74	613,78	626,05	638,57	651,34	664,37	677,66
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	7.556,28	7.707,41	7.861,56	8.018,79	8.179,16	8.342,75	8.509,60	8.679,79	8.853,39	9.030,46	9.211,07
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	2.660,95	2.714,17	2.768,46	2.823,83	2.880,30	2.937,91	2.996,67	3.056,60	3.117,73	3.180,09	3.243,69
Summe	53.660,95	8.391,83	8.446,11	8.501,48	8.557,96	8.615,56	8.674,32	8.734,25	8.795,39	8.857,74	8.921,34
Ausgaben		80.534,88	80.847,09	81.165,54	81.490,36	81.821,67	82.159,61	82.504,31	82.855,91	83.214,53	83.580,33
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	46.475,00	45.563,73	44.670,32	43.794,43	42.935,72	42.093,84	41.268,47	40.459,28	39.665,97	38.888,20	38.125,69
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.636,00	9.447,06	9.261,82	9.080,22	8.902,17	8.727,62	8.556,49	8.388,72	8.224,23	8.062,97	7.904,88
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	25.581,89	26.093,52	26.615,39	27.147,70	27.690,66	28.244,47	28.809,36	29.385,55	29.973,26	30.572,72	31.184,18
Summe	81.692,89	81.104,31	80.547,54	80.022,35	79.528,55	79.065,93	78.634,32	78.233,55	77.863,45	77.523,90	77.214,74
Gewinn/Verlust		€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		569,42	-299,55	-1.143,19	-1.961,81	-2.755,74	-3.525,29	-4.270,77	-4.992,45	-5.690,64	-6.365,59
Rendite		0%	0%	0%	0%	0%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017

Variante 1,75.1.12

Rahmendaten		Betriebsdauer Stromerzeugung	
		[h/a]	[kWh _{el} /a]
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550		
Installierte Leistung [kW _{el}]	963		
P _{zusatz} [kW _{el}]	358		
BHKW 1 [kW _{el}]	550	5.475	3.011.250
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	413	4.380	1.806.750
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.818.000		
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	39,38		

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	12
zusätzliche Speicherkapazität [h]	6
zusätzliche Speichergröße [m ³]	1976
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	43

Rahmendaten	
Strombezugskosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	403.611,82	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70
zusätzlicher Gasspeicher	80.758,69	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	30.387,50	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	28.600,00	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94
zusätzlicher Wärmespeicher	56.534,90	6.293,83	6.293,83	6.293,83	6.293,83	6.293,83	6.293,83	6.293,83	6.293,83	6.293,83	6.293,83
Summe	613.892,91	68.342,57	68.342,57	68.342,57	68.342,57	68.342,57	68.342,57	68.342,57	68.342,57	68.342,57	68.342,57
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.705,49	2.759,60	2.814,79	2.871,09	2.928,51	2.987,08	3.046,82	3.107,76	3.169,91	3.233,31	3.297,98
Gasspeicher	2.722,76	2.777,22	2.832,76	2.889,42	2.947,20	3.006,15	3.066,27	3.127,60	3.190,15	3.253,95	3.319,03
Gasstrecke / Aufbereitung	303,88	309,95	316,15	322,47	328,92	335,50	342,21	349,06	356,04	363,16	370,42
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	286,00	291,72	297,55	303,51	309,58	315,77	322,08	328,52	335,09	341,80	348,63
Wärmespeicher	565,35	576,66	588,19	599,95	611,95	624,19	636,67	649,41	662,40	675,64	689,16
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	9.988,48	10.188,25	10.392,01	10.599,85	10.811,85	11.028,09	11.248,65	11.473,62	11.703,09	11.937,15	12.175,90
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	3.069,46	3.130,85	3.193,47	3.257,34	3.322,49	3.388,94	3.456,72	3.525,85	3.596,37	3.668,29	3.741,66
Summe	54.069,46	8.808,51	8.871,12	8.934,99	9.000,14	9.066,59	9.134,37	9.203,50	9.274,02	9.345,95	9.419,31
Ausgaben		92.528,00	92.898,15	93.275,71	93.660,82	94.053,63	94.454,30	94.862,98	95.279,84	95.705,03	96.138,73
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	46.475,00	45.563,73	44.670,32	43.794,43	42.935,72	42.093,84	41.268,47	40.459,28	39.665,97	38.888,20	38.125,69
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.636,00	9.447,06	9.261,82	9.080,22	8.902,17	8.727,62	8.556,49	8.388,72	8.224,23	8.062,97	7.904,88
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	21.657,84	22.090,99	22.532,81	22.983,47	23.443,14	23.912,00	24.390,24	24.878,05	25.375,61	25.883,12	26.400,78
Summe	77.768,84	77.101,78	76.464,95	75.858,12	75.281,03	74.733,46	74.215,20	73.726,05	73.265,81	72.834,29	72.431,34
Gewinn/Verlust		€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		-15.426,22	-16.433,20	-17.417,59	-18.379,79	-19.320,17	-20.239,10	-21.136,94	-22.014,03	-22.870,74	-23.707,38
Rendite		-2%	-2%	-3%	-3%	-3%	-3%	-3%	-3%	-3%	-4%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,019	0,019	0,019	0,019	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020

Variante 1,75.2.12

Rahmendaten		Betriebsdauer Stromerzeugung	
		[h/a]	[kWh _{el} /a]
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550		
Installierte Leistung [kW _{el}]	963		
P _{zusatz} [kW _{el}]	358		
BHKW 1 [kW _{el}]	550	5.320	2.926.000
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	413	4.588	1.892.550
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.818.550		
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	48,72		

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	12
zusätzliche Speicherkapazität [h]	6
zusätzliche Speichergröße [m ³]	1976
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	60

Rahmendaten	
Strombezugskosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	403.611,82	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70
zusätzlicher Gasspeicher	80.758,69	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	30.387,50	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	28.600,00	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94
zusätzlicher Wärmespeicher	70.301,05	7.826,37	7.826,37	7.826,37	7.826,37	7.826,37	7.826,37	7.826,37	7.826,37	7.826,37	7.826,37
Summe	627.659,06	69.875,10	69.875,10	69.875,10	69.875,10	69.875,10	69.875,10	69.875,10	69.875,10	69.875,10	69.875,10
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.705,80	2.759,92	2.815,12	2.871,42	2.928,85	2.987,42	3.047,17	3.108,11	3.170,28	3.233,68	3.298,36
Gasspeicher	2.722,76	2.777,22	2.832,76	2.889,42	2.947,20	3.006,15	3.066,27	3.127,60	3.190,15	3.253,95	3.319,03
Gasstrecke / Aufbereitung	303,88	309,95	316,15	322,47	328,92	335,50	342,21	349,06	356,04	363,16	370,42
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	286,00	291,72	297,55	303,51	309,58	315,77	322,08	328,52	335,09	341,80	348,63
Wärmespeicher	703,01	717,07	731,41	746,04	760,96	776,18	791,70	807,54	823,69	840,16	856,97
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	10.126,45	10.328,98	10.535,56	10.746,27	10.961,19	11.180,42	11.404,02	11.632,10	11.864,75	12.102,04	12.344,08
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	3.138,30	3.201,06	3.265,08	3.330,38	3.396,99	3.464,93	3.534,23	3.604,91	3.677,01	3.750,55	3.825,56
Summe	54.138,30	8.878,71	8.942,74	9.008,04	9.074,64	9.142,58	9.211,88	9.282,57	9.354,67	9.428,21	9.503,22
Ausgaben		94.271,47	94.645,85	95.027,71	95.417,21	95.814,50	96.219,73	96.633,07	97.054,68	97.484,72	97.923,35
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	46.480,31	45.568,93	44.675,42	43.799,43	42.940,62	42.098,64	41.273,18	40.463,90	39.670,49	38.892,64	38.130,04
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.637,10	9.448,14	9.262,88	9.081,25	8.903,19	8.728,62	8.557,47	8.389,68	8.225,17	8.063,89	7.905,78
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	26.794,24	27.330,13	27.876,73	28.434,26	29.002,95	29.583,01	30.174,67	30.778,16	31.393,72	32.021,60	32.662,03
Summe	82.911,65	82.347,19	81.815,03	81.314,95	80.846,76	80.410,27	80.005,32	79.631,74	79.289,39	78.978,13	78.697,85
Gewinn/Verlust		€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		-11.924,28	-12.830,82	-13.712,76	-14.570,45	-15.404,23	-16.214,42	-17.001,33	-17.765,29	-18.506,58	-19.225,51
Rendite		-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-3%	-3%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020

Variante 1,75.3.12

Rahmendaten		Betriebsdauer Stromerzeugung	
		[h/a]	[kWh _{el} /a]
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550		
Installierte Leistung [kW _{el}]	963		
P _{zusatz} [kW _{el}]	358		
BHKW 1 [kW _{el}]	550	5.088	2.798.400
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	413	4.896	2.019.600
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.818.000		
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	56,19		

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	12
zusätzliche Speicherkapazität [h]	6
zusätzliche Speichergröße [m ³]	1976
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	57

Rahmendaten	
Strombezugskosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	403.611,82	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70
zusätzlicher Gasspeicher	80.758,69	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	30.387,50	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	28.600,00	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94
zusätzlicher Wärmespeicher	68.168,25	7.588,93	7.588,93	7.588,93	7.588,93	7.588,93	7.588,93	7.588,93	7.588,93	7.588,93	7.588,93
Summe	625.526,26	69.637,67	69.637,67	69.637,67	69.637,67	69.637,67	69.637,67	69.637,67	69.637,67	69.637,67	69.637,67
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.705,49	2.759,60	2.814,79	2.871,09	2.928,51	2.987,08	3.046,82	3.107,76	3.169,91	3.233,31	3.297,98
Gasspeicher	2.722,76	2.777,22	2.832,76	2.889,42	2.947,20	3.006,15	3.066,27	3.127,60	3.190,15	3.253,95	3.319,03
Gasstrecke / Aufbereitung	303,88	309,95	316,15	322,47	328,92	335,50	342,21	349,06	356,04	363,16	370,42
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	286,00	291,72	297,55	303,51	309,58	315,77	322,08	328,52	335,09	341,80	348,63
Wärmespeicher	681,68	695,32	709,22	723,41	737,88	752,63	767,69	783,04	798,70	814,67	830,97
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	10.104,81	10.306,91	10.513,04	10.723,31	10.937,77	11.156,53	11.379,66	11.607,25	11.839,40	12.076,18	12.317,71
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	3.127,63	3.190,18	3.253,99	3.319,07	3.385,45	3.453,16	3.522,22	3.592,67	3.664,52	3.737,81	3.812,57
Summe	54.127,63	8.867,84	8.931,64	8.996,72	9.063,10	9.130,81	9.199,87	9.270,32	9.342,17	9.415,46	9.490,22
Ausgaben		94.001,09	94.374,80	94.755,99	95.144,81	95.541,40	95.945,92	96.358,53	96.779,39	97.208,68	97.646,54
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	46.475,00	45.563,73	44.670,32	43.794,43	42.935,72	42.093,84	41.268,47	40.459,28	39.665,97	38.888,20	38.125,69
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.636,00	9.447,06	9.261,82	9.080,22	8.902,17	8.727,62	8.556,49	8.388,72	8.224,23	8.062,97	7.904,88
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	30.905,92	31.524,04	32.154,52	32.797,61	33.453,56	34.122,63	34.805,09	35.501,19	36.211,21	36.935,44	37.674,14
Summe	87.016,92	86.534,82	86.086,66	85.672,26	85.291,45	84.944,09	84.630,05	84.349,19	84.101,41	83.886,61	83.704,71
Gewinn/Verlust		€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		-7.466,26	-8.288,14	-9.083,73	-9.853,35	-10.597,30	-11.315,87	-12.009,34	-12.677,98	-13.322,07	-13.941,83
Rendite		-1%	-1%	-1%	-1%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020

Variante 1,75.1.24

Rahmendaten	Betriebsdauer Stromerzeugung [h/a] [kWh _{el} /a]	
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550	
Installierte Leistung [kW _{el}]	963	
P _{zusatz} [kW _{el}]	358	
BHKW 1 [kW _{el}]	550	5.475 3.011.250
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	413	4.380 1.806.750
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.818.000	
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	39,38	

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	24
zusätzliche Speicherkapazität [h]	18
zusätzliche Speichergröße [m ³]	5927
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	43

Rahmendaten	
Strombezugs-kosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	403.611,82	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70
zusätzlicher Gasspeicher	115.539,58	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	30.387,50	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	28.600,00	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94
zusätzlicher Wärmespeicher	56.534,90	6.293,83	6.293,83	6.293,83	6.293,83	6.293,83	6.293,83	6.293,83	6.293,83	6.293,83	6.293,83
Summe	648.673,81	72.214,60	72.214,60	72.214,60	72.214,60	72.214,60	72.214,60	72.214,60	72.214,60	72.214,60	72.214,60
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.705,49	2.759,60	2.814,79	2.871,09	2.928,51	2.987,08	3.046,82	3.107,76	3.169,91	3.233,31	3.297,98
Gasspeicher	3.766,19	3.841,51	3.918,34	3.996,71	4.076,64	4.158,18	4.241,34	4.326,17	4.412,69	4.500,94	4.590,96
Gasstrecke / Aufbereitung	303,88	309,95	316,15	322,47	328,92	335,50	342,21	349,06	356,04	363,16	370,42
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	286,00	291,72	297,55	303,51	309,58	315,77	322,08	328,52	335,09	341,80	348,63
Wärmespeicher	565,35	576,66	588,19	599,95	611,95	624,19	636,67	649,41	662,40	675,64	689,16
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	11.031,90	11.252,54	11.477,59	11.707,14	11.941,29	12.180,11	12.423,71	12.672,19	12.925,63	13.184,15	13.447,83
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	3.243,37	3.308,24	3.374,40	3.441,89	3.510,73	3.580,94	3.652,56	3.725,61	3.800,12	3.876,13	3.953,65
Summe	54.243,37	8.985,89	9.052,05	9.119,54	9.188,38	9.258,59	9.330,21	9.403,26	9.477,78	9.553,78	9.631,30
Ausgaben		97.641,71	98.036,70	98.439,59	98.850,54	99.269,70	99.697,25	100.133,35	100.578,17	101.031,89	101.494,68
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	46.475,00	45.563,73	44.670,32	43.794,43	42.935,72	42.093,84	41.268,47	40.459,28	39.665,97	38.888,20	38.125,69
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.636,00	9.447,06	9.261,82	9.080,22	8.902,17	8.727,62	8.556,49	8.388,72	8.224,23	8.062,97	7.904,88
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	21.657,84	22.090,99	22.532,81	22.983,47	23.443,14	23.912,00	24.390,24	24.878,05	25.375,61	25.883,12	26.400,78
Summe	77.768,84	77.101,78	76.464,95	75.858,12	75.281,03	74.733,46	74.215,20	73.726,05	73.265,81	72.834,29	72.431,34
Gewinn/Verlust	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		-20.539,93	-21.571,75	-22.581,47	-23.569,51	-24.536,24	-25.482,05	-26.407,30	-27.312,37	-28.197,60	-29.063,34
Rendite		-3%	-3%	-3%	-3%	-3%	-3%	-4%	-4%	-4%	-4%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,020	0,020	0,020	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021

Variante 1,75.2.24

Rahmendaten		Betriebsdauer Stromerzeugung	
		[h/a]	[kWh _{el} /a]
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550		
Installierte Leistung [kW _{el}]	963		
P _{zusatz} [kW _{el}]	358		
BHKW 1 [kW _{el}]	550	5.008	2.754.400
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	413	5.007	2.065.388
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.819.788		
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	56,05		

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	24
zusätzliche Speicherkapazität [h]	18
zusätzliche Speichergröße [m ³]	5927
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	75

Rahmendaten	
Strombezugskosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	403.611,82	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70
zusätzlicher Gasspeicher	115.539,58	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	30.387,50	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	28.600,00	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94
zusätzlicher Wärmespeicher	79.264,52	8.824,24	8.824,24	8.824,24	8.824,24	8.824,24	8.824,24	8.824,24	8.824,24	8.824,24	8.824,24
Summe	671.403,42	74.745,01	74.745,01	74.745,01	74.745,01	74.745,01	74.745,01	74.745,01	74.745,01	74.745,01	74.745,01
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.706,50	2.760,63	2.815,84	2.872,15	2.929,60	2.988,19	3.047,95	3.108,91	3.171,09	3.234,51	3.299,20
Gasspeicher	3.766,19	3.841,51	3.918,34	3.996,71	4.076,64	4.158,18	4.241,34	4.326,17	4.412,69	4.500,94	4.590,96
Gasstrecke / Aufbereitung	303,88	309,95	316,15	322,47	328,92	335,50	342,21	349,06	356,04	363,16	370,42
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	286,00	291,72	297,55	303,51	309,58	315,77	322,08	328,52	335,09	341,80	348,63
Wärmespeicher	792,65	808,50	824,67	841,16	857,98	875,14	892,65	910,50	928,71	947,28	966,23
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	11.260,20	11.485,41	11.715,12	11.949,42	12.188,41	12.432,17	12.680,82	12.934,43	13.193,12	13.456,99	13.726,12
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	3.357,02	3.424,16	3.492,64	3.562,49	3.633,74	3.706,42	3.780,55	3.856,16	3.933,28	4.011,95	4.092,19
Summe	54.357,02	9.101,81	9.170,29	9.240,15	9.311,40	9.384,07	9.458,20	9.533,81	9.610,93	9.689,60	9.769,84
Ausgaben		100.520,91	100.922,87	101.332,88	101.751,08	102.177,65	102.612,75	103.056,55	103.509,23	103.970,96	104.441,93
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	46.492,24	45.580,63	44.686,89	43.810,68	42.951,65	42.109,46	41.283,78	40.474,29	39.680,68	38.902,63	38.139,83
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.639,58	9.450,56	9.265,26	9.083,59	8.905,48	8.730,86	8.559,67	8.391,83	8.227,28	8.065,97	7.907,81
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	30.826,00	31.442,52	32.071,38	32.712,80	33.367,06	34.034,40	34.715,09	35.409,39	36.117,58	36.839,93	37.576,73
Summe	86.957,82	86.473,72	86.023,53	85.607,07	85.224,18	84.874,72	84.558,54	84.275,51	84.025,54	83.808,52	83.624,37
Gewinn/Verlust	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		-14.047,19	-14.899,35	-15.725,81	-16.526,90	-17.302,93	-18.054,21	-18.781,04	-19.483,69	-20.162,44	-20.817,56
Rendite		-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-3%	-3%	-3%	-3%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,022	0,022

Variante 1,75.3.24

Rahmendaten	Betriebsdauer Stromerzeugung	
	[h/a]	[kWh _{el} /a]
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550	
Installierte Leistung [kW _{el}]	963	
P _{zusatz} [kW _{el}]	358	
BHKW 1 [kW _{el}]	550	5.031
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	413	4.972
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.818.000	
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	62,77	

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	24
zusätzliche Speicherkapazität [h]	18
zusätzliche Speichergröße [m ³]	5927
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	73

Rahmendaten	
Strombezugs-kosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	403.611,82	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70	44.932,70
zusätzlicher Gasspeicher	115.539,58	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	30.387,50	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93	3.382,93
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	28.600,00	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94	3.183,94
zusätzlicher Wärmespeicher	78.223,25	8.708,32	8.708,32	8.708,32	8.708,32	8.708,32	8.708,32	8.708,32	8.708,32	8.708,32	8.708,32
Summe	670.362,15	74.629,09	74.629,09	74.629,09	74.629,09	74.629,09	74.629,09	74.629,09	74.629,09	74.629,09	74.629,09
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.705,49	2.759,60	2.814,79	2.871,09	2.928,51	2.987,08	3.046,82	3.107,76	3.169,91	3.233,31	3.297,98
Gasspeicher	3.766,19	3.841,51	3.918,34	3.996,71	4.076,64	4.158,18	4.241,34	4.326,17	4.412,69	4.500,94	4.590,96
Gasstrecke / Aufbereitung	303,88	309,95	316,15	322,47	328,92	335,50	342,21	349,06	356,04	363,16	370,42
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	286,00	291,72	297,55	303,51	309,58	315,77	322,08	328,52	335,09	341,80	348,63
Wärmespeicher	782,23	797,88	813,83	830,11	846,71	863,65	880,92	898,54	916,51	934,84	953,54
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	11.248,79	11.473,76	11.703,24	11.937,30	12.176,05	12.419,57	12.667,96	12.921,32	13.179,75	13.443,34	13.712,21
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	3.351,81	3.418,85	3.487,22	3.556,97	3.628,11	3.700,67	3.774,68	3.850,18	3.927,18	4.005,72	4.085,84
Summe	54.351,81	9.096,50	9.164,88	9.234,62	9.305,76	9.378,32	9.452,34	9.527,83	9.604,83	9.683,38	9.763,49
Ausgaben		100.388,03	100.789,66	101.199,32	101.617,17	102.043,38	102.478,11	102.921,53	103.373,83	103.835,17	104.305,74
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	46.475,00	45.563,73	44.670,32	43.794,43	42.935,72	42.093,84	41.268,47	40.459,28	39.665,97	38.888,20	38.125,69
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.636,00	9.447,06	9.261,82	9.080,22	8.902,17	8.727,62	8.556,49	8.388,72	8.224,23	8.062,97	7.904,88
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	34.526,16	35.216,69	35.921,02	36.639,44	37.372,23	38.119,68	38.882,07	39.659,71	40.452,90	41.261,96	42.087,20
Summe	90.637,16	90.227,47	89.853,16	89.514,09	89.210,12	88.941,14	88.707,03	88.507,71	88.343,10	88.213,14	88.117,77
Gewinn/Verlust	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		-10.160,56	-10.936,49	-11.685,22	-12.407,04	-13.102,24	-13.771,08	-14.413,82	-15.030,73	-15.622,03	-16.187,98
Rendite		-1%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021

Variante 2.1.6

Rahmendaten	Betriebsdauer Stromerzeugung	
	[h/a]	[kWh _{el} /a]
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550	
Installierte Leistung [kW _{el}]	1.100	
P _{zusatz} [kW _{el}]	495	
BHKW 1 [kW _{el}]	550	4.015
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	550	4.745
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.818.000	
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	43,56	

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	6
zusätzliche Speicherkapazität [h]	0
zusätzliche Speichergröße [m ³]	0
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	45

Rahmendaten	
Strombezugskosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	490.114,47	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74
zusätzlicher Gasspeicher	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	42.075,00	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	39.600,00	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53
zusätzlicher Wärmespeicher	58.374,82	6.498,67	6.498,67	6.498,67	6.498,67	6.498,67	6.498,67	6.498,67	6.498,67	6.498,67	6.498,67
Summe	644.164,29	71.712,57	71.712,57	71.712,57	71.712,57	71.712,57	71.712,57	71.712,57	71.712,57	71.712,57	71.712,57
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.705,49	2.759,60	2.814,79	2.871,09	2.928,51	2.987,08	3.046,82	3.107,76	3.169,91	3.233,31	3.297,98
Gasspeicher	300,00	306,00	312,12	318,36	324,73	331,22	337,85	344,61	351,50	358,53	365,70
Gasstrecke / Aufbereitung	420,75	429,17	437,75	446,50	455,43	464,54	473,83	483,31	492,98	502,84	512,89
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	396,00	403,92	412,00	420,24	428,64	437,22	445,96	454,88	463,98	473,26	482,72
Wärmespeicher	583,75	595,42	607,33	619,48	631,87	644,51	657,40	670,54	683,95	697,63	711,59
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	7.810,99	7.967,21	8.126,55	8.289,09	8.454,87	8.623,96	8.796,44	8.972,37	9.151,82	9.334,86	9.521,55
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	3.220,82	3.285,24	3.350,94	3.417,96	3.486,32	3.556,05	3.627,17	3.699,71	3.773,71	3.849,18	3.926,16
Summe	54.220,82	8.962,89	9.028,60	9.095,61	9.163,97	9.233,70	9.304,82	9.377,36	9.451,36	9.526,83	9.603,82
Ausgaben		93.831,35	94.160,18	94.495,57	94.837,68	95.186,63	95.542,56	95.905,60	96.275,91	96.653,63	97.038,89
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	64.350,00	63.088,24	61.851,21	60.638,44	59.449,45	58.283,78	57.140,96	56.020,55	54.922,11	53.845,20	52.789,41
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.636,00	9.447,06	9.261,82	9.080,22	8.902,17	8.727,62	8.556,49	8.388,72	8.224,23	8.062,97	7.904,88
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	23.956,19	24.435,32	24.924,02	25.422,50	25.930,95	26.449,57	26.978,56	27.518,13	28.068,50	28.629,87	29.202,46
Summe	97.942,19	96.970,61	96.037,05	95.141,16	94.282,58	93.460,97	92.676,01	91.927,40	91.214,83	90.538,04	89.896,75
Gewinn/Verlust		€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		3.139,26	1.876,88	645,59	-555,10	-1.725,66	-2.866,55	-3.978,21	-5.061,08	-6.115,59	-7.142,14
Rendite		0%	0%	0%	0%	0%	0%	-1%	-1%	-1%	-1%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,019	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020

Variante 2.2.6

Rahmendaten		Betriebsdauer Stromerzeugung	
		[h/a]	[kWh _{el} /a]
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550		
Installierte Leistung [kW _{el}]	1.100		
P _{zusatz} [kW _{el}]	495		
BHKW 1 [kW _{el}]	550	3.651	2.008.050
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	550	5.110	2.810.500
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.818.550		
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	46,65		

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	6
zusätzliche Speicherkapazität [h]	0
zusätzliche Speichergröße [m ³]	0
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	49

Rahmendaten	
Strombezugskosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	490.114,47	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74
zusätzlicher Gasspeicher	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	42.075,00	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	39.600,00	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53
zusätzlicher Wärmespeicher	61.872,07	6.888,00	6.888,00	6.888,00	6.888,00	6.888,00	6.888,00	6.888,00	6.888,00	6.888,00	6.888,00
Summe	647.661,54	72.101,91	72.101,91	72.101,91	72.101,91	72.101,91	72.101,91	72.101,91	72.101,91	72.101,91	72.101,91
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.705,80	2.759,92	2.815,12	2.871,42	2.928,85	2.987,42	3.047,17	3.108,11	3.170,28	3.233,68	3.298,36
Gasspeicher	300,00	306,00	312,12	318,36	324,73	331,22	337,85	344,61	351,50	358,53	365,70
Gasstrecke / Aufbereitung	420,75	429,17	437,75	446,50	455,43	464,54	473,83	483,31	492,98	502,84	512,89
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	396,00	403,92	412,00	420,24	428,64	437,22	445,96	454,88	463,98	473,26	482,72
Wärmespeicher	618,72	631,10	643,72	656,59	669,72	683,12	696,78	710,72	724,93	739,43	754,22
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	7.846,27	8.003,20	8.163,26	8.326,53	8.493,06	8.662,92	8.836,18	9.012,90	9.193,16	9.377,02	9.564,56
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	3.238,31	3.303,07	3.369,14	3.436,52	3.505,25	3.575,35	3.646,86	3.719,80	3.794,19	3.870,08	3.947,48
Summe	54.238,31	8.980,73	9.046,79	9.114,17	9.182,90	9.253,01	9.324,51	9.397,45	9.471,85	9.547,73	9.625,13
Ausgaben		94.274,51	94.604,41	94.940,91	95.284,14	95.634,23	95.991,32	96.355,56	96.727,07	97.106,03	97.492,55
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	64.357,35	63.095,44	61.858,27	60.645,36	59.456,24	58.290,43	57.147,48	56.026,94	54.928,38	53.851,35	52.795,44
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.637,10	9.448,14	9.262,88	9.081,25	8.903,19	8.728,62	8.557,47	8.389,68	8.225,17	8.063,89	7.905,78
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	25.659,44	26.172,63	26.696,09	27.230,01	27.774,61	28.330,10	28.896,70	29.474,64	30.064,13	30.665,41	31.278,72
Summe	99.653,89	98.716,21	97.817,24	96.956,63	96.134,04	95.349,15	94.601,65	93.891,25	93.217,68	92.580,65	91.979,94
Gewinn/Verlust		€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		4.441,70	3.212,83	2.015,72	849,90	-285,08	-1.389,67	-2.464,30	-3.509,40	-4.525,37	-5.512,62
Rendite		1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-1%	-1%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020

Variante 2.3.6

Rahmendaten		Betriebsdauer Stromerzeugung	
		[h/a]	[kWh _{el} /a]
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550		
Installierte Leistung [kW _{el}]	1.100		
P _{zusatz} [kW _{el}]	495		
BHKW 1 [kW _{el}]	550	3.650	2.007.500
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	550	5.110	2.810.500
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.818.000		
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	52,42		

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	6
zusätzliche Speicherkapazität [h]	0
zusätzliche Speichergröße [m ³]	0
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	54

Rahmendaten	
Strombezugskosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	490.114,47	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74
zusätzlicher Gasspeicher	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	42.075,00	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	39.600,00	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53
zusätzlicher Wärmespeicher	65.913,08	7.337,87	7.337,87	7.337,87	7.337,87	7.337,87	7.337,87	7.337,87	7.337,87	7.337,87	7.337,87
Summe	651.702,55	72.551,78	72.551,78	72.551,78	72.551,78	72.551,78	72.551,78	72.551,78	72.551,78	72.551,78	72.551,78
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.705,49	2.759,60	2.814,79	2.871,09	2.928,51	2.987,08	3.046,82	3.107,76	3.169,91	3.233,31	3.297,98
Gasspeicher	300,00	306,00	312,12	318,36	324,73	331,22	337,85	344,61	351,50	358,53	365,70
Gasstrecke / Aufbereitung	420,75	429,17	437,75	446,50	455,43	464,54	473,83	483,31	492,98	502,84	512,89
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	396,00	403,92	412,00	420,24	428,64	437,22	445,96	454,88	463,98	473,26	482,72
Wärmespeicher	659,13	672,31	685,76	699,47	713,46	727,73	742,29	757,13	772,28	787,72	803,48
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	7.886,37	8.044,10	8.204,98	8.369,08	8.536,46	8.707,19	8.881,34	9.058,96	9.240,14	9.424,95	9.613,44
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	3.258,51	3.323,68	3.390,16	3.457,96	3.527,12	3.597,66	3.669,61	3.743,01	3.817,87	3.894,22	3.972,11
Summe	54.258,51	9.001,34	9.067,81	9.135,61	9.204,77	9.275,31	9.347,27	9.420,66	9.495,52	9.571,88	9.649,76
Ausgaben		94.785,90	95.117,03	95.454,78	95.799,28	96.150,68	96.509,11	96.874,70	97.247,61	97.627,97	98.015,94
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	64.350,00	63.088,24	61.851,21	60.638,44	59.449,45	58.283,78	57.140,96	56.020,55	54.922,11	53.845,20	52.789,41
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.636,00	9.447,06	9.261,82	9.080,22	8.902,17	8.727,62	8.556,49	8.388,72	8.224,23	8.062,97	7.904,88
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	28.832,22	29.408,87	29.997,05	30.596,99	31.208,93	31.833,11	32.469,77	33.119,16	33.781,55	34.457,18	35.146,32
Summe	102.818,22	101.944,16	101.110,08	100.315,65	99.560,56	98.844,51	98.167,22	97.528,43	96.927,89	96.365,35	95.840,61
Gewinn/Verlust		€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		7.158,27	5.993,05	4.860,87	3.761,27	2.693,82	1.658,11	653,73	-319,72	-1.262,62	-2.175,33
Rendite		1%	1%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020

Variante 2.1.12

Rahmendaten	Betriebsdauer Stromerzeugung	
	[h/a]	[kWh _{el} /a]
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550	
Installierte Leistung [kW _{el}]	1.100	
P _{zusatz} [kW _{el}]	495	
BHKW 1 [kW _{el}]	550	4.380
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	550	4.380
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.818.000	
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	44,92	

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	12
zusätzliche Speicherkapazität [h]	6
zusätzliche Speichergröße [m ³]	1976
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	54

Rahmendaten	
Strombezugskosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	490.114,47	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74
zusätzlicher Gasspeicher	80.758,69	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	42.075,00	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	39.600,00	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53
zusätzlicher Wärmespeicher	65.913,08	7.337,87	7.337,87	7.337,87	7.337,87	7.337,87	7.337,87	7.337,87	7.337,87	7.337,87	7.337,87
Summe	732.461,24	81.542,37	81.542,37	81.542,37	81.542,37	81.542,37	81.542,37	81.542,37	81.542,37	81.542,37	81.542,37
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.705,49	2.759,60	2.814,79	2.871,09	2.928,51	2.987,08	3.046,82	3.107,76	3.169,91	3.233,31	3.297,98
Gasspeicher	2.722,76	2.777,22	2.832,76	2.889,42	2.947,20	3.006,15	3.066,27	3.127,60	3.190,15	3.253,95	3.319,03
Gasstrecke / Aufbereitung	420,75	429,17	437,75	446,50	455,43	464,54	473,83	483,31	492,98	502,84	512,89
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	396,00	403,92	412,00	420,24	428,64	437,22	445,96	454,88	463,98	473,26	482,72
Wärmespeicher	659,13	672,31	685,76	699,47	713,46	727,73	742,29	757,13	772,28	787,72	803,48
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	10.309,13	10.515,32	10.725,62	10.940,13	11.158,94	11.382,12	11.609,76	11.841,95	12.078,79	12.320,37	12.566,78
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	3.662,31	3.735,55	3.810,26	3.886,47	3.964,20	4.043,48	4.124,35	4.206,84	4.290,98	4.376,79	4.464,33
Summe	54.662,31	9.413,21	9.487,92	9.564,12	9.641,85	9.721,13	9.802,00	9.884,49	9.968,63	10.054,45	10.141,98
Ausgaben		106.659,57	107.048,36	107.444,92	107.849,42	108.262,01	108.682,85	109.112,11	109.549,95	109.996,55	110.452,08
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	64.350,00	63.088,24	61.851,21	60.638,44	59.449,45	58.283,78	57.140,96	56.020,55	54.922,11	53.845,20	52.789,41
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.636,00	9.447,06	9.261,82	9.080,22	8.902,17	8.727,62	8.556,49	8.388,72	8.224,23	8.062,97	7.904,88
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	24.703,99	25.198,07	25.702,03	26.216,07	26.740,39	27.275,20	27.820,70	28.377,12	28.944,66	29.523,55	30.114,02
Summe	98.689,99	97.733,36	96.815,06	95.934,73	95.092,02	94.286,60	93.518,15	92.786,38	92.091,00	91.431,73	90.808,31
Gewinn/Verlust		€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		-8.926,20	-10.233,29	-11.510,19	-12.757,40	-13.975,41	-15.164,70	-16.325,72	-17.458,95	-18.564,82	-19.643,76
Rendite		-1%	-1%	-1%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023

Variante 2.2.12

Rahmendaten		Betriebsdauer Stromerzeugung [h/a] [kWh _{el} /a]	
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550		
Installierte Leistung [kW _{el}]	1.100		
P _{zusatz} [kW _{el}]	495		
BHKW 1 [kW _{el}]	550	4.068	2.237.400
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	550	4.693	2.581.150
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.818.550		
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	54,60		

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	12
zusätzliche Speicherkapazität [h]	6
zusätzliche Speichergröße [m ³]	1976
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	68

Rahmendaten	
Strombezugskosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	490.114,47	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74
zusätzlicher Gasspeicher	80.758,69	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	42.075,00	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	39.600,00	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53
zusätzlicher Wärmespeicher	75.419,61	8.396,20	8.396,20	8.396,20	8.396,20	8.396,20	8.396,20	8.396,20	8.396,20	8.396,20	8.396,20
Summe	741.967,77	82.600,70	82.600,70	82.600,70	82.600,70	82.600,70	82.600,70	82.600,70	82.600,70	82.600,70	82.600,70
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.705,80	2.759,92	2.815,12	2.871,42	2.928,85	2.987,42	3.047,17	3.108,11	3.170,28	3.233,68	3.298,36
Gasspeicher	2.722,76	2.777,22	2.832,76	2.889,42	2.947,20	3.006,15	3.066,27	3.127,60	3.190,15	3.253,95	3.319,03
Gasstrecke / Aufbereitung	420,75	429,17	437,75	446,50	455,43	464,54	473,83	483,31	492,98	502,84	512,89
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	396,00	403,92	412,00	420,24	428,64	437,22	445,96	454,88	463,98	473,26	482,72
Wärmespeicher	754,20	769,28	784,67	800,36	816,37	832,69	849,35	866,33	883,66	901,33	919,36
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	10.404,51	10.612,60	10.824,85	11.041,35	11.262,17	11.487,42	11.717,17	11.951,51	12.190,54	12.434,35	12.683,04
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	3.709,84	3.784,04	3.859,72	3.936,91	4.015,65	4.095,96	4.177,88	4.261,44	4.346,67	4.433,60	4.522,27
Summe	54.709,84	9.461,69	9.537,37	9.614,56	9.693,30	9.773,61	9.855,53	9.939,09	10.024,32	10.111,25	10.199,93
Ausgaben		107.863,66	108.255,37	108.654,91	109.062,44	109.478,12	109.902,12	110.334,59	110.775,72	111.225,66	111.684,61
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	64.357,35	63.095,44	61.858,27	60.645,36	59.456,24	58.290,43	57.147,48	56.026,94	54.928,38	53.851,35	52.795,44
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.637,10	9.448,14	9.262,88	9.081,25	8.903,19	8.728,62	8.557,47	8.389,68	8.225,17	8.063,89	7.905,78
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	30.030,20	30.630,81	31.243,42	31.868,29	32.505,66	33.155,77	33.818,89	34.495,26	35.185,17	35.888,87	36.606,65
Summe	104.024,65	103.174,38	102.364,58	101.594,91	100.865,09	100.174,82	99.523,84	98.911,88	98.338,72	97.804,12	97.307,87
Gewinn/Verlust		€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		-4.689,28	-5.890,79	-7.060,00	-8.197,35	-9.303,30	-10.378,28	-11.422,71	-12.437,00	-13.421,55	-14.376,74
Rendite		-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-2%	-2%	-2%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,022	0,022	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023

Variante 2.3.12

Rahmendaten	Betriebsdauer Stromerzeugung [h/a] [kWh _{el} /a]	
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550	
Installierte Leistung [kW _{el}]	1.100	
P _{zusatz} [kW _{el}]	495	
BHKW 1 [kW _{el}]	550	4.146 2.280.300
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	550	4.614 2.537.700
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.818.000	
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	63,57	

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	12
zusätzliche Speicherkapazität [h]	6
zusätzliche Speichergröße [m ³]	1976
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	71

Rahmendaten	
Strombezugskosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	490.114,47	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74
zusätzlicher Gasspeicher	80.758,69	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	42.075,00	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	39.600,00	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53
zusätzlicher Wärmespeicher	77.136,73	8.587,36	8.587,36	8.587,36	8.587,36	8.587,36	8.587,36	8.587,36	8.587,36	8.587,36	8.587,36
Summe	743.684,89	82.791,86	82.791,86	82.791,86	82.791,86	82.791,86	82.791,86	82.791,86	82.791,86	82.791,86	82.791,86
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.705,49	2.759,60	2.814,79	2.871,09	2.928,51	2.987,08	3.046,82	3.107,76	3.169,91	3.233,31	3.297,98
Gasspeicher	2.722,76	2.777,22	2.832,76	2.889,42	2.947,20	3.006,15	3.066,27	3.127,60	3.190,15	3.253,95	3.319,03
Gasstrecke / Aufbereitung	420,75	429,17	437,75	446,50	455,43	464,54	473,83	483,31	492,98	502,84	512,89
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	396,00	403,92	412,00	420,24	428,64	437,22	445,96	454,88	463,98	473,26	482,72
Wärmespeicher	771,37	786,79	802,53	818,58	834,95	851,65	868,68	886,06	903,78	921,86	940,29
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	10.421,37	10.629,80	10.842,39	11.059,24	11.280,43	11.506,03	11.736,15	11.970,88	12.210,30	12.454,50	12.703,59
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	3.718,42	3.792,79	3.868,65	3.946,02	4.024,94	4.105,44	4.187,55	4.271,30	4.356,73	4.443,86	4.532,74
Summe	54.718,42	9.470,45	9.546,30	9.623,67	9.702,60	9.783,09	9.865,20	9.948,95	10.034,38	10.121,51	10.210,39
Ausgaben		108.080,78	108.473,00	108.873,07	109.281,14	109.697,38	110.121,93	110.554,98	110.996,69	111.447,24	111.906,79
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	64.350,00	63.088,24	61.851,21	60.638,44	59.449,45	58.283,78	57.140,96	56.020,55	54.922,11	53.845,20	52.789,41
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.636,00	9.447,06	9.261,82	9.080,22	8.902,17	8.727,62	8.556,49	8.388,72	8.224,23	8.062,97	7.904,88
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	34.961,17	35.660,40	36.373,60	37.101,08	37.843,10	38.599,96	39.371,96	40.159,40	40.962,59	41.781,84	42.617,48
Summe	108.947,17	108.195,69	107.486,64	106.819,74	106.194,73	105.611,36	105.069,41	104.568,66	104.108,93	103.690,01	103.311,76
Gewinn/Verlust		€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		114,91	-986,36	-2.053,34	-3.086,42	-4.086,02	-5.052,52	-5.986,32	-6.887,77	-7.757,22	-8.595,03
Rendite		0%	0%	0%	0%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,022	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023

Variante 2.1.24

Rahmendaten	Betriebsdauer Stromerzeugung	
	[h/a]	[kWh _{el} /a]
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550	
Installierte Leistung [kW _{el}]	1.100	
P _{zusatz} [kW _{el}]	495	
BHKW 1 [kW _{el}]	550	4.380
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	550	4.380
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.818.000	
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	44,92	

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	24
zusätzliche Speicherkapazität [h]	18
zusätzliche Speichergröße [m ³]	5927
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	54

Rahmendaten	
Strombezugs-kosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	490.114,47	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74
zusätzlicher Gasspeicher	115.539,58	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	42.075,00	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	39.600,00	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53
zusätzlicher Wärmespeicher	65.913,08	7.337,87	7.337,87	7.337,87	7.337,87	7.337,87	7.337,87	7.337,87	7.337,87	7.337,87	7.337,87
Summe	767.242,13	85.414,40	85.414,40	85.414,40	85.414,40	85.414,40	85.414,40	85.414,40	85.414,40	85.414,40	85.414,40
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.705,49	2.759,60	2.814,79	2.871,09	2.928,51	2.987,08	3.046,82	3.107,76	3.169,91	3.233,31	3.297,98
Gasspeicher	3.766,19	3.841,51	3.918,34	3.996,71	4.076,64	4.158,18	4.241,34	4.326,17	4.412,69	4.500,94	4.590,96
Gasstrecke / Aufbereitung	420,75	429,17	437,75	446,50	455,43	464,54	473,83	483,31	492,98	502,84	512,89
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	396,00	403,92	412,00	420,24	428,64	437,22	445,96	454,88	463,98	473,26	482,72
Wärmespeicher	659,13	672,31	685,76	699,47	713,46	727,73	742,29	757,13	772,28	787,72	803,48
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	11.352,56	11.579,61	11.811,20	12.047,43	12.288,38	12.534,14	12.784,83	13.040,52	13.301,33	13.567,36	13.838,71
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	3.836,21	3.912,93	3.991,19	4.071,02	4.152,44	4.235,49	4.320,20	4.406,60	4.494,73	4.584,63	4.676,32
Summe	54.836,21	9.590,59	9.668,85	9.748,67	9.830,09	9.913,14	9.997,85	10.084,25	10.172,39	10.262,28	10.353,97
Ausgaben		111.773,28	112.186,90	112.608,80	113.039,14	113.478,08	113.925,80	114.382,47	114.848,28	115.323,41	115.808,03
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	64.350,00	63.088,24	61.851,21	60.638,44	59.449,45	58.283,78	57.140,96	56.020,55	54.922,11	53.845,20	52.789,41
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.636,00	9.447,06	9.261,82	9.080,22	8.902,17	8.727,62	8.556,49	8.388,72	8.224,23	8.062,97	7.904,88
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	24.703,99	25.198,07	25.702,03	26.216,07	26.740,39	27.275,20	27.820,70	28.377,12	28.944,66	29.523,55	30.114,02
Summe	98.689,99	97.733,36	96.815,06	95.934,73	95.092,02	94.286,60	93.518,15	92.786,38	92.091,00	91.431,73	90.808,31
Gewinn/Verlust	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		-14.039,92	-15.371,84	-16.674,07	-17.947,12	-19.191,48	-20.407,65	-21.596,09	-22.757,28	-23.891,68	-24.999,72
Rendite		-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-3%	-3%	-3%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,023	0,023	0,023	0,023	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024

Variante 2.2.24

Rahmendaten	Betriebsdauer Stromerzeugung	
	[h/a]	[kWh _{el} /a]
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550	
Installierte Leistung [kW _{el}]	1.100	
P _{zusatz} [kW _{el}]	495	
BHKW 1 [kW _{el}]	550	4.225 2.323.750
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	550	4.537 2.495.350
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.819.100	
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	62,06	

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	24
zusätzliche Speicherkapazität [h]	18
zusätzliche Speichergröße [m ³]	5927
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	96

Rahmendaten	
Strombezugs-kosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	490.114,47	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74
zusätzlicher Gasspeicher	115.539,58	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	42.075,00	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	39.600,00	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53
zusätzlicher Wärmespeicher	87.753,55	9.769,30	9.769,30	9.769,30	9.769,30	9.769,30	9.769,30	9.769,30	9.769,30	9.769,30	9.769,30
Summe	789.082,61	87.845,83	87.845,83	87.845,83	87.845,83	87.845,83	87.845,83	87.845,83	87.845,83	87.845,83	87.845,83
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.706,11	2.760,23	2.815,44	2.871,75	2.929,18	2.987,76	3.047,52	3.108,47	3.170,64	3.234,05	3.298,73
Gasspeicher	3.766,19	3.841,51	3.918,34	3.996,71	4.076,64	4.158,18	4.241,34	4.326,17	4.412,69	4.500,94	4.590,96
Gasstrecke / Aufbereitung	420,75	429,17	437,75	446,50	455,43	464,54	473,83	483,31	492,98	502,84	512,89
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	396,00	403,92	412,00	420,24	428,64	437,22	445,96	454,88	463,98	473,26	482,72
Wärmespeicher	877,54	895,09	912,99	931,25	949,87	968,87	988,25	1.008,01	1.028,17	1.048,74	1.069,71
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	11.571,58	11.803,01	12.039,07	12.279,86	12.525,45	12.775,96	13.031,48	13.292,11	13.557,95	13.829,11	14.105,69
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	3.945,41	4.024,32	4.104,81	4.186,90	4.270,64	4.356,05	4.443,18	4.532,04	4.622,68	4.715,13	4.809,44
Summe	54.945,41	9.701,97	9.782,46	9.864,56	9.948,29	10.033,71	10.120,83	10.209,69	10.300,33	10.392,79	10.487,09
Ausgaben		114.539,49	114.959,81	115.388,54	115.825,84	116.271,89	116.726,86	117.190,92	117.664,27	118.147,09	118.639,56
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	64.364,69	63.102,64	61.865,33	60.652,29	59.463,03	58.297,08	57.154,00	56.033,34	54.934,64	53.857,49	52.801,47
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.638,20	9.449,22	9.263,94	9.082,29	8.904,21	8.729,61	8.558,45	8.390,63	8.226,11	8.064,81	7.906,68
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	34.132,40	34.815,04	35.511,35	36.221,57	36.946,00	37.684,92	38.438,62	39.207,40	39.991,54	40.791,37	41.607,20
Summe	108.135,29	107.366,90	106.640,62	105.956,15	105.313,24	104.711,62	104.151,07	103.631,37	103.152,30	102.713,68	102.315,35
Gewinn/Verlust		€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		-7.172,59	-8.319,20	-9.432,39	-10.512,60	-11.560,27	-12.575,78	-13.559,56	-14.511,97	-15.433,41	-16.324,21
Rendite		-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-2%	-2%	-2%	-2%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,025	0,025

Variante 2.3.24

Rahmendaten	Betriebsdauer Stromerzeugung	
	[h/a]	[kWh _{el} /a]
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550	
Installierte Leistung [kW _{el}]	1.100	
P _{zusatz} [kW _{el}]	495	
BHKW 1 [kW _{el}]	550	4.275
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	550	4.485
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.818.000	
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	71,98	

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	24
zusätzliche Speicherkapazität [h]	18
zusätzliche Speichergröße [m ³]	5927
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	95

Rahmendaten	
Strombezugs-kosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	490.114,47	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74	54.562,74
zusätzlicher Gasspeicher	115.539,58	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	42.075,00	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06	4.684,06
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo / Netz	39.600,00	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53	4.408,53
zusätzlicher Wärmespeicher	87.440,06	9.734,40	9.734,40	9.734,40	9.734,40	9.734,40	9.734,40	9.734,40	9.734,40	9.734,40	9.734,40
Summe	788.769,11	87.810,93	87.810,93	87.810,93	87.810,93	87.810,93	87.810,93	87.810,93	87.810,93	87.810,93	87.810,93
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.705,49	2.759,60	2.814,79	2.871,09	2.928,51	2.987,08	3.046,82	3.107,76	3.169,91	3.233,31	3.297,98
Gasspeicher	3.766,19	3.841,51	3.918,34	3.996,71	4.076,64	4.158,18	4.241,34	4.326,17	4.412,69	4.500,94	4.590,96
Gasstrecke / Aufbereitung	420,75	429,17	437,75	446,50	455,43	464,54	473,83	483,31	492,98	502,84	512,89
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	396,00	403,92	412,00	420,24	428,64	437,22	445,96	454,88	463,98	473,26	482,72
Wärmespeicher	874,40	891,89	909,73	927,92	946,48	965,41	984,72	1.004,41	1.024,50	1.044,99	1.065,89
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	11.567,83	11.799,19	12.035,17	12.275,87	12.521,39	12.771,82	13.027,26	13.287,80	13.553,56	13.824,63	14.101,12
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	3.943,85	4.022,72	4.103,18	4.185,24	4.268,95	4.354,32	4.441,41	4.530,24	4.620,84	4.713,26	4.807,53
Summe	54.943,85	9.700,38	9.780,83	9.862,89	9.946,60	10.031,98	10.119,06	10.207,89	10.298,50	10.390,91	10.485,18
Ausgaben		114.499,17	114.919,38	115.347,99	115.785,18	116.231,11	116.685,97	117.149,91	117.623,14	118.105,83	118.598,18
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	64.350,00	63.088,24	61.851,21	60.638,44	59.449,45	58.283,78	57.140,96	56.020,55	54.922,11	53.845,20	52.789,41
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.636,00	9.447,06	9.261,82	9.080,22	8.902,17	8.727,62	8.556,49	8.388,72	8.224,23	8.062,97	7.904,88
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	39.590,27	40.382,07	41.189,71	42.013,51	42.853,78	43.710,85	44.585,07	45.476,77	46.386,31	47.314,03	48.260,31
Summe	113.576,27	112.917,36	112.302,75	111.732,17	111.205,40	110.722,25	110.282,52	109.886,04	109.532,64	109.222,21	108.954,60
Gewinn/Verlust	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		-1.581,80	-2.616,63	-3.615,83	-4.579,78	-5.508,86	-6.403,45	-7.263,88	-8.090,50	-8.883,62	-9.643,57
Rendite		0%	0%	0%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,025	0,025

Variante 3.1.6

Rahmendaten		Betriebsdauer Stromerzeugung	
		[h/a]	[kWh _{el} /a]
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550		
Installierte Leistung [kW _{el}]	1.650		
P _{zusatz} [kW _{el}]	1.045		
BHKW 1 [kW _{el}]	550	4.380	2.409.000
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	1.100	2.190	2.409.000
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.818.000		
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	52,64		

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	6
zusätzliche Speicherkapazität [h]	0
zusätzliche Speichergröße [m ³]	0
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	72

Rahmendaten	
Strombezugskosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	782.515,18	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70
zusätzlicher Gasspeicher	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	88.825,00	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	83.600,00	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90
zusätzlicher Wärmespeicher	77.685,71	8.648,48	8.648,48	8.648,48	8.648,48	8.648,48	8.648,48	8.648,48	8.648,48	8.648,48	8.648,48
Summe	1.046.625,90	116.517,23	116.517,23	116.517,23	116.517,23	116.517,23	116.517,23	116.517,23	116.517,23	116.517,23	116.517,23
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.705,49	2.759,60	2.814,79	2.871,09	2.928,51	2.987,08	3.046,82	3.107,76	3.169,91	3.233,31	3.297,98
Gasspeicher	300,00	306,00	312,12	318,36	324,73	331,22	337,85	344,61	351,50	358,53	365,70
Gasstrecke / Aufbereitung	888,25	906,02	924,14	942,62	961,47	980,70	1.000,31	1.020,32	1.040,73	1.061,54	1.082,77
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	836,00	852,72	869,77	887,17	904,91	923,01	941,47	960,30	979,51	999,10	1.019,08
Wärmespeicher	776,86	792,39	808,24	824,41	840,90	857,71	874,87	892,36	910,21	928,42	946,98
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	8.911,60	9.089,83	9.271,63	9.457,06	9.646,20	9.839,13	10.035,91	10.236,63	10.441,36	10.650,19	10.863,19
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	5.233,13	5.337,79	5.444,55	5.553,44	5.664,51	5.777,80	5.893,35	6.011,22	6.131,45	6.254,07	6.379,16
Summe	56.233,13	11.015,44	11.122,20	11.231,09	11.342,16	11.455,45	11.571,01	11.688,87	11.809,10	11.931,73	12.056,81
Ausgaben		141.811,18	142.203,51	142.603,68	143.011,86	143.428,20	143.852,86	144.286,02	144.727,84	145.178,50	145.638,18
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	107.250,00	105.147,06	103.085,35	101.064,07	99.082,42	97.139,63	95.234,93	93.367,58	91.536,84	89.742,00	87.982,36
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.636,00	9.447,06	9.261,82	9.080,22	8.902,17	8.727,62	8.556,49	8.388,72	8.224,23	8.062,97	7.904,88
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	28.951,74	29.530,78	30.121,39	30.723,82	31.338,30	31.965,06	32.604,36	33.256,45	33.921,58	34.600,01	35.292,01
Summe	145.837,74	144.124,89	142.468,57	140.868,11	139.322,89	137.832,31	136.395,79	135.012,75	133.682,66	132.404,99	131.179,24
Gewinn/Verlust		€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		2.313,71	265,06	-1.735,57	-3.688,96	-5.595,88	-7.457,08	-9.273,27	-11.045,19	-12.773,52	-14.458,93
Rendite		0%	0%	0%	0%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,029	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030

Variante 3.2.6

Rahmendaten	Betriebsdauer Stromerzeugung	
	[h/a]	[kWh _{el} /a]
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550	
Installierte Leistung [kW _{el}]	1.650	
P _{zusatz} [kW _{el}]	1.045	
BHKW 1 [kW _{el}]	550	4.277
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	1.100	2.242
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.818.550	
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	56,84	

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	6
zusätzliche Speicherkapazität [h]	0
zusätzliche Speichergröße [m ³]	0
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	71

Rahmendaten	
Strombezugskosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	782.515,18	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70
zusätzlicher Gasspeicher	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	88.825,00	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	83.600,00	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90
zusätzlicher Wärmespeicher	77.136,73	8.587,36	8.587,36	8.587,36	8.587,36	8.587,36	8.587,36	8.587,36	8.587,36	8.587,36	8.587,36
Summe	1.046.076,91	116.456,11	116.456,11	116.456,11	116.456,11	116.456,11	116.456,11	116.456,11	116.456,11	116.456,11	116.456,11
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.705,80	2.759,92	2.815,12	2.871,42	2.928,85	2.987,42	3.047,17	3.108,11	3.170,28	3.233,68	3.298,36
Gasspeicher	300,00	306,00	312,12	318,36	324,73	331,22	337,85	344,61	351,50	358,53	365,70
Gasstrecke / Aufbereitung	888,25	906,02	924,14	942,62	961,47	980,70	1.000,31	1.020,32	1.040,73	1.061,54	1.082,77
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	836,00	852,72	869,77	887,17	904,91	923,01	941,47	960,30	979,51	999,10	1.019,08
Wärmespeicher	771,37	786,79	802,53	818,58	834,95	851,65	868,68	886,06	903,78	921,86	940,29
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	8.906,42	9.084,55	9.266,24	9.451,56	9.640,59	9.833,41	10.030,07	10.230,67	10.435,29	10.643,99	10.856,87
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	5.230,38	5.334,99	5.441,69	5.550,53	5.661,54	5.774,77	5.890,26	6.008,07	6.128,23	6.250,79	6.375,81
Summe	56.230,38	11.012,65	11.119,35	11.228,18	11.339,19	11.452,42	11.567,92	11.685,72	11.805,88	11.928,45	12.053,46
Ausgaben		141.741,98	142.134,14	142.534,15	142.942,16	143.358,33	143.782,82	144.215,80	144.657,44	145.107,91	145.567,40
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	107.262,24	105.159,06	103.097,12	101.075,61	99.093,73	97.150,72	95.245,80	93.378,24	91.547,29	89.752,25	87.992,40
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.637,10	9.448,14	9.262,88	9.081,25	8.903,19	8.728,62	8.557,47	8.389,68	8.225,17	8.063,89	7.905,78
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	31.264,73	31.890,03	32.527,83	33.178,39	33.841,95	34.518,79	35.209,17	35.913,35	36.631,62	37.364,25	38.111,54
Summe	148.164,08	146.497,23	144.887,83	143.335,25	141.838,88	140.398,13	139.012,44	137.681,27	136.404,08	135.180,39	134.009,71
Gewinn/Verlust		€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		4.755,25	2.753,68	801,10	-1.103,28	-2.960,20	-4.770,38	-6.534,53	-8.253,36	-9.927,52	-11.557,68
Rendite		0%	0%	0%	0%	0%	0%	-1%	-1%	-1%	-1%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,029	0,029	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030

Variante 3.3.6

Rahmendaten		Betriebsdauer Stromerzeugung	
		[h/a]	[kWh _{el} /a]
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550		
Installierte Leistung [kW _{el}]	1.650		
P _{zusatz} [kW _{el}]	1.045		
BHKW 1 [kW _{el}]	550	4.246	2.335.300
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	1.100	2.257	2.482.700
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.818.000		
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	63,81		

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	6
zusätzliche Speicherkapazität [h]	0
zusätzliche Speichergröße [m ³]	0
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	71

Rahmendaten	
Strombezugskosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	782.515,18	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70
zusätzlicher Gasspeicher	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	88.825,00	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	83.600,00	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90
zusätzlicher Wärmespeicher	77.136,73	8.587,36	8.587,36	8.587,36	8.587,36	8.587,36	8.587,36	8.587,36	8.587,36	8.587,36	8.587,36
Summe	1.046.076,91	116.456,11	116.456,11	116.456,11	116.456,11	116.456,11	116.456,11	116.456,11	116.456,11	116.456,11	116.456,11
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.705,49	2.759,60	2.814,79	2.871,09	2.928,51	2.987,08	3.046,82	3.107,76	3.169,91	3.233,31	3.297,98
Gasspeicher	300,00	306,00	312,12	318,36	324,73	331,22	337,85	344,61	351,50	358,53	365,70
Gasstrecke / Aufbereitung	888,25	906,02	924,14	942,62	961,47	980,70	1.000,31	1.020,32	1.040,73	1.061,54	1.082,77
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	836,00	852,72	869,77	887,17	904,91	923,01	941,47	960,30	979,51	999,10	1.019,08
Wärmespeicher	771,37	786,79	802,53	818,58	834,95	851,65	868,68	886,06	903,78	921,86	940,29
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	8.906,11	9.084,23	9.265,92	9.451,23	9.640,26	9.833,06	10.029,73	10.230,32	10.434,93	10.643,62	10.856,50
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	5.230,38	5.334,99	5.441,69	5.550,53	5.661,54	5.774,77	5.890,26	6.008,07	6.128,23	6.250,79	6.375,81
Summe	56.230,38	11.012,65	11.119,35	11.228,18	11.339,19	11.452,42	11.567,92	11.685,72	11.805,88	11.928,45	12.053,46
Ausgaben		141.741,67	142.133,82	142.533,82	142.941,83	143.357,99	143.782,47	144.215,45	144.657,08	145.107,55	145.567,02
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	107.250,00	105.147,06	103.085,35	101.064,07	99.082,42	97.139,63	95.234,93	93.367,58	91.536,84	89.742,00	87.982,36
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.636,00	9.447,06	9.261,82	9.080,22	8.902,17	8.727,62	8.556,49	8.388,72	8.224,23	8.062,97	7.904,88
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	35.097,75	35.799,71	36.515,70	37.246,01	37.990,93	38.750,75	39.525,77	40.316,28	41.122,61	41.945,06	42.783,96
Summe	151.983,75	150.393,82	148.862,87	147.390,30	145.975,53	144.618,00	143.317,19	142.072,58	140.883,68	139.750,04	138.671,19
Gewinn/Verlust		€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		8.652,16	6.729,05	4.856,48	3.033,70	1.260,02	-465,28	-2.142,87	-3.773,40	-5.357,51	-6.895,83
Rendite		1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-1%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,029	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030

Variante 3.1.12

Rahmendaten		Betriebsdauer Stromerzeugung	
		[h/a]	[kWh _{el} /a]
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550		
Installierte Leistung [kW _{el}]	1.650		
P _{zusatz} [kW _{el}]	1.045		
BHKW 1 [kW _{el}]	550	2.920	1.606.000
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	1.100	2.920	3.212.000
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.818.000		
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	57,46		

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	12
zusätzliche Speicherkapazität [h]	6
zusätzliche Speichergröße [m ³]	1976
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	94

Rahmendaten	
Strombezugs-kosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	782.515,18	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70
zusätzlicher Gasspeicher	80.758,69	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	88.825,00	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	83.600,00	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90
zusätzlicher Wärmespeicher	87.118,39	9.698,59	9.698,59	9.698,59	9.698,59	9.698,59	9.698,59	9.698,59	9.698,59	9.698,59	9.698,59
Summe	1.136.817,26	126.557,92	126.557,92	126.557,92	126.557,92	126.557,92	126.557,92	126.557,92	126.557,92	126.557,92	126.557,92
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.705,49	2.759,60	2.814,79	2.871,09	2.928,51	2.987,08	3.046,82	3.107,76	3.169,91	3.233,31	3.297,98
Gasspeicher	2.722,76	2.777,22	2.832,76	2.889,42	2.947,20	3.006,15	3.066,27	3.127,60	3.190,15	3.253,95	3.319,03
Gasstrecke / Aufbereitung	888,25	906,02	924,14	942,62	961,47	980,70	1.000,31	1.020,32	1.040,73	1.061,54	1.082,77
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	836,00	852,72	869,77	887,17	904,91	923,01	941,47	960,30	979,51	999,10	1.019,08
Wärmespeicher	871,18	888,61	906,38	924,51	943,00	961,86	981,09	1.000,72	1.020,73	1.041,15	1.061,97
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	11.428,69	11.657,26	11.890,41	12.128,21	12.370,78	12.618,19	12.870,56	13.127,97	13.390,53	13.658,34	13.931,50
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	5.684,09	5.797,77	5.913,72	6.032,00	6.152,64	6.275,69	6.401,20	6.529,23	6.659,81	6.793,01	6.928,87
Summe	56.684,09	11.475,42	11.591,38	11.709,65	11.830,29	11.953,34	12.078,86	12.206,88	12.337,47	12.470,66	12.606,52
Ausgaben		154.879,28	155.332,15	155.794,08	156.265,25	156.745,85	157.236,05	157.736,06	158.246,07	158.766,28	159.296,90
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	107.250,00	105.147,06	103.085,35	101.064,07	99.082,42	97.139,63	95.234,93	93.367,58	91.536,84	89.742,00	87.982,36
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.636,00	9.447,06	9.261,82	9.080,22	8.902,17	8.727,62	8.556,49	8.388,72	8.224,23	8.062,97	7.904,88
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	31.601,30	32.233,33	32.877,99	33.535,55	34.206,26	34.890,39	35.588,20	36.299,96	37.025,96	37.766,48	38.521,81
Summe	148.487,30	146.827,44	145.225,17	143.679,84	142.190,86	140.757,64	139.379,62	138.056,26	136.787,04	135.571,46	134.409,04
Gewinn/Verlust		€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		-8.051,83	-10.106,98	-12.114,24	-14.074,39	-15.988,21	-17.856,43	-19.679,80	-21.459,04	-23.194,83	-24.887,86
Rendite		-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-2%	-2%	-2%	-2%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,032	0,032	0,032	0,032	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033

Variante 3.2.12

Rahmendaten	Betriebsdauer Stromerzeugung	
	[h/a]	[kWh _{el} /a]
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550	
Installierte Leistung [kW _{el}]	1.650	
P _{zusatz} [kW _{el}]	1.045	
BHKW 1 [kW _{el}]	550	3.130 1.721.500
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	1.100	2.816 3.097.600
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.819.100	
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	69,66	

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	12
zusätzliche Speicherkapazität [h]	6
zusätzliche Speichergröße [m ³]	1976
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	109

Rahmendaten	
Strombezugskosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	782.515,18	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70
zusätzlicher Gasspeicher	80.758,69	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	88.825,00	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	83.600,00	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90
zusätzlicher Wärmespeicher	91.150,53	10.147,47	10.147,47	10.147,47	10.147,47	10.147,47	10.147,47	10.147,47	10.147,47	10.147,47	10.147,47
Summe	1.140.849,41	127.006,80	127.006,80	127.006,80	127.006,80	127.006,80	127.006,80	127.006,80	127.006,80	127.006,80	127.006,80
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.706,11	2.760,23	2.815,44	2.871,75	2.929,18	2.987,76	3.047,52	3.108,47	3.170,64	3.234,05	3.298,73
Gasspeicher	2.722,76	2.777,22	2.832,76	2.889,42	2.947,20	3.006,15	3.066,27	3.127,60	3.190,15	3.253,95	3.319,03
Gasstrecke / Aufbereitung	888,25	906,02	924,14	942,62	961,47	980,70	1.000,31	1.020,32	1.040,73	1.061,54	1.082,77
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	836,00	852,72	869,77	887,17	904,91	923,01	941,47	960,30	979,51	999,10	1.019,08
Wärmespeicher	911,51	929,74	948,33	967,30	986,64	1.006,38	1.026,50	1.047,03	1.067,97	1.089,33	1.111,12
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	11.469,63	11.699,02	11.933,00	12.171,66	12.415,09	12.663,39	12.916,66	13.174,99	13.438,49	13.707,26	13.981,41
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	5.704,25	5.818,33	5.934,70	6.053,39	6.174,46	6.297,95	6.423,91	6.552,39	6.683,43	6.817,10	6.953,45
Summe	56.704,25	11.495,98	11.612,35	11.731,05	11.852,11	11.975,60	12.101,56	12.230,04	12.361,09	12.494,76	12.631,10
Ausgaben		155.390,48	155.844,61	156.307,81	156.780,28	157.262,19	157.753,75	158.255,13	158.766,55	159.288,19	159.820,26
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	107.274,49	105.171,07	103.108,89	101.087,14	99.105,04	97.161,81	95.256,67	93.388,90	91.557,74	89.762,49	88.002,44
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.638,20	9.449,22	9.263,94	9.082,29	8.904,21	8.729,61	8.558,45	8.390,63	8.226,11	8.064,81	7.906,68
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	38.314,32	39.080,61	39.862,22	40.659,46	41.472,65	42.302,10	43.148,15	44.011,11	44.891,33	45.789,16	46.704,94
Summe	155.227,01	153.700,89	152.235,04	150.828,90	149.481,90	148.193,53	146.963,27	145.790,64	144.675,18	143.616,46	142.614,06
Gewinn/Verlust		€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		-1.689,60	-3.609,56	-5.478,91	-7.298,37	-9.068,67	-10.790,48	-12.464,49	-14.091,36	-15.671,72	-17.206,20
Rendite		0%	0%	0%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,032	0,032	0,032	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033

Variante 3.3.12

Rahmendaten	Betriebsdauer Stromerzeugung	
	[h/a]	[kWh _{el} /a]
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550	
Installierte Leistung [kW _{el}]	1.650	
P _{zusatz} [kW _{el}]	1.045	
BHKW 1 [kW _{el}]	550	3.174
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	1.100	2.793
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.818.000	
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	81,20	

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	12
zusätzliche Speicherkapazität [h]	6
zusätzliche Speichergröße [m ³]	1976
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	108

Rahmendaten	
Strombezugs-kosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	782.515,18	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70
zusätzlicher Gasspeicher	80.758,69	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58	8.990,58
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	88.825,00	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	83.600,00	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90
zusätzlicher Wärmespeicher	90.930,25	10.122,95	10.122,95	10.122,95	10.122,95	10.122,95	10.122,95	10.122,95	10.122,95	10.122,95	10.122,95
Summe	1.140.629,12	126.982,28	126.982,28	126.982,28	126.982,28	126.982,28	126.982,28	126.982,28	126.982,28	126.982,28	126.982,28
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.705,49	2.759,60	2.814,79	2.871,09	2.928,51	2.987,08	3.046,82	3.107,76	3.169,91	3.233,31	3.297,98
Gasspeicher	2.722,76	2.777,22	2.832,76	2.889,42	2.947,20	3.006,15	3.066,27	3.127,60	3.190,15	3.253,95	3.319,03
Gasstrecke / Aufbereitung	888,25	906,02	924,14	942,62	961,47	980,70	1.000,31	1.020,32	1.040,73	1.061,54	1.082,77
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	836,00	852,72	869,77	887,17	904,91	923,01	941,47	960,30	979,51	999,10	1.019,08
Wärmespeicher	909,30	927,49	946,04	964,96	984,26	1.003,94	1.024,02	1.044,50	1.065,39	1.086,70	1.108,43
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	11.466,80	11.696,14	11.930,06	12.168,67	12.412,04	12.660,28	12.913,48	13.171,75	13.435,19	13.703,89	13.977,97
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	5.703,15	5.817,21	5.933,55	6.052,22	6.173,27	6.296,73	6.422,67	6.551,12	6.682,14	6.815,79	6.952,10
Summe	56.703,15	11.494,86	11.611,21	11.729,88	11.850,92	11.974,39	12.100,32	12.228,77	12.359,80	12.493,44	12.629,76
Ausgaben		155.361,96	155.816,00	156.279,12	156.751,51	157.233,34	157.724,81	158.226,10	158.737,43	159.258,98	159.790,96
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	107.250,00	105.147,06	103.085,35	101.064,07	99.082,42	97.139,63	95.234,93	93.367,58	91.536,84	89.742,00	87.982,36
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.636,00	9.447,06	9.261,82	9.080,22	8.902,17	8.727,62	8.556,49	8.388,72	8.224,23	8.062,97	7.904,88
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	44.659,82	45.553,01	46.464,08	47.393,36	48.341,22	49.308,05	50.294,21	51.300,09	52.326,10	53.372,62	54.440,07
Summe	161.545,82	160.147,13	158.811,25	157.537,65	156.325,82	155.175,30	154.085,63	153.056,39	152.087,17	151.177,59	150.327,30
Gewinn/Verlust		€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		4.785,17	2.995,25	1.258,52	-425,69	-2.058,04	-3.639,17	-5.169,71	-6.650,26	-8.081,38	-9.463,66
Rendite		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-1%	-1%	-1%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,032	0,032	0,032	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033

Variante 3.1.24

Rahmendaten		Betriebsdauer Stromerzeugung	
		[h/a]	[kWh _{el} /a]
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550		
Installierte Leistung [kW _{el}]	1.650		
P _{zusatz} [kW _{el}]	1.045		
BHKW 1 [kW _{el}]	550	2.920	1.606.000
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	1.100	2.920	3.212.000
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.818.000		
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	57,46		

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	24
zusätzliche Speicherkapazität [h]	18
zusätzliche Speichergröße [m ³]	5927
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	94

Rahmendaten	
Strombezugskosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	782.515,18	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70
zusätzlicher Gasspeicher	115.539,58	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	88.825,00	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	83.600,00	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90
zusätzlicher Wärmespeicher	87.118,39	9.698,59	9.698,59	9.698,59	9.698,59	9.698,59	9.698,59	9.698,59	9.698,59	9.698,59	9.698,59
Summe	1.171.598,15	130.429,95	130.429,95	130.429,95	130.429,95	130.429,95	130.429,95	130.429,95	130.429,95	130.429,95	130.429,95
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.705,49	2.759,60	2.814,79	2.871,09	2.928,51	2.987,08	3.046,82	3.107,76	3.169,91	3.233,31	3.297,98
Gasspeicher	3.766,19	3.841,51	3.918,34	3.996,71	4.076,64	4.158,18	4.241,34	4.326,17	4.412,69	4.500,94	4.590,96
Gasstrecke / Aufbereitung	888,25	906,02	924,14	942,62	961,47	980,70	1.000,31	1.020,32	1.040,73	1.061,54	1.082,77
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	836,00	852,72	869,77	887,17	904,91	923,01	941,47	960,30	979,51	999,10	1.019,08
Wärmespeicher	871,18	888,61	906,38	924,51	943,00	961,86	981,09	1.000,72	1.020,73	1.041,15	1.061,97
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	12.472,11	12.721,56	12.975,99	13.235,51	13.500,22	13.770,22	14.045,63	14.326,54	14.613,07	14.905,33	15.203,44
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	5.857,99	5.975,15	6.094,65	6.216,55	6.340,88	6.467,70	6.597,05	6.728,99	6.863,57	7.000,84	7.140,86
Summe	56.857,99	11.652,80	11.772,31	11.894,20	12.018,53	12.145,35	12.274,70	12.406,64	12.541,22	12.678,49	12.818,51
Ausgaben		159.992,99	160.470,70	160.957,96	161.454,97	161.961,92	162.479,00	163.006,43	163.544,41	164.093,14	164.652,85
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	107.250,00	105.147,06	103.085,35	101.064,07	99.082,42	97.139,63	95.234,93	93.367,58	91.536,84	89.742,00	87.982,36
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.636,00	9.447,06	9.261,82	9.080,22	8.902,17	8.727,62	8.556,49	8.388,72	8.224,23	8.062,97	7.904,88
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	31.601,30	32.233,33	32.877,99	33.535,55	34.206,26	34.890,39	35.588,20	36.299,96	37.025,96	37.766,48	38.521,81
Summe	148.487,30	146.827,44	145.225,17	143.679,84	142.190,86	140.757,64	139.379,62	138.056,26	136.787,04	135.571,46	134.409,04
Gewinn/Verlust	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		-13.165,55	-15.245,53	-17.278,12	-19.264,11	-21.204,27	-23.099,38	-24.950,17	-26.757,37	-28.521,69	-30.243,81
Rendite		-1%	-1%	-1%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,033	0,033	0,033	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034

Variante 3.2.24

Rahmendaten		Betriebsdauer Stromerzeugung	
		[h/a]	[kWh _{el} /a]
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550		
Installierte Leistung [kW _{el}]	1.650		
P _{zusatz} [kW _{el}]	1.045		
BHKW 1 [kW _{el}]	550	3.026	1.664.300
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	1.100	2.868	3.154.800
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.819.100		
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el} , B]	78,29		

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	24
zusätzliche Speicherkapazität [h]	18
zusätzliche Speichergröße [m ³]	5927
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	135

Rahmendaten	
Strombezugskosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	782.515,18	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70
zusätzlicher Gasspeicher	115.539,58	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	88.825,00	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	83.600,00	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90
zusätzlicher Wärmespeicher	95.129,70	10.590,46	10.590,46	10.590,46	10.590,46	10.590,46	10.590,46	10.590,46	10.590,46	10.590,46	10.590,46
Summe	1.179.609,46	131.321,83	131.321,83	131.321,83	131.321,83	131.321,83	131.321,83	131.321,83	131.321,83	131.321,83	131.321,83
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.706,11	2.760,23	2.815,44	2.871,75	2.929,18	2.987,76	3.047,52	3.108,47	3.170,64	3.234,05	3.298,73
Gasspeicher	3.766,19	3.841,51	3.918,34	3.996,71	4.076,64	4.158,18	4.241,34	4.326,17	4.412,69	4.500,94	4.590,96
Gasstrecke / Aufbereitung	888,25	906,02	924,14	942,62	961,47	980,70	1.000,31	1.020,32	1.040,73	1.061,54	1.082,77
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	836,00	852,72	869,77	887,17	904,91	923,01	941,47	960,30	979,51	999,10	1.019,08
Wärmespeicher	951,30	970,32	989,73	1.009,52	1.029,71	1.050,31	1.071,31	1.092,74	1.114,60	1.136,89	1.159,63
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	12.552,84	12.803,90	13.059,98	13.321,18	13.587,60	13.859,35	14.136,54	14.419,27	14.707,66	15.001,81	15.301,85
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	5.898,05	6.016,01	6.136,33	6.259,06	6.384,24	6.511,92	6.642,16	6.775,00	6.910,50	7.048,71	7.189,69
Summe	56.898,05	11.693,66	11.813,98	11.936,71	12.061,89	12.189,57	12.319,81	12.452,66	12.588,16	12.726,37	12.867,34
Ausgaben		161.008,07	161.488,24	161.978,01	162.477,58	162.987,15	163.506,90	164.037,05	164.577,80	165.129,37	165.691,96
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	107.274,49	105.171,07	103.108,89	101.087,14	99.105,04	97.161,81	95.256,67	93.388,90	91.557,74	89.762,49	88.002,44
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.638,20	9.449,22	9.263,94	9.082,29	8.904,21	8.729,61	8.558,45	8.390,63	8.226,11	8.064,81	7.906,68
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	43.058,75	43.919,92	44.798,32	45.694,29	46.608,17	47.540,34	48.491,14	49.460,97	50.450,19	51.459,19	52.488,37
Summe	159.971,44	158.540,20	157.171,15	155.863,72	154.617,43	153.431,76	152.306,26	151.240,50	150.234,04	149.286,50	148.397,50
Gewinn/Verlust		€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		-2.467,86	-4.317,09	-6.114,29	-7.860,16	-9.555,39	-11.200,64	-12.796,55	-14.343,76	-15.842,87	-17.294,47
Rendite		0%	0%	0%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,033	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034

Variante 3.3.24

Rahmendaten	Betriebsdauer Stromerzeugung	
	[h/a]	[kWh _{el} /a]
Bemessungsleistung [kW _{el}]	550	
Installierte Leistung [kW _{el}]	1.650	
P _{zusatz} [kW _{el}]	1.045	
BHKW 1 [kW _{el}]	550	3.052 1.678.600
BHKW 2 (zusätzliches BHKW) [kW _{el}]	1.100	2.854 3.139.400
Stromerzeugung gesamt [kWh _{el} /a]	4.818.000	
Zusätzliche Erlöse am Strommarkt [€/kW _{el, B}]	92,80	

Gasspeicher	
Gasspeicherung (6h vorhanden) [h]	24
zusätzliche Speicherkapazität [h]	18
zusätzliche Speichergröße [m ³]	5927
Wärmebereitstellung	
Speichergröße [m ³]	153

Rahmendaten	
Strombezugskosten [€/kW _{el}]	0,21
Zins	0,02
Laufzeit [a]	10
Inflation	0,02
Planungskosten [€]	40.000

Betriebsjahr	absolut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapitalgebundene Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliches BHKW	782.515,18	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70	87.114,70
zusätzlicher Gasspeicher	115.539,58	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62	12.862,62
Füllstandsüberwachung (3 x Schlauchwaage + Steuerung + Installation)	10.000,00	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27	1.113,27
Gasstrecke / Aufbereitung	88.825,00	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58	9.888,58
Steuerung	4.000,00	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31	445,31
Trafo/Netz	83.600,00	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90	9.306,90
zusätzlicher Wärmespeicher	96.760,40	10.772,00	10.772,00	10.772,00	10.772,00	10.772,00	10.772,00	10.772,00	10.772,00	10.772,00	10.772,00
Summe	1.181.240,16	131.503,37	131.503,37	131.503,37	131.503,37	131.503,37	131.503,37	131.503,37	131.503,37	131.503,37	131.503,37
Bedarfsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
zusätzliche Eigenenergie BHKW	3.832,50	3.909,15	3.987,33	4.067,08	4.148,42	4.231,39	4.316,02	4.402,34	4.490,38	4.580,19	4.671,80
Eigenenergie Gasspeicher	138,71	141,48	144,31	147,20	150,14	153,15	156,21	159,33	162,52	165,77	169,09
Wärmespeicher	1.115,73	1.138,04	1.160,81	1.184,02	1.207,70	1.231,86	1.256,49	1.281,62	1.307,26	1.333,40	1.360,07
Summe	5.086,94	5.188,68	5.292,45	5.398,30	5.506,27	5.616,39	5.728,72	5.843,29	5.960,16	6.079,36	6.200,95
Betriebsgebundene Kosten	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
BHKW	2.705,49	2.759,60	2.814,79	2.871,09	2.928,51	2.987,08	3.046,82	3.107,76	3.169,91	3.233,31	3.297,98
Gasspeicher	3.766,19	3.841,51	3.918,34	3.996,71	4.076,64	4.158,18	4.241,34	4.326,17	4.412,69	4.500,94	4.590,96
Gasstrecke / Aufbereitung	888,25	906,02	924,14	942,62	961,47	980,70	1.000,31	1.020,32	1.040,73	1.061,54	1.082,77
Steuerung	120,00	122,40	124,85	127,34	129,89	132,49	135,14	137,84	140,60	143,41	146,28
Trafo/Netz	836,00	852,72	869,77	887,17	904,91	923,01	941,47	960,30	979,51	999,10	1.019,08
Wärmespeicher	967,60	986,96	1.006,70	1.026,83	1.047,37	1.068,31	1.089,68	1.111,47	1.133,70	1.156,38	1.179,50
Arbeitsaufwand	3.285,00	3.350,70	3.417,71	3.486,07	3.555,79	3.626,91	3.699,44	3.773,43	3.848,90	3.925,88	4.004,40
Summe	12.568,53	12.819,90	13.076,30	13.337,83	13.604,58	13.876,68	14.154,21	14.437,29	14.726,04	15.020,56	15.320,97
Sonstige Kosten	€	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Planung	40.000,00	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06	4.453,06
Genehmigung	7.500,00	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95	834,95
Gutachten	3.500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Versicherung	5.906,20	6.024,32	6.144,81	6.267,71	6.393,06	6.520,92	6.651,34	6.784,37	6.920,06	7.058,46	7.199,63
Summe	56.906,20	11.701,98	11.822,46	11.945,36	12.070,71	12.198,58	12.328,99	12.462,02	12.597,71	12.736,11	12.877,28
Ausgaben		161.213,93	161.694,58	162.184,86	162.684,93	163.195,01	163.715,29	164.245,98	164.787,27	165.339,40	165.902,57
(Zusatz-) Erlöse	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Flexibilitätsprämie	107.250,00	105.147,06	103.085,35	101.064,07	99.082,42	97.139,63	95.234,93	93.367,58	91.536,84	89.742,00	87.982,36
Anzulegender Wert 0,002 €/kWh	9.636,00	9.447,06	9.261,82	9.080,22	8.902,17	8.727,62	8.556,49	8.388,72	8.224,23	8.062,97	7.904,88
Flexibler Betrieb in Direktvermarktung	51.042,34	52.063,19	53.104,45	54.166,54	55.249,87	56.354,87	57.481,97	58.631,61	59.804,24	61.000,32	62.220,33
Summe	167.928,34	166.657,31	165.451,63	164.310,83	163.234,47	162.222,12	161.273,39	160.387,90	159.565,32	158.805,30	158.107,56
Gewinn/Verlust		€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Summe		5.443,38	3.757,04	2.125,98	549,54	-972,89	-2.441,90	-3.858,07	-5.221,96	-6.534,10	-7.795,00
Rendite		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-1%
Zusätzliche Stromgestehungskosten durch Flexibilisierung [€/kWh]		0,033	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034