

Schlussbericht, 21. Dezember 2015

Schlussbericht «Benchmarking Biogas»

Aufbau eines Benchmark Systems für landwirtschaftliche Biogasanlagen in der Schweiz



Biomassebörse • CO₂-Reduktionspapiere • Ökostrom vom Bauernhof
Bourse de la biomasse • Attestations de réduction de CO₂ • Courant vert de la ferme



Autoren

Anspach Victor, IBA

Bolli Simon, Ökostrom Schweiz

Projektverantwortung:

Genossenschaft Ökostrom Schweiz

Oberwil 61, CH-8500 Frauenfeld

Tel. 056 444 24 90, Fax. 056 442 06 72

www.oekostromschweiz.ch

Projektleitung:

Simon Bolli

Genossenschaft Ökostrom Schweiz

Oberwil 61, CH-8500 Frauenfeld

Tel. 056 444 24 95, Fax. 056 442 06 72

www.oekostromschweiz.ch

Kooperationspartner:

Dr. Victor Anspach

Ingenieurbüro Anspach

Bahnhofstrasse 31, CH-8280 Kreuzlingen

Tel. 071 671 25 30

victor.anspach@ibanspach.ch

www.ibanspach.ch

Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt. Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.

EnergieSchweiz

Bundesamt für Energie BFE; Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: 3003 Bern

Tel. 058 462 56 11, Fax 058 463 25 00, contact@bfe.admin.ch, www.energieschweiz.ch

Inhaltsverzeichnis

1.	Vorwort.....	6
2.	Kurzzusammenfassung – Projekt Benchmarking Biogas.....	6
3.	Projektbeschreibung und Zielsetzung	7
4.	Projektablauf	8
5.	Methode und Detailinformationen	10
5.1	Methode des Benchmarking.....	10
5.2	Systemgrenzen.....	13
5.3	Methodische Detailinformationen	14
5.4	Kennzahlen	17
5.4.1	Betriebswirtschaftliche Kennzahlen.....	17
5.4.2	Produktionstechnische Kennzahlen	18
5.4.3	Prozessbiologische Kennzahlen	18
5.5	Technische Umsetzung	19
6.	Ergebnisse des Benchmarking Biogas.....	21
6.1	Allgemeine Ergebnisse.....	21
6.1.1	Grundgesamtheit und teilnehmende Biogasanlagen.....	21
6.1.2	Hintergrundinformationen zum Landwirtschaftsbetrieb.....	21
6.1.3	Installierte Leistung.....	22
6.1.4	BHKW Technik.....	23
6.1.5	Fermenter und Nachgärer	23
6.1.6	Gasspeicher	24
6.1.7	Entwicklung der Stromproduktion	24
6.1.8	Anlagenproduktivität	25
6.1.9	Wärmenutzungskonzepte und Grad der Wärmenutzung	26
6.1.10	Substrateinsatz.....	27
6.2	Technische Kennzahlen aus dem Benchmarking	29
6.2.1	Volllaststunden BHKW – Arbeitsauslastung.....	30
6.2.2	Eigenstromverbrauch	30
6.2.3	Jahresnutzungsgrade.....	31
6.2.4	Stromausbeuten aus den Substraten	32
6.3	Biologische Kennzahlen aus dem Benchmarking.....	32
6.3.1	Verweilzeiten und Raumbelastung	32
6.3.2	Biogasproduktivität	34
6.4	Ökonomische Kennzahlen aus dem Benchmarking	35
6.4.1	Investitionstätigkeit	35
6.4.2	Leistungspositionen der Betriebszweigausswertung.....	36
6.4.3	Kostenpositionen der Betriebszweigausswertung	38
6.5	Zusammenfassung und Diskussion der Resultate	45
7.	Kundennutzen des Benchmarking.....	50
7.1	Anlagenbetreiber bestehender Biogasanlagen.....	50
7.2	Zukünftige Anlagenbetreiber in der Planungsphase	50
8.	Allgemeine Schlussfolgerungen zum Projekt Benchmarking Biogas	51
9.	Literatur.....	52
10.	Anhang	53

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1: Installierte Nennleistung der Biogasanlagen	22
Tabelle 2: Durchschnittliche Behälterkapazitäten nach Grössenklassen je Anlage.....	23
Tabelle 3: Gasspeicherkapazitäten der Biogasanlagen	24
Tabelle 4: Entwicklung der Stromproduktion in den Pilotphasen	24
Tabelle 5: Entwicklung der Anlagenproduktivität (BGA bis 150kW).....	25
Tabelle 6: Entwicklung der Anlagenproduktivität (BGA über 150kW)	26
Tabelle 7: Benchmarking Volllaststunden.....	30
Tabelle 8: Benchmarking Eigenstromverbrauch	30
Tabelle 9: Benchmarking energetische Jahresnutzungsgrade.....	31
Tabelle 10: Stromausbeuten aus den Substraten.....	32
Tabelle 11: Verweilzeiten im gasdichten System (Fermenter und Nachgärer)	33
Tabelle 12: Raumbelastung der Gärbehälter	33
Tabelle 13: Biogasproduktion aus den Substraten.....	34
Tabelle 14: Investitionen in die Biogasanlagen	35
Tabelle 15: Veränderung der Anteile an den Leistungen Pilotphase II zu III	38
Tabelle 16: Veränderung der Anteile an den Leistungen Pilotphase I zu II.....	38
Tabelle 17: Anteil der Direktkosten an den Gesamtkosten in Pilotphase III	40
Tabelle 18: Anteil der Direktkosten an den Gesamtkosten in Pilotphase II	40
Tabelle 19: Anteil der Betriebskosten an den Gesamtkosten in Pilotphase III	41
Tabelle 20: Anteil der Betriebskosten an den Gesamtkosten in Pilotphase II	41
Tabelle 21: Benchmarking Arbeitseffizienz	42
Tabelle 22: Anteil der Anlagekosten an den Gesamtkosten in Pilotphase III	43
Tabelle 23: Anteil der Anlagekosten an den Gesamtkosten in Pilotphase II	44

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: 5-Phasen-Konzept des prozessorientierten Benchmarking	11
Abbildung 2: Systemgrenzen der Biogasanlage	13
Abbildung 3: Verteilung der landwirtschaftlichen Biogasanlagen (Ökostrom Schweiz Mitgliedsanlagen, Stand 2014) und der Teilnehmer an den Pilotphasen	21
Abbildung 4: Inbetriebnahmejahr der Biogasanlagen	22
Abbildung 5: Aufteilung der BHKW nach Technologie.....	23
Abbildung 6: Entwicklung Stromerzeugung 2014 zu 2013 nach Grössenklassen	25
Abbildung 7: Entwicklung der Wärmenutzung (ohne Wärmebedarf der Biogasanlage) ..	27
Abbildung 8: Durchschnittlicher Substrateinsatz der Biogasanlagen in Pilotphase III	28
Abbildung 9: Veränderung Substrateinsatz Pilotphase III zu Pilotphase II	29
Abbildung 10: Veränderung Substrateinsatz Pilotphase II zu Pilotphase I.....	29
Abbildung 11: Anteil der Grundinvestitionen an den Baugruppen	36
Abbildung 12: Relative Verteilung der Leistungen in Pilotphase III	37
Abbildung 13: Relative Verteilung der Kosten in Pilotphase III.....	39
Abbildung 14: Durchschnittlicher Substrateinsatz der Biogasanlagen in Pilotphase II....	53
Abbildung 15: Durchschnittlicher Substrateinsatz der Biogasanlagen in Pilotphase I.....	53
Abbildung 16: Relative Verteilung der Leistungen in Pilotphase II	54
Abbildung 17: Relative Verteilung der Kosten in Pilotphase II.....	54

1. Vorwort

Im Rahmen des von EnergieSchweiz geförderten Projektes „Aufbau eines Benchmark Systems für landwirtschaftliche Biogasanlagen in der Schweiz“ wurde ein Benchmarking System für landwirtschaftliche Biogasanlagen entwickelt, getestet und durchgeführt.

Das Gesamtprojekt wurde in zwei zeitlich nacheinander folgende Teilprojekte gegliedert. Teilprojekt 1 (2013; Vertragsnummer SI/400929-01) beinhaltete fachliche, methodische und technische Vorabklärungen für den Aufbau und die Durchführung eines Benchmarking. Teilprojekt 2 (2013-2015; Vertragsnummer SI/400929-02) umfasste den technischen Aufbau, die Umsetzung sowie die dreimalige Durchführung des Benchmarking (Pilotphasen I-III) für die Jahre 2012, 2013 und 2014.

2. Kurzzusammenfassung – Projekt Benchmarking Biogas

Ausgangslage

Die Biogaserzeugung etabliert sich zunehmend als neuer Betriebszweig in der Landwirtschaft. In der Schweiz sind derzeit rund 90 landwirtschaftliche Biogasanlagen in Betrieb und jährlich kommen neue dazu. Bisher gab es in der Schweiz noch kein System, um die Effizienz und den Erfolg der Biogaserzeugung systematisch zu untersuchen. Solch ein Vergleichssystem wurde immer stärker von Anlagenbetreibern gewünscht und an Ökostrom Schweiz herangetragen.

Zur vergleichenden Bewertung landwirtschaftlicher Biogasanlagen sind betriebs- und anlagenspezifische Kennzahlen unerlässlich. Sie ermöglichen neben einer klassischen Analyse der Einzelanlage (innerbetrieblich) vor allem anlagenübergreifende Vergleiche. Um dies zu ermöglichen müssen die eingesetzten Bewertungskriterien branchenweit definiert und festgelegt werden und ein sogenanntes Benchmarking System zur vergleichenden Bewertung vorhanden sein.

Was ist unter Benchmarking Biogas zu verstehen?

Im Benchmarking werden systematisch betriebswirtschaftliche und produktionstechnische Daten erhoben und daraus biologische, technische und ökonomische Produktions- und Effizienzkennzahlen für jede teilnehmende Biogasanlage gebildet. Die Datenerhebung und die Bildung von Kennzahlen erfolgt jährlich. Dadurch kann sich jede Biogasanlage über die Jahre sowohl mit sich selbst vergleichen als auch mit den anderen teilnehmenden Biogasanlagen sowie Referenzanlagen (best-practice).

Was sind die Ziele und die Vorteile des Benchmarking?

Die inner- und überbetrieblichen Vergleiche von Kennzahlen sowie der direkte Austausch zwischen Berufskollegen an den jährlich wiederkehrenden Workshops (Biogashöcks) fördern die Erfolgskontrolle und Optimierung der Biogasanlagen. Das Benchmarking soll somit einen kontinuierlichen Optimierungsprozess der Biogasanlagen unterstützen und zu einer höheren Effizienz sowie einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit beitragen.

Wie wird das Benchmarking durchgeführt?

Pilotphase: Die Pilotphase wurde zwischen November 2013 und Dezember 2015 durchgeführt. Während dieser Zeit wurden drei Erhebungen (Pilotphase I-III) pro Biogasanlage durchgeführt. Dabei konnten von jeder Pilotanlage die technischen und betriebswirtschaftlichen Daten von 2012, 2013 und 2014 erhoben werden. In der ersten Erhebung wurden die technischen und betriebswirtschaftlichen Grundinformationen der Biogasanlage (wie z.B. technische Auslegung oder Investitionskosten) und anschliessend auf Basis der betrieblichen Buchhaltung die Energieproduktion, der Substrateinsatz und der wirtschaftliche Erfolg erfasst. Die Ersterhebung erfolgte im Beisein und unter Mithilfe der Projektverantwortlichen. Die Dateneingabe im Rahmen der anschliessenden Zweit- und Dritterhebung (nur noch Buchführungs- und Energieproduktionsdaten) erfolgte durch die Anlagenbetreiber in eigenständiger Arbeit.

Betriebsphase: Nach Beendigung der Pilotphase geht das Benchmarking ab 2016 in die Betriebsphase über. Die Erfassung der Betriebsdaten erfolgt einmal jährlich auf Basis der Buchführung des vorangegangenen Jahres. Die bereits erfassten Daten zur technischen Auslegung der Anlage sowie die Investitionskosten müssen nicht nochmals erhoben werden. Ebenfalls findet jährlich ein Erfahrungsaustausch statt, an welchem Mitwirkende am Benchmarking exklusiv und in kleinem Rahmen ihre Ergebnisse miteinander vergleichen, diskutieren und dadurch voneinander lernen können. Ebenfalls wird Ökostrom Schweiz dabei beratend zur Seite stehen. Neue Anlagen können in der Betriebsphase jederzeit dazu stossen.

Wie wird die Vertraulichkeit der Daten gewährleistet?

Im Benchmarking Biogas werden weder während der Pilot- noch in der Betriebsphase einzelbetriebliche Daten an Dritte weitergegeben. Ökostrom Schweiz verpflichtet sich gegenüber seinen Teilnehmern sämtliche Daten aus den Betriebsvergleichen streng vertraulich und anonym zu behandeln. Der Vergleich mit Referenzanlagen erfolgt ebenfalls anonymisiert, so dass keinerlei Rückschlüsse auf teilnehmende Anlagen möglich sind. Der Direktvergleich zwischen einzelnen Anlagen ist freiwillig und nur über Biogashöck-Veranstaltungen möglich, wobei jeder Anlagenbetreiber selbst entscheidet, ob und welche Daten er zum Vergleich offenlegen möchte.

3. Projektbeschreibung und Zielsetzung

Das Projekt „Aufbau eines Benchmark Systems für landwirtschaftliche Biogasanlagen in der Schweiz“ umfasst den Aufbau eines Benchmarking Systems sowie einer Pilotphase zur Durchführung eines Benchmarking für landwirtschaftlich geprägte Biogasanlagen. Es werden systematisch betriebswirtschaftliche und produktionstechnische Daten erhoben und daraus biologische, energetische und ökonomische Produktions- und Effizienzkennzahlen gebildet.

Das Benchmarking unterstützt einen kontinuierlichen Optimierungsprozess der Biogaserzeugung und soll zu einer höheren Energie- und Ressourceneffizienz sowie einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der Biogasanlagen beitragen. Basierend auf Schweiz weit

erhobenen Daten von Biogasanlagen erfolgt ein Vergleich unter den Anlagen und mit Referenzanlagen (best-practice) hinsichtlich des optimalen Betriebs. Dieser Vergleich ermöglicht es, anhand von verschiedenen Parametern Optimierungspotentiale auf Stufe Einzelanlage zu identifizieren.

4. Projektablauf

Im Folgenden werden die einzelnen Projektphasen skizziert:

Teilprojekt 1

In Teilprojekt 1 wurden die Grundlagen für die erfolgreiche Konzeption der Benchmarking Methodik, eines Erfassungs- und Auswertungstools und die Durchführung des Benchmarking erarbeitet. Im Wesentlichen beinhaltete Teilprojekt 1 Vorabklärungen zur fachlichen (Ermittlung und Identifikation von Kenngrößen, Evaluation Methodik) und technischen Umsetzung des Benchmarking (Analyse bestehender Benchmarking-Tools und Konzeption eigenes Benchmarking).

Teilprojekt 2

Teilprojekt 2 gliederte sich in mehrere Projektphasen:

Projektphase 1: Pre-Test

Die erste Arbeitsphase beinhaltete den Test und die Validierung des in Teilprojekt 1 entwickelten Excel-basierten Erfassungs- und Auswertungstools. Der Test erfolgte mittels eines Pre-Tests, bei dem von vier Biogasanlagen die relevanten produktionstechnischen, biologischen und betriebswirtschaftlichen Daten erhoben wurden. Die erfassten Daten wurden ausgewertet und auf Datengüte und Aussagekraft hin validiert. Nach erfolgreichem Pre-Test wurden die Benchmarking-Methode sowie das dazugehörige Excel-basierte Tool analysiert.

Projektphase 2: Pilotphase I

Die Pilotphase I umfasste 20 Biogasanlagen. Die Datenerhebung wurde von Januar 2014 bis April 2014 durchgeführt. In der Pilotphase I fand die Datenerhebung im Rahmen eines Betriebsbesuchs statt. Erhoben wurden die gesamten Grunddaten zur Biogasanlage (z.B. Investitionen, Finanzierung) und die Betriebsdaten für das Jahr 2012. Nach Abschluss der Pilotphase I wurden die Ergebnisse im Rahmen eines Biogashöcks den beteiligten Anlagenbetreibern im Juni 2014 vorgestellt und diskutiert.

Projektphase 3: Erfassungs- und Auswertungstool

In Projektphase 3 erfolgte die Umsetzung eines Access-basierten Erfassungs- und Auswertungstools. In der Access-Datenbank werden alle anlagenspezifischen Daten erfasst. Hierbei handelt es sich sowohl um „Grunddaten“ die einmalig erfasst wurden (siehe Pilotphase I) wie z.B. Grundinvestitionen und Finanzierung der Biogasanlage, als auch um Daten der „laufenden jährlichen Datenerhebung“ wie z.B. Nachinvestitionen, jährlicher Substratinput, jährliche Energieerzeugung, Erlöse und Kosten. Die Auswertung der Daten wurde automatisiert und erfolgte anlagenspezifisch. Für jedes Erfassungsjahr wurden pro Anlage eine Betriebszweigabrechnung, betriebswirtschaftliche Kennzahlen, technische

Daten und Kennzahlen, Kennzahlen zur Energieerzeugung und -nutzung sowie der Substratinput in Berichten zu Händen der Anlagenbetreiber ausgewiesen.

Projektphase 4: Pilotphase II

Die Datenerhebung im Rahmen der Pilotphase II erfolgte von Oktober 2014 bis Januar 2015. Die Anlagen- und Betriebsdaten wurden mittels eines Excel-basierten Fragebogens erfasst, der den Anlagenbetreibern per E-Mail geschickt wurde. Der Fragebogen konnte vorgängig auf einer Pilotanlage hinsichtlich Verständlichkeit getestet werden.

Die erfassten Daten wurden anschliessend in die Access-Datenbank eingegeben, auf Plausibilität geprüft und mit den Daten der Pilotphase I verglichen. Telefonische oder schriftliche Rückfragen zu den eingegeben Daten waren in vielen Fällen notwendig. Bezüglich der eingesetzten organischen Abfallstoffe, deren Kosten und Erlösen fand zusätzlich ein Abgleich mit der Koordinationsstelle Biomasse bei Ökostrom Schweiz statt. Die Ergebnisse der Pilotphase II wurden im Rahmen eines Biogashöcks mit den beteiligten Anlagenbetreibern im Juni 2015 diskutiert.

Projektphase 5: Pilotphase III

Die Datenerhebung im Rahmen der Pilotphase III erfolgte von Oktober 2015 bis Dezember 2015. Die Methodik entspricht der Pilotphase II. Im Januar 2016 wird das Projekt mit einem Biogashöck abgeschlossen.

Projektphase 6: Wissenstransfer

Der Wissenstransfer erfolgte parallel zum Benchmarking Projekt und gliederte sich zum einen in den Wissenstransfer der Ergebnisse an die beteiligten Anlagenbetreiber, der Berichterstattung gegenüber dem BFE, sowie der Kommunikation von Ergebnissen an verschiedene Zielgruppen.

Um einen Wissenstransfer in die Praxis zu gewährleisten, werden die Ergebnisse aufgearbeitet und den Anlagenbetreibern in Form von Kurzberichten kommuniziert. Die Ergebnisse des Benchmarking werden den Anlagenbetreibern jährlich im Rahmen eines Biogashöcks präsentiert und können dort gemeinsam innerhalb der Benchmarking-Gruppe diskutiert werden. Hier kommen auch methodische Fragen zur Sprache. Diese Diskussionen können dazu beitragen, das Benchmarking möglichst gut auf die Bedürfnisse der Anlagenbetreiber abzustimmen. Einzelbetriebliche Einordnungen der Biogasanlagen als Entscheidungsunterstützungsinstrument der Biogasanlagenbetreiber werden individuell zur Verfügung gestellt. Individuelle betriebsspezifische Beratungen werden nach Wunsch angeboten.

Betriebsphase ab 2016

Nach Abschluss des Projektes soll das Benchmarking in der Praxis verstetigt werden und vom Status einer Pilotphase in jenen einer Betriebsphase übergehen. Dies bedeutet auch, dass das Benchmarking ab 2016 für sämtliche interessierten Anlagenbetreiber offen steht. Die Datenerfassung in der Betriebsphase soll jeweils im ersten Quartal eines Jahres erfolgen.

5. Methode und Detailinformationen

5.1 Methode des Benchmarking

Benchmarking bezeichnet eine Managementmethode, die eine Weiterentwicklung des „klassischen“ Betriebsvergleichs darstellt. Beim Betriebsvergleich werden durch den Vergleich von betrieblichen Kenn- und Vergleichsgrößen, wie zum Beispiel betriebswirtschaftlichen Leistungs- und Kostengrößen, mit anderen Unternehmen, neue Erkenntnisse für eigene Verbesserungspotentiale erlangt.

Bei der Weiterentwicklung des „klassischen“ Betriebsvergleichs, dem Benchmarking, werden mittels zielgerichteter Vergleiche unter z.B. mehreren Unternehmen die jeweils Besten als Referenz zur Leistungsoptimierung identifiziert. Die Durchführung eines Benchmarking beruht dabei auf der Orientierung an den jeweils Besten einer vergleichbaren Gruppe. Diese Vorgehensweise wird als „best-practice“ bezeichnet. Beim Benchmarking liegt der Schwerpunkt demnach nicht nur beim Vergleich mit anderen, sondern in der gezielten Identifikation der besten Praktiken mit denen Wettbewerbsvorteile erzielt werden können (Mertins et al. 1995). Nach der Identifikation der besten Praktiken mittels Benchmarking steht die Implementierung im Unternehmen im Mittelpunkt. Ziel ist nicht nur das „Was“, sondern auch das „Warum“ der besten Praktiken aufzudecken. Dadurch werden Unternehmensprozesse nicht durch blosses Kopieren versucht zu verbessern, sondern Benchmarking-Partner müssen verstehen, um fremde Lösungsansätze sinnvoll und individuell auf die eigenen Bedürfnisse anzupassen (Fahrni et al. 2002).

Methodisch besteht der Benchmarkingprozess nach Mertins et al. (1995) aus fünf Phasen (vgl. Abbildung 1). Ausgangspunkt ist die Phase der Zielsetzung, in der der Fokus des Benchmarking festgelegt wird. Die Zielsetzung gilt es dementsprechend sorgfältig abzustimmen, zu dokumentieren und mögliche Fehlerquellen im Benchmarking zu umgehen.

In der zweiten Phase werden die internen Prozesse analysiert, da ein Vergleich mit den Prozessen der Benchmarking-Partner nur dann sinnvoll sein kann, wenn die eigenen verstanden werden. Der Abschluss der internen Phase besteht in der Formulierung von Fragen und der Identifikation von Kenngrößen, die Optimierungsmöglichkeiten erkennen helfen. Mit einem hohen internen Wissen um das Benchmarkingobjekt und die internen Prozesse, kann mit der Vergleichsphase begonnen werden.

Die Vergleichsphase gliedert sich in fünf Teilschritte, der Auswahl eines geeigneten Vergleichsunternehmens, der Untersuchung des Vergleichsunternehmens, der Durchführung des Vergleichs, der Bewertung der Ergebnisse und der Ermittlung der Ursachen von Unterschieden.

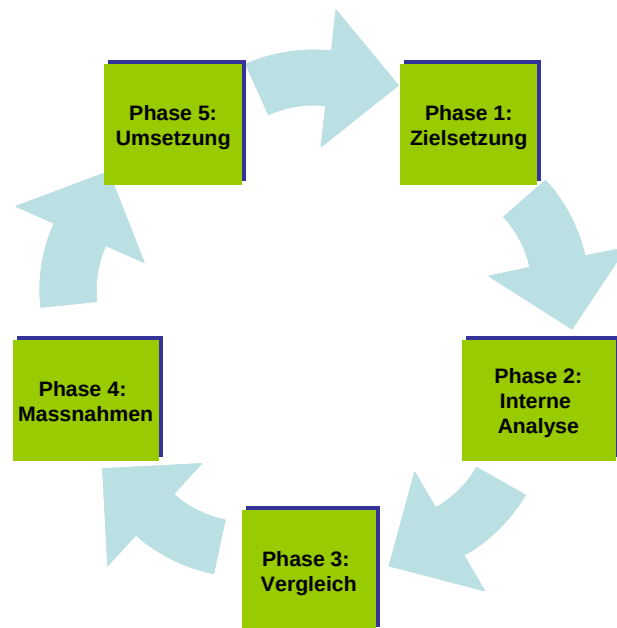


Abbildung 1: 5-Phasen-Konzept des prozessorientierten Benchmarking

Quelle: Mertins et al. (1995)

Nach dem eigentlichen Benchmarking muss sich eine Phase der Entwicklung von Massnahmenkatalogen anschliessen, mit denen die in Phase 1 gesetzten Ziele erreicht werden können. Der letzte Schritt des Benchmarking Prozesses ist dann schliesslich die Umsetzung der formulierten Massnahmen. Dabei heisst umsetzen, wie bereits oben erwähnt, nicht kopieren einer Lösung, sondern anpassen einer Lösung auf die eigenen Verhältnisse mit dem Ziel, möglichst besser zu werden als das Original.

Damit ist der Benchmarking Prozess jedoch nicht abgeschlossen, da nun die Leistungssteigerungen gemessen und mit den Zielsetzungen wiederum abgeglichen werden müssen. Da sich auch alle Benchmarking Partner stetig weiterentwickeln, gilt es die Zielsetzung kontinuierlich zu überprüfen und neuen Erfordernissen anzupassen. Das Benchmarking muss deshalb als kontinuierlicher Prozess im Unternehmen etabliert werden.

Nach Zdrowomyslaw und Kasch (2002) und Müller-Hagedorn (1998) können Betriebsvergleiche und Benchmarking vor allem in fünf Bereichen hilfreich sein:

- 1. beim Auffinden von Schwachstellen,**
- 2. bei der Ursachenanalyse,**
- 3. bei der Erstellung von Wirkungsprognosen,**
- 4. bei der Formulierung von Zielvorgaben und**
- 5. bei der Kontrolle dieser.**

Im Einzelnen sind diese Funktionen nach Zdrowomyslaw und Kasch (2002):

- 1. Auffinden von Schwachstellen:** In der Analysephase helfen Betriebsvergleiche, Probleme rechtzeitig zu erkennen, indem sie Hinweise auf vergleichsweise schlechte Zielerreichungsgrade im Betrieb insgesamt oder in einzelnen Bereichen geben und so einen Handlungsbedarf signalisieren (*Anstossfunktion*).

2. **Ursachenanalyse:** Werden Schwachstellen erkannt, sind die Ursachen für vergleichsweise schlechte Kennzahlen bzw. Entwicklungen zu untersuchen. Zu beachten ist hierbei die Tatsache, dass einzelne betriebliche Grössen miteinander verknüpft sind. So kann es beispielsweise bei der Ursachenanalyse bei einem unbefriedigenden Betriebsergebnis sinnvoll sein, dieses in seine verschiedenen Aufwands- und Leistungsarten aufzuteilen um Ursachen besser lokalisieren zu können. Durch die Feststellung von Gemeinsamkeiten und Unterschieden helfen Betriebsvergleich und Benchmarking beim Auffinden von Schwachstellen und deren Ursachenanalyse (*Lernfunktion*).
3. **Wirkungsprognosen:** Im Rahmen jeder Planung gilt es die Wirkung einzelner Massnahmen auf die interessierende Zielgrösse nach Möglichkeit zu prognostizieren. Vergleiche und Orientierungsgrössen erleichtern eben diese Prognosen. Durch die Analyse des Einflusses verschiedener Kenngrößen auf z. B. das Betriebsergebnis anhand der Kennzahlenstruktur von Vergleichsbetrieben wird versucht, Gesetzmäßigkeiten abzuleiten, um die Erfolgsaussichten von z. B. Investitionen beurteilen zu können und damit Entscheidungsunterstützung zu leisten (*Wirkungsprognosefunktion*).
4. **Formulieren von Zielvorgaben:** Unternehmensführung mit Zielen und Kenngrössen ist ein zentrales Führungsinstrument. Vergleichs- und Orientierungsgrössen, gewonnen aus Betriebsvergleichen und Benchmarking, können bei der Zielformulierung und Zielfestlegung hilfreich sein. Den Rahmen dafür bilden eine ausreichende Betriebsstatistik sowie ein funktionierendes Berichtswesen. Durch das Setzen von Zielmarken und das Vergleichen mit diesen, können abstrakte Unternehmensziele wie z.B. Rentabilität oder Liquidität konkretisiert werden. Der konkrete Vergleich mit anderen Betrieben kann allein bereits eine Motivation auslösen (*Motivationsfunktion*).
5. **Kontrolle:** Die aus Betriebsvergleich und Benchmarking gewonnenen Informationen unterstützen nicht nur die Planung, sondern sind auch ein wichtiges Kontrollinstrument. Wird die Kontrolle als systematischer Prozess betrachtet, in dem eine zu prüfende Grösse durch einen Vergleich einer Massstabs- oder Normgrösse beurteilt wird, so können die dafür nötigen Normgrössen aus Betriebsvergleichen und Benchmarking abgeleitet werden. Die Einordnung und Positionsbestimmung der wirtschaftlichen Situation des Betriebes anhand von gewonnenen Massstabs- und Kenngrössen dient nicht nur der eigenen Existenzsicherung, sondern wird auch von betriebsexternen Stellen genutzt z. B. im Rating von Banken (*Bewertungs- und Kontrollfunktion*).

5.2 Systemgrenzen

Eine klare und allgemein abgestimmte systematische Abgrenzung des Betriebszweiges Biogasanlage von landwirtschaftlichen oder anderen Betriebszweigen ist für eine saubere Datenerfassung und ein aussagekräftiges Benchmarking Voraussetzung. Die Systemgrenzen wurden deshalb wie folgt festgelegt:

Der Biogasprozess beginnt grundsätzlich, sobald die Substrate bei der Anlage eingelagert sind und endet bei der Ausbringung der Gärreste auf dem Feld. Im energetischen Bereich liegt die Systemgrenze beim Zählerpunkt für verkauften (ins Netz eingespeisten) Strom sowie bei der Übergabestation der Wärme an den Wärmenutzer. Im Detail werden die Systemgrenzen wie folgt definiert (vgl. Abbildung 2).

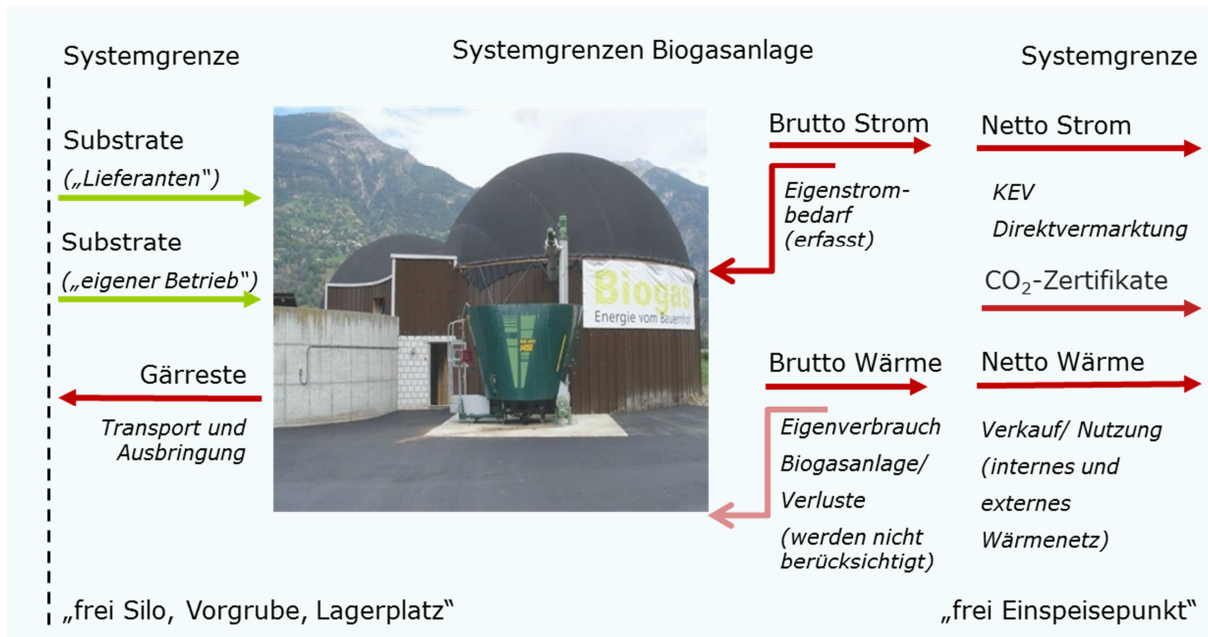


Abbildung 2: Systemgrenzen der Biogasanlage

Quelle: Eigene Darstellung

➤ Substratinput:

Die Substratkosten und -erlöse werden für alle Substrate grundsätzlich frei Substratlager (Silo, Vorgrube, Tank, Lagerhalle) an der Biogasanlage ausgewiesen (inkl. Transport, Ernte, Entsorgungserlöse, etc.). Alle Substratkosten werden inkl. Mehrwertsteuer erfasst. Eine Ausnahme bilden fest installierte Einrichtungen zum Substrattransport, wie z.B. Gülleleitungen von benachbarten landwirtschaftlichen Ställen zur Biogasanlage, die vom Betriebszweig Biogasanlage betrieben werden. In diesem Fall sind die festen Einrichtungen bei den Investitionen der Biogasanlage zu berücksichtigen.

➤ Gärreste (Output):

Transport- und Ausbringkosten werden erfasst und nach betriebsspezifischer Situation bewertet. Erfasst werden die Gärrestmengen die im eigenen landwirtschaftlichen Betrieb ausgebracht werden und die Gärrestmengen, die an andere landwirtschaftliche Betriebe geliefert werden. Werden Gärreste an andere Betriebe geliefert, werden die Kosten und

Erlöse für den Transport und die Ausbringung in jedem Fall im Benchmarking berücksichtigt. Transport- und Ausbringkosten im eigenen landwirtschaftlichen Betrieb werden je nach betriebsspezifischer Situation der Biogasanlage angelastet oder bleiben unberücksichtigt wenn die Leistungen dem Landwirtschaftsbetrieb zugerechnet werden sollen.

➤ **KEV-System:**

Systemgrenzen welche durch das KEV-System (gemäss Energieverordnung (EnV), insbesondere Anhang 1.5 – Biomasse) vorgegeben sind, werden berücksichtigt.

➤ **Wärmenutzung:**

Die Systemgrenze bei der Wärmenutzung (Output) wird betriebsindividuell gezogen. Grundsätzlich wird jede Wärmenutzung erfasst, die für Wärmezwecke genutzt wird. Eine Ausnahme ist jedoch der Eigenwärmebedarf der Biogasanlage, der bisher nicht erfasst werden kann, da entsprechende Wärmemengenzähler an den Biogasanlagen nicht installiert sind.

Bei der verbleibenden Wärme wird unterschieden zwischen betriebsnahen Abnehmern (z.B. Ökonomiegebäude Landwirtschaftsbetrieb, Wohngebäude Landwirtschaftsbetrieb, sonstige betriebsnahe Gebäude), welche ohne Fernwärmenetz auskommen und betriebsfernen Abnehmern (meist betriebsfremde Abnehmer, welche an ein Fernwärmenetz angeschlossen sind). Die abgehende Wärme die innerbetrieblich oder betriebsnah genutzt, aber nicht tatsächlich verkauft wird, kann von den Anlagenbetreibern oft nur überschlägig berechnet werden und wird mit einem kalkulatorischen Verrechnungswert in Höhe von derzeit 8 Rp. je kWh als Leistung für die Biogasanlage verbucht.

Verkaufte Wärme, z.B. über ein Nahwärmenetz, wird zu den tatsächlich erzielten Erlösen im Benchmarking verbucht. In beiden Fällen werden alle im Zusammenhang mit der Wärmenutzung anfallenden Kosten berücksichtigt.

5.3 Methodische Detailinformationen

Im folgenden Kapitel werden methodische Detailinformationen zur Erhebung und Berechnung unterschiedlicher Daten dargestellt. Wie bereits beschrieben, sollte die oberste Prämisse eine möglichst einheitliche Datenerfassung bzw. Berechnung bei allen Benchmarking Teilnehmern sein. Da in der Praxis erhebliche Unterschiede in der Bewertung von Kosten- und Leistungspositionen bestehen, werden diese bestmöglich vereinheitlicht.

Dabei wird im Benchmarking Biogas wie folgt vorgegangen:

➤ **Abschreibungen:**

Die Abschreibung erfolgt grundsätzlich von den Anschaffungskosten laut Rechnung ohne Mehrwertsteuer und wird nicht gekürzt um ggf. gewährte Zuschüsse. Zuschüsse, wie z.B. Investitionsbeiträge, werden aus Gründen der Vergleichbarkeit wie Investitionen aktiviert und über die Nutzungsdauer ertragswirksam aufgelöst.

Alle Investitionen werden vereinfacht in vier Anlagenkategorien unterteilt (BHKW, Technik, Bauten und Maschinen), für die jeweils eine einheitliche Nutzungsdauer unterstellt

wird. Die Nutzungsdauer der BHKW wird auf 8 Jahre, von Technik und Maschinen auf 10 Jahre und von Bauten auf 20 Jahre festgelegt. Die Abschreibung erfolgt jeweils linear.

➤ **Kapitalverzinsung:**

Biogasanlagen werden grundsätzlich durch Fremdkapital, Eigenkapital und Landwirtschaftskredite finanziert. Die Zinssätze für das eingesetzte Kapital sind in der Praxis aus vielen Gründen recht unterschiedlich.

Landwirtschaftskredite stehen zinslos zur Verfügung und müssen nur über eine festgelegte Zeitdauer getilgt werden. Eigenkapital wird in der Praxis zum Teil in Form von Privatkrediten investiert und verzinst, z.T. als nicht verzinsten Einlage in das Unternehmen eingebracht. Die Bandbreite ist hier sehr gross. Fremdkapital wird sowohl in Form klassischer Bankdarlehen als auch in Form von Privatkrediten eingebracht. Die Laufzeiten der Kredite und die Zinssätze unterscheiden sich stark zwischen den Anlagen und über die Zeit (Fristigkeit der Darlehen). Oft wird Fremdkapital auch über den Landwirtschaftsbetrieb in die Biogasanlage eingebracht.

Da der Kapitaleinsatz bei allen Biogasanlagen einheitlich bewertet werden soll, wird sowohl Eigenkapital als auch Fremdkapital mit einem einheitlichen kalkulatorischen Zinssatz von derzeit 3,0 % belastet. Die hinterlegten Zinssätze werden jährlich überprüft und bei Bedarf aktualisiert und angepasst. Eine Ausnahme bildet lediglich der Landwirtschaftskredit, der im Benchmarking zinsfrei berücksichtigt wird.

➤ **Lohnkosten:**

Sofern die geleistete Arbeit des Betriebsleiters und aller angestellten Arbeitskräfte erfasst und Löhne ausbezahlt werden, werden die tatsächlichen Lohnkosten im Benchmarking berücksichtigt.

Wird die eigene Arbeit oder die Arbeit von Familienarbeitskräften nicht entlohnt, werden die geleisteten Arbeitsstunden mit einem einheitlichen Lohnansatz von Fr. 44.- je Stunde entschädigt (gemäss ART-Ansatz für ausserlandwirtschaftliche Angestellte) (GAZZARIN UND LIPS, 2012). Die Lohnansätze werden jährlich überprüft und bei Bedarf aktualisiert und angepasst.

➤ **Rückbaurückstellungen:**

Betreiber von landwirtschaftlichen Biogasanlagen müssen nach Beendigung der Nutzung, die Biogasanlage mit allen dazugehörigen baulichen Anlagen zurückbauen. Ein Rückbau ist im Sinne des Werterhalts der genutzten Flächen notwendig und in der Praxis auch im Rahmen der Baubewilligung vorgeschrieben. Für den Rückbau sollten jährlich Rückstellungen gebildet werden. Die Höhe der Rückstellungen kann sich je nach betrieblichen Gegebenheiten zum Beispiel am vorhandenen Fermentervolumen oder der Investitionshöhe orientieren.

Rückbaurückstellungen werden bisher noch nicht im Benchmarking berücksichtigt. Es ist jedoch vorgesehen, regelmässig diese Frage im Rahmen von Biogashöcks zu diskutieren.

➤ **Wärmenutzung:**

Extern genutzte Wärme die verkauft wird, d.h. mit der tatsächlich ein monetärer Verkaufserlös erzielt wird, wird von den Anlagebetreibern im Benchmarking erfasst. Innerbetriebliche Wärmenutzung (ohne Fermenterheizung), z.B. zur Beheizung des Wohnhauses, der Ställe, etc., für die kein Verkaufserlös erzielt werden kann, wird mit einem kalkulatorischen Verrechnungswert berücksichtigt. Die innerbetrieblich genutzte Wärme wird mit einem einheitlichen Verrechnungswert von 8 Rappen je Kilowattstunde vergütet und geht als kalkulatorischer Wärmeerlös der Biogasanlage in die Betriebszweigabrechnung ein. Der kalkulatorische Wärmeerlös wird jährlich überprüft und bei Bedarf angepasst.

➤ **Stromnutzung:**

Der in Biogasanlagen erzeugte elektrische Strom wird in der Regel verkauft oder als Eigenstrom gemäss KEV-Rahmenbedingungen für den Betrieb der Biogasanlage genutzt. Der Eigenstrom verursacht weder Kosten noch Leistungen und wird daher nur physisch erfasst.

Wird dagegen Strom, der in der Biogasanlage erzeugt wurde, auch in den landwirtschaftlichen Gebäuden, Maschinen, etc. des Betriebes unentgeltlich eingesetzt, ist dies als innerbetriebliche kalkulatorische Leistung zu werten. Die innerbetriebliche Nutzung selbst erzeugten Stroms ist nur bei Anlagen zu finden, die nicht bei der kostendeckenden Einspeisevergütung teilnehmen.

Der innerbetrieblich genutzte Strom wird nicht mit einem einheitlichen Verrechnungswert vergütet, sondern betriebsindividuell mit einem kalkulatorischen Substitutionswert berücksichtigt. Der Substitutionswert leitet sich vom Strompreis für Gewerbekunden des jeweiligen regionalen Elektrizitätsversorgers ab (Strompreis-Webseite der ElCom, Verbrauchsprofile von Gewerbe- und Industriebetrieben; www.strompreis.elcom.admin.ch).

➤ **Gemeinkosten:**

Eine Verteilung von Gemeinkosten ist immer dann notwendig, wenn in einem Unternehmen einzelne Betriebsmittel wie z.B. Arbeitskräfte, Büro, Verwaltung, Maschinen oder auch Gebäude von mehreren Betriebszweigen genutzt werden. Allgemein sollte bei der Verteilung soweit möglich auf Aufzeichnungen wie z.B. Betriebstagebücher zurückgegriffen werden. Fehlen betriebliche Aufzeichnungen, wird die Zuteilung zu einzelnen Betriebszweigen geschätzt. Schätzungen des Betriebsleiters sind vor allem bei der Zuteilung der Arbeitszeiten und dem Einsatz bestimmter Maschinen des Landwirtschaftsbetriebs wie bspw. dem Traktor notwendig. Verwaltungskosten wie bspw. allgemeine Versicherungen, Büro, Buchführung, etc., werden im Benchmarking der Buchführung der Biogasanlage entnommen, sind für diese aber auch in vielen Fällen geschätzt worden.

Die Verteilung von Gemeinkosten, wird vom Anlagenbetreiber bei der Datenerfassung selbstständig oder in Absprache mit dem Projektteam vorgenommen.

➤ **Flächennutzung:**

Die Flächen auf denen die Biogasanlage und die Lagerstätten errichtet wurden, sowie die dazugehörigen Aussenflächen werden in der Betriebszweigabrechnung nicht abgeschrieben.

ben. Es wird unterstellt, dass der Wert der Flächen über die Nutzungsdauer der Biogasanlage erhalten bleibt. Da Flächen jedoch nicht kostenlos zur Verfügung stehen, werden im Benchmarking die tatsächlichen Entschädigungszahlungen für die Fläche erfasst oder die Nutzung der Fläche mit einem kalkulatorischen Pachtansatz entschädigt. Die DLG (2006) schlägt für die Ermittlung des Pachtansatzes vor, die doppelte ortsübliche Vergleichspacht für landwirtschaftliche Flächen als Pachtansatz zu nutzen.

5.4 Kennzahlen

Kennzahlen bilden die Grundlage für Betriebsvergleiche und Benchmarking. Kennzahlen, die hinsichtlich Verständlichkeit für Biogasanlagenbetreiber, der möglichen Messung, der Robustheit und der Eindeutigkeit leicht zu bilden sind und im Benchmarking standardmässig für alle teilnehmenden Biogasanlagen berechnet werden, werden im Folgenden skizziert.

5.4.1 Betriebswirtschaftliche Kennzahlen

Betriebswirtschaftliche Kennzahlen sind die Grundlage für unternehmerische Entscheidungen. Sie geben Auskunft über die Auswirkungen von getroffenen Entscheidungen und ermöglichen das Erkennen von Problemen und Chancen. Ausserdem dienen Kennzahlen der Kontrolle von ex ante geplanten und ex post erreichten Ergebnis.

- **Spezifische Investitionskosten:** Gesamtinvestitionssumme (Fr.) bezogen auf die installierte elektrische Leistung (kW_{el}).
- **Spezifischer Arbeitszeitbedarf:** Arbeitsbedarf für den Betrieb, Wartung und Instandhaltung der Anlage (inkl. Organisation, Büroaufwand, etc.)(h/a) je Tag (365 Tage) oder bezogen auf die installierte elektrische Leistung (kW_{el}).
- **Spezifische Leistungen (Umsatz):** Jährlicher Umsatz aus Strom- und Wärmeverkauf sowie Entsorgungserlösen inkl. Kalkulatorischer Erlöse (Fr./a) bezogen auf die elektrische Netto-Jahresarbeit ($\text{kWh}_{\text{el}}/\text{a}$)(verkaufter und selbst genutzter Strom).
- **Spezifische Stromgestehungskosten:** Jährliche Kosten für sämtliche verbrauchs- und betriebsgebundene Aufwendungen inkl. kalkulatorische Kosten (Fr./a), bezogen auf die elektrische Netto-Jahresarbeit ($\text{kWh}_{\text{el}}/\text{a}$) (verkaufter und selbst genutzter Strom).
- **Spezifischer kalkulatorischer Gewinn:** Betriebsergebnis zuzüglich kalkulatorischer Grössen (Fr./a) bezogen auf die elektrische Netto-Jahresarbeit ($\text{kWh}_{\text{el}}/\text{a}$) (verkaufter und selbst genutzter Strom).
- **Gesamtkapitalrentabilität:** Verhältnis von kalkulatorischen Gewinn zuzüglich Kapitalzinsen (Fr./a) zu Gesamtkapital (Eigenkapital und Fremdkapital)(Fr.) in %.
- **Cash Flow:** Verhältnis von kalkulatorischen Gewinn (Fr./a) zuzüglich nicht-ausgabenwirksamer Kosten (Abschreibungen) (Fr./a) und kalkulatorischer Kosten (Fr./a) bezogen auf die Betriebsleistung (Umsatz)(Fr./a) in %.

5.4.2 Produktionstechnische Kennzahlen

Die produktionstechnischen Kennzahlen dienen der Charakterisierung und Effizienzkontrolle der Energieerzeugung. Sie umfassen in erster Linie Kenngrößen der Biogasverwertung und ermöglichen damit einen quantitativen Vergleich hinsichtlich Leistung und energetischer Effizienz.

- **Volllaststunden:** Quotient aus produzierter Strommenge ($\text{kWh}_{\text{el}}/\text{a}$) und Nennleistung der Biogasanlage bzw. der BHKW (kW_{el}).
- **Spezifischer Eigenstrombedarf:** Differenz aus Jahresarbeit elektrisch (Bruttostromproduktion) ($\text{kWh}_{\text{el}}/\text{a}$) und Nettostromproduktion ($\text{kWh}_{\text{el}}/\text{a}$).
- **Elektrischer Jahresnutzungsgrad extern genutzt:** Verhältnis der nutzbar abgegebenen elektrischen Energie (= produzierte elektrische Nettoenergiemenge) zur gesamten zugeführten Brennstoffenergie.
- **Elektrischer Jahresnutzungsgrad Eigenstrombedarf:** Verhältnis des Eigenstrombedarfs zur gesamten zugeführten Brennstoffenergie.
- **Thermischer Jahresnutzungsgrad:** Verhältnis der nutzbar abgegebenen thermischen Energie (= tatsächlich genutzten) zur gesamten zugeführten Brennstoffenergie.
- **Gesamter Jahresnutzungsgrad:** Verhältnis der gesamten (elektrischen und thermischen) nutzbar abgegebenen Energie (= produzierte und genutzte Nettoenergiemenge) zur gesamten zugeführten Brennstoffenergie.
- **Stromausbeute:** Stromproduktion ($\text{kWh}_{\text{el}}/\text{a}$) pro Kilogramm zugeführter Substratmasse in Frischsubstanz (FS), Trockensubstanz (TS) und organischer Trockensubstanz (oTS).

5.4.3 Prozessbiologische Kennzahlen

Die prozessbiologischen Kennzahlen umfassen Kenngrößen der Substrateffizienz und der Fermenterbelastung und dienen damit der Kontrolle des Substratabbaus, der biologischen Aktivität und damit schliesslich der Prozessstabilität in der Biogasanlage.

- **Spezifische Substratmenge** als organische Trockensubstanz (oTS): Jährliche, als organische Trockensubstanz zugeführte Substratmenge je m^3 Fermentervolumen oder inst. el. Leistung (kW_{el}).
- **Organische Raumbelastung** des Hauptfermenters: Bemessungsgröße für Anaerobreaktoren: täglich zugeführte Menge an oTS pro m^3 Nutzvolumen des Hauptfermenters.
- **Hydraulische Verweilzeit** (HRT): Näherungswert für die durchschnittliche Verweilzeit eines Substrats im geschlossenen System (Fermenter und Nachgärer) in Tagen.
- **Biogasausbeute und Methanausbeute:** Durchschnittliche Biogasproduktion/ Methanproduktion aus einer Tonne org. Trockensubstanz oder Frischsubstanz des Substrates (Nm^3).

5.5 Technische Umsetzung

Bereits im Vorfeld der Diskussionen rund um den Aufbau der technischen Lösung des Benchmarking Systems wurde definiert, dass das Handling des Systems in Bezug auf Ergänzungen und Änderungen äusserst flexibel gestaltet und umgesetzt werden muss. Konkret bedeutet dies, dass allfällige Anpassungen schnell, flexibel und unkompliziert getätigt werden müssen.

➤ Erfassungs- und Auswertungstool Pilotphase I:

In Pilotphase I wurde ein Excel-basiertes Erfassungs- und Auswertungstool entwickelt und eingesetzt. Das Tool stellte keinen Fragebogen dar, da die Datenerhebung vor Ort auf den Betrieben durch das Projektteam durchgeführt wurde. Nach Validierung und Bereinigung der erhobenen Daten wurden diese durch das Projektteam in das Tool eingegeben. Im Tool wurden die Daten automatisiert ausgewertet und ein anlagenspezifisches Ergebnis produziert (Anlagenspiegel, Betriebszweigausswertung, Kennzahlen).

➤ Fragebogen Pilotphase II/III:

In Pilotphase II/III wurde ein Excel-basierter Fragebogen eingesetzt. Der Fragebogen wurde per E-Mail an die Anlagenbetreiber geschickt. Alle Fragen waren zum besseren Verständnis mit möglichst ausführlichen Erläuterungen versehen. Die Fragebögen im Rücklauf wurden hinsichtlich Vollständigkeit und Datenqualität validiert. Zum Teil mussten einzelne Fragen nochmals schriftlich oder telefonisch mit den Anlagenbetreibern diskutiert werden. Die erhobenen Daten wurden für weitere Auswertungsschritte anschliessend in die Access-Datenbank eingegeben.

➤ Access-Datenbank:

Zur Erfassung, Strukturierung und Auswertung der Anlagendaten im Benchmarking wurde eine relationale Datenbank aufgebaut. Die Datenbank wurde mit der Datenbankanwendung Microsoft Access erstellt. Mit der Datenbankanwendung MS Access konnte bei vertretbarem Aufwand eine individuelle, speziell auf die spezifischen Projektbedürfnisse zugeschnittene Datenbanklösung entwickelt werden. Die Datenbank konnte vom Projektteam ohne externe Unterstützung erstellt werden. Dadurch ist auch die laufende Wartung, Optimierung und Erweiterung gewährleistet.

Die Datenerfassung auf den Biogasanlagen selbst erfolgte wie bis anhin durch das Projektteam vor Ort oder mittels Fragebogen.

In der Access Datenbank werden alle anlagenspezifischen Daten erfasst. Alle kalkulatorischen Kostenansätze und die Substratlisten wurden in der Datenbank zentral hinterlegt, so dass sie einfach aktualisiert und geändert werden können.

Die Auswertung der Daten ist automatisiert und erfolgt anlagenspezifisch. Für jedes Erfassungsjahr werden pro Anlage eine Betriebszweigausswertung, betriebswirtschaftliche Kennzahlen, technische Daten und Kennzahlen, Kennzahlen zur Energieerzeugung und – Nutzung sowie der Substratinput in Berichten ausgewiesen. Durch die Datenbank konnten die Standardauswertungen im Rahmen des Benchmarking (Betriebszweigausswertung und Kennzahlen) deutlich vereinfacht werden.

➤ **Benchmarking:**

Im Benchmarking der Betriebszweigauswertungen können die betriebswirtschaftlichen Ergebnisse der eigenen Biogasanlage mit den Ergebnissen der anderen Biogasanlagen verglichen werden (Ergebnisse werden im vorliegenden Projektbericht nicht dargestellt). Dabei wird für die Biogasanlagen der Vergleichsgruppe jeweils das durchschnittliche Ergebnis des oberen Quartils (+25%), das durchschnittliche Ergebnis der gesamten Vergleichsgruppe und das durchschnittliche Ergebnis des unteren Quartils (-25%) dargestellt. Die Ergebnisse beziehen sich zum einen auf die Leistungen und Kosten im Verhältnis zum verkauften Strom (Rp./kWh). Damit kann verglichen werden, wie die einzelne Biogasanlage betriebswirtschaftlich gegenüber den anderen Anlagen aufgestellt ist und bei welchen Leistungs- und Kostenpositionen Abweichungen zu erkennen sind.

Zum anderen werden die Ergebnisse des Benchmarking Betriebszweigauswertung relativ in Prozent dargestellt. Damit kann verglichen werden, wie hoch der Anteil der einzelnen Leistungs- und Kostenpositionen an der Summe der Leistungen und Kosten einer Biogasanlage ist. Im Vergleich mit den anderen Biogasanlagen kann überprüft werden, wie die Anteile bei der Vergleichsgruppe verteilt sind.

Im Kennzahlenvergleich werden jeder einzelnen Kennzahl der Durchschnitt der gesamten Vergleichsgruppe sowie das obere und das untere Quartil gegenübergestellt. Jede Kennzahl steht dabei für sich allein. Die verschiedenen Kennzahlen stehen nicht in Verbindung zueinander. Diese Darstellung soll die Spannbreite der einzelnen Kennzahlen verdeutlichen.

In Pilotphase II und III lagen Anlagendaten mehrerer Erhebungsjahren vor, deshalb wurden die Auswertungen um Jahresvergleiche erweitert.

6. Ergebnisse des Benchmarking Biogas

6.1 Allgemeine Ergebnisse

6.1.1 Grundgesamtheit und teilnehmende Biogasanlagen

In den Pilotphasen nahmen 20 landwirtschaftliche Biogasanlagen am Benchmarking teil. Für die Pilotphasen wurden die Biogasanlagen nicht nach repräsentativen Kriterien wie z.B. hinsichtlich der installierten Leistung oder der regionalen Verteilung ausgewählt.

In Abbildung 3 ist die regionale Verteilung aller Ökostrom Schweiz (ÖS) Mitgliedsanlagen im Jahr 2014 sowie die an den Pilotphasen teilnehmenden Biogasanlagen dargestellt. Als Grundgesamtheit wird der Mitgliederbestand von Ökostrom Schweiz (ÖS) definiert.

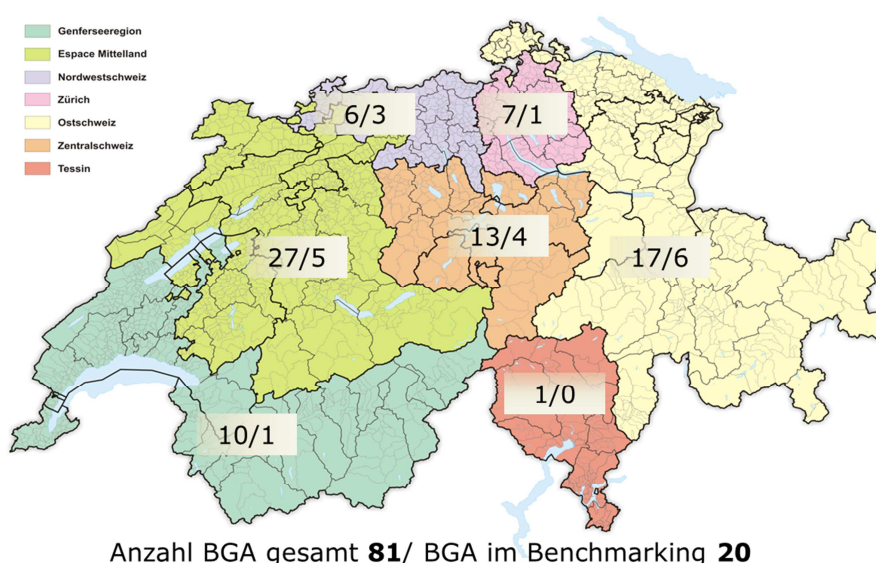


Abbildung 3: Verteilung der landwirtschaftlichen Biogasanlagen (Ökostrom Schweiz Mitgliedsanlagen, Stand 2014) und der Teilnehmer an den Pilotphasen

Quelle: Eigene Darstellung (Karte: Wikipedia)

6.1.2 Hintergrundinformationen zum Landwirtschaftsbetrieb

Im Sinne der Energieverordnung (EnV) werden im Benchmarking ausschliesslich landwirtschaftliche Biogasanlagen berücksichtigt. Mit einer Ausnahme stehen alle Biogasanlagen in Verbindung zu einem Landwirtschaftsbetrieb. Eine Biogasanlage wird von einem landwirtschaftsfremden Investor betrieben.

Von den 19 Landwirtschaftsbetrieben (Standortbetriebe der Biogasanlage) haben 8 ihren Hauptbetriebszweig im Bereich Rindviehhaltung (Milchvieh, Rindermast/ Mutterkuh). 7 Betriebe sind auf Schweinemast bzw. Zucht spezialisiert, 3 Betriebe sind Gemischtbetriebe mit Rindvieh, Schweinen, Geflügel, Ackerbau und 1 Betrieb ist spezialisiert auf die Mutterschafhaltung. In fünf Fällen ist die Biogasanlage im Besitz von mehreren Landwirtschaftsbetrieben (zwischen 2 und 8 Landwirtschaftsbetriebe).

➤ Inbetriebnahmejahr der Biogasanlagen:

In Abbildung 4 ist das Inbetriebnahmejahr der Biogasanlagen dargestellt. Rund 20 % der Anlagen sind vor 2005 in Betrieb genommen worden. Die Hälfte der Anlagen wurde zwischen 2005 und 2007, rund 15 % zwischen 2008 und 2010 und ebenfalls 15 % seit 2011 errichtet. Damit haben die meisten Anlagenbetreiber langjährige Erfahrungen mit der Biogasproduktion. Alle älteren Biogasanlagen wurden nach der Inbetriebnahme laufend im Rahmen von Nachinvestitionen erweitert und modernisiert.

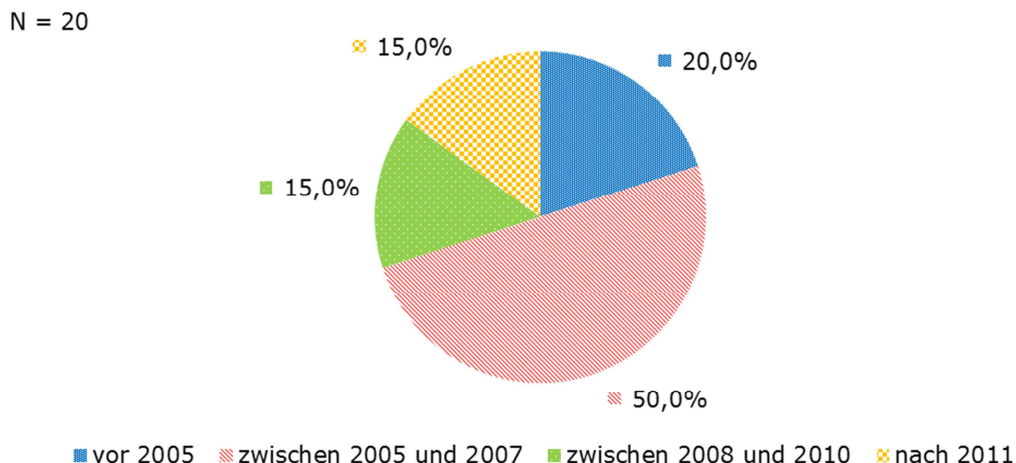


Abbildung 4: Inbetriebnahmejahr der Biogasanlagen

6.1.3 Installierte Leistung

Die installierte Nennleistung der im Jahr 2014 in Betrieb befindlichen Mitgliedsanlagen von Ökostrom Schweiz (74 Anlagen mit bekannter inst. Leistung) betrug rund 10,9 MW_{el}, wobei rund 61 % der Anlagen eine Leistung bis 150 kW_{el} und 39 % der Anlagen über 150 kW_{el} aufwiesen. Die durchschnittliche elektrische Nennleistung lag bei 147 kW_{el}.

Bei den an der Pilotphase III teilnehmenden Biogasanlagen lag die durchschnittliche installierte Nennleistung mit 191 kW_{el} deutlich höher als im Durchschnitt der Mitgliedsanlagen von Ökostrom Schweiz. Insgesamt betrug die installierte Leistung rund 3,8 MW_{el}. Gegenüber Pilotphase II reduzierte sich die installierte Anlagenleistung um rund 2 % aufgrund einer BHKW Stilllegung. In Pilotphase II erhöhte sich die installierte Anlagenleistung um rund 22 % durch deutliche Anlagenerweiterungen einiger Biogasanlagen.

Tabelle 1: Installierte Nennleistung der Biogasanlagen

Leistungsklassen der Biogasanlagen	Grundgesamtheit		Pilotphase III		Pilotphase II		Pilotphase I	
	Anzahl BGA * ¹	installierte Leistung (kW)* ¹	Anzahl BGA	installierte Leistung (kW)	Anzahl BGA	installierte Leistung (kW)	Anzahl BGA	installierte Leistung (kW)
bis 150 kW _{el}	45	3.759	10	1.070	10	1.020	12	1.270
über 150 kW _{el}	29	7.112	10	2.740	10	2.885	8	1.925
Gesamt	74	10.871	20	3.810	20	3.905	20	3.195
Durchschnittliche Leistung (KW)		147		191		195		160

*¹ nur Aktivmitglieder Ökostrom

6.1.4 BHKW Technik

Auf den Biogasanlagen kommen überwiegend Gasmotoren zum Einsatz. In Pilotphase III waren auf den 20 Biogasanlagen insgesamt 29 BHKW im Einsatz, davon 23 Gasmotoren, 3 Zündstrahler und 3 Gasturbinen. Gegenüber Pilotphase II wurde 1 Gasmotor ausser Betrieb genommen. Sowohl die Zündstrahlmotoren als auch die Gasturbinen sind bereits ältere BHKW.

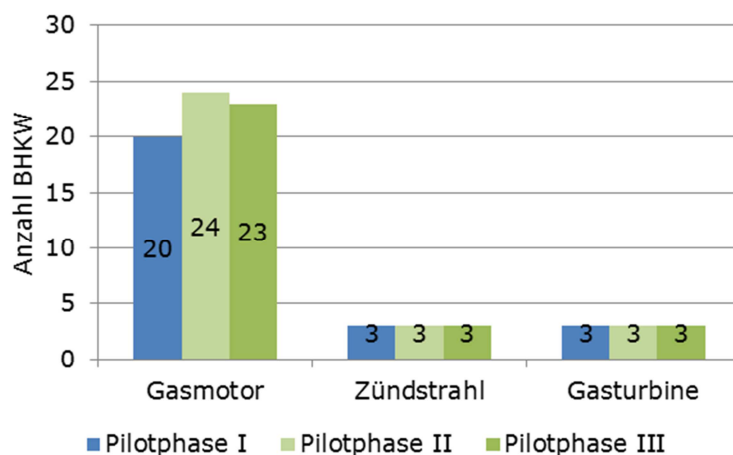


Abbildung 5: Aufteilung der BHKW nach Technologie

6.1.5 Fermenter und Nachgärer

Alle Biogasanlagen im Benchmarking werden entweder zweistufig (Fermenter und Nachgärer; Fermenter und Endlager) oder dreistufig (Fermenter, Nachgärer, Endlager) betrieben. Definitionsgemäss sind Fermenter beheizt, isoliert und gasdicht; Nachgärer isoliert und gasdicht; sonstige Behälter werden als Endlager gewertet. Alle Biogasanlagen verfügen über einen Fermenter, zwei Biogasanlagen haben einen zweiten Fermenter und acht Anlagen einen Nachgärer. Bis auf eine Anlage verfügen alle Biogasanlagen über mindestens ein Endlager. Fünf Anlagen haben zwei Endlager und sechs Anlagen zusätzliche externe Lagerkapazitäten (z.B. bei beteiligten Landwirtschaftsbetrieben).

Bei der Betrachtung der Anlagenkapazitäten unterteilt in die beiden Grössenklassen bis und über 150 kW_{el} inst. Leistung zeigt sich, dass die kleineren Anlagen alle zweistufig, während die grösseren Anlagen überwiegend dreistufig betrieben werden.

Tabelle 2: Durchschnittliche Behälterkapazitäten nach Grössenklassen je Anlage

Kapazitäten (Brutto)	Pilotphase III		Pilotphase II	
	BGA bis 150 kW	BGA über 150 kW	BGA bis 150 kW	BGA über 150 kW
Vorgrube (m ³)	119	171	129	169
Fermenter (m ³)	571	912	658	860
Nachgärer (m ³)	120	1.064	0	1.184
Endlager (m ³)	1.180	1.145	1.200	1.180
externe Lager (m ³)	395	105	389	150
Gesamtlagerkapazität (ohne Vorgrube)	2.266	3.226	2.247	3.373

6.1.6 Gasspeicher

Die Gasspeicherkapazität dient als Puffer um beispielsweise bei starker Gasbildung oder Wartungsarbeiten am BHKW das Biogas eine gewisse Zeit vorhalten zu können. Auch hinsichtlich einer möglichen zeitlichen Flexibilisierung der Energieerzeugung (z.B. im Rahmen von Systemdienstleistungen) ist eine ausreichende Gasspeicherkapazität Grundvoraussetzung.

Bei der Betrachtung der Gasspeicherkapazitäten unterteilt in die beiden Grössenklassen bis und über 150 kW_{el} inst. Leistung zeigt sich, dass die grösseren Anlagen mit einer durchschnittlichen Gasspeicherkapazität von rund 1.400 m³ eine rund 3,5-Fach höhere Kapazität aufweisen als die kleineren Anlagen mit 416 m³. Die Spannweite ist bei den Anlagen sehr gross. Bei den Anlagen bis 150 kW_{el} reichen die Gasspeicherkapazitäten von 50 m³ bis 900 m³, bei den Anlagen über 150 kW_{el} von 250 m³ bis 2.800 m³. Im Vergleich zum Vorjahr hat sich die Gasspeicherkapazität sowohl bei den kleineren als auch bei den grösseren Anlagen erhöht.

Hinweis: Pilotphase I wird nicht dargestellt, da es zu Pilotphase II deutliche Verschiebungen in den Grössenklassen gab.

Tabelle 3: Gasspeicherkapazitäten der Biogasanlagen

	Pilotphase III		Pilotphase II	
Gasspeicher	BGA bis 150 kW	BGA über 150 kW	BGA bis 150 kW	BGA über 150 kW
Gasspeichervolumen (m ³)	416	1.404	333	948

Unterstellt man bspw. den durchschnittlichen Gasverbrauch eines Gasmotors mit 195 kW_{el} Leistung und einem Gasverbrauch von rund 100 Nm³ Biogas pro Stunde (bei 50% Methananteil), entspräche die Gasspeicherkapazität der kleineren Anlagen durchschnittlich rund 4 Stunden und die der grösseren Anlagen durchschnittlich rund 14 Stunden.

6.1.7 Entwicklung der Stromproduktion

Die Stromproduktion der teilnehmenden Biogasanlagen hat sich in Pilotphase III um rund 9,3 % erhöht und lag bei rund 23,5 Gigawattstunden. Die installierte Anlagenleistung reduzierte sich um -2,4 %, die äquivalente Anlagenleistung erhöhte sich um 9,3%.

In Pilotphase II lag die Steigerung der Stromproduktion bei 21,1 %, dabei wurde jedoch auch die installierte Anlagenleistung stark ausgebaut und erhöhte sich um über 22 %.

Tabelle 4: Entwicklung der Stromproduktion in den Pilotphasen

Stromproduktion	BGA im Benchmarking (2014)	BGA im Benchmarking (2013)	BGA im Benchmarking (2012)	Veränderung 2013/2014 (in %)	Veränderung 2012/2013 (in %)
Stromproduktion (kWh)	23.519.182	21.525.240	17.769.008	9,3	21,1
Stromproduktion (MWh)	23.519	21.525	17.769		
Stromproduktion (GWh)	23,5	21,5	17,8		

Betrachtet man die Entwicklung der Stromerzeugung nach Grössenklassen zeigt sich, dass die grösseren Anlagen die Stromerzeugung in Pilotphase III mit rund 10 % (Vorjahr

30,4 %) erneut stärker steigern konnten als die kleineren Anlagen mit rund 6,8 % (Vorjahr 5,3 %).

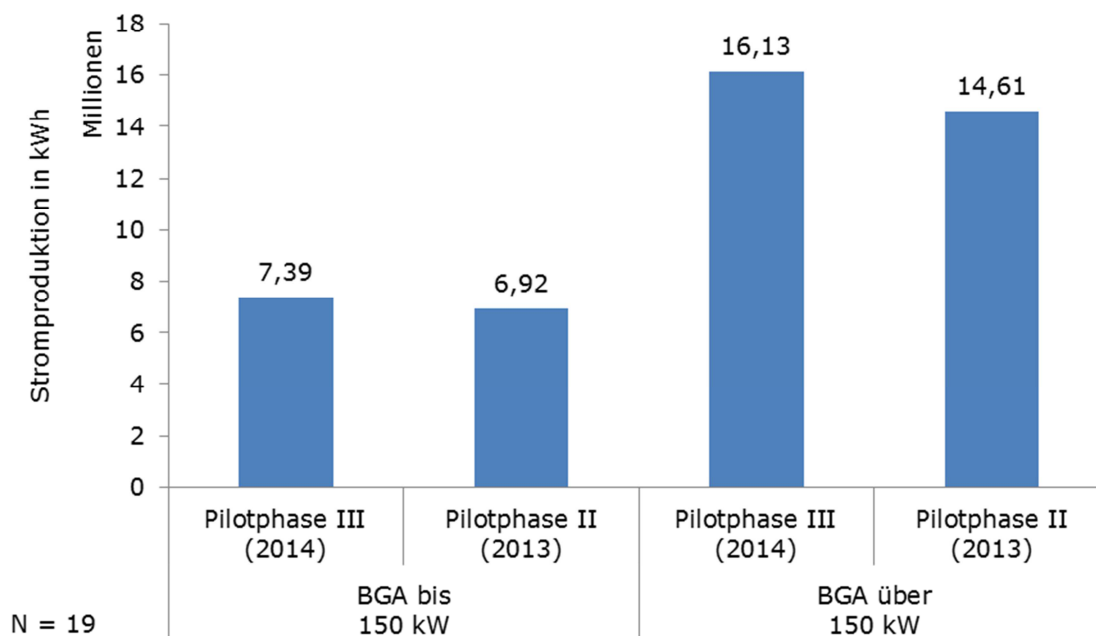


Abbildung 6: Entwicklung Stromerzeugung 2014 zu 2013 nach Grössenklassen

6.1.8 Anlagenproduktivität

Bezüglich der Anlagenproduktivität (hier gemessen in Volllaststunden) weisen die kleineren Biogasanlagen in Pilotphase III rund 7.500 Volllaststunden auf und konnten die Auslastung damit um über 10 % steigern. Die positive Produktivitätsentwicklung aus dem Vorjahr mit einer Steigerung von 3,6 % auf rund 6.800 Volllaststunden, konnte damit fortgesetzt werden.

Tabelle 5: Entwicklung der Anlagenproduktivität (BGA bis 150kW)

	BGA bis 150 kW			BGA bis 150 kW	BGA bis 150 kW
Anlagenproduktivität	Pilotphase III (2014)	Pilotphase II (2013)	Pilotphase I (2012)	Veränderung 13/14 (in %)	Veränderung 12/13 (in %)
Volllaststunden (h)	7.506	6.805	6.569	10,3%	3,6%
Installierte Leistung (KW)	111	110	110	0,5%	0,0%
Äquivalente Leistung (KW)	94	88	83	6,7%	5,3%
BHKW Ausnützungsgrad (%)	84,7	79,8	75,8	6,2%	5,3%

Bei einer installierten Leistung von durchschnittlich 111 kW_{el} erreichen die kleineren Anlagen eine äquivalente Leistung von rund 94 kW_{el}. Dies entspricht einem BHKW Ausnützungsgrad von rund 85 %, was als gutes Ergebnis bewertet werden kann. Sowohl die äquivalente Leistung als auch der BHKW Auslastungsgrad konnten gesteigert werden. Auch setzt sich der positive Trend aus Pilotphase II fort.

Dagegen erreichen die grösseren Biogasanlagen in Pilotphase III durchschnittlich rund 6.000 Volllaststunden. Dies sind rund 15,6 % mehr als in Pilotphase II mit rund 5.100 Volllaststunden. Die durchschnittliche installierte Leistung reduzierte sich dabei von 289 kW_{el} auf 274 kW_{el} und damit um rund -5 %. Die äquivalente Leistung konnte dagegen nur um rund 10,5 % gesteigert werden, wodurch der BHKW Auslastungsgrad um 16,3 % gesteigert werden konnte und rund 67 % erreicht.

Damit setzt sich auch bei den grösseren Biogasanlagen der positive Trend aus Pilotphase II fort. In Pilotphase II investierten einige Anlagenbetreiber in grössere BHKW und damit in eine Leistungserweiterung, was sich in einer Reduktion der Volllaststunden ausdrückte. In den Ergebnissen von Pilotphase III zeigt sich nun, dass die Leistungserweiterungen auch in eine zunehmende Anlagenproduktivität umgesetzt werden konnten.

Tabelle 6: Entwicklung der Anlagenproduktivität (BGA über 150kW)

	BGA über 150 kW			BGA über 150 kW	BGA über 150 kW
Anlagenproduktivität	Pilotphase III (2014)	Pilotphase II (2013)	Pilotphase I (2012)	Veränderung 13/14 (in %)	Veränderung 12/13 (in %)
Volllaststunden (h)	5.932	5.130	5.509	15,6%	-6,9%
Installierte Leistung (KW)	274	289	218	-5,0%	32,6%
Äquivalente Leistung (KW)	184	167	128	10,5%	30,4%
BHKW Ausnützungsgrad (%)	67,2	57,8	58,8	16,3%	-1,7%

6.1.9 Wärmenutzungskonzepte und Grad der Wärmenutzung

Die Wärmenutzung hat bei den Biogasanlagen im Benchmarking eine wachsende Bedeutung. Nutzten in Pilotphase I erst 15 Anlagen Abwärme, waren es in Pilotphase II und III bereits 17 Biogasanlagen. Die Wärmenutzung lässt sich grundsätzlich in eine interne und eine externe Wärmenutzung unterscheiden (ohne Eigenwärmebedarf der Biogasanlage). In der internen Wärmenutzung wird die Wärme hauptsächlich für das Heizen der Wohnhäuser am Standortbetrieb der Biogasanlage, der Betriebsgebäude und der Ställe (vor allem Schweine- und Geflügelställe), der Warmwasserbereitung für den Landwirtschaftsbetrieb, der Heu- und der Holz Trocknung genutzt. Die Wärme wird in der internen Nutzung nicht verkauft, die Erlöse werden mittels eines kalkulatorischen Wärmepreises im Benchmarking berücksichtigt. Die interne Wärmenutzung wird bei einigen Biogasanlagen nicht gemessen, bei diesen wurde der Energiebedarf anhand der Wärmenutzungspfade berechnet.

Im Gegensatz zur internen Wärmenutzung wird die externe Wärmenutzung über den effektiven Verkauf der Wärme gewertet. In der externen Wärmenutzung sind die wichtigsten Wärmenutzungspfade Nahwärmenetze an Privat- und Gewerbekunden. Dabei reicht die Spanne des Nahwärmenetzes von der Lieferung an ein Nachbarwohnhaus bis hin zu

umfangreichen Nahwärmenetzen mit einer Länge von bis zu 2.500 Metern. Zudem wird die Wärme extern in Gewächshäusern und der Holz Trocknung genutzt.

Insgesamt konnte die Wärmenutzung in Pilotphase III um rund 29 % auf über 10 Mio. kWh gesteigert werden (Pilotphase II: Steigerung um rund 55 %). Dabei hat sich insbesondere die externe Wärmenutzung mit einer Steigerung um rund 67 % positiv entwickelt (Pilotphase II: +64 %). Die interne Wärmenutzung wurde dagegen nicht ausgebaut und reduzierte sich um -2,3 % (Pilotphase II: +45 %). Der Anteil der externen Wärmenutzung betrug in Pilotphase III rund 59 % (Pilotphase II: 46 %). Damit konnte der Anteil der externen Wärmenutzung um rund 28 % gesteigert werden (Pilotphase II: 8 %).

In Abbildung 7 ist die absolute Entwicklung der Wärmenutzung (ohne Wärmebedarf der Biogasanlage) detailliert dargestellt.

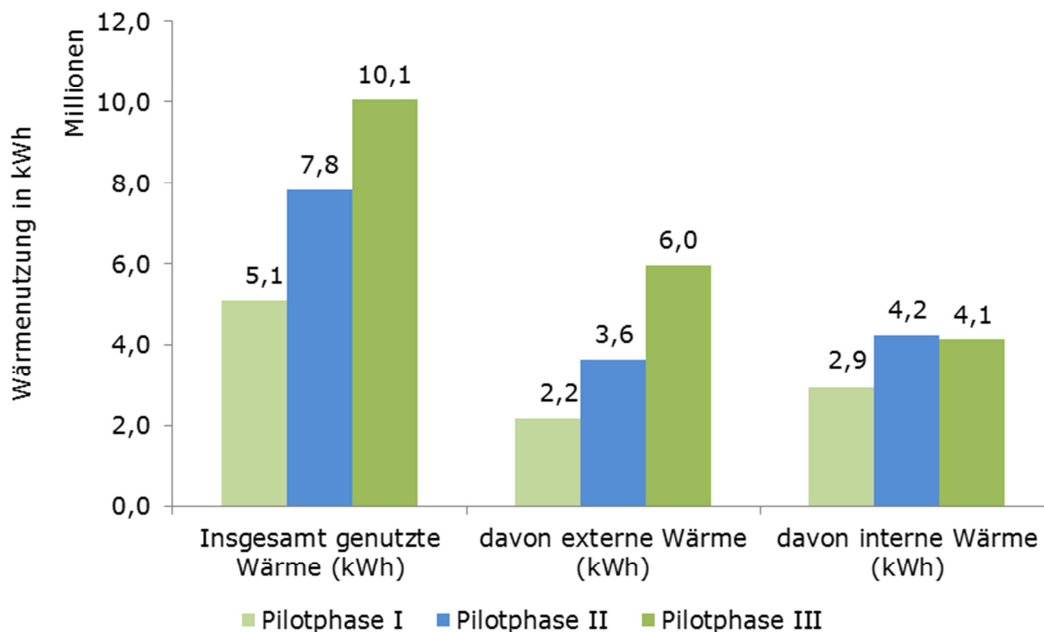


Abbildung 7: Entwicklung der Wärmenutzung (ohne Wärmebedarf der Biogasanlage)

6.1.10 Substrateinsatz

In Abbildung 8 ist der durchschnittliche Substrateinsatz der teilnehmenden Biogasanlagen in Pilotphase III dargestellt. Die Einteilung der Substrate folgt **nicht** der Systematik gemäss Energieverordnung (EnV) Anhang 1.5 – Biomasse, insbesondere erfolgt keine Unterscheidung in Substrate landwirtschaftlicher und nicht landwirtschaftlicher Herkunft.

Insgesamt wurden in Pilotphase III rund 170.000 Tonnen Substrate (inkl. Hofdünger) (Pilotphase II: 152.000 Tonnen, Pilotphase I: 142.000 Tonnen) in den teilnehmenden Anlagen verarbeitet. Hofdünger hatten dabei mit rund 76 % den grössten Anteil. Neben dem Hofdünger wurden auch landwirtschaftliche Substrate wie Zwischenfrüchte, Maisstroh und Futterreste verarbeitet, welche jedoch mit einem Anteil von rund 0,6 % eine untergeordnete Bedeutung aufwiesen.

Rund 23 % der total eingesetzten Substrate waren organische Abfallstoffe landwirtschaftlicher und nicht landwirtschaftlicher Herkunft.

Die eingesetzten organischen Abfallstoffe setzten sich zusammen aus Gemüse- und Obstresten (7,1 %), Grüngut und Rasenschnitt (nur die vergärbaren Fraktionen; 3,1 %) sowie Gastro- und Lebensmittelabfälle (4,2 %). Unter der Sammelrubrik sonstige pflanzliche Abfallstoffe (3,3 %) fallen Substrate unterschiedlichster pflanzlicher Herkunft (z.B. Kaffeesatz, Tee, Melasse, Brennereiabfälle). Unter sonstigen tierischen Abfallstoffen (1,2 %) sind unterschiedliche Substrate wie z.B. Milch, Molke, Permeat, Fleischsuppe oder Panseninhalt zusammengefasst. Energiereiche pflanzliche Flüssigsubstrate haben einen Mengenanteil von 2,6 %, Getreide und Getreideabfälle einen Anteil von 1,8 %.

Substrateinsatz der teilnehmenden Biogasanlagen 2014

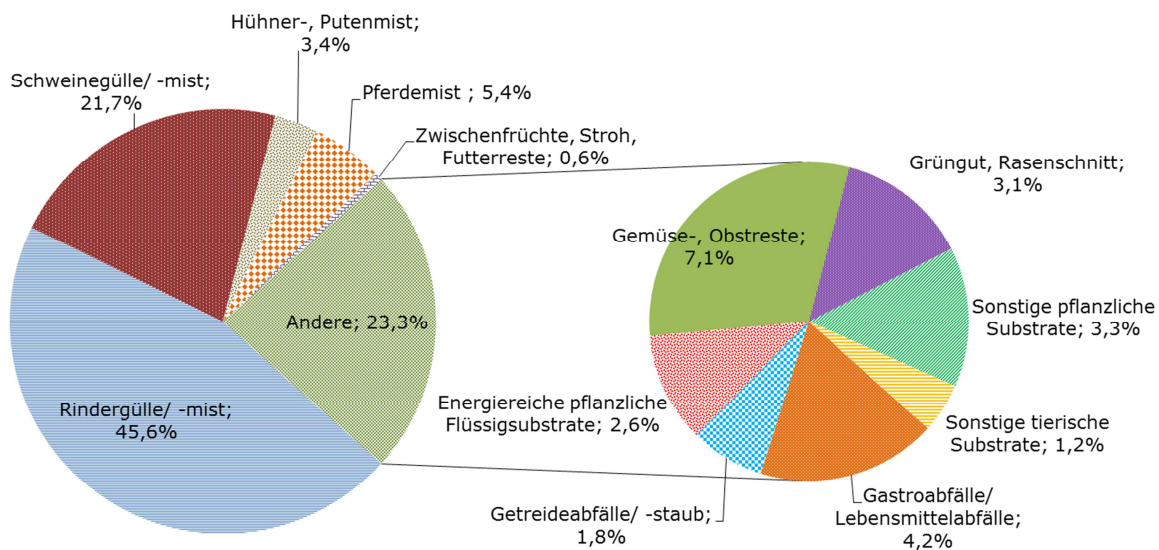


Abbildung 8: Durchschnittlicher Substrateinsatz der Biogasanlagen in Pilotphase III

Hinweis: Die Graphiken zum Substrateinsatz der teilnehmenden Biogasanlagen in den Pilotphasen II und I finden sich im Anhang.

In Pilotphase III erhöhte sich der absolute Substrateinsatz bezogen auf die Frischmasse um rund 12 % (Pilotphase II: +6,8 %) (siehe Abbildung 9). Dabei erhöhte sich der Einsatz von Hofdüngern wie schon in Pilotphase II noch einmal deutlich. Während bei Rindergülle/-Mist nur eine geringe Zunahme um rund 0,8 % zu verzeichnen war (Pilotphase II: +30 %), erhöhte sich vor allem der Einsatz von Schweinegülle/-Mist um rund 42,8 % (Pilotphase II: -17 %). Daneben haben sich auch die Anteile an Geflügelmist um rund 10,6 % (Pilotphase II: +13 %) und Pferdemist um rund 13,2 % erhöht (Pilotphase II: +69 %).

Bei den organischen Abfallstoffen gab es in Pilotphase III bei den energiereichen Substraten ein uneinheitliches Bild. Während der Einsatz von Gastroabfällen mit -11,6 % zurückging (Pilotphase II: +28 %), erhöhten sich die Einsatzmengen energiereicher pflanzlicher Flüssigsubstrate um rund 12,2 % (Pilotphase II: +82 %).

Bei allen weiteren organischen Abfallstoffen war ebenfalls eine Erhöhung der Einsatzmengen zu verzeichnen. Die stärksten Entwicklungen gab es bei Grüngut/ Rasenschnitt

Schlussbericht Benchmarking Biogas

mit rund +69.6 % (Pilotphase II: -9 %), Gemüse- und Obstresten mit rund +31,8 % (Pilotphase II: -30) und tierischen Abfallstoffen mit rund 19,2 % (Pilotphase II: -73%).

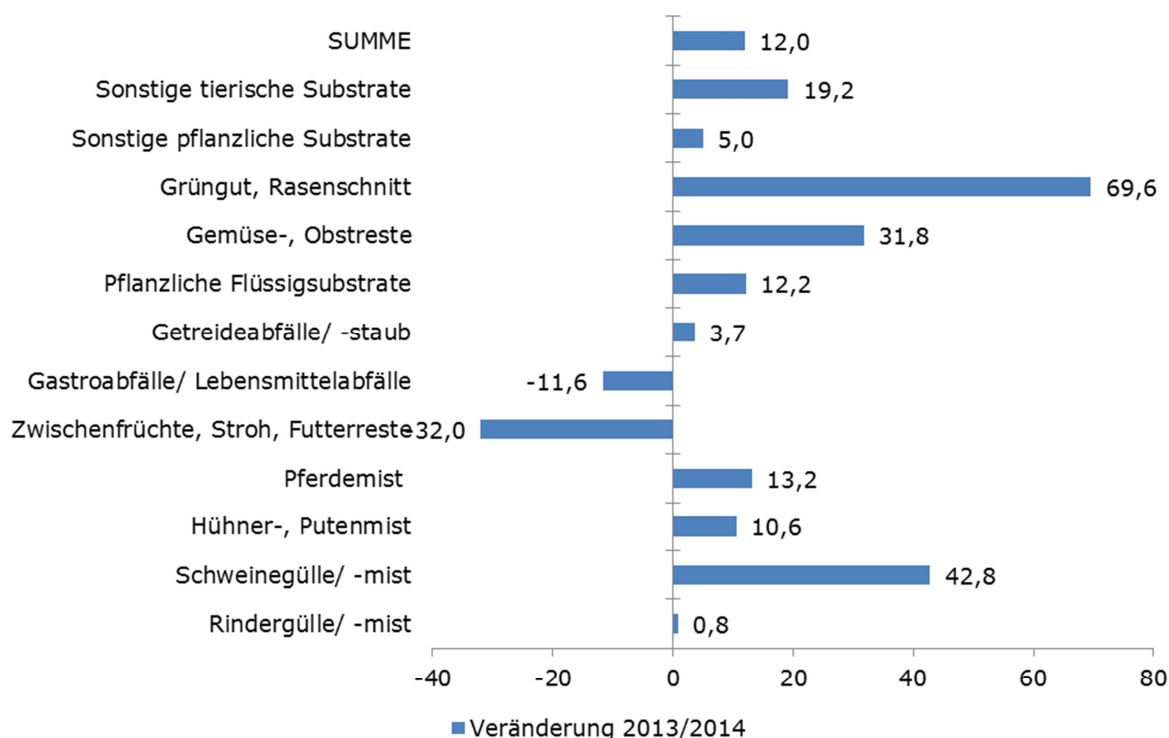


Abbildung 9: Veränderung Substrateinsatz Pilotphase III zu Pilotphase II

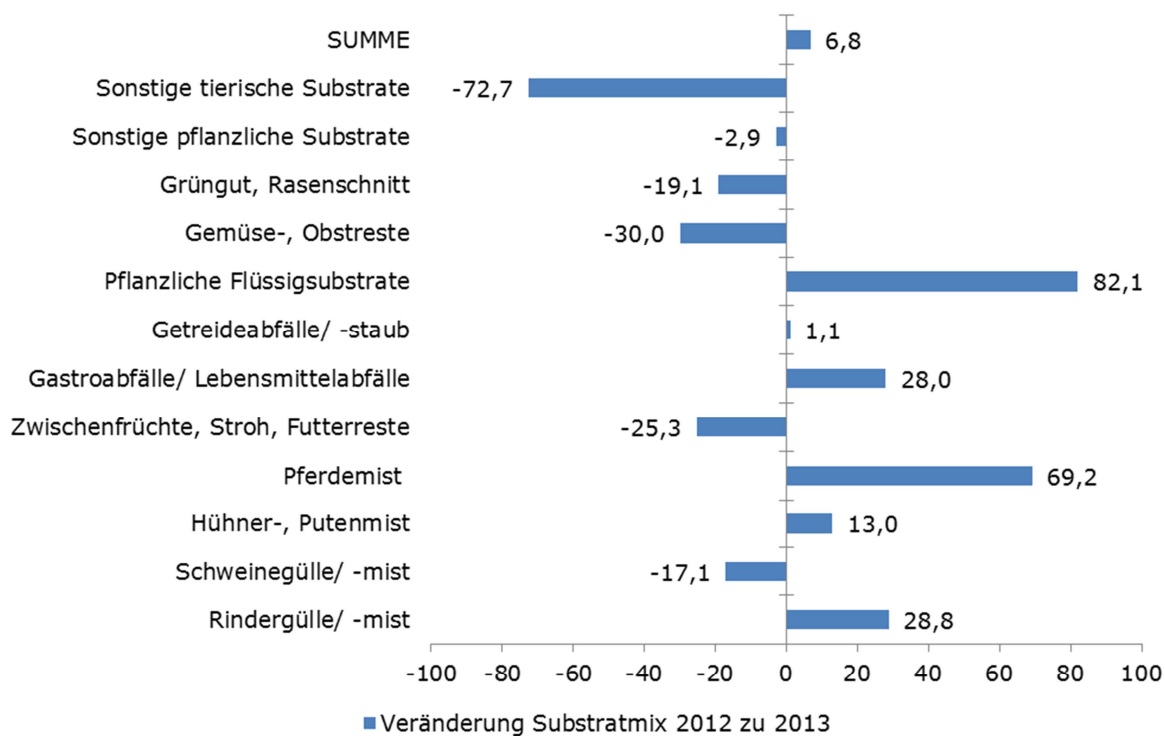


Abbildung 10: Veränderung Substrateinsatz Pilotphase II zu Pilotphase I

6.2 Technische Kennzahlen aus dem Benchmarking

6.2.1 Volllaststunden BHKW – Arbeitsauslastung

Die durchschnittliche Arbeitsauslastung der BHKW gemessen in Volllaststunden lag in Pilotphase III bei 6.678 Jahresstunden. Damit hat sich die BHKW Auslastung gegenüber Pilotphase II um rund 12,7 % erhöht. Der Kennzahlenvergleich zeigt jedoch, dass die Spannweite der Kennzahl nach wie vor sehr gross ist. Während im oberen Quartil 8.486 Jahresstunden erreicht wurden, lag die BHKW Auslastung im unteren Quartil bei 4.503 Jahresstunden. Wie auch im Durchschnitt der Biogasanlagen konnte auch in den Quartilen die Auslastung erhöht werden. Im oberen Quartil lag die Steigerung, bereits ausgehend von einem sehr hohen Niveau, bei rund 3,9 % und konnte damit gegenüber Pilotphase II noch einmal erhöht werden. Im unteren Quartil konnte die Auslastung um rund 35,5 % und damit um mehr als ein Drittel gesteigert werden.

Tabelle 7: Benchmarking Volllaststunden

Benchmarking technische Kennzahlen:	Biogasanlagen		
	+25%	Ø	-25%
Pilotphase III			
Volllaststunden (h/a)	8.486	6.678	4.503
Volllaststunden Veränderung 13/14 (%)	3,9%	12,7%	35,5%
Pilotphase II			
Volllaststunden (h/a)	8.168	5.923	3.324
Volllaststunden Veränderung 12/13 (%)	2,1%	-1,6%	5,4%
Pilotphase I			
Volllaststunden (h/a)	7.998	6.019	3.155

6.2.2 Eigenstromverbrauch

Die Höhe des Eigenstromverbrauchs hat eine grosse Bedeutung für den erfolgreichen Betrieb einer Biogasanlage. Die Ergebnisse des Benchmarking zeigen, dass der Eigenstromverbrauch in Pilotphase III durchschnittlich bei 10,1 % lag. Sowohl in Pilotphase III als auch in Pilotphase II konnten damit die Eigenstromverbräuche reduziert werden. In Pilotphase III reduzierte sich der Eigenstromverbrauch um rund -7,3 % in Pilotphase II um rund -8,6 %.

Tabelle 8: Benchmarking Eigenstromverbrauch

Benchmarking technische Kennzahlen:	Biogasanlagen		
	+25%	Ø	-25%
Pilotphase III			
Eigenstrombedarf (%)	5,1%	10,1%	16,4%
Eigenstrombedarf Veränderung 13/14 (%)	-23,3%	-7,3%	-1,7%
Pilotphase II			
Eigenstrombedarf (%)	6,6%	10,9%	16,7%
Eigenstrombedarf Veränderung 12/13 (%)	-10,2%	-8,6%	-9,5%
Pilotphase I			
Eigenstrombedarf (%)	7,3%	11,9%	18,5%

Anlagen im oberen Quartil wiesen einen Eigenstromverbrauch von rund 5,1 % (Pilotphase II: 6,6 %), Anlagen im unteren Quartil einen von 16,4 % auf (Pilotphase II: 16,7 %). Beide Gruppen konnten den Eigenstromverbrauch reduzieren. Biogasanlagen im oberen Quartil erreichten dabei eine überdurchschnittliche Reduktion von -23,3 % in Pilotphase

III (Pilotphase II -10,2 %). Im unteren Quartil fiel der Rückgang in Pilotphase III mit -1,7 % deutlich schwächer aus als in Pilotphase II mit -9,5 %.

6.2.3 Jahresnutzungsgrade

Die Jahresnutzungsgrade sind Kennzahlen für das Verhältnis der elektrisch und thermisch nutzbaren (und somit abgegebenen) Energie (= produzierte und genutzte Nettoenergie-menge) zur gesamten zugeführten theoretischen Brennstoffenergie. Es wird mit der Kennzahl beschrieben, wie viel Prozent des theoretischen Energiegehaltes der Substrate tatsächlich genutzt werden. Die Kennzahl lässt damit Rückschlüsse auf die energetische Effizienz der Biogasanlage zu. Nicht berücksichtigt wird bei den Jahresnutzungsgraden der Wärmebedarf für die Beheizung der Fermenter, da diese Nutzenergie von keiner Biogasanlage im Benchmarking gemessen werden kann. Eine Schätzung des Wärmebedarfs ist sehr schwierig, da dieser sowohl von den Behälterkapazitäten, dem Substratinput (vor allem den Hofdüngeranteilen) sowie vielen weiteren Parametern (z.B. Jahreszeit und Witterung) abhängt.

Tabelle 9: Benchmarking energetische Jahresnutzungsgrade

Benchmarking technische Kennzahlen:	Biogasanlagen		
	+25%	Ø	-25%
Pilotphase III			
Elektrischer Jahresnutzungsgrad extern genutzt (%)	49,4%	41,6%	35,4%
Elektrischer Jahresnutzungsgrad Eigenstrombedarf (%)	2,4%	4,6%	7,7%
Thermischer Jahresnutzungsgrad genutzt (%)	29,8%	16,2%	3,4%
Gesamter Jahresnutzungsgrad genutzt (%)	78,7%	62,4%	48,8%
Veränderung elektrischer Jahresnutzungsgrad 13/14 (%)	4,8%	0,4%	-2,5%
Veränderung Jahresnutzungsgrad Eigenstrombedarf 13/14 (%)	-20,4%	-8,6%	-1,1%
Veränderung thermischer Jahresnutzungsgrad genutzt 13/14 (%)	5,0%	3,1%	-22,9%
Veränderung gesamter Jahresnutzungsgrad genutzt 13/14 (%)	3,6%	0,3%	-1,6%
Pilotphase II			
Elektrischer Jahresnutzungsgrad extern genutzt (%)	47,2%	41,4%	36,3%
Elektrischer Jahresnutzungsgrad Eigenstrombedarf (%)	3,0%	5,0%	7,8%
Thermischer Jahresnutzungsgrad genutzt (%)	28,3%	15,8%	4,4%
Gesamter Jahresnutzungsgrad genutzt (%)	75,9%	62,2%	49,6%
Veränderung elektrischer Jahresnutzungsgrad 12/13 (%)	1,5%	1,6%	1,8%
Veränderung Jahresnutzungsgrad Eigenstrombedarf 12/13 (%)	-9,7%	-8,3%	-11,2%
Veränderung thermischer Jahresnutzungsgrad genutzt 12/13 (%)	-3,8%	10,6%	348,2%
Veränderung gesamter Jahresnutzungsgrad genutzt 12/13 (%)	-4,2%	2,8%	2,6%
Pilotphase I			
Elektrischer Jahresnutzungsgrad extern genutzt (%)	46,5%	40,8%	35,6%
Elektrischer Jahresnutzungsgrad Eigenstrombedarf (%)	3,4%	5,5%	8,8%
Thermischer Jahresnutzungsgrad genutzt (%)	29,4%	14,2%	1,0%
Gesamter Jahresnutzungsgrad genutzt (%)	79,2%	60,5%	48,4%

Im Durchschnitt der Anlagen lag der gesamte Jahresnutzungsgrad bei rund 62,4 %. Die Spanne reichte dabei im Kennzahlenvergleich von 78,7 % im oberen Quartil bis 48,8 % im unteren Quartil. Durchschnittlich erhöhte sich der Jahresnutzungsgrad in Pilotphase III leicht um rund 0,3 %. Dabei konnten die Anlagen im oberen Quartil die Jahresnutzungsgrade überdurchschnittlich steigern, während im unteren Quartil ein Rückgang zu verzeichnen war. Die Anlagen im oberen Quartil konnten in Pilotphase III den Rückgang des Jahresnutzungsgrads aus Pilotphase II kompensieren. Dagegen fielen die Anlagen im

unteren Quartil nach einer Steigerung des Jahresnutzungsgrads in Pilotphase II in Pilotphase III wieder leicht zurück.

Besonders positiv fällt bei der Betrachtung der Kennzahlen die zunehmende Bedeutung der Wärmenutzung auf. Der durchschnittliche thermische Jahresnutzungsgrad konnte in beiden Pilotphasen im Durchschnitt der Anlagen gesteigert werden und erreichte in Pilotphase III 16,2 % gegenüber 15,8 % in Pilotphase II.

6.2.4 Stromausbeuten aus den Substraten

Die Stromausbeute aus den zugeführten Substraten lag in Pilotphase III bei 154 kWh bezogen auf eine Tonne Frischmasse und konnte damit gegenüber Pilotphase II (149 kWh) um 3,6 % gesteigert werden. Die Spanne kam dabei im Kennzahlenvergleich zwischen 92 kWh im unteren Quartil und 247 kWh im oberen Quartil zu stehen. Damit hat sich die Spannbreite zwischen den Quartilen gegenüber Pilotphase II deutlich vergrößert. Während in Pilotphase II sowohl Anlagen im unteren als auch im oberen Quartil die Stromausbeute etwa im gleichen Masse steigerten, konnten in Pilotphase III die Anlagen im oberen Quartil eine Steigerung von rund 24,7 % erreichen, die Anlagen im unteren Quartil wiesen dagegen einen Rückgang um -15,1 % auf.

Tabelle 10: Stromausbeuten aus den Substraten

Benchmarking technische Kennzahlen:	Biogasanlagen		
	+25%	Ø	-25%
Pilotphase III			
Stromausbeute (kWh _{el} /t FS)	247	154	92
Veränderung 13/14 (%)	24,7%	3,6%	-15,1%
Pilotphase II			
Stromausbeute (kWh _{el} /t FS)	199	149	108
Veränderung 12/13 (%)	10,9%	10,4%	11,9%
Pilotphase I			
Stromausbeute (kWh _{el} /t FS)	179	135	97

6.3 Biologische Kennzahlen aus dem Benchmarking

6.3.1 Verweilzeiten und Raumbelastung

Als Verweilzeit wird die durchschnittliche Dauer bezeichnet, während der ein Substrat die Behälter der Biogasanlage im geschlossenen (gasdichten) System durchläuft. Im Benchmarking wird die Kennzahl Verweilzeit im geschlossenen System (Fermenter und Nachgärer) ausgewiesen, da hier die biologische Umsetzung der Substrate stattfindet. Grundsätzlich ist im Sinne der maximalen biologischen Umsetzung eine möglichst hohe Verweilzeit anzustreben. Unterschiedliche Substrate benötigen unterschiedlich lange Mindestverweilzeiten. Während bspw. flüssige Hofdünger (mit wenig Strohanteil) und leicht vergärbare biogene Reststoffe bereits nach wenigen Wochen umgesetzt werden können, benötigen strukturreiche organische Abfallstoffe und Mist oft deutlich höhere Verweilzeiten. Je niedriger die Verweilzeit desto grösser ist die Gefahr, dass die Gasausbeute signifikant abfällt und unvergorenes biogenes Material ausgeschwemmt wird. Hohe Verweilzeiten sind dagegen aus betriebswirtschaftlichen Gründen limitiert, da der Bau von Behälterkapazitäten die grösste Einzelposition bei den Investitionskosten darstellt (siehe Kapi-

tel Ökonomische Kennzahlen aus dem Benchmarking). Demnach gilt es unter Praxisbedingungen den optimalen Bereich zwischen Raumbelastung [$\text{kg} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$] und Biogasausbeute [$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$] sowie der Biogasbildungsrate [$\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$] zu finden.

Tabelle 11: Verweilzeiten im gasdichten System (Fermenter und Nachgärer)

Benchmarking biologische Kennzahlen:	Biogasanlagen		
	+25%	Ø	-25%
Pilotphase III			
Hydraulische Verweilzeit im gasdichten System (Tage)	102	59	26
Veränderung 13/14 (%)	-2,4%	-5,7%	-16,2%
Pilotphase II			
Hydraulische Verweilzeit im gasdichten System (Tage)	104	63	32
Veränderung 12/13 (%)	-26,5%	-14,9%	4,0%
Pilotphase I			
Hydraulische Verweilzeit im gasdichten System (Tage)	142	74	30

In Pilotphase III lag die durchschnittliche Verweilzeit (bemessen an durchschnittlicher Verweildauer im gasdichten Raum) bei 59 Tagen. Damit reduzierte sich die durchschnittliche Verweilzeit erneut. Allerdings fiel die Reduktion mit einem Rückgang von -5,7 % in Pilotphase III gegenüber einem Rückgang von -14,9 % in Pilotphase II deutlich geringer aus. Die Spannweite zwischen den Anlagen im oberen und unteren Quartil war sehr gross und hat sich in Pilotphase III noch einmal vergrößert. Im oberen Quartil lag die Verweilzeit noch über 100 Tagen und der Rückgang hat sich gegenüber Pilotphase II deutlich abgeschwächt. Im unteren Quartil dagegen konnte sich die Entwicklung steigender Verweilzeiten aus Pilotphase II in Pilotphase III nicht fortsetzen. Bei einem Rückgang der Verweilzeit um -16,2 % erreichten die Anlagen noch 26 Tage.

Im Zusammenhang mit der Verweilzeit steht die Raumbelastung der Biogasanlagen. Die Raumbelastung wird im Benchmarking gemessen als durchschnittlicher Input an organischer Trockensubstanz je m^3 Fermenter oder geschlossenen (gasdichten) System (Fermenter und Nachgärer) und Tag.

Die durchschnittliche berechnete Raumbelastung im gasdichten System lag bei rund 2,7 kg oTS/m^3 . Bei Anlagen im oberen Quartil war die Raumbelastung mit 1,1 kg oTS deutlich niedriger als im unteren Quartil mit 4,4 kg oTS . Im Vergleich zu Pilotphase II erhöhte sich die Raumbelastung im gasdichten System um 14,0 %. Bei den Anlagen im oberen Quartil reduzierte sich die Raumbelastung im gasdichten System leicht um -4,3 %. Im Gegensatz dazu erhöhte sich die Raumbelastung im unteren Quartil deutlich um 25,5 %.

Tabelle 12: Raumbelastung der Gärbehälter

Benchmarking biologische Kennzahlen:	Biogasanlagen		
	+25%	Ø	-25%
Pilotphase III			
Raumbelastung Fermenter (kg oTS/m^3)	1,9	4,1	7,5
Raumbelastung Fermenter und Nachgärer (kg oTS/m^3)	1,1	2,7	4,4
Veränderung Raumbelastung Fermenter 13/14 (%)	5,6%	15,6%	25,5%
Veränderung Raumbelastung Fermenter und Nachgärer 13/14 (%)	-4,3%	14,0%	11,9%
Pilotphase II			
Raumbelastung Fermenter (kg oTS/m^3)	1,8	3,5	6,0
Raumbelastung Fermenter und Nachgärer (kg oTS/m^3)	1,1	2,3	3,9
Veränderung Raumbelastung Fermenter 12/13 (%)	19,5%	9,7%	6,7%
Veränderung Raumbelastung Fermenter und Nachgärer 12/13 (%)	16,7%	-0,5%	-3,2%
Pilotphase I			
Raumbelastung Fermenter (kg oTS/m^3)	1,5	3,2	5,6
Raumbelastung Fermenter und Nachgärer (kg oTS/m^3)	1,0	2,3	4,0

6.3.2 Biogasproduktivität

Die Biogasproduktivität ist eine wichtige Kennzahl, da sie die potentielle Ausbeute an Brennstoff aus den Substraten beschreibt. Da die tatsächliche Biogasproduktion an keiner Biogasanlage im Benchmarking gemessen werden kann, wird diese theoretisch über den jährlichen Substratinput berechnet.

Im Benchmarking betrug die durchschnittliche Biogasausbeute je Tonne (t) Frischmasse rund 67 Nm³. Im oberen Quartil erreichten die Anlagen 104 Nm³ und im unteren Quartil 41 Nm³. Im Vergleich zu Pilotphase II erhöhte sich die durchschnittliche Produktivität um 4,8 %. Dabei lag die Steigerung im oberen Quartil bei 22,8 %, im unteren Quartil dagegen wurde ein Rückgang um -9,7 % verbucht. Während die Anlagen im oberen Quartil damit im Vergleich zu Pilotphase II eine starke Produktivitätssteigerung zeigten, büssten die Anlagen im unteren Quartil ihre Produktivitätssteigerungen aus Pilotphase II in Pilotphase III wieder ein.

Bezüglich der Biogasproduktion aus der organischen Trockensubstanz lag der Durchschnitt der Anlagen bei rund 536 Nm³, im oberen Quartil bei 635 Nm³ und im unteren Quartil bei 443 Nm³. Im Durchschnitt aller Anlagen ist die Biogasproduktivität aus der Trockensubstanz gegenüber Pilotphase II nahezu unverändert.

Tabelle 13: Biogasproduktion aus den Substraten

Benchmarking biologische Kennzahlen:	Biogasanlagen		
	+25%	Ø	-25%
Pilotphase III			
Biogasproduktion je t Frischsubstanz (Nm ³)	104	67	41
Biogasproduktion je t org. Trockensubstanz (Nm ³)	635	536	443
Biogasproduktion pro m ³ Fermentervolumen und Tag (Nm ³)	4,1	2,2	1,1
Veränderung Biogas je t FM 13/14 (%)	22,8%	4,8%	-9,7%
Veränderung Biogas je t oTS 13/14 (%)	1,2%	-0,3%	-3,9%
Veränderung Biogas je m ³ Fermenter 13/14 (%)	41,4%	18,1%	11,4%
Pilotphase II			
Biogasproduktion je t Frischsubstanz (Nm ³)	84	64	45
Biogasproduktion je t org. Trockensubstanz (Nm ³)	628	538	461
Biogasproduktion pro m ³ Fermentervolumen und Tag (Nm ³)	2,9	1,8	1,0
Veränderung Biogas je t FM 12/13 (%)	-2,7%	0,0%	10,0%
Veränderung Biogas je t oTS 12/13 (%)	-0,8%	1,5%	3,6%
Veränderung Biogas je m ³ Fermenter 12/13 (%)	11,0%	11,5%	18,3%
Pilotphase I			
Biogasproduktion je t Frischsubstanz (Nm ³)	87	64	41
Biogasproduktion je t org. Trockensubstanz (Nm ³)	633	530	445
Biogasproduktion pro m ³ Fermentervolumen und Tag (Nm ³)	2,6	1,7	0,8

Bezieht man die Biogasproduktivität auf das Fermentervolumen wurden durchschnittlich 2,2 Nm³ je m³ Fermenter erreicht. Im Vergleich zu Pilotphase II lagen die Steigerungen bei durchschnittlich 18,1 %. Diese Steigerung korrespondiert mit der Erhöhung der Substrat-Inputmenge, die sich auch in der Raumbelastung im Fermenter zeigt.

6.4 Ökonomische Kennzahlen aus dem Benchmarking

Im folgenden Kapitel werden ausgewählte betriebswirtschaftliche Ergebnisse der Pilotphasen vorgestellt. Die Eingruppierung der Biogasanlagen in die Quartile erfolgt bei den ökonomischen Kennzahlen anhand des kalkulatorischen Gewinns.

Da es sich bei betriebswirtschaftlichen Ergebnissen um sehr sensible Daten handelt, werden keine einzelbetrieblichen ökonomischen Kennzahlen und – mit Ausnahme der Investitionstätigkeit – keine absoluten betriebswirtschaftlichen Daten präsentiert.

6.4.1 Investitionstätigkeit

Die Gesamtinvestitionen der teilnehmenden Biogasanlagen (Grundinvestitionen und alle Nachinvestitionen) belief sich bis anhin auf rund 39,0 Mio. Franken. Die Summe der Grundinvestitionen bei Inbetriebnahme (IBN) betrugen rund 25,9 Mio., die Nachinvestitionen nach IBN bis anhin rund 13,1 Mio. Franken. In Pilotphase III wurden Nachinvestitionen in Höhe von rund 2,1 Mio. Franken in die Erweiterung der Biogasanlagen getätigt (Pilotphase II: 3,5 Mio. Franken). Die Investitionstätigkeit hat sich damit gegenüber Pilotphase II leicht abgeschwächt.

Tabelle 14: Investitionen in die Biogasanlagen

Investitionen	BGA bis 150 kW	BGA über 150 kW	SUMME
Grundinvestition bei IBN (Fr.)	9.196.782	16.696.032	25.892.814
Total Nachinvestitionen nach IBN (Fr.)	3.691.908	9.421.915	13.113.823
davon Nachinvestitionen 2014 (Fr.)	671.074	1.469.320	2.140.394
Gesamtinvestitionen (Fr.)	12.888.690	26.117.947	39.006.637

Investitionsschwerpunkte bei den Nachinvestitionen waren Erweiterungen in Gärbehälter, Substrataufbereitung und sonstige Technik. Insgesamt wurden in Pilotphase III rund 22,6 % der Nachinvestitionen im Bereich bauliche Anlagen getätigt (Pilotphase II: 30,6 %). Im Bereich Technik wurden 61,1 % der Investitionen getätigt (Pilotphase II: 37,9 %), vor allem Substrataufbereitung, Pumpen, Rührwerke, Steuerungstechnik und Gasaufbereitung. In den Bereich BHKW fielen 7,6 % der Investitionen für neue BHKW oder Motorrevisionen (Pilotphase II: 30,6 %). Der Anteil für den Fuhrpark betrug rund 8,1 % der Investitionen (Pilotphase II: 0,9 %). Nachdem in Pilotphase II ein wichtiger Investitionsschwerpunkt die Erweiterung bzw. Modernisierung des BHKW Bestandes und der baulichen Anlagen (Fermenter und Nachgärer) darstellte, lag der Investitionsschwerpunkt in Pilotphase III bei der technischen Erweiterung bzw. Modernisierung, vor allem der Substrataufbereitung.

Betrachtet man die Verteilung der Grundinvestitionen anhand einzelner Baugruppen (siehe Abbildung 10) zeigt sich, dass die Investitionsschwerpunkte vornehmlich auf die Gärbehälter (Fermenter inkl. Nachgärer), das BHKW, die Pump- und Rührtechnik, Planung und Genehmigung sowie Anlagensteuerung gelegt wurden. In diese fünf Baugruppen fielen rund zwei Drittel der Grundinvestitionen.

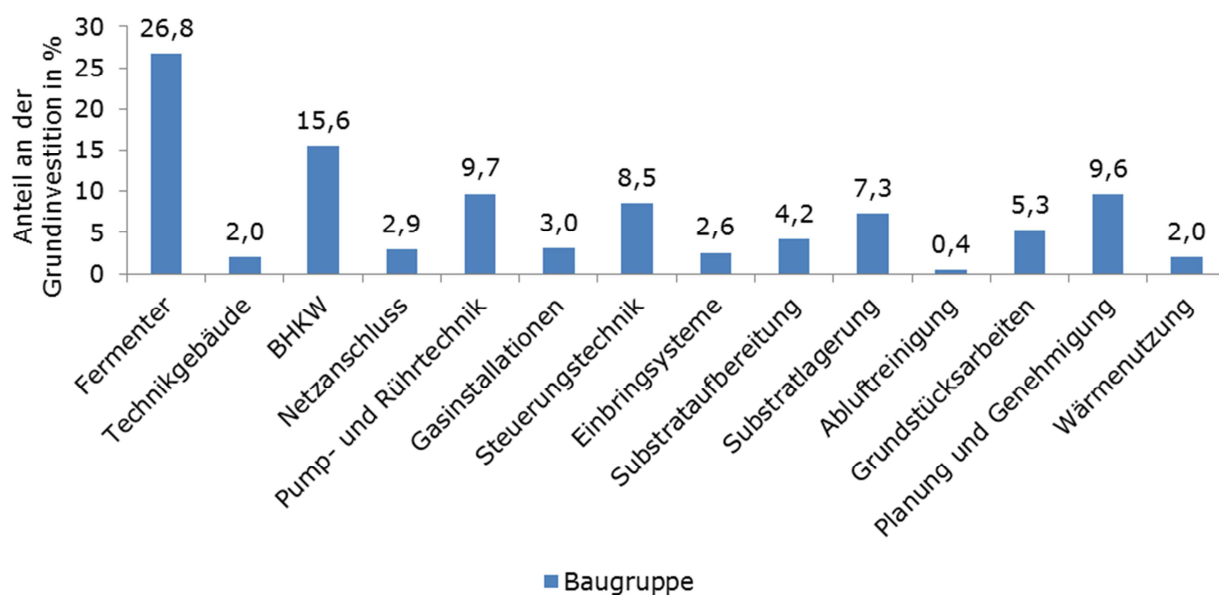


Abbildung 11: Anteil der Grundinvestitionen an den Baugruppen

6.4.2 Leistungspositionen der Betriebszweigauswertung

Abbildung 11 zeigt die relative Verteilung der Leistungspositionen in Pilotphase III und stellt damit die jeweilige Bedeutung der Leistungsart für die Gesamterlöse dar. Im Durchschnitt der Anlagen stellte der Stromverkauf mit einem Anteil von rund 78,9 % die wichtigste Leistungsposition dar. Die zweite wichtige Erlösposition waren die Entsorgungserlöse für organische Abfallstoffe mit 12,5 %, danach folgte der Wärmeverkauf mit 4,9 %. Gärresterlöse hatten mit einem Anteil von 0,9 % und sonstige Erlöse mit einem Anteil 2,8 % nur eine bisher untergeordnete Bedeutung. Sonstige Erlöse können von einzelnen Biogasanlagen z.B. über Maschinenvermietung oder CO₂-Reduktionsbescheinigungen erzielt werden.

Bei Anlagen im oberen Quartil lag der Anteil des Stromverkaufs an den Erlösen bei 82,3 %, über Entsorgungserlöse konnten 11,8 % und über den Wärmeverkauf 2,8 % der Erlöse generiert werden. Die Erlöse aus den Gärresten lagen im oberen Quartil bei 2,0 % und sonstige Erlöse bei einem Anteil von 1,2 %. Im unteren Quartil lagen die Leistungen aus dem Stromverkauf bei einem Anteil von 73,0 %. Aus der Entsorgung wurde 16,1 % und aus dem Wärmeverkauf 7,4 % der Erlöse erzielt. Der Verkauf von Gärresten hatte einen Anteil von 1,0 % und die sonstigen Erlöse 2,5 % an den Einnahmen.

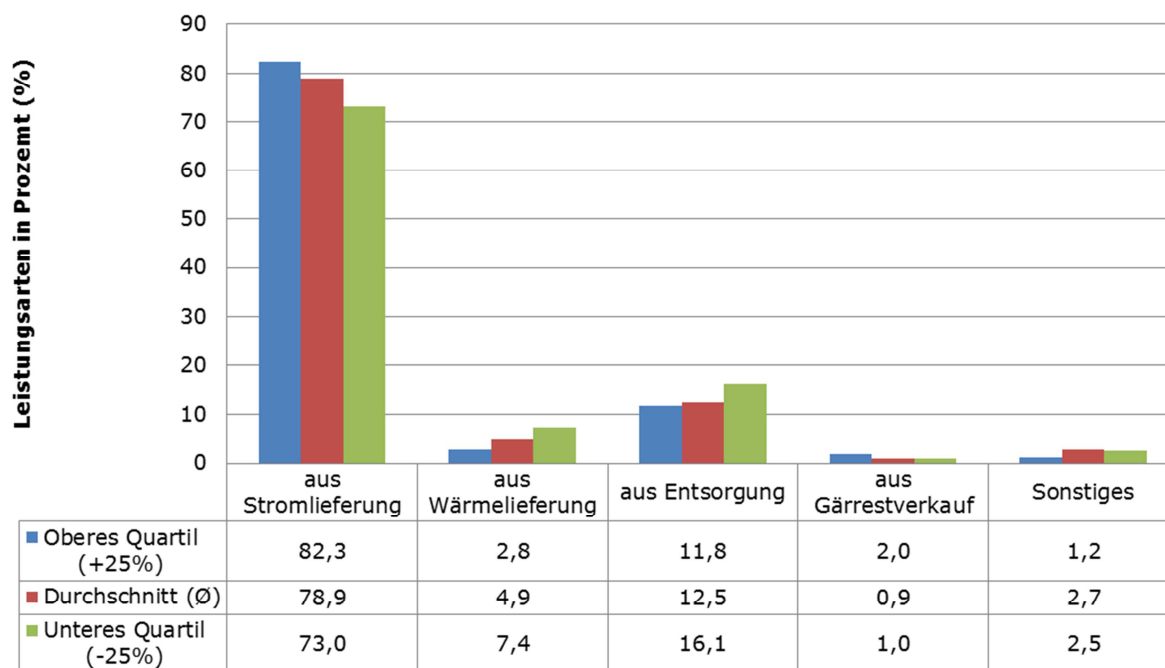


Abbildung 12: Relative Verteilung der Leistungen in Pilotphase III

Hinweis: Die Graphik zur relativen Verteilung der Leistungen in Pilotphase II findet sich im Anhang.

Die Bedeutung der Stromerlöse nahm über alle Pilotphasen kontinuierlich zu. In Pilotphase III nahm der Anteil der Stromerlöse an den Gesamterlösen im Durchschnitt um 8,9 % zu, nachdem in Pilotphase II der Anteil bereits um 9,5 % stieg.

Die Entsorgungserlöse stellen für die meisten Biogasanlagen die zweitwichtigste Erlösposition nach den Stromerlösen dar. Allerdings war die Bedeutung der Entsorgungserlöse in den Pilotphasen deutlich rückläufig. In Pilotphase III ging ihr Anteil im Durchschnitt um 39,6 % zurück, in Pilotphase II um 12,4 %.

Wärmeerlöse aus dem Verkauf oder der Selbstnutzung von Wärmeenergie haben sich zu einer wichtigen Erlösposition entwickeln können. Über alle Pilotphasen nahm der Anteil der Wärmeerlöse an den Gesamterlösen kontinuierlich zu. In Pilotphase III stieg die Bedeutung der Wärmenutzung um 5,8 % und in Pilotphase II sogar um 25,1 %.

Der Gärrestverkauf wurde ab Pilotphase II methodisch genau erfasst, indem alle Erlöse im Zusammenhang mit dem Transport und Ausbringung von Gärresten erhoben wurden, auch dann, wenn die Kosten die Erlöse überstiegen. Die Ergebnisse der Pilotphasen zeigen, dass Erlöse aus den Gärresten eine kleine Leistungsposition darstellen, vor allem für die Dienstleistungen Transport und Ausbringung. Der Anteil an den Gesamterlösen ist allerdings sehr volatil. In Pilotphase III ging der Anteil an den Gesamterlösen, nach einer Steigerung in Pilotphase II, wieder um -11,0 % zurück.

Sonstige Erlöse haben für einzelne Biogasanlage eine relevante Bedeutung. Der Anteil an den Gesamterlösen im Durchschnitt aller Biogasanlagen ist jedoch klein und zwischen den einzelnen Pilotphasen bisher sehr volatil. Nachdem der Anteil der sonstigen Erlöse in

Pilotphase II um -80 % zurückgegangen ist, erhöhte er sich in Pilotphase III wieder um 128 %.

Tabelle 15: Veränderung der Anteile an den Leistungen Pilotphase II zu III

Quartil	Veränderung Pilotphase II zu III		
	Oberes Quartil (+25%)	Durchschnitt (Ø)	Unteres Quartil (-25%)
Leistungsart	in %	in %	in %
aus Stromlieferung	42,6%	8,9%	2,2%
aus Wärmelieferung	38,6%	5,8%	-7,1%
aus Entsorgung	-68,4%	-39,6%	-14,0%
aus Gärrestverkauf	950,9%	-11,0%	-48,0%
Sonstiges	-60,3%	128,0%	250,0%

Tabelle 16: Veränderung der Anteile an den Leistungen Pilotphase I zu II

Quartil	Veränderung Pilotphase I zu II		
	Oberes Quartil (+25%)	Durchschnitt (Ø)	Unteres Quartil (-25%)
Leistungsart	in %	in %	in %
Stromverkauf	12,1%	9,5%	44,3%
Wärmeverkauf	46,7%	25,1%	25,3%
Entsorgung	-16,1%	-12,4%	-19,0%
Gärrestverkauf	7,2%	135,9%	100,0%
Sonstiges	11,5%	-80,0%	-100,0%

Biogasanlagen im oberen Quartil haben in beiden Pilotphasen den Anteil der Strom- und Wärmeerlöse an den Gesamterlösen überdurchschnittlich stark erhöht. Dagegen ging die Bedeutung der Entsorgungserlöse überdurchschnittlich deutlich zurück.

Im unteren Quartil konnten die Anlagen nach einer sehr starken Entwicklung des Anteils der Stromerlöse in Pilotphase II diesen Trend festigen und in Pilotphase III sogar noch ausbauen. Im Gegensatz dazu ging der Anteil der Wärmeerlöse in Pilotphase III wieder leicht zurück, nachdem er sich in Pilotphase II ebenfalls stark entwickelt hatte. Der Anteil der Entsorgungserlöse ist auch bei den Anlagen im unteren Quartil rückläufig. Allerdings ist der Rückgang wesentlich schwächer ausgeprägt als bei Anlagen im oberen Quartil.

6.4.3 Kostenpositionen der Betriebszweigauswertung

Die Kostenstruktur unterteilt sich in die vier Kostenarten Direktkosten (z.B. Substratkosten, Gärrestrückführung), Betriebskosten (z.B. Personalkosten), Anlagekosten (z.B. Abschreibungen, Unterhalt, Instandhaltung, Reparaturen) und sonstige Kosten (z.B. Versicherungen, Buchhaltung). In Abbildung 12 ist die relative Bedeutung der einzelnen Kostenpositionen in Pilotphase III dargestellt.

Grundsätzlich haben die Anlagekosten die mit Abstand grösste Bedeutung an den Gesamtkosten. Danach folgen etwa gleichbedeutend Direktkosten und Betriebskosten. Sonstige Kosten haben nur eine relativ geringe Bedeutung mit einem Anteil von 3,5 %.

Im Durchschnitt aller Anlagen und im unteren Quartil lag der Anteil der Direktkosten bei rund 23 %. Im oberen Quartil war der Anteil der Direktkosten mit 24,5 % leicht höher. Für Betriebskosten mussten im Durchschnitt aller Anlagen rund 20 % der Gesamtkosten aufgewendet werden. Anlagen im oberen Quartil wiesen leicht niedrigere, Anlagen im unteren Quartil leicht höhere Anteile auf. Die Anlagekosten als wichtigste Kostenposition betrugen rund 54 % im Durchschnitt aller Anlagen und im oberen Quartil. Anlagen im unteren Quartil wiesen mit rund 51 % leicht niedrigere Anteile aus.

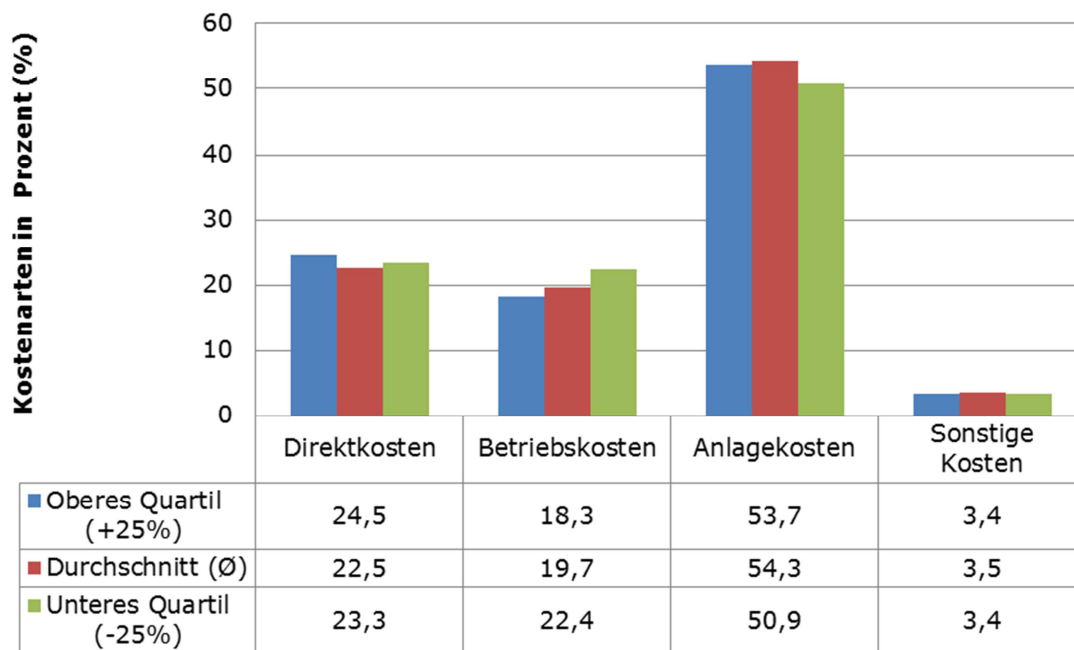


Abbildung 13: Relative Verteilung der Kosten in Pilotphase III

Hinweis: Die Graphik zur relativen Verteilung der Kosten in Pilotphase II findet sich im Anhang.

Bei den Direktkosten hatten die Kosten für den Zukauf von organischen Abfallstoffen die grösste Bedeutung. Organische Abfallstoffe standen in Pilotphase III im Durchschnitt der Anlagen für 11,6 % der Gesamtkosten. Gegenüber Pilotphase II mit einem Anteil von 13,1 % der Gesamtkosten, hat sich der Anteil um rund -12 % reduziert, nachdem er sich gegenüber Pilotphase I um rund 48 % erhöhte.

Bei Anlagen im oberen Quartil betrug der Anteil ebenfalls 11,6 % (Pilotphase II: 9,0 %) und hat sich damit um rund 28 % erhöht (nach rund 2 % in Pilotphase II), während bei Anlagen im unteren Quartil mit einem Anteil von 11,5 % an den Gesamtkosten (Pilotphase II: 13,4 %) der Rückgang entsprechend dem Durchschnitt der Anlagen ausfiel. Nach der starken Erhöhung des Anteils in Pilotphase II von über 280 %, trat dementsprechend eine Konsolidierung im unteren Quartil ein.

Die zweite grosse Kostenposition war die Gärrestverwertung, die mit durchschnittlich 9,2 % der Gesamtkosten zu Buche schlug (Pilotphase II: 8,6 %) und damit gegenüber Pilotphase II um rund 7 % höher ausfiel. In Pilotphase II erhöhte sich der Anteil gegenüber Pilotphase I um durchschnittlich 22,1 %. Anlagen im oberen Quartil haben mit einem Anteil von 10,6 % (Pilotphase II: 4,8 %) gegenüber Pilotphase II einen deutlich steigenden Anteil von über 120 %, nach einer Steigerung in Pilotphase II von rund 15 %.

Im unteren Quartil lag der Anteil bei 10,2 % (Pilotphase II: 8,8 %). Dies entspricht einer Steigerung von rund 17 % in Pilotphase III. In Pilotphase II lag die Steigerung bei rund 10 %.

Kosten für Hofdünger hatten in allen Pilotphasen nur eine untergeordnete Bedeutung und fielen nur bei einzelnen Anlagen an. Der Anbau landwirtschaftlicher Substrate hatte ebenfalls eine geringe Bedeutung, vor allem Anlagen im oberen Quartil nutzten landwirtschaftliche Biomasse wie z.B. Zwischenfrüchte oder Maisstroh. Zusatzstoffe für den Fermenter wurden von einigen Biogasanlagen eingesetzt. Diese Zusatzstoffe waren z.B. Hilfsstoffe, die die Fermenterbiologie positiv beeinflussen oder zur Entschwefelung des Biogases beitragen. Die Bedeutung für die Gesamtkosten war gering.

Tabelle 17: Anteil der Direktkosten an den Gesamtkosten in Pilotphase III

Quartil	Biogasanlagen		
	Oberes Quartil (+25%)	Durchschnitt (Ø)	Unteres Quartil (-25%)
Anteil Direktkosten an Gesamtkosten	in %	in %	in %
Hofdünger	0,6	0,8	1,4
Landwirtschaftliche Biomasse	1,4	0,3	0,0
Organische Abfallstoffe	11,6	11,6	11,5
Gärrestverwertung mit Ausbringung	10,6	9,2	10,3
Wasser/ Fermenterzusatzstoffe	0,3	0,7	0,1
Summe Direktkosten	24,5	22,5	23,3

Tabelle 18: Anteil der Direktkosten an den Gesamtkosten in Pilotphase II

Quartil	Biogasanlagen		
	Oberes Quartil (+25%)	Durchschnitt (Ø)	Unteres Quartil (-25%)
Anteil Direktkosten an Gesamtkosten	in %	in %	in %
Hofdünger	0,0	0,6	0,0
Landwirtschaftliche Biomasse	0,3	0,2	0,0
Organische Abfallstoffe	9,0	13,1	13,4
Gärrestverwertung mit Ausbringung	4,8	8,6	8,8
Wasser/ Fermenterzusatzstoffe	0,4	0,4	0,0
Summe Direktkosten	14,5	23,0	22,2

Bei den Betriebskosten waren die Personalkosten die bedeutendste Einzelposition. Im Durchschnitt der Anlagen betrugen diese 15,0 % der Gesamtkosten (Pilotphase II 14,3 %). Das obere Quartil wies in Pilotphase II einen überdurchschnittlich hohen Anteil an Personalkosten mit 17,8 % auf, der sich in Pilotphase III deutlich um über -20 % auf einen Anteil von 14,1 % reduzierte. Im unteren Quartil dagegen erhöht sich der Anteil der Personalkosten stetig. Nach einer Steigerung des Anteils um rund 9 % in Pilotphase II und rund 16 % in Pilotphase III wurde im unteren Quartil ein überdurchschnittlicher Anteil der Personalkosten von 16,6 % ausgewiesen.

Die weiteren Betriebskosten hatten als Einzelposition jeweils eine geringe Bedeutung. In Summe betrugen die sonstigen Betriebskosten im Durchschnitt rund 5-6 % der Gesamtkosten. Die wichtigsten Einzelpositionen waren Maschinenkosten und Kosten für Zündöl.

Bei den weiteren Betriebskosten ist ein Vergleich über die Pilotphasen schwierig zu beurteilen, da aufgrund der geringen relativen Bedeutung die Verzerrung durch Einzelanlagen gross ist.

Tabelle 19: Anteil der Betriebskosten an den Gesamtkosten in Pilotphase III

Quartil	Biogasanlagen		
	Oberes Quartil (+25%)	Durchschnitt (Ø)	Unteres Quartil (-25%)
Anteil Betriebskosten an Gesamtkosten	in %	in %	in %
Personalkosten	14,1	15,0	16,6
Stromzukauf/ Energie	0,7	0,5	0,8
Zündöl	0,1	0,3	0,0
Sonstige Schmier- und Betriebsmittel	1,0	1,1	1,4
Beratung/ Gutachten/ Dienstleistungen	1,0	0,9	0,9
Maschinenkosten	1,2	1,7	2,7
Sonstige Betriebskosten	0,2	0,1	0,0
Summe Betriebskosten	18,3	19,7	22,4

Tabelle 20: Anteil der Betriebskosten an den Gesamtkosten in Pilotphase II

Quartil	Biogasanlagen		
	Oberes Quartil (+25%)	Durchschnitt (Ø)	Unteres Quartil (-25%)
Anteil Betriebskosten an Gesamtkosten	in %	in %	in %
Personalkosten	17,8	14,3	14,3
Stromzukauf/ Energie	0,6	0,5	0,9
Zündöl	2,8	1,4	1,3
Sonstige Schmier- und Betriebsmittel	0,6	0,7	1,0
Beratung/ Gutachten/ Dienstleistungen	0,3	0,7	1,2
Maschinenkosten	3,0	2,0	1,5
Sonstige Betriebskosten	0,0	0,6	0,8
Summe Betriebskosten	25,1	20,3	20,8

Da die Personalkosten einen bedeutenden Anteil an den Gesamtkosten haben, soll im Folgenden noch detaillierter darauf eingegangen werden. Die Ergebnisse sind jedoch vorsichtig zu interpretieren und vor allem als Anhaltspunkt zu betrachten, da bei den Anlagen kaum Arbeitszeitznachweise vorliegen und die Arbeitszeiten in den meisten Fällen geschätzt bzw. hochgerechnet wurden.

In Pilotphase III betrug der Arbeitszeitbedarf für die Biogasanlagen pro Jahr im Durchschnitt 1.346 Arbeitskraftstunden. Dies entspricht bei 6 Arbeitstagen je Woche (gerechnet ohne Sonntag) einem täglichen Arbeitseinsatz von rund 4,3 Stunden. Dies allerdings bei einer sehr grossen Spannweite. Insgesamt hat sich der Arbeitseinsatz gegenüber Pilotphase II leicht um rund 3 % erhöht. Bei der Betrachtung der Quartile fällt auf, dass im oberen Quartil in Pilotphase I und II ein überdurchschnittlich hoher Arbeitsaufwand zu verzeichnen war. In Pilotphase III ist dagegen eine deutliche Reduktion des Arbeitseinsatzes zu verzeichnen. Eine genau gegenläufige Entwicklung ist im unteren Quartil fest-

zustellen, wo ein überdurchschnittlicher Arbeitseinsatz in Pilotphase III zu verzeichnen war.

Im Benchmarking wurde bezüglich der Arbeit in zwei Tätigkeitskategorien unterteilt, dem Arbeitsaufwand an der Anlage (tägliche Arbeiten, Reparaturen, etc.) und der Verwaltung (Buchführung, Organisation, Planung, etc.). Dabei zeigte sich, dass rund ein Viertel der Arbeit (23,8 %) für Verwaltungstätigkeiten und rund drei Viertel (76,2 %) für Arbeiten an der Biogasanlage aufgewendet wurden. Gegenüber Pilotphase II, mit einem Arbeitsanteil von rund 26,0 % für die Verwaltungstätigkeit (Anteil Pilotphase I rund 21,5 %), konnte ein leichter Rückgang verzeichnet werden. Im Gegenzug wurde der Anteil der Arbeit an der Biogasanlage wieder leicht erhöht, der in Pilotphase II bei rund 74,0 % lag (Anteil Pilotphase I rund 78,5 %).

Da die Leistungen der Biogasanlagen unterschiedlich hoch sind und der Arbeitszeitbedarf an der Anlage zu einem guten Teil mit der äquivalenten Leistung der Anlage zusammenhängt, muss die Arbeitszeit auch auf die äquivalente Anlagenleistung bezogen werden. Die resultierende Kennzahl aus der Arbeitszeit und der äquivalenten Anlagenleistung kann auch als Arbeitseffizienz bezeichnet werden.

Tabelle 21: Benchmarking Arbeitseffizienz

Benchmarking Arbeitseffizienz 2014:	Biogasanlagen		
	+25%	Ø	-25%
Pilotphase III			
Arbeitseinsatz (Akh/Jahr)	1.246	1.346	1.531
Arbeitseffizienz (Akh/kW _{äq})	7,7	9,5	18,1
Veränderung 2013 zu 2014			
Arbeitseinsatz (%)	-11,9%	3,0%	37,6%
Arbeitseffizienz (%)	150,3%	6,1%	-24,3%

Benchmarking Arbeitseffizienz 2013:	Biogasanlagen		
	+25%	Ø	-25%
Pilotphase II			
Arbeitseinsatz (Akh/Jahr)	1.415	1.307	1.112
Arbeitseffizienz (Akh/kW _{äq})	19,3	10,1	13,7
Veränderung 2012 zu 2013			
Arbeitseinsatz (%)	18,6%	20,5%	-2,5%
Arbeitseffizienz (%)	3,0%	0,6%	-3,6%

Benchmarking Arbeitseffizienz 2012:	Biogasanlagen		
	+25%	Ø	-25%
Pilotphase I			
Arbeitseinsatz (Akh/Jahr)	1.193	1.085	1.141
Arbeitseffizienz (Akh/kW _{äq})	19,9	10,2	13,2

Die durchschnittliche Arbeitseffizienz in Pilotphase III lag bei 9,5 Akh/kW_{äq} (Pilotphase II: 10,1 Akh/kW_{äq}). Je niedriger die Kennzahl, desto höher die Effizienz der Arbeit in Bezug zur äquivalenten Leistung der Biogasanlage. Anlagen im oberen Quartil wiesen in den beiden Pilotphasen I und II nur eine niedrige Arbeitseffizienz von 19,9 bzw. 19,3 Akh/kW_{äq} auf. In Pilotphase III hat sich die Arbeitseffizienz deutlich auf 7,7 Akh/kW_{äq}

verbessert. Anlagen im unteren Quartil erreichten in den beiden Pilotphasen I und II nur eine unterdurchschnittliche Arbeitseffizienz in Höhe von 13,2 bzw. 13,7 Akh/kW_{aq}, die sich in Pilotphase III noch einmal deutlich um rund ein Viertel verschlechtert hat.

Für die Gesamtkosten einer Biogasanlage haben die Anlagekosten die mit Abstand grösste Bedeutung. Vor allem die Kosten für Abschreibungen fallen dabei ins Gewicht. Im Durchschnitt lag der Anteil der Abschreibungen an den Gesamtkosten bei rund 33,6 % (Pilotphase II: 34,9 %). Anlagen im oberen Quartil wiesen einen Anteil von rund 35,0 % (Pilotphase II: 37,5 %), Anlagen im unteren Quartil von rund 33,5 % auf (Pilotphase II: 34,8 %). Nachdem bereits in Pilotphase II der Anteil der Kosten für Abschreibungen um rund -3,1 % zurückging, reduzierte sich dieser in Pilotphase III noch einmal um -3,7 %.

Während bei Anlagen im oberen Quartil in Pilotphase II die Abschreibungen aufgrund von Nachinvestitionen leicht anstiegen und der Anteil der Kosten sich um 2,5 % erhöhte, sank der Anteil in Pilotphase III um -6,7 %. Im unteren Quartil gingen dagegen die Abschreibungen in Pilotphase II zum Teil stark zurück (-17,9 % auf bauliche Anlagen; -8,7 % auf Technik und Maschinen). In Pilotphase III setzte sich dieser Trend mit einem Rückgang bei baulichen Anlagen von -7,9 % und bei BHKW von -19,6 % fort.

Tabelle 22: Anteil der Anlagekosten an den Gesamtkosten in Pilotphase III

Quartil	Biogasanlagen		
	Oberes Quartil (+25%)	Durchschnitt (Ø)	Unteres Quartil (-25%)
Anteil Anlagekosten an Gesamtkosten	in %	in %	in %
Abschreibung bauliche Anlagen	11,0	10,3	9,7
Abschreibung Technik und Maschinen	14,7	15,6	17,0
Abschreibung BHKW	9,3	7,7	6,8
Abschreibung Investitionsförderung	0,6	1,3	2,0
Wartung und Instandhaltung BGA	0,7	1,0	0,7
Wartung und Instandhaltung Technik und M	4,7	5,4	4,8
Wartung und Instandhaltung BHKW	6,6	6,3	5,7
Miete/ Pacht Gebäude/ Fläche	0,6	0,6	0,7
Maschinenmiete/ Leasing	0,3	1,4	0,9
Sonstige Anlagekosten	0,1	1,2	0,0
Zinsaufwendungen	6,4	6,2	6,7
Summe Anlagekosten	53,7	54,3	50,9

Im Zusammenhang mit den Investitionen stehen die Zinsaufwendungen für das eingesetzte Fremd- und Eigenkapital. Die Zinskosten lagen bei den Biogasanlagen zwischen 6,2 % und 6,7 % der Gesamtkosten. Gegenüber Pilotphase II hat sich damit der Kostenanteil für Zinsaufwendungen um runde -5,0 % reduziert. Damit setzt sich ebenfalls ein Trend aus Pilotphase II fort, in der die Anteile für Zinsaufwendungen bereits um durchschnittlich rund -15,9 % reduziert werden konnten.

Neben den Finanzierungskosten sind die Wartungs- und Instandhaltungskosten der Biogasanlagen eine wichtige Kostenposition. Im Durchschnitt lag der Anteil bei rund 12,7 % der Gesamtkosten (Pilotphase II: 11,0 %). Im oberen Quartil war der Anteil mit rund 12,0 % leicht unterdurchschnittlich (Pilotphase II: 9,5 %), hat sich gegenüber Pilotphase II jedoch deutlich erhöht. Anlagen im unteren Quartil wiesen mit rund 11,2 % ebenfalls

unterdurchschnittliche Anteile für Wartungs- und Instandhaltungskosten auf (Pilotphase II: 12,5 %). Gegenüber Pilotphase II reduzierte sich der Anteil. Bereits in Pilotphase II waren die Anteile für die Wartungs- und Instandhaltungskosten rückläufig, die sowohl im Durchschnitt als auch über die Quartile zumeist zwischen -20 und -30 % zurückgingen. Der Anteil der Kosten für Maschinenmiete lag im Durchschnitt bei 1,4 % der Gesamtkosten und ist gegenüber Pilotphase II nahezu unverändert. Die Kostenposition Maschinenmiete steht im engen Zusammenhang mit den Maschinenkosten (Betriebskosten) für Maschinen im Besitz der Biogasanlage. In den meisten Fällen werden Maschinen vom Landwirtschaftsbetrieb gemietet. Oftmals werden die Kosten nicht in der Buchführung berücksichtigt, sondern müssen für das Benchmarking kalkuliert werden.

Tabelle 23: Anteil der Anlagekosten an den Gesamtkosten in Pilotphase II

Quartil	Biogasanlagen		
	Oberes Quartil (+25%)	Durchschnitt (Ø)	Unteres Quartil (-25%)
Anteil Anlagekosten an Gesamtkosten	in %	in %	in %
Abschreibung bauliche Anlagen	13,8	11,3	10,5
Abschreibung Technik und Maschinen	12,4	14,4	15,8
Abschreibung BHKW	11,3	9,2	8,5
Abschreibung Investitionsförderung	0,7	1,1	1,9
Wartung und Instandhaltung BGA	0,2	1,1	0,9
Wartung und Instandhaltung Technik und M	7,3	5,7	6,5
Wartung und Instandhaltung BHKW	2,0	4,2	5,1
Miete/ Pacht Gebäude/ Fläche	1,1	0,6	0,1
Maschinenmiete/ Leasing	3,0	1,5	1,8
Sonstige Anlagekosten	0,0	0,0	0,0
Zinsaufwendungen	6,7	6,5	7,0
Summe Anlagekosten	57,1	53,4	54,1

6.5 Zusammenfassung und Diskussion der Resultate

Die Ergebnisse der Pilotphasen müssen noch sehr vorsichtig interpretiert werden, da erst drei Jahre miteinander verglichen werden können. Des Weiteren sind die Biogasanlagen im Benchmarking mit einer durchschnittlichen installierten Leistung von 191 kW in Pilotphase III rund 30 % grösser als im Schweizerischen Branchenvergleich. Aufgrund dessen kann unterstellt werden, dass die betrachtete Stichprobe für die landwirtschaftliche Biogasbranche in der Schweiz nicht repräsentativ ist. Trotzdem lassen sich einige Entwicklungen und Tendenzen beschreiben.

Die drei Pilotphasen im Benchmarking haben zumindest für die untersuchten Jahre gezeigt, dass hinsichtlich der prozesstechnischen sowie prozessbiologischen Leistungsfähigkeit und des ökonomischen Erfolgs der Biogasanlagen keine systematischen Unterschiede zwischen grösseren und kleineren Biogasanlagen zu erkennen sind. So finden sich kleinere Biogasanlagen unter 150 kW installierter Leistung sowohl im unteren als auch im oberen Quartil (bei den erfolgreichen und den weniger erfolgreichen Anlagen). Vielmehr bestätigen die Ergebnisse die Erfahrung von Ökostrom Schweiz, dass die Verteilung der Kenngrössen bei den Anlagen sehr heterogen ist. Die Spannweiten zwischen den Biogasanlagen sind bei fast allen Kennzahlen sehr gross. Zum Teil konnten auch starke Schwankungen von Kennzahlen bei einzelnen Anlagen zwischen den untersuchten Jahren festgestellt werden. Trotz der grossen Unterschiede zwischen den einzelnen Biogasanlagen, lassen sich grundsätzliche Erkenntnisse aus dem Benchmarking gewinnen.

Prozesstechnische und prozessbiologische Ergebnisse:

Im Durchschnitt aller teilnehmenden Biogasanlagen konnte die Stromproduktion in allen Pilotphasen gesteigert werden. In Pilotphase II lag der Anstieg bei über 21 %, die Stromproduktion erreichte rund 21,5 GWh Strom. In Pilotphase III schwächte sich diese Entwicklung ab, der Anstieg betrug aber immerhin noch über 9 %, so dass die Stromproduktion auf über 23,5 GWh stieg.

Die höhere Stromerzeugung ist auf mehrere Faktoren zurückzuführen. Zum einen kann die Steigerung der Produktion auf einen höheren Substratinput allgemein sowie energiereichere organische Abfallstoffe zurückgeführt werden. Zum anderen lassen sowohl die prozesstechnischen wie auch die prozessbiologischen Kennzahlen Rückschlüsse auf Produktivitätssteigerung in den Anlagen zu. Dabei haben die grösseren Biogasanlagen grössere Produktivitätssteigerungen realisieren können als die kleineren Anlagen. Dies widerspiegelt sich deutlich in der Steigerung der installierten Leistung sowie der äquivalenten Leistung der BHKW. Die Produktivität der kleineren Biogasanlagen war bereits in Pilotphase I allgemein hoch, der Ausbau der Leistung fiel in den weiteren Pilotphasen entsprechend geringer aus.

Bei der Stromausbeute aus den Substraten war ebenfalls eine positive Entwicklung zu verbuchen. Bei einer durchschnittlichen Stromausbeute von 154 kWh je Tonne Frischmasse Inputsubstrat konnten die Anlagen die Ausbeute in Pilotphase III um 3,6 %, in Pilotphase II sogar um 10,4 % steigern. Bei Anlagen im oberen Quartil lag die Steigerung in Pilotphase III sogar bei rund 25 % nach 10,9 % in Pilotphase II. Es liegt die Vermutung nahe, dass ein wesentlicher Anteil dieser Steigerung auf die Zunahme des Einsatzes energiereicher organischer Abfallstoffe zurückzuführen ist. Im unteren Quartil konnten

die Anlagen die positive Entwicklung aus Pilotphase II mit einer Steigerung der Stromausbeute von rund 12 % nicht fortsetzen. In Pilotphase III reduzierte sich die Stromausbeute wieder um rund -15 %.

Im Zusammenhang mit der Stromproduktionssteigerung ebenfalls zu berücksichtigen ist der BHKW-Ausnutzungsgrad. Je höher der Ausnutzungsgrad, desto mehr Volllaststunden stehen der Produktion grundsätzlich zur Verfügung. Wie die Auswertung der Pilotphasen zeigte, ist die Arbeitsauslastung bei den Biogasanlagen äusserst heterogen. Der Ausnutzungsgrad lag für die kleineren Biogasanlagen bei durchschnittlich rund 85 % in Pilotphase III und hat sich nach durchschnittlichen Ausnutzungsgraden von rund 80 % in Pilotphase II und rund 76 % in Pilotphase I um jährlich zwischen 5 und 6 % erhöht.

Die grösseren Anlagen zeigten dagegen einen Ausnutzungsgrad von rund 67 % in Pilotphase III, dies entspricht einer Steigerung von rund 16 %. Gegenüber den kleineren Anlagen sank hier von Pilotphase I auf Pilotphase II die Auslastung von rund 59 % auf rund 58 %, da einige Biogasanlagen in Pilotphase II sehr stark in die Erweiterung ihrer BHKW investierten (Ersatz-BHKW, Revision alter BHKW mit Leistungserhöhung, Installation Zweit-BHKW). Investitionen in zusätzliche BHKW-Leistungen beeinflussen die Kennzahlen zur Auslastung (Volllaststunden-Arbeitsauslastung) erheblich, da dadurch Leistungssteigerungen einhergehen und sich die Steigerung der Biogasproduktion in der Praxis in den meisten Fällen nur schrittweise erhöhen lässt. Pilotphase III zeigt jedoch, dass in den folgenden Jahren nach einer BHKW Erweiterung weitere betriebliche und organisatorische Optimierungen folgen, um die äquivalente Leistung allmählich zu steigern.

Allgemein sind die Volllaststunden des BHKW (BHKW-Auslastung) als solches ein gutes Beispiel dafür, wie sensibel Kennzahlen auf Veränderungen zwischen den Jahren reagieren können. Somit sollten solche Kennzahlen nicht übereifrig interpretiert werden. Um in Bezug auf die BHKW-Auslastung belastbare Aussagen machen zu können, bedarf es vor allem eines längeren Betrachtungszeitraums zur Interpretation, um Jahreseffekte möglichst abzuschwächen.

Neben der Stromerzeugung nahm auch die Bedeutung der Wärmeproduktion und des Wärmeverkaufs kontinuierlich zu. Bereits während Pilotphase II konnte sich die Abwärmenutzung bei einem Anstieg um rund 55 % bei einer genutzten Energie von 7,8 GWh sehr positiv entwickeln. In Pilotphase III wurde die Wärmenutzung noch einmal um rund 29 % auf über 10 Mio. kWh gesteigert.

Dabei wurde sowohl die Wärmenutzung auf den Landwirtschaftsbetrieben ausgebaut, also die innerbetriebliche Wärmenutzung, als auch die externe Wärmenutzung an betriebsfremde Abnehmer. In Pilotphase II erfolgten deutliche Investitionen in die Wärmenutzung, vor allem in den Ausbau lokaler Nahwärmenetze. Diese Entwicklung setzte sich in Pilotphase III noch einmal verstärkt fort. Rund 60 % der genutzten Wärme wurde in Pilotphase III extern genutzt.

Wie bereits im Zusammenhang mit der Stromproduktionssteigerung beschrieben, nahm der Substrateinsatz in den Biogasanlagen – gemessen an der Frischmasse – zwischen den Vergleichsjahren zu. In Pilotphase II wurden rund 7 % und in Pilotphase III rund 12 % mehr Substrate als in jeweils vorangegangenen Pilotphase von den Anlagen eingesetzt. Vor allem Hofdünger und energiereichere organischer Abfallstoffe wurden in beiden

Phasen zunehmend eingesetzt. Über 76 % der Substrate stellten Hofdünger. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Mehrheit der Anlagen vom Landwirtschaftsbonus der KEV profitiert. In Pilotphase II waren 15 Biogasanlagen in der KEV (inkl. Landwirtschaftsbonus), in Pilotphase III bereits 18 Biogasanlagen.

Hofdünger stehen mit Ausnahme von Transportkosten in der Regel kostenlos zur Verfügung, sind aber im Vergleich zu organischen Abfallstoffen oder Zwischenfrüchten meist weniger energiereich. Dies wird über den Einsatz energiereicher organischer Abfallstoffe kompensiert, die in vielen Fällen zugekauft werden. Mit dem Zukauf von organischen Abfallstoffen sind oftmals hohe Direktkosten verbunden, diese müssen einem entsprechenden Energieertrag gegenüberstehen um deren Einsatz zu rechtfertigen.

Der Kennzahl Eigenstromverbrauch wird im Benchmarking eine hohe Bedeutung gegeben. Der Eigenstromverbrauch von durchschnittlich rund 10 % ist akzeptabel, im europäischen Vergleich erfahrungsgemäss jedoch eher als hoch einzuschätzen, was wohl unter anderem auf die sich unterscheidende Zusammensetzungen des Substratmixes und des damit einhergehenden Substrathandlings (Rühren, Pumpen, etc.) zurückzuführen ist. Der Eigenstromverbrauch konnte bereits in Pilotphase II durchschnittlich um rund 9 % deutlich auf rund 11 % reduziert werden. In Pilotphase III konnte noch einmal eine Reduktion um durchschnittlich über 7 % erreicht werden. Auch wenn der Verbrauch bereits erfreulich stark reduziert werden konnte, wird empfohlen, dem Eigenstromverbrauch weiterhin sehr grosse Aufmerksamkeit zu schenken. Die Spannweite bei dieser Kennzahl ist unter den Anlagen sehr gross und reicht von rund 5 % bis zu rund 16,5 %.

Die energetischen Jahresnutzungsgrade der Biogasanlagen weisen ebenfalls massive Unterschiede auf. Die Anlagen im oberen Quartil zeigen eindrücklich, dass es möglich ist nahezu die gesamte theoretisch verfügbare Energie aus den Substraten in Nutzenergie umzuwandeln und einzusetzen. Bei energetischen Jahresnutzungsgraden von bis zu rund 79 % in Pilotphase III (ohne die notwendige Wärmeenergie für die Beheizung der Fermenter) kann von einer fast vollständigen energetischen Ausnutzung der theoretischen Inputenergie gesprochen werden. Bei diesen Anlagen bestehen nur noch sehr geringe Potenziale für weitere Steigerungen der Ausnutzungsgrade. Im Durchschnitt der Biogasanlagen betrug der energetische Jahresnutzungsgrad in Pilotphase III immerhin schon über 60 %. Dies ist als ordentliches Ergebnis zu bezeichnen, es bestehen jedoch Entwicklungspotenziale, auch wenn sich diese Kennzahl in den Pilotphasen bereits um 2,8 % in Pilotphase II respektive 0,3 % in Pilotphase III verbessern konnte. Diese Potenziale können vor allem über eine verstärkte Wärmenutzung gehoben werden. Der thermische Jahresnutzungsgrad stieg bereits in Pilotphase II um rund 11 % auf durchschnittlich rund 16 % der Gesamtenergie an. In Pilotphase III verbesserte sich der thermische Jahresnutzungsgrad erneut und stieg um rund 3 %. Vor allem vor dem Hintergrund, dass auf Landwirtschaftsbetrieben an dezentralen Standorten oftmals nur schwierig Wärmenutzungspfade entwickelt werden können, die zum einen relativ konstant hohe Wärmemengen benötigen und zum anderen möglichst auch im Sommerhalbjahr Wärme abnehmen, ist diese Entwicklung sehr positiv zu beurteilen.

Betriebswirtschaftliche Ergebnisse:

Sowohl in Pilotphase II als auch in Pilotphase III zeigten die Anlagenbetreiber im Benchmarking eine hohe Investitionsbereitschaft, was für eine zuversichtliche wirtschaftliche

Erwartungshaltung spricht. Insgesamt wurden in Pilotphase II rund 3,5 Mio. Franken in die Erweiterung und Modernisierung der Biogasanlagen investiert. In Pilotphase III reduzierte sich die Investitionstätigkeit leicht auf rund 2,1 Mio. Franken. Allein in den beiden Pilotphasen erreichte die Höhe der Nachinvestitionen über 14 % der Gesamtinvestitionen. Dies zeigt, dass die Anlagenbetreiber kontinuierlich in die Erneuerung, Modernisierung und Erweiterung der Biogasanlagen investieren.

Die Umsätze der Biogasanlagen haben sich über alle Pilotphasen insgesamt positiv entwickelt. Vor allem die Stromerlöse und die Wärmeerlöse konnten sich entsprechend dem höheren Energieertrag positiv entwickeln. Als beunruhigend können dagegen die Entwicklungen auf dem Markt für organische Abfallstoffe beurteilt werden. Die Erlöse für organische Abfallstoffe sind die zweitwichtigste Erlösposition nach dem Stromverkauf. Die Anteile der Entsorgungserlöse an den Gesamterlösen haben sich sowohl in Pilotphase II als auch Pilotphase III mit durchschnittlich -12 % bzw. -39 % deutlich reduziert. Standen die Erlöse für Abfallstoffe in Pilotphase II noch für rund 21 % der Gesamterlöse, betrug ihr Anteil in Pilotphase III nur noch rund 13 %. Im oberen Quartil betrug der Rückgang in Pilotphase II sogar über -16 % und in Pilotphase III über -68 %.

Dagegen entwickelten sich die Kosten für den Zukauf organischer Abfallstoffe sehr uneinheitlich. Während im Durchschnitt der Anlagen in Pilotphase II ein deutlicher Anstieg des Anteils an den Gesamtkosten um rund 48 % zu verzeichnen war, konnte in Pilotphase III wiederum ein Rückgang um rund -12 % festgestellt werden. Durchschnittlich standen die Kosten für organische Abfallstoffe in Pilotphase III für rund 12 % der Gesamtkosten, nach rund 13 % in Pilotphase II und rund 9 % in Pilotphase I.

Kostenveränderungen im Zukauf von organischen Abfallstoffen lassen sich zwar zum Teil durch den zunehmenden oder abnehmenden Einsatz von energiereichen Substraten erklären. Der Vergleich der Pilotphasen zeigt jedoch auch, dass der Preis für energiereiche Substrate sehr volatil ist. Allgemeine Tendenzen und Entwicklungen für Abfallstoffe lassen sich auf einem solch lebhaften Markt mit entsprechend grosser Preisvolatilität nur sehr schwer vorhersehen. Auch hier gilt wie bei vielen anderen Kenngrössen auch, dass die Entwicklung über einen längeren Zeitraum beobachtet werden muss, bevor belastbare Aussagen gemacht und sinnvolle Rückschlüsse gewonnen werden können.

Unter den verschiedenen Kostenpositionen haben neben den Direktkosten für Substrate und Gärreste vor allem die Lohnkosten und die Anlagekosten für Abschreibungen, Zinsen und Wartung bzw. Instandhaltung eine herausragende Bedeutung.

Die Lohnkosten haben anhaltend eine zunehmende Relevanz und betrugen in Pilotphase III rund 15 % der Gesamtkosten einer Biogasanlage. Damit ist der Anteil in beiden Pilotphasen um jährlich rund 5 % gestiegen. Über die letzten beiden Pilotphasen betrugen dabei die Arbeitsanteile für die Administration der Biogasanlagen (z.B. Buchführung, Organisation, Planung) rund ein Viertel der Arbeitszeit gegenüber rund drei Viertel für Arbeiten an der Biogasanlage.

Die Arbeitseffizienz der Anlagenbetreiber hat sich im Vergleich der Pilotphasen leicht positiv entwickelt. In Pilotphase II verbesserte sich die Arbeitseffizienz um rund 1 %. Dabei stieg jedoch der durchschnittliche Arbeitseinsatz um rund 21 %, dies entsprach ziemlich genau dem durchschnittlichen Effizienzgewinnen der Biogasanlagen. In Pilotphase III

erhöhte sich der Arbeitseinsatz nur um rund 3 %. Da sich die Effizienz der Anlagen jedoch deutlich stärker entwickelte, resultiert daraus eine zunehmende Arbeitseffizienz um rund 6 %.

Den grössten Anteil an den Gesamtkosten haben die Anlagekosten. In Pilotphase III lag der Anteil der Anlagekosten bei insgesamt rund 54 % und damit leicht höher als in Pilotphase II mit rund 53 %. Nachdem der Anteil der Anlagekosten in Pilotphase II um rund 10 % gegenüber Pilotphase I reduziert werden konnte, stieg er in Pilotphase III wieder um rund 2 % an.

Die von den Investitionskosten abgeleiteten Abschreibungen und Zinsaufwendungen sind im laufenden Betrieb der Biogasanlage vergleichsweise konstant. Auf Grund ihrer starken Bedeutung sollten bei jeder Investitionsentscheidung grundsätzlich die Investitionskosten besonders sorgfältig geplant und kalkuliert werden. Dies gilt sowohl für Erstinvestitionen als auch für Nachinvestitionen. Die Höhe der Investitionskosten ist ein entscheidender Baustein für den wirtschaftlichen Erfolg einer Biogasanlage. Die Anlagen im oberen Quartil weisen mit rund 7.000 Fr./kW inst. Leistung deutlich geringere Investitionskosten auf, als im Durchschnitt der Anlagen mit rund 11.000 Fr./kW. Im unteren Quartil betrugen die durchschnittlichen Investitionskosten sogar rund 17.000 Fr./kW.

Im Gegensatz zu den Abschreibungen sind die jährlichen Wartungs- und Instandhaltungskosten sehr variabel. In den Pilotphasen gab hier bisher ein sehr uneinheitliches Bild. Während der Anteil der Wartungs- und Instandhaltungskosten z.B. für BHKW, Technik oder Gebäude in Pilotphase II stark rückläufig war, stieg dieser in Pilotphase III zum Teil wieder stark an. Dies zeigt, dass gerade diese Kennzahl in einem dreijährigen Vergleich nicht überinterpretiert werden darf, da der Instandhaltungsaufwand von Jahr zu Jahr unterschiedlich sein kann. Darüber hinaus steigen Wartungs- und Instandhaltungskosten bei zunehmendem Alter der entsprechenden Bauteile oder Maschinen deutlich an. Daher können erst über eine längere Zeitperiode belastbare Trends abgeleitet werden.

7. Kundennutzen des Benchmarking

7.1 Anlagenbetreiber bestehender Biogasanlagen

Anlagenbetreiber können von einer Teilnahme am Benchmarking direkt und indirekt profitieren. Ein direkter Nutzen kann durch laufende Erkenntnisse über die eigene Anlage und den Vergleich innerhalb der Branche, ein indirekter Nutzen über passgenaue wissensbasierte Aktivitäten von Ökostrom Schweiz als Dachverband generiert werden.

Allgemein bietet das Benchmarking eine detaillierte Gesamtschau der eigenen Anlage, in der sowohl technische, biologische und betriebswirtschaftliche Daten und Kennzahlen zusammengeführt und analysiert werden. Es erfolgt eine Beurteilung der Leistungsfähigkeit der eigenen Biogasanlage auf Basis der Vergleiche im Benchmarking. Diese Vergleiche können für die Strategieentwicklung eingesetzt werden, Fehlentwicklungen aufdecken helfen oder Hinweise zu Effizienzsteigerungspotenzialen liefern. Dies ist umso besser möglich je näher die Ergebnisse zeitlich an der Erhebungsperiode liegen. Erkenntnisse aus Entwicklungen im Vorjahr und den Zeitreihenvergleichen können so noch im jeweils aktuellen Wirtschaftsjahr umgesetzt werden.

Die Analysen im Benchmarking sind unabhängig und methodisch breit abgestimmt. Neue ergänzende Analysen und Kennzahlen können auf Basis der erfassten Daten vorgenommen werden, sowohl branchenweit als auch individuell. Das Benchmarking kann als Grundlage für einzelbetriebliche Beratungsansätze von Ökostrom Schweiz eingesetzt werden. Die Beratung kann zudem intensiviert und der Nutzen für die Anlagenbetreiber erhöht werden, wenn die Anzahl teilnehmender Anlagen in der Betriebsphase erhöht werden kann. Je grösser die Anzahl der ausgewerteten Anlagen, desto besser können weitere Untergruppen für detailliertere Vergleiche gebildet werden (z.B. nach Grösse, nach Alter, nach Substratzusammensetzung, etc.). Dadurch können für jede Biogasanlage passende Kennzahlen zum Vergleich geliefert werden, wodurch die Aussagekraft des Benchmarking nochmals gesteigert werden kann.

7.2 Zukünftige Anlagenbetreiber in der Planungsphase

Das Benchmarking Biogas liefert über die Zeit immer präzisere Informationen zu wichtigen Kennzahlen der Biogasanlagen im Speziellen und der Biogasbranche im Allgemeinen. Viele dieser Kennzahlen wurden bisher noch nicht systematisch in der Schweiz erhoben, so dass der Kenntnisstand vielfach als gering bezeichnet werden kann. In der Regel basiert bestehendes Wissen von Fachleuten auf den Erfahrungen von Einzelanlagen oder Erkenntnissen und Planungswerten aus dem Ausland. Das Benchmarking kann dazu beitragen, diese Lücke zu schliessen.

Aus den Ergebnissen des Benchmarking können Kennzahlen abgeleitet und in der Beratung und Planung von neuen Biogasanlagen genutzt werden. Das Benchmarking eröffnet daher neue Möglichkeiten bestehende Planungsinstrumente zu ergänzen und zu validieren. Dabei können nicht nur breit abgestützte Faustzahlen abgeleitet, sondern im Zuge von Sensitivitätsanalysen auch Chancen und Risiken von neuen Biogasanlagen beurteilt werden. Sensitivitätsanalysen werden insbesondere bei der Kreditvergabe von Banken

benötigt. Je valider diese Analysen erstellt werden, umso besser kann sich die Gesprächsführung in Bankgesprächen oder auch gegenüber potentiellen Investoren gestalten.

8. Allgemeine Schlussfolgerungen zum Projekt Benchmarking Biogas

Das Benchmarking ermöglicht einen Einblick in die Biogasbranche, der in dieser Breite bisher noch nicht möglich war und durch den die Entwicklungen der Branche besser verstanden werden können. Sowohl Probleme und Herausforderungen als auch Verbesserungen und Erfolge der Biogasanlagen werden dokumentiert und können eingeordnet werden. Davon können die teilnehmenden Anlagenbetreiber und die Branche insgesamt profitieren. Das Benchmarking Biogas hat es sich klar zum Ziel gesetzt, den teilnehmenden Anlagenbetreibern die benötigten Grundlagen einer vertieften betriebswirtschaftlichen, prozesstechnischen sowie prozessbiologischen Analyse zu erarbeiten und bereitzustellen, um mittelfristig sowohl die Produktivität als auch die Effizienz auf den landwirtschaftlichen Biogasanlagen nachhaltig zu verbessern. Mit dem vorliegenden System wurde ein erster entscheidender Schritt in diese Richtung getätigt sowie deren Funktionalität und Akzeptanz in der Praxis bestätigt. Die vorliegenden Ergebnisse müssen zwar noch sehr vorsichtig interpretiert werden, da erst drei Jahre miteinander verglichen werden können, trotzdem lassen sich bereits vielfältige Entwicklungen beschreiben und erste Erkenntnisse daraus ableiten. Dennoch hat sich eindrücklich gezeigt, wie sensibel gewisse Kennzahlen auf Veränderungen zwischen den Jahren reagieren können, erkennbar beispielsweise an der Kennzahl Volllaststunden des BHKW. Daraus erfolgt die äusserst wichtige Erkenntnis, dass solche Kennzahlen nicht übereifrig interpretiert werden. Gerade bei sensiblen Kennzahlen ist es unerlässlich, dass deren Entwicklung über einen längeren Betrachtungszeitraum interpretiert wird, um Jahreseffekte möglichst abzuschwächen.

Mit dem Abschluss der Grundlagenarbeiten zum Benchmarking Biogas kann eine erste Bilanzierung der erreichten Ziele vorgenommen werden. Mit der Erstellung des Datenerhebungs- und Auswertungstools konnten das definierte Ziel einer systematischen Erhebung betriebswirtschaftlicher und produktionstechnischer Daten zur Bildung biologischer, energetischer sowie ökonomischer Produktions- und Effizienzkennzahlen optimal erreicht und unter realen Bedingungen getestet werden. Somit konnten die Grundlagen für ein praxisgerechtes Vergleichssystem geschaffen werden. Auf diesem gilt es nun aufzubauen und das bestehende System kontinuierlich zu optimieren. Parallel dazu soll nun der Fokus auch vermehrt auf die Weiterentwicklung und Optimierung des eigentlichen Benchmarking gelegt werden, um das System nachhaltig in der Praxis etablieren zu können.

9. Literatur

- BFE (2014): Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien. Ausgabe 2013. Bundesamt für Energie, Bern.
- DLG (2006): Betriebszweigabrechnung für Biogasanlagen. Einheitliche Abrechnung und Erfolgskennzahlen für Biogasanlagen aller Rechtsformen. Arbeiten der DLG, Band 200, Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V., Frankfurt.
- Eder M. und Kirchweger S. (2011): Aufbereitung und Analyse von Daten aus dem Arbeitskreis Biogas zu Kosten bestehender Biogasanlagen. Universität für Bodenkultur, Wien.
- Fahrni F., Völker R., Bodmer C. (2002): Erfolgreiches Benchmarking in Forschung und Entwicklung, Beschaffung und Logistik. Carl Hanser Verlag, München.
- Gazzarin und Lips (2012): Maschinenkosten 2012. ART-Bericht 753, Forschungsanstalt Agroscope, Ettenhausen.
- Mertins K., Siebert G., Kempf S. (1995): Benchmarking. Praxis in deutschen Unternehmen. Springer Verlag, Berlin.
- Müller-Hagedorn L. (1998): Der Handel. Stuttgart.
- Zdrowomyslaw N. und Kasch R.(2002): Betriebsvergleiche und Benchmarking für die Managementpraxis: Unternehmensanalyse, Unternehmenstransparenz und Motivation durch Kenn- und Vergleichsgrößen. Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München.

10. Anhang

Substrateinsatz der teilnehmenden Biogasanlagen 2013

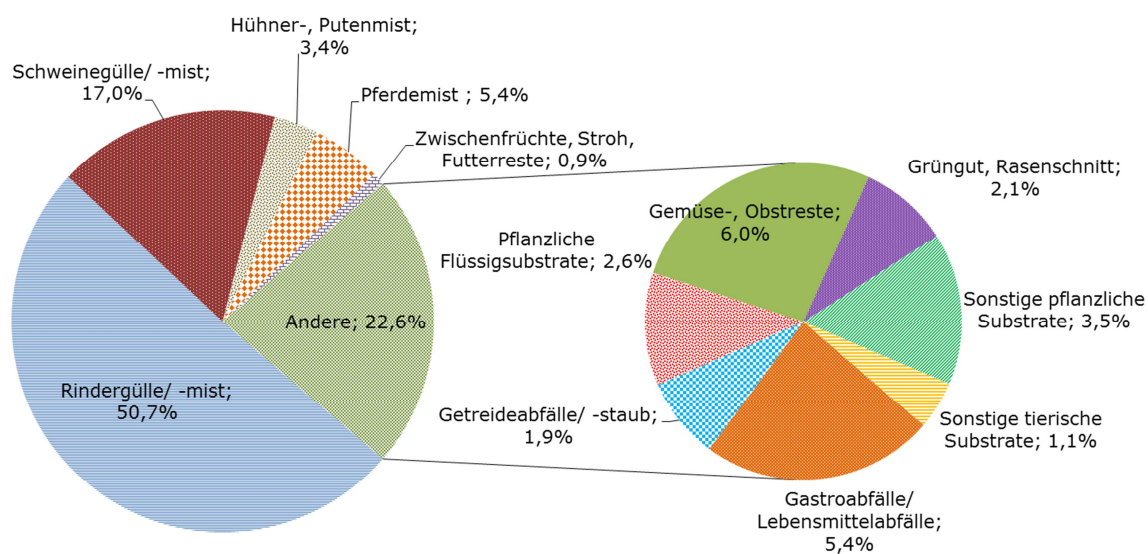


Abbildung 14: Durchschnittlicher Substrateinsatz der Biogasanlagen in Pilotphase II

Substrateinsatz der teilnehmenden Biogasanlagen 2012

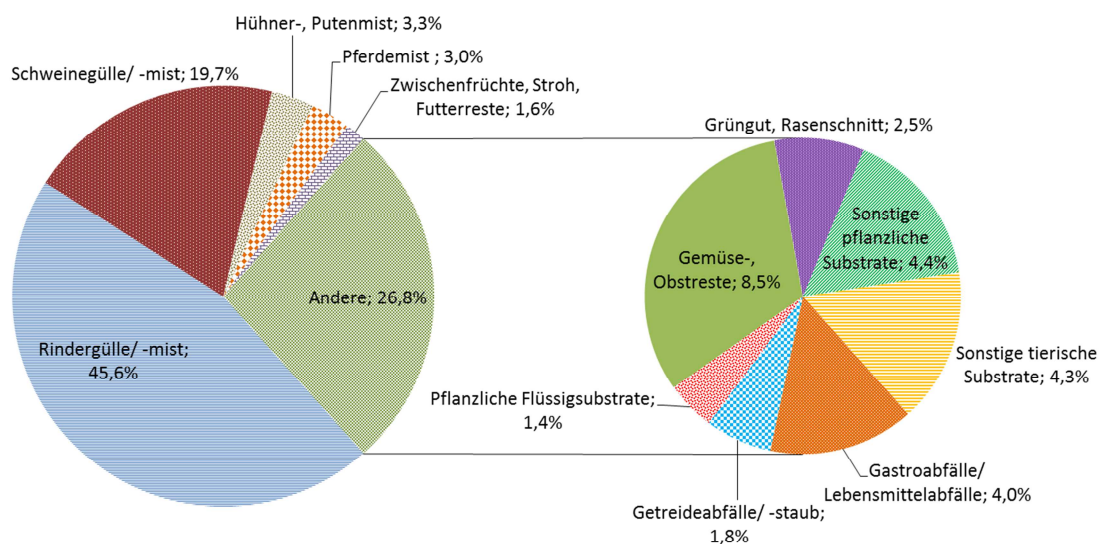


Abbildung 15: Durchschnittlicher Substrateinsatz der Biogasanlagen in Pilotphase I

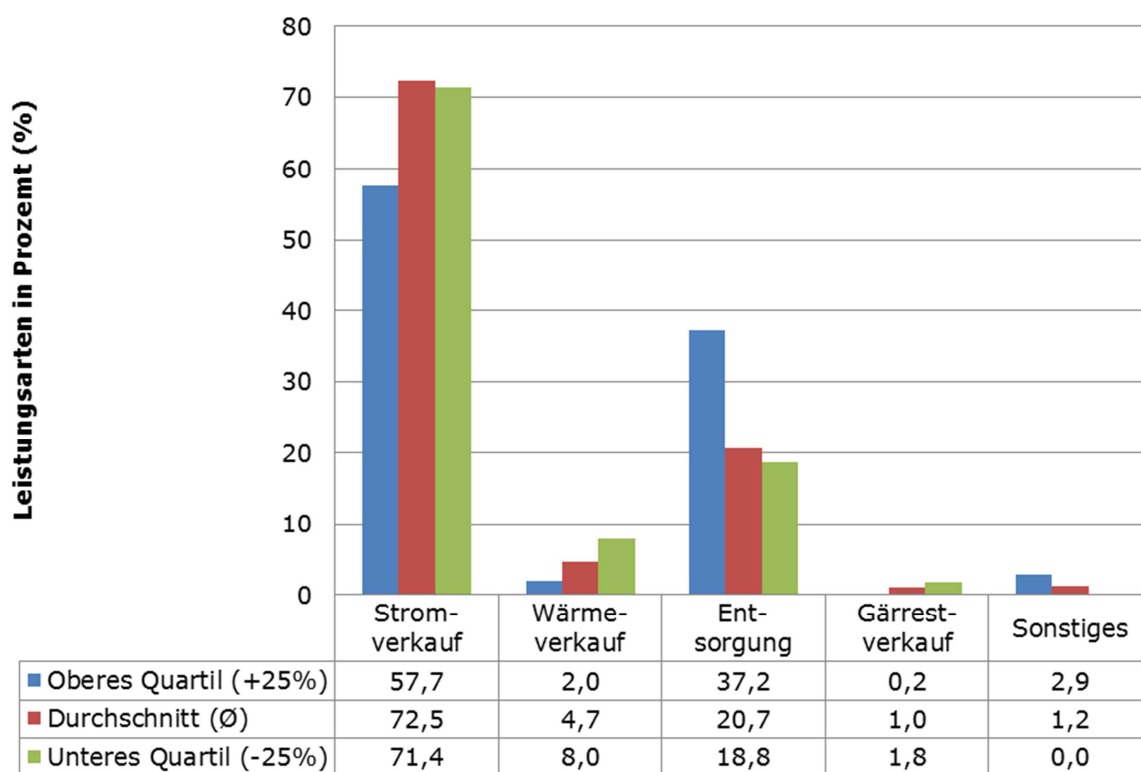


Abbildung 16: Relative Verteilung der Leistungen in Pilotphase II

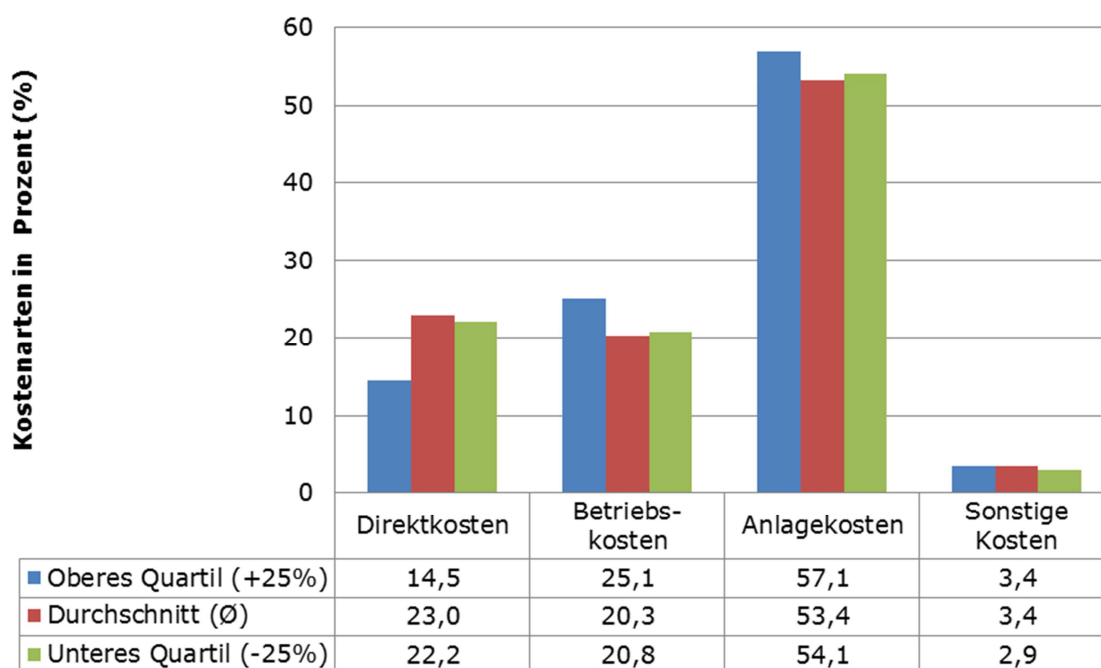


Abbildung 17: Relative Verteilung der Kosten in Pilotphase II