Energie- und CO₂-Einsparmöglichkeiten sowie Anpassungsmöglichkeiten der Landwirtschaft bei sich stark verändernden Strom und Wärmepreisen

(Kurztitel: IE in der Landwirtschaft)

Band II

NaRoTec e.V.

Betriebshilfsdienst & Maschinenring Höxter - Warburg e.V. Technische Hochschule Köln

Abschlussbericht
28. Februar 2017

Gefördert vom

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen



Förderkennzeichen: 17-02.04.01-18/13

Kurzfassung

Intelligenter Umgang mit Energie ist einer der Schlüssel zum Erfolg für eine Energiewende. Um diese Herausforderung zu bewältigen sind Smart-Meter ein geeignetes Werkzeug, denn intelligenter Umgang mit Energie bedeutet nicht nur effiziente Technik einzusetzen, sondern auch Lastverschiebungspotentiale entsprechend zu nutzen. Speziell landwirtschaftliche Betriebe mit einem hohen Energieverbrauch sind aufgrund steigender Energiepreise zunehmend darauf angewiesen sich mit deren Senkung und der systematischen Analyse der Energieflüsse im Betrieb zu befassen. Um Lösungsansätze für landwirtschaftliche Betriebe zu finden, haben sich der NaRoTec e.V., die Technische Hochschule Köln, sowie der Maschinenring Höxter-Warburg im Jahr 2013 zusammengeschlossen und das Projekt "Intelligente Energie in der Landwirtschaft" ins Leben gerufen. Das Projekt wurde vom Land NRW gefördert. Ziel des Projektes war es, für die typischen Betriebsstrukturen der untersuchten landwirtschaftlichen Betriebe Beratungsempfehlungen zur energetischen Optimierung zu geben. Dies wurde unter anderem durch eine energetische Betriebsanalyse und durch Energieverbrauchsmessungen in unterschiedlichen Betriebsbereichen erreicht. Im Zuge dessen wurden bei den vorherrschenden Betriebsarten Milchvieh, Sauen- und Ferkelaufzucht sowie Schweinemast an den energieintensiven Verbrauchergruppen Smart-Meter installiert. Die Aufzeichnungen der Smart-Meter wurden in einer für das Projekt entwickelten MySQL-Datenbank abgelegt. Im weiteren Verlauf wurden durch Analysen der erfassten Smart-Meter Daten Informationen über den Verbrauch von unterschiedlichen Anlagen und deren Komponenten gewonnen. Es wurden Regelmäßigkeiten und Anpassungsmöglichkeiten im Lastverlauf aufgezeigt. Die Energieeffizienz der verwendeten Anlagen und Geräte (Pumpen, Ventilatoren, Fütterungsanlagen) wurden überprüft, untereinander verglichen und anschließend Empfehlungen zur Verlagerung energieintensiver Vorgänge auf Zeiten mit hoher Eigenstromproduktion bzw. geringen Strombezugskosten aufgezeigt. Insgesamt konnten effizienzverbessernde Maßnahmen im Bereich der Lüftungs- und Beleuchtungssysteme, eine Flexibilisierung der Trockenfütterungsanlagen durch die Entkopplung von Strombezug und Verbrauch, sowie Energieeinsparpotenziale und damit verbundene CO₂-Einsparungen aufgezeigt werden. Die hieraus resultierenden Erkenntnisse können als Grundlage für ein intelligentes und klimafreundliches Energiemanagement im Sinne des Smart-Grid genutzt werden.

<u>Inhaltsverzeichnis</u> - iii -

Inhaltsverzeichnis

Kurzfa	ssung		i
Inhalts	verzeichnis	3	iii
Abbild	ungsverzei	chnis	v
Tabelle	enverzeichr	nis	vi
Forme	lverzeichnis	S	vii
Abkürz	zungsverzei	chnis	viii
1. E	inleitung		1 -
1.1	Digita	lisierung der Energiewende	1 -
1.2	Verwe	ris auf Band I des Projekts "IE in der Landwirtschaft"	2 -
1.3	Projek	tpartner und Aufgaben	3 -
1	3.1 Nal	RoTec e.V.:	3 -
1	3.2 Bet	riebshilfsdienst & Maschinenring Höxter-Warburg e.V.:	3 -
1	3.3 Ted	chnische Hochschule Köln, Institut für Landmaschinentechnik und Regenerative E	nergien
(LTRE) - 3	-	
1	3.4 Ans	sprechpartner und Kontaktdaten:	4 -
1.4	Tagun	gen und Veranstaltungen	5 -
1.5	Verlän	ngerung der Projektlaufzeit	6 -
2. E	exemplarisc	he Auswertung, Darstellung und Analyse der Energieverbrauchsdaten	8 -
2.1	Ziele u	ınd Möglichkeiten der Energieverbrauchsdatenanalyse	8 -
2.2	Übersi	icht über die beteiligten Betriebe und Zähler	10 -
2.3	Energe	etischer Vergleich von Produktionssystemen in der Nutztierhaltung	11 -
2	2.3.1 Lüf	tungssysteme in der Schweinemast und Sauenhaltung	11 -
	2.3.1.1	Schweinemastbetriebe BeSte2 und RWE3	11 -
	2.3.1.2	Sauenhaltungsbetriebe RWE1 und RWE2	16 -
2	2.3.2 Füt	terungssysteme in der Schweinemast und Ferkelaufzucht	20 -
	2.3.2.1	Schweinemastbetriebe BeSte2 und BeSte5	20 -
	2.3.2.2	Ferkelaufzuchtbetriebe RWE1, RWE2 und RWE4	24 -
2	3.3 Kül	nlsysteme in der Milchviehhaltung	27 -

<u>Inhaltsverzeichnis</u> - iv -

	2.4	Beispiel für Lastverschiebung in einem Milchviehbetrieb durch Kombination aus einer	
	Photovo	ltaikanlage und eines Eiswasserkühlsystems	29 -
	2.4.1	Potential der Eiswasserkühlung	32 -
	2.4.2	Simulation der Photovoltaikanlage	34 -
	2.4.3	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	36 -
	2.4.4	Diskussion der Ergebnisse und Fazit	38 -
	2.5	Ergänzende Messungen mit Strommesszange im Betrieb BeSte4	39 -
	2.5.1	Beschreibung des Datenlogger ALMEMO® 710	39 -
	2.5.2	Einbau und Initialisierung der Messung	41 -
	2.5.3	Datenexport und Aufbereitung der Daten	42 -
	2.5.4	Einordnung der Messdaten	44 -
3.	Zusa	mmenfassung der erzielten Ergebnisse im Projekt und Ableitung allgemeiner Empfehlung	gen 48 -
	3.1	Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse im Projekt	48 -
	3.2	Ableitung allgemeiner Empfehlungen	49 -
4.	Fazit	und Ausblick	50 -
5.	Literatu	verzeichnis	52 -
Ar	nhang A:	Plausibilitätsprüfung	54 -
Ar	nhang B:	Vergleich der Energieverbrauchskennzahlen	55 -

Abbildungsverzeichnis - v -

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: BeSte2 (Stall1) und RWE3 – Anteiliger Stromverbrauch	- 12 -
Abbildung 2: BeSte2 (Stall1) und RWE3 – Gemittelte saisonale Tageslastprofile Lüftung	- 12 -
Abbildung 3: BeSte2 (Stall1) und RWE3 – Lastgang Lüftung 11.11.2015	- 13 -
Abbildung 4: BeSte2 (Stall1) und RWE3 – Lastgang Lüftung 08.01.2015/2016	- 14 -
Abbildung 5: RWE1 und RWE2 – Anteiliger Stromverbrauch	- 16 -
Abbildung 6: RWE1 und RWE2 – Gemittelte saisonale Tageslastprofile Lüftung	- 17 -
Abbildung 7: RWE1 und RWE2 – Lastgang Lüftung 14.11.2015	- 18 -
Abbildung 8: RWE1 und RWE2 – Lastgang Lüftung 27.07.2015	- 18 -
Abbildung 9: BeSte2 und BeSte5 – Anteiliger Stromverbrauch	- 20 -
Abbildung 10: BeSte2 und BeSte5 – Monatlicher Stromverbrauch	- 21 -
Abbildung 11: BeSte2 (Stall1) und BeSte5 - Gemittelte saisonale Tageslastprofile Fütterung	- 22 -
Abbildung 12: BeSte2 (Stall2) und BeSte5 - Gemittelte saisonale Tageslastprofile Mühle	- 22 -
Abbildung 13: BeSte2 (Stall2) – Lastgang mit Mühle (links) und ohne Mühle (rechts)	- 23 -
Abbildung 14: BeSte5 – kombinierter Lastgang Mühle und Fütterung 11.11.2015	- 23 -
Abbildung 15: RWE1, RWE2 und RWE4 – Monatlicher Stromverbrauch	- 25 -
Abbildung 16: RWE1, RWE2 und RWE4 - Gemittelte saisonale Tageslastprofile Fütterung	- 26 -
Abbildung 17: BeSte6 und BeSte7 - Monatlicher Stromverbrauch zur mittleren Außentemperatur	- 27 -
Abbildung 18: BeSte6 und BeSte7 - Gemittelte saisonale Tageslastprofile Kühlung	- 28 -
Abbildung 19: BeSte 8 - Monatlicher Stromverbrauch	- 30 -
Abbildung 20: BeSte 8 – Anteiliger Stromverbrauch	- 30 -
Abbildung 21: BeSte 8 – Typischer Tageslastgang	- 31 -
Abbildung 22: BeSte8 - Durchschnittliches Tageslastprofil für eine kombinierte PV-Eiswasserkühlung	- 33 -
Abbildung 23: BeSte8 - Verteilung des Solarstroms gemäß Prioritätenabfolge [eigene Darstellung]	- 35 -
Abbildung 24: Bedienelemente des ALMEMO 710 [17]	- 40 -
Abbildung 25: BeSte4 - Messpunkt Datenlogger ALMEMO 710 (eigenes Bild)	- 41 -
Abbildung 26: Darstellung Messbetrieb [17]	- 42 -
Abbildung 27: BeSte4 - Leistungsprofil Kompressor	- 43 -
Abbildung 28: BeSte4 – Monatlicher Stromverbrauch	- 44 -
Abbildung 29: BeSte4 - Gemittelte saisonale Tageslastprofile Milchkühlung und Melkroboter	- 45 -

<u>Tabellenverzeichnis</u> - vi -

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1: Übersicht Tagungen, Veranstaltungen und Projekttreffen	5 -
Tabelle 2.1: Übersicht Betriebe und Zähler	- 10 -
Tabelle 2: BeSte2 und RWE3 – Betriebsdaten im Vergleich	- 11 -
Tabelle 3: BeSte2 (Stall1) und RWE3 - Vergleich der spezifischen Energieverbrauchskennzahlen	- 15 -
Tabelle 4: RWE1 und RWE2 – Betriebsdaten im Vergleich	- 16 -
Tabelle 5: RWE1 und RWE2 - Vergleich der spezifischen Energieverbrauchskennzahlen	- 19 -
Tabelle 6: BeSte2 und BeSte5 - Vergleich der spezifischen Energieverbrauchskennzahlen	- 24 -
Tabelle 7: RWE1, RWE2 und RWE4 - Vergleich der spezifischen Energieverbrauchskennzahlen	- 26 -
Tabelle 8: BeSte6 und BeSte7 - Vergleich der spezifischen Energieverbrauchskennzahlen	- 28 -
Tabelle 9: BeSte 8 - Betriebsdaten	- 29 -
Tabelle 10: BeSte 8 - Vergleich der spezifischen Energieverbrauchskennzahlen	- 31 -
Tabelle 11: BeSte8 - Vergleich Direktkühlung und Eiswasserkühlung mit PV-Anlagen-Varianten auf Basis de	S
Gesamtenergieverbrauchs des Betriebs (= 100%)	- 35 -
Tabelle 12: Systempreise Photovoltaikanlage nach Leistung [13]	- 36 -
Tabelle 13: BeSte 8 – Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	- 37 -
Tabelle 14: Datentabelle ALMEMO Datenlogger	- 43 -
Tabelle 15: BeSte4 - Vergleich der spezifischen Energieverbrauchskennzahlen	- 46 -
Tabelle 16: BeSte4 - Vergleich der spezifischen Energieverbrauchskennzahlen inklusive Hilfsenergie	- 46 -
Tabelle 18: Übersicht der Zählergenauigkeit	- 54 -
Tabelle 18: Vergleich der spezifischen Energieverbrauchskennzahlen in der Sauen- und Ferkelaufzucht	- 55 -
Tabelle 19: Vergleich der spezifischen Energieverbrauchskennzahlen in der Milchviehwirtschaft	- 56 -
Tahelle 20: Vergleich der spezifischen Energieverbrauchskennzahlen in der Schweinemast	- 56 -

Formelverzeichnis - vii -

Formelverzeichnis

Formel 1: Leistung, Wirkstrom und Blindstrom von Drehstrom [18]

- 43 -

Abkürzungsverzeichnis

BSI Bundesamts für Sicherheit in der Informationstechnik

BeSte Kommunale Stadtwerke der Städte **Be**verungen, **Ste**inheim, Bad

Driburg, Borgentreich und Warburg

BHD Betriebshilfsdienst

ct Eurocent

CSV Datenformat, Werte durch Komma separiert

DB Datenbank

EEG Erneuerbare-Energien-Gesetz elektronische Haushaltszähler

EnWG Energiewirtschaftsgesetz

GSM Datenübertragungsformat im Mobilfunknetz
GPRS Datenübertragungsformat im Mobilfunknetz

kW Kilowatt

kWh Arbeit, Kilowattstunde

kW/h Leistung, Kilowatt je Stunde

LULUCF Land Use, Land-Use Change and Forestry

LWK Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

MDL Messstellendienstleister

MR Maschinenring

MSB Messstellenbetreiber

MUC Multi Utility Communication (Datenlogger)

MySQL Open-Source Datenbanksystem

RLM Registrierenden Lastgangmessungen

RWE Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG, Essen

Smart-Grid Intelligentes Netz

Smart-Meter Intelligenter Stromzähler

SQL Strukturierte Abfragesprache für Datenbanken

StromNEV Stromnetzentgeltverordnung

THG Treibhausgas

TP Tierplatz

UMTS Datenübertragungsformat im Mobilfunknetz

Abkürzungen und Schlüssel der Messpunkte im Projekt "IE in der Landwirtschaft"

B1	Beleuchtung in der Ferkelaufzucht
B2	Beleuchtung in der Sauenhaltung
B3	Potlicht im Deckzentrum

B3 Rotlicht im Deckzentrum

F1 Fütterung in der Ferkelaufzucht
F2 Fütterung in der Sauenhaltung

FE Ferkelaufzuchtstall

Lüftung in der Ferkelaufzucht
 Lüftung in der Sauenhaltung
 Sonstiges in der Ferkelaufzucht
 Sonstiges in der Sauenhaltung

SA Sauenstall

FE Ferkelaufzucht
SM Schweinemast
KU Milchviehbetrieb

M1 Melkstand/Melkroboter

K1 Kühlung

G1 Mistschieber

TP Tierplatz

Einleitung 1

1. Einleitung

1.1 Digitalisierung der Energiewende

Am 23.06.2016 wurde im deutschen Bundestag das Gesetz zur "Digitalisierung der Energiewende" verabschiedet. Dieses Gesetz bündelt Regelungen zum Rollout intelligenter Messsysteme (Smart-Meter) und moderner Messeinrichtungen (Digitale Zähler gemäß Vorgaben des Bundesamts für Sicherheit in der Informationstechnik - BSI), insbesondere zu den Einbauverpflichtungen und zum Finanzierungsmodell. Im Zusammenhang mit den intelligenten Messsystemen werden zudem die Anforderungen an den Datenaustausch und die Pflichten aller an der Datenkommunikation Beteiligten Seiten neu geregelt. Die bisherige Aufgabe der Verteilnetzbetreiber zur Durchführung der sogenannten Bilanzkreisabrechnung soll künftig in wesentlichen Teilen von den Betreibern der Übertragungsnetze übernommen werden. Die Zweistufigkeit wird mit der Einführung von Smart-Metern abgeschafft werden. Das Gesetz schreibt unter anderem die technischen Mindestanforderungen für Datensicherheit und Schutzprofile gemäß der BSI-Richtlinien vor. Auch wurden Regelungen für die Kommunikation von Daten und der Zugriff auf diese getroffen. Somit wurde die Grundlage für den Ausbau eines Smart-Grid beschlossen. Die Einbauverpflichtung erstreckt sich auf alle Letztverbraucher mit einem Jahresverbrauch von mehr als 6.000 kWh. Neu eingeführt wird eine Einbauverpflichtung für bestehende Erzeugungsanlagen nach dem EEG und dem KWKG mit jeweils über 7 KW installierter Leistung (bisher galt die Verpflichtung nur für neue Anlagen), wodurch annähernd jeder landwirtschaftliche Betrieb betroffen ist. Die landwirtschaftlichen Unternehmen sind in Hinblick auf die Energiewende als Erzeuger und Verbraucher im ländlichen Raum ein besonders wichtiger Faktor, der zum Ausbau eines Smart-Grid beiträgt. Während in der Vergangenheit elektrischer Strom nur in eine Richtung floss und Informationen über die Stromflüsse sehr limitiert waren, ist das dezentrale Stromversorgungssystem der Zukunft durch bidirektionale Informationsund Stromflüsse gekennzeichnet. [1]

Das Angebot an Energie wird künftig noch stärker von meteorologischen Faktoren wie Wind und Sonnenschein abhängen. Um die Nachfrage an diese Vorgaben auszurichten, Netzüberlastungen zu vermeiden und die Energie sinnvoll auszunutzen und damit für Wirtschaftlichkeit zu sorgen, werden IKT (Informations- und Kommunikationstechnologie) Systeme eingesetzt. Ihre Aufgabe in diesem Szenario ist unter anderem die intelligente Koordinierung von Verbrauchern und Erzeugern, die Realisierung von

Einleitung 2

Märkten als auch die gezielte Ansteuerung von Energiespeichern, um sie in Erzeugungsflauten wieder ins Netz einspeisen zu können. Hierzu gehört auch die Ansteuerung bisher passiver Geräte im häuslichen wie im gewerblichen Bereich und die Nutzung von Verschiebepotentialen steuerbarer Verbraucher. Erste Anhaltspunkte zum Smart Grid der Zukunft wurden im Zuge der E-Energy Initiative des BMWi erarbeitet. Hauptergebnis der E-Energy Begleitforschung ist die Referenzarchitektur für die Entwicklung eines Smart Grid in Deutschland. [2]

Einhergehend mit der beschriebenen gesetzlich verabschiedeten Regelung zur "Digitalisierung der Energiewende" setzt hier das Projekt "Intelligente Energie in der Landwirtschaft" an, um sich den gegebenen Anforderungen, aber auch der Chance zur Entwicklung neuer Geschäftsfelder und Technologien zu stellen. Insbesondere die Digitalisierung und der Einsatz von smarten Technologien in der Landwirtschaft zeigt die Gründe auf, warum es wichtig ist eine Strategie zu entwickeln, wie sich die Landwirtschaft mit ihren verschiedenen Produktionszweigen diesen Herausforderungen anpassen kann.

1.2 Verweis auf Band I des Projekts "IE in der Landwirtschaft"

Die Hintergründe zum Projekt, Auswahl der Betriebe, Aufbau und Grundlagen der Datenbank, Grundlagen zur landwirtschaftlichen Nutztierhaltung und erste Auswertungen der RWE-Betriebe sind im Band I (ehemals 3. Zwischenbericht) nachzulesen. Im weiteren Verlauf dieses Abschlussberichts (nachfolgend als Band II bezeichnet) wird an einigen Stellen Bezug auf Band I genommen und die entsprechenden Kapitel angegeben.

1.3 Projektpartner und Aufgaben

1.3.1 NaRoTec e.V.:

- Verantwortlich: Dr. Karsten Block
- Gesamtkoordinierung des Projektes
- Organisation der Tagungen
- Zusammenstellung der Entwicklungen und Vorgaben aus dem Strommarkt
- Fachliche Begleitung durch die Landwirtschaftskammer NRW in Person von Rolf Feldmann und gegebenenfalls Fachkollegen
- Zusammenführung der Zwischenberichte und des Endberichts

1.3.2 Betriebshilfsdienst & Maschinenring Höxter-Warburg e.V.:

- Verantwortlich: Norbert Hofnagel
- Auswahl der Betriebe mit Hilfe der örtlichen Spezialberater der LWK NRW
- Koordinierung des Einbaus der Z\u00e4hler zusammen mit den BeSte-Stadtwerken
- Überlassungsvertrag für die Nutzung der gewonnenen Daten
- Dokumentation des Zählereinbaus
- Koordinator bei allen Kontakten zu den Betrieben
- Organisation von Fachtreffen mit den Betrieben
- Entwicklung von Strategien für zukünftige Strom Einkaufsverhandlungen, Anpassungen des Energie-Nutzungsverhalten der Betriebe, Effizienzsteigernde Maßnahmen

1.3.3 Technische Hochschule Köln, Institut für Landmaschinentechnik und Regenerative Energien (LTRE) Technology

- Verantwortlich: Thomas Mockenhaupt
- Projektbearbeitung:
 - Özgür Inan Metin (bis 01.09.2015)
 - Andreas Baum und Patrick Beuel (ab 01.10.2015)
- Strukturierung einer Datenbank
- Einbindung bereits vorhandener Messdaten in die Auswertung
- Sammlung der Strom- und Wärmedaten, Aufbereitung und Überführung in die Datenbank
 - Basisdaten der Betriebserhebung
 - o Energiedaten Strom und Wärme der Vorjahre
 - Laufende Energiedaten Strom und Wärme
 - o Betriebstagebuch
- Plausibilitätsprüfungen der Daten
- Datenauswertung mittels geeigneter Software/Algorithmen
- Identifizierung geeigneter Lastverschiebungsmöglichkeiten
- Überprüfung der Energieeffizienz der verwendeten Anlagen und Geräte (v.a. Pumpen, Ventilatoren, Fütterungsanlagen, ...)
- Empfehlungen bezüglich des wirtschaftlichen Einsatzes energieeffizienterer Anlagen
- Empfehlungen zur Verlagerung stromintensiver T\u00e4tigkeiten auf Zeiten mit geringen Strombezugskosten bzw. hoher Eigenstromproduktion





Arts Sciences

TH Köln

- Anfertigung des Fachteils des Zwischen- und Abschlussberichtes
- Bereitstellung der Datenbanken und Auswertungsroutinen für die weitere Nutzung durch die Projektpartner nach Ende des Projektes

Die Auswertungen werden fachlich begleitet durch Rolf Feldmann von der LWK NRW und gegebenenfalls hinzugezogenen Spezialberatern.

1.3.4 Ansprechpartner und Kontaktdaten:

NaRoTec e.V.:

Dr. Karsten Block

c/o Haus Düsse, Ostinghausen, 59505 Bad Sassendorf

privat: Leckgadumstr. 9, 59494 Soest T.02921/5599317 M: 0176/99583221

eMail: NaRoTec@gmail.com

Landwirtschaftskammer NRW, Fachbereich 51,

Nevinghoff 40, 48147 Münster

Rolf Feldmann

T. 0251/2376 459 M. 0171/8322186

eMail: Rolf.Feldmann@lwk.nrw.de

Dr. Joachim Mathias

T. 0251/2376-360 M: 0151/55167014 eMail: Joachim.Matthias@lwk.nrw.de

Betriebshilfsdienst & Maschinenring Höxter-Warburg e.V.

Bohlenweg 3, 33034 Brakel

Norbert Hofnagel

T: 05272/5402 M: 0171/9903909

eMail: Norbert.Hofnagel@mr-hoexter-warburg.com

Jens Hoppe,

T. 05272/5402 M: 0171/9839490

eMail: jens.hoppe@mr-hoexter-warburg.com

Technische Hochschule Köln,

Institut für Landmaschinentechnik und Regenerative Energien (LTRE)

Betzdorfer Str. 2, 50679 Köln

Prof. Christiane Rieker

T: 0221/8275-2398 M: 0179/1142522 eMail: christiane.rieker@th-koeln.de

Thomas Mockenhaupt

T: 0221/8275 2413 M: 0172/7556868 eMail: thomas.mockenhaupt@th-koeln.de

Patrick Beuel

T: 0221/8275-2415 M: 0163/2840557 eMail: patrick.beuel@th-koeln.de

Andreas Baum (Datenbank-Arbeiten abgeschlossen)

Stand des Projektes 5

1.4 Tagungen und Veranstaltungen

In der bisherigen Projektlaufzeit fanden eine Reihe von Tagungen und Projekttreffen statt. Einen Überblick gibt die folgende Tabelle:

Tabelle 1.1: Übersicht Tagungen, Veranstaltungen und Projekttreffen

Datum	Ort	von	bis	Thema	Referenten	Teilnehmer
30.09.2013	Brakel	10:00	13:00	Auftaktveranstaltung	7	21
18.10.2014	Brakel	10:00	12:30	Info für Interessenten	4	18
21.01.2014	Steinheim	10:00	14:00	Projekttreffen mit BeSte-Stadtwerken	-	11
07.05.2014	Köln	14:00	17:00	1. Tagung zum Projekt	8	49
23.07.2014	Warburg	10:00	18:00	Betriebsbesichtigungen, Treffen BeSte	-	-
15.09.20014	TH Köln	11:00	15:30	Projekttreffen mit FH Köln	-	-
17.09.2014	Warburg	14:00	14:30	Vortrag Tag der offenen Tür, Borlinghauser	1	22
20./21.10.2014	Freising/Grub			Treffen mit Neiber, BY & Schmidt, BW		9
22.10.2014	Düsseldorf			Projektvorstellung Bioenergieforum NRW	********	
30.10.2014	Haus Düsse	10:00	15:00	2. Projekttagung	11	
07.01.2015	Köln	10:00	16:00	Projettreffen Auswertung		8
02.03.2015	Steinheim	10:00		Projekttreffen mit BeSte-Stadtwerken		7
06.05.2015	Haus Düsse	13:00	16:00	Projekttagung mit Zwischenstand	6	32
02.06.2015	Kyllburg, Eifel	10:00	15:00	Vortrag zum Projekt		ca. 45
08.06.2015	Haus Düsse	10:00	12:30	Arbeitsgruppensitzung		9
03.08.2015	TH Köln	11:00	14:00	Projektorganisation		5
01.10.2015	Dartmstadt	10:00	14:30	Bundesweites Expertentreffen beim KTBL		11
23.11.2015	Brakel	10:00	15:30	Tagung mit teilnehmenden Landwirten	6	23
25.05.2016	Haus Düsse	10:00	16:30	Projekttreffen, anschließend Erklärungen Stalltechnik in dern Baulehrschau		10
11.11.2016	Brakel	10:00	15:00	Abschlußveranstaltung, erste Ergebnisse	5	32

Besonders erwähnenswert in 2014 ist das Treffen mit den bayerischen und badenwürttembergischen Kollegen, das in Freising stattfand. Hier gab es einen intensiven
Austausch der Erfahrungen. In Bayern läuft ein umfangreiches Messprogramm über
mehrere Jahre mit dem Schwerpunkt Kuhhaltung. Das Land hat ein eigenes Erfassungsnetz mit Datenloggern installiert, die ursprünglich aus dem Wetterbereich stammen. Hieran sind die Strommessgeräte angeschlossen. Die Daten werden über
Fernabfrage ausgelesen und in einer Datenbank abgespeichert. Die eigenen Logger
erlauben den Einsatz von deutlich mehr Strommessern je Betrieb, so dass bei dem
Projekt in Bayern deutlich differenzierter gemessen werden kann, als in unserem
Projekt.

Baden-Württemberg geht einen anderen Weg. Dort werden keine Betriebsdaten gemessen, sondern die Beratungsergebnisse werden anonymisiert in einer Datenbank Stand des Projektes 6

abgelegt. Wenn auf diese Weise genügend Betriebe erfasst sind, hofft man so auf tragfähige Daten zu kommen. Es werden aber vermutlich beide Wege beschritten werden müssen, um an gute Beratungsinformationen zu gelangen.

In 2015 wurde vom NaRoTec der deutschlandweite Informationsaustausch fortgesetzt. In den Räumlichkeiten des KTBL in Darmstadt fand ein bundesweiter Erfahrungsaustausch zu dem Thema Stromeffizienz in der Landwirtschaft statt. Dabei wurde auch dargelegt, wie die KTBL-Verbrauchswerte für verschiedene Stalltypen ermittelt werden. Dies beruht auf einem theoretischen Ansatz. Ein Stall nach Stand der Technik wird mit allen Geräten und Beleuchtung ausgestattet. Für jede Komponente werden der Verbrauch und die Laufzeit ermittelt und daraus werden Verbrauchswerte berechnet.

Im November 2016 wurde bei der Abschlussveranstaltung in Brakel der intensive Austausch zwischen den am Projekt beteiligten Landwirten im Rahmen der Ergebnispräsentation angeregt. Besonders achtbar ist die Würdigung des Projekts "Intelligente Energie in der Landwirtschaft" in Form einer Auszeichnung zum Projekt des Monats Dezember 2016 seitens der Energieagentur.NRW. [3]

1.5 Verlängerung der Projektlaufzeit

Durch den verzögerten Einbau der Zähler und der dann noch in Band I Kapitel 4 näher beschriebenen technische Unzuverlässigkeit der Datenerfassung kam es zu sehr vielen Fehlwerten bei einer großen Anzahl an Zählern der BeSte-Stadtwerke. Die Fehlerrate lag so hoch, dass sie nicht ausgewertet werden können. Nach Behebung der letzten Probleme im Februar 2015 laufen alle Zähler nun stabil, so dass die ersten Jahresauswertungen dieser kritischen Zähler ab März 2016 erfolgen können. Zu diesem Zeitpunkt sollte das Projekt eigentlich abgeschlossen sein. Es hätten dann nur die exemplarischen Auswertungen über die Zähler der RWE erfolgen können, für die zuverlässige Daten vorliegen. Dies verhindert aber einen Vergleich über verschiedene Aufstallungssysteme und deren verbauter Techniken.

Aus diesem Grunde wurde ein Verlängerungsantrag für das Projekt gestellt und Ende 2015 bewilligt, so dass nun nach der Analyse der einzelnen Betriebe noch ein Systemvergleich möglich wird, um den umfangreich gesammelten Datensatz weiter intensiv zu analysieren. Im Zuge des Verlängerungsantrags wurde zusätzlich eine Strommesszange beantragt, die es ermöglicht in ausgewählten Betrieben ergänzende Messungen durchzuführen, wodurch die an einem Smart-Meter-Strang angeschlossenen

Stand des Projektes 7

Komponenten und Geräte separat gemessen und somit die vom Smart-Meter aufgezeichneten Lastgänge mit Hilfe ergänzender Messungen differenziert werden können. Das Projekt endete am 31. Oktober 2016.

2. Exemplarische Auswertung, Darstellung und Analyse der Energieverbrauchsdaten

2.1 Ziele und Möglichkeiten der Energieverbrauchsdatenanalyse

Die im Band I Kapitel 6.1 erläuterten Grundlagen und Annahmen für die zu untersuchenden Betriebszweige im landwirtschaftlichen Bereich haben die Hauptstromverbraucher herausgestellt. Nun lassen sich, unter Berücksichtigung von Band I Kapitel 2 und Kapitel 4, folgende Ziele im Zuge der Datenerhebung und anschließender Analyse formulieren:

- Empfehlungen für energieeffiziente Komponenten erarbeiten.
- Untersuchung des Lastverschiebepotentials in den verschiedenen Betrieben.
- Ermittlung von Unregelmäßigkeiten des Stromverbrauchs.

Als Gesamtziel ist vorgesehen, dass die Projektpartner landwirtschaftliche Betriebe hinsichtlich energetischer Optimierungen, mit den in diesem Projekt erarbeiteten Tools aus Band I Kapitel 5, beraten können. Somit können sowohl die Reaktionsmöglichkeiten der Landwirtschaft auf flexible Strompreise und steigende Wärmekosten als auch Empfehlungen für Einsparpotentiale aufgezeigt werden.

Angesichts der Tatsache, dass pro Zähler ca. 35.000 Messdaten pro Jahr aufgezeichnet werden, müssen die Möglichkeiten der Auswertung in quantitative und qualitative unterteilt werden. Aufgrund der immensen Datenmenge, ist es zunächst erforderlich ohne Berücksichtigung der spezifischen Betriebsdaten den typischen Energiekonsum eines Messpunktes quantitativ zu bestimmen. Die Möglichkeiten der quantitativen Auswertungen werden im Folgenden aufgezählt.

- Feststellen der Verbräuche je Zähler, durch Addition ergibt sich der Gesamtverbrauch der Messpunkte.
- Aufteilung der anteiligen Energieverbräuche auf die Messpunkte in einem Betrieb oder Stall: z.B. Ferkelaufzucht: Lüftung, Fütterung, Beleuchtung etc.
- Erstellung von Lastprofilen, um tageszeitliche, wochentagsabhängige oder saisonale Schwankungen des Energieverbrauchs festzustellen.

Weiterführende, also qualitativere Analysen sind nur durch Einzelfallbetrachtungen möglich. Das liegt vor allem daran, dass sich die Produktionsverfahren innerhalb der ausgewählten Betriebe gleichen Typs hinsichtlich des Energiebedarfs stark unterscheiden. Des Weiteren sind die meisten Betriebe, unter sich ständig verändernden Rahmenbedingungen, historisch gewachsen. Allein dadurch können sich betrieblichen Abläufe von Betrieb zu Betrieb unterscheiden. Somit können qualitative Aussagen nur durch eine auf den Anwendungsfall bezogene Analyse getroffen werden. Die Möglichkeiten der Analyse unter Berücksichtigung der betriebsspezifischen Daten werden im Folgenden aufgezählt:

- Bildung von spezifischen Energieverbrauchskennzahlen (z.B. produktbezogen kWh/Tier*a oder Tierplatz-bezogen kWh/TP*a) für einen allgemeinen Vergleich.
- Überprüfung der gebildeten spezifischen Energieverbrauchskennzahlen auf Plausibilität, z.B. durch einen Abgleich mit den Energiebedarfszahlen der KTBL.
- Zeitpunkte, Dauer und Häufigkeit des Energieverbrauchs eines Messpunktes bestimmen. Anschließend mit den betriebsspezifischen Daten auf Plausibilität abgleichen.
- Bewertung der Effizienz der verbauten Komponenten.
- Energetischer Vergleich gleicher Haltungsformen mit unterschiedlichen Ausstattungen der Produktionssysteme.

Werden ferner Anlagen und Komponenten untersucht, die aufgrund ihrer Funktion (z.B. Lüftung, Heizung oder Kühlung) durch klimatische bzw. jahreszeitliche Veränderungen einen anderen Energiebezug erwarten lassen, können unter Berücksichtigung der Wetterdaten Rückschlüsse auf die Effizienz der verbauten temperaturabhängigen Anlagen und Komponenten getroffen werden. Durch anschließende Vergleiche mit anderen Betrieben gleicher Aufstallung können Rückschlüsse auf die Effizienz und energetische Schwachstellen in den untersuchten Betrieben herausgearbeitet werden. Im weiteren Verlauf liegt der Fokus auf vergleichende Betrachtungen im Bereich der Schweinemast, Sauen- und Ferkelaufzucht und Milchviehwirtschaft. Grundsätzlich gilt, dass nur dann Vergleiche getätigt werden, wenn entsprechende Smart-Meter Daten gleichen Typs beziehungsweise Komponenten gleicher Funktionalität vorliegen. Die Erkenntnisse aus Band I fließen entsprechend ihrer Eignung in die anstehende Betrachtung mit ein.

2.2 Übersicht über die beteiligten Betriebe und Zähler

In Tabelle 2.1 sind alle Messpunkte der jeweiligen Betriebe aufgeführt. Insgesamt gibt es 27 Zähler des Energieversorgungsunternehmens BeSte und 23 des Energieversorgungsunternehmens RWE. Eine Übersicht der Zählergenauigkeit ist Anhang A: Plausibilitätsprüfung zu entnehmen. Aufgrund der behobenen Probleme bei der Übertragung der Messdaten liegen nun für jeden Zähler Daten in einem Messzeitraum von mindestens einem Jahr vor (siehe Kapitel 1.5).

Tabelle 2.1: Übersicht Betriebe und Zähler

Zähler	Betr. I	Betr.		Stall-	Mess-
id	id I	Kennung	Gemessen wird:	typ	punkt
1	1 6	BESTE1	Fütterung	SM	F1
2	1 [BESTE1	Fütterung 2	SM	F2
3	1 1	BESTE1	Lüftung	SM	L1
4	1 [BESTE1	Lüftung 2	SM	L2
5	2 [BESTE2	Fütterung	SM	F1
6	2 [BESTE2	Fütterung 2	SM	F2
7	2 [BESTE2	Lüftung	SM	L1
8	2 [BESTE2	Lüftung 2	SM	L2
9	3 I	BESTE3	Chargenmischer	SA	A1
10	3 E	BESTE3	Lüftung	SA	L1
11	4 [BESTE4	Kühlung	KU	K1
12	4 [BESTE4	Melkroboter	KU	M1
14	5 I	BESTE5	Fütterung	SM	F1
15	5 E	BESTE5	Mühle	SM	A1
16	6 1	BESTE6	Kühlung	KU	K1
17	8 1	RWE1	Ferkelaufzuchtstall - Trockenfütterungsketten	FE	F1
18	8 1	RWE1	Ferkelaufzuchtstall - Zentrallüftungsanlage	FE	L1
19	8 1	RWE1	Ferkelaufzuchtstall - Beleuchtungstechnik	FE	B1
20	8 1	RWE1	Ferkelaufzuchtstall - sonstige Verbraucher	FE	S1
21	8 1	RWE1	Sauenstall - Trockenfütterungsanlagen	SA	F2
22	8 1	RWE1	Sauenstall - Lüftungsanlage	SA	L2
23	8 1	RWE1	Sauenstall - Beleuchtungstechnik	SA	B2
24	8 I	RWE1	Sauenstall - Rotlicht im Deckzentrum	SA	В3
25	9 1	RWE2	Ferkelaufzuchtstall - Fütterung	FE	F1
26	9 I	RWE2	Ferkelaufzuchtstall - Lüftung	FE	L1
27	9 1	RWE2	Ferkelaufzuchtstall - Licht	FE	B1
28	9 I	RWE2	Ferkelaufzuchtstall - Nebenverbraucher	FE	S1
29	9 1	RWE2	Sauenstall - Fütterung	SA	F2
30	9 1	RWE2	Sauenstall - Lüftung	SA	L2
31	9 1	RWE2	Sauenstall - Licht	SA	B2
32	9 1	RWE2	Sauenstall - Nebenverbraucher	SA	S2
33	10 F	RWE3	Mastschweinestall - Lüftung	SM	L1
34	10 I	RWE3	Mastschweinestall - Fütterung	SM	F1
35	10 F	RWE3	Mastschweinestall - Abzweig / Einspeisung im Nebenstall	SM	S1
36		RWE4	Ferkelaufzucht - Fütterung	FE	F1
37		RWE4	Ferkelaufzucht - Lüftung	FE	L1
38		RWE4	Sauenstall - Fütterung	SA	F2
39		RWE4	Sauenstall - Lüftung	SA	L2
40		BESTE7	Kühlung	KU	K1
41		BESTE8	Karussellantrieb	KU	M1
42	12 I	BESTE8	Melkstand	KU	M1
43	12 F	BESTE8	Milchkuehlung	KU	K1
44	12 I	BESTE8	Mistschieber	KU	G1
45	12 l	BESTE8	Vakuumpumpe	KU	K1

2.3 Energetischer Vergleich von Produktionssystemen in der Nutztierhaltung

Hauptbestandteil der nachfolgenden Kapitel ist ein Vergleich der Hauptstromverbraucher in vergleichbaren Aufstallungssystemen unterschiedlicher Betriebe. Zunächst werden Lüftungs- und Fütterungssysteme in der Schweinemast sowie der Sauen- und Ferkelaufzucht verglichen. Abschließend werden Kühlsysteme in Milchviehbetrieben thematisiert. Im Anhang B: Vergleich der Energieverbrauchskennzahlen sind die im Rahmen der Auswertung berechneten Energieverbrauchszahlen aller betrachteten Betriebe aufgeführt.

2.3.1 Lüftungssysteme in der Schweinemast und Sauenhaltung

Eine Erläuterung der Stallarten Schweinemast und Sauenhaltung sowie ihrer Hauptstromverbraucher können in Kapitel 6.1.2 und 6.1.3 im Band I nachgelesen werden. In Kapitel 6.6.1 Band I werden die Aufgaben, Funktionen und die effiziente Ausgestaltung von Lüftungssystemen in der Schweinewirtschaft beschrieben.

2.3.1.1 Schweinemastbetriebe BeSte2 und RWE3

Sowohl im Betrieb BeSte2 als auch im Betrieb RWE3 sind Smart-Meter an den Verbrauchern Lüftung und Fütterung angeschlossen. Allerdings wurden im Betrieb BeSte2 insgesamt zwei Ställe mit Smart-Metern ausgestattet (vgl. Tabelle 2.1). Für den anstehenden Vergleich wurde entsprechend der Stall ausgewählt, der hinsichtlich Ausstattung, Verbrauch und Größe vergleichbar dem RWE3 Stall ist (Smart-Meter Kennzeichnung: Fütterung F1 und Lüftung L1, siehe Tabelle 2.1). In Tabelle 2 sind die im Rahmen der Betriebsdatenerhebung aufgenommenen und für die zu untersuchenden Lüftungssysteme relevanten Angaben der Betriebe BeSte2 und RWE3 aufgeführt.

BeSte2 Schweinemast RWE3 Schweinemast Einzelabsaugung, Porendecke Zentralabsaugung, Ganglüftung 6 Regelventilatoren, 4 Regelventilatoren, ${\it 1\,Schaltventilator},$ Lüftungssystem 12 Schaltventilatoren, Phasenanschnittsteuerung Frequenzsteuerung, Gruppenschaltung Gruppenschaltung Leistung Lüftung 9,7 kW 11 kW

Tabelle 2: BeSte2 und RWE3 – Betriebsdaten im Vergleich

Hervorzuheben sind vor allem die in beiden Betrieben unterschiedlichen Zu- und Abluftführungen (Porendecke bzw. Futterganglüftung und Einzel bzw. Zentralabsaugung). Des Weiteren unterscheiden sich die Anzahl der Ventilatoren und die Steuerungen. Die bereits im Band I beschriebenen Analysen der Lüftungen haben gezeigt, dass die in den Ställen installierten Luftführungen den Energiebedarf maßgeblich beeinflussen. Ein weiteres wichtiges Kriterium ist die Art der Regelung und insbesondere die Teillasteffizienz eines Lüftungssystems. Bei Betrachtung der Betriebsdaten ist daher zu erwarten, dass Betrieb RWE3 einen geringeren Energiebedarf aufweist. Im Vordergrund der Untersuchung steht daher vor allem das Verhalten des Lüftungssystems in Zeiten, in denen die Außentemperatur keinen wesentlichen Einfluss auf das Stallklima hat, sondern lediglich Regelparameter wie die Schadstoffkonzentration im Stall oder die abzuführende Abwärme der Tiere die Leistungsaufnahme der Lüftung beeinflussen. Der anteilige Verbrauch beider Betriebe in Abbildung 1 verdeutlicht, dass die Lüftungen den höchsten Energiebedarf aufweisen und unterstreicht, dass bei diesen Komponenten die größten Einspareffekte durch effizienzsteigernde Maßnahmen zur erreichen sind.

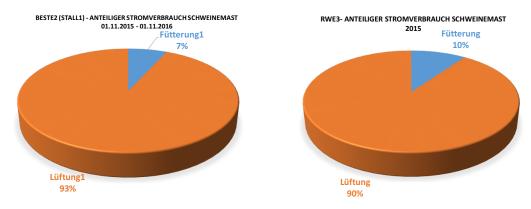


Abbildung 1: BeSte2 (Stall1) und RWE3 - Anteiliger Stromverbrauch

Die erforderliche Luftrate zur Gewährleistung eines optimalen Stallklimas orientiert sich im Winter an einer ausreichenden Abfuhr von Feuchtigkeit, Schadgasen und Kohlendioxid aus dem Stall. Im Sommer erhöht sich die Luftrate zur Abfuhr der von Tieren freigesetzten Wärme. [4] [5] [6] Aufgrund der angesprochenen Temperaturabhängigkeit sind in Abbildung 2 die saisonalen Tageslastprofile aufgetragen.

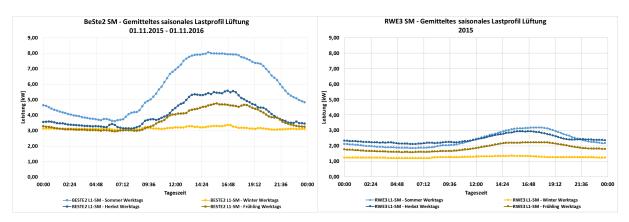


Abbildung 2: BeSte2 (Stall1) und RWE3 – Gemittelte saisonale Tageslastprofile Lüftung

Anhand der Gegenüberstellung lassen sich vorrangig die abweichenden Leistungsaufnahmen erkennen. Das Tageslastprofil von BeSte2 bewegt sich in einem Leistungsbereich von mindestens 3 kW und maximal 8 kW, das Profil von RWE3 in einem Bereich von 1 bis maximal 3,2 kW. Die Ausprägung der variierenden Leistungsaufnahmen in den jeweiligen Jahreszeiten unterstreichen die jahreszeitlich bedingten Schwankungen. In den Sommer-, Winter- und Frühlingsmonaten ist der typische Leistungsanstieg bei voranschreitender Tageszeit und entsprechend zunehmender Außentemperatur zu erkennen. Bei RWE3 ist dieser Leistungsanstieg ebenfalls vorhanden, jedoch aufgrund der gewählten gleichen Skalierung der y-Achse nicht derart sichtbar wie bei BeSte2.

In Band I wurde bereits unter Zuhilfenahme der Jahresdauerlinie (Mit Hilfe dieser Methode kann der Leistungsbedarf eines Versorgungsobjekts auf Basis der jeweiligen Nutzungszeit abgelesen werden. Es wird also ersichtlich, wie viele Stunden im Jahr eine bestimmte Leistung abgerufen wird) aufgezeigt, dass Lüftungen in Schweineställen in ungefähr 50% der Jahresstunden mit nur 20 – 40% der maximalen installierten Leistung laufen. Es wurde bereits angesprochen, dass das Verhalten des Lüftungssystems in Zeiten, in denen die Außentemperatur keinen wesentlichen Einfluss auf das Stallklima hat, von zentraler Bedeutung für die Bewertung der Effizienz des eigesetzten Lüftungssystems ist. Daher werden in Abbildung 3 und Abbildung 4 gemessene Tageslastgänge von BeSte2 und RWE3 unter Berücksichtigung der Außentemperatur zweier Tage im Winter verglichen.

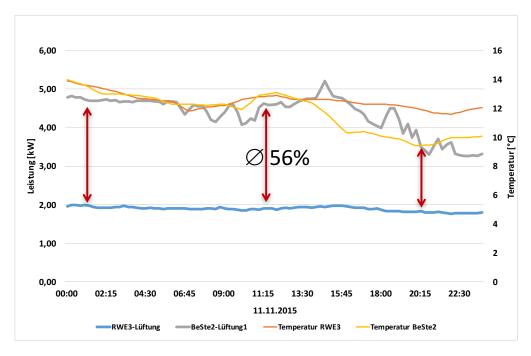


Abbildung 3: BeSte2 (Stall1) und RWE3 - Lastgang Lüftung 11.11.2015

Bei der Auswahl der Tageslastgänge wurde darauf geachtet, dass die Außentemperaturen beider Standorte einen möglichst konvergierenden Verlauf aufweisen. Dadurch wird erreicht, dass die Regelgröße Außentemperatur für beide Betriebe in ähnlicher Weise das Leistungsverhalten der Lüftungen für den gewählten Messtag beeinflusst. Ab 13:30h sinkt die Temperatur beständig am Standort vom Betrieb BeSte2 und die Leistung der Lüftung nimmt demnach kontinuierlich ab. Es ist zu erkennen, dass die bis dahin aktiven Schaltventilatoren nacheinander abschalten und die Regelventilatoren entsprechend nachregeln. Damit lässt sich der gezackte Verlauf erklären. Die Lüftung vom Betrieb RWE3 hingegen weist einen sehr geglätteten und gut ausgeregelten Lastverlauf um die 2 kW auf. Ab 15:45h sinkt die Leistung in sehr kleinen Schritten bis zum Ende des Tages auf ein Minimum von 1,7 kW. Die Außentemperatur hat keinen wahrnehmbaren Einfluss auf den Lastverlauf von RWE3 gehabt. Im Schnitt hat die Lüftung von RWE3 an diesem Messtag einen um 56% geringeren Energiebedarf gehabt. Dies wiederum unterstreicht, dass eine gute Teillasteffizienz den Energiebedarf speziell in den Übergangs- und Wintermonaten erheblich reduziert. Die oben gezeigte Abbildung hat zwar einen Wintertag dargestellt, allerdings einen verhältnismäßig milden Wintertag mit Tagestemperaturen zwischen neun und 14 Grad Celsius. Daher folgt zur Vertiefung ein weiterer Wintertag in Abbildung 4. Besonderheit hier ist, dass die Temperatur am Standort BeSte2 ab 04:30h zu jedem Zeitpunkt niedriger als am Standort RWE3 ist, die Leistungsaufnahme über den Tag aber im Schnitt 43% höher ausfällt.

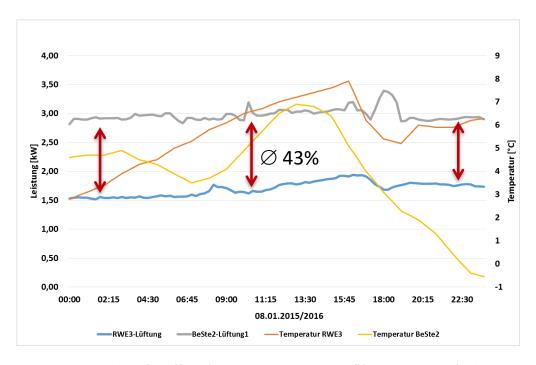


Abbildung 4: BeSte2 (Stall1) und RWE3 – Lastgang Lüftung 08.01.2015/2016

Trotz eines Temperaturanstiegs über den Tag von über 5 °C am Standort RWE3 zeigt sich, dass die Leistung der Lüftung nur marginal ansteigt. Die Steigung ist nicht signifikant und der Verlauf der Lastkurve ist erneut geglättet. Im Besonderen veranschaulicht Abbildung 4 die Teillasteffizienz des Lüftungssystems von RWE3, da die Regelgröße Außentemperatur eine untergeordnete Rolle spielt und sich die Drehzahl der Ventilatoren bzw. die Luftwechselrate nach den Regelgrößen Feuchtigkeit, Konzentration von Schadgasen und Kohlendioxid richtet.

Tabelle 3 fasst die vergleichende Betrachtung für BeSte2 und RWE3 zusammen. Der direkte Einfluss der Luftführungen lässt sich anhand der Messdaten zwar nicht explizit nachweisen, jedoch können unter Berücksichtigung der Energiebedarfskennzahlen der KTBL nach Heft 105 die Einflüsse annäherungsweise bestimmt werden.

Tabelle 3: BeSte2 (Stall1) und RWE3 - Vergleich der spezifischen Energieverbrauchskennzahlen

	BeSte2			nach KTBL Heft
	01.11.2015 - 01.11.2016	RWE3 2014	RWE3 2015	103
	[kWh/TP*a]	[kWh/TP*a]	[kWh/TP*a]	[kWh/TP*a]
Verbraucher/Stallart	SM - Stall1	SM	SM	SM
Lüftung	23,3	5,6	5,2	18,3
Futteraufbereitung	3,2	-	-	9,4
Fütterung (Futteraufbereitung)	1,7	1,2	-	1,2 (9,4)
Beleuchtung	-	-	-	5,3
Sonstiges (Reinigung, Entmistung)	-	-	-	0,4
Gesamt	28,2	6,8	5,2	34,6

Für die Zuluftführung über eine Porendecke (BeSte2) wird beispielsweise angenommen, dass sich der Energiebedarf um den Faktor 1,6 erhöht. Die Abluftführung über eine dezentrale Einzelabsaugung ist die strömungsgünstigste Variante, hier bestünde bei RWE3 noch Einsparpotential (Zentralabsaugung). Es wird davon ausgegangen, dass zentrale Oberflurabsaugungen den Energiebedarf um einen Faktor von bis zu 1,75 erhöhen. Hinzu kommt, dass die Kaminbauarten, z.B. Einström- und Weitwurfdüse, den Energiebedarf zusätzlich um einen Faktor von bis zu 1,92 erhöhen können. Über die Bauarten der Kamine lässt sich allerdings bei beiden Betrieben keine Aussagen treffen, da die Ausführungen nicht bekannt sind. Wie die vergleichende Betrachtung und speziell der Vergleich zweier Wintertage gezeigt haben, sind erhebliche Energieeinsparungen durch den Einsatz von Frequenzumrichtern im Bereich der Lüftungsregelung im Betrieb BeSte2 zu erwarten. Frequenzumrichter und EC-Motoren können den Energieverbrauch um bis zu 35% reduzieren. [4] [7] Anhand der spezifischen

Energieverbrauchskennzahlen ist zu konstatieren, dass für den Betrieb RWE3 im Bereich der Lüftung ein um 77% geringerer Energiebedarf pro Tierplatz im Vergleich zum Betrieb BeSte2 erfasst wurde.

2.3.1.2 Sauenhaltungsbetriebe RWE1 und RWE2

Die Betriebe RWE1 und RWE2 wurden bereits in Band I in den Kapiteln 6.5.1 und 6.5.2 ausführlich behandelt. Der anstehende Vergleich beschäftigt sich ausschließlich mit den in beiden Betrieben installierten Lüftungssystemen. In Tabelle 4 sind die relevanten Betriebsdaten aufgetragen. Die beiden Systeme unterscheiden sich vornehmlich hinsichtlich Leistung, Anzahl der Ventilatoren und deren Regelung. Die Abluftführungen sind identisch und über die Zuluftführung von RWE2 ist nichts bekannt. Aufgrund der Tatsache, dass beim Betrieb RWE2 nur frequenzgeregelte Ventilatoren im Einsatz sind, ist ein geringerer Energiebedarf als bei RWE1 zu erwarten.

RWE1 Sauenstall

Zentralabsaugung, Ganglüftung
2 frequenzgeregelte
Regelventilatoren,
2 Schaltventilatoren

Leistung Lüftung

8 kW

RWE2 Sauenstall

Zentralabsaugung, 6
frequenzgeregelte Regelventilatoren

11,1 kW (3 x 1,5 kW und 3 x 2,2 kW)

Tabelle 4: RWE1 und RWE2 – Betriebsdaten im Vergleich

In beiden Sauenställen sind jeweils vier Smart-Meter installiert (siehe Tabelle 2.1). Abbildung 5 zeigt eine differenziertere Darstellung des anteiligen Stromverbrauchs wie im vorangegangen Beispiel in Kapitel 2.3.1.1 (vgl. Abbildung 1 und Abbildung 5). Anhand dieser Darstellung wird ersichtlich, dass bei Berücksichtigung aller wesentlichen elektrischen Verbraucher die Lüftung einen anteiligen Verbrauch von bis 60% aufweisen kann.

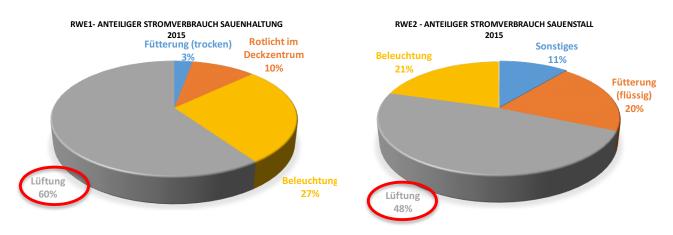


Abbildung 5: RWE1 und RWE2 - Anteiliger Stromverbrauch

Die saisonalen Lastprofile in Abbildung 6 spiegeln den bereits zu erwartenden geringeren Energiebedarf bei RWE2 bereits wieder. Die kurzzeitig auftretenden Lastspitzen zur Mittagszeit in der Darstellung zu RWE1 (linke Seite von Abbildung 6) wurden bereits in Band I behandelt, daher wird im Folgenden nicht mehr näher darauf eingegangen. Wie bereits in Kapitel 2.3.1.1 sind die abweichenden Leistungsaufnahmen der signifikanteste Unterschied zwischen den beiden Lüftungssystemen. Das Tageslastprofil von RWE1 bewegt sich in einem Leistungsbereich von mindestens 1,9 kW und maximal 6 kW, das Profil von RWE2 in einem Bereich von 2 bis maximal 5,1 kW. Zudem ist zu erkennen, dass die Lüftung des Betriebes RWE2 in den Perioden Frühling und Herbst nur einen leichten Anstieg der Leistung während des Tages aufweist. Der Verlauf der Kurven ist grundsätzlich geglättet und nicht gezackt, was durch die frequenzgeregelten Ventilatoren zu erklären ist. Die installierten Schaltventilatoren bei RWE1 sind für den gezackten Verlauf der Kurven verantwortlich.

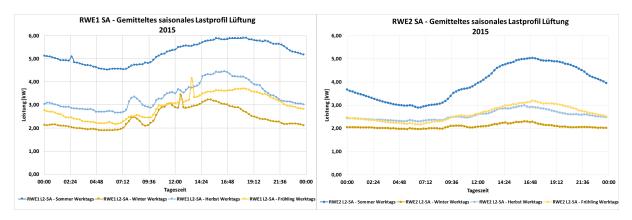


Abbildung 6: RWE1 und RWE2 - Gemittelte saisonale Tageslastprofile Lüftung

Zur weiteren Abhandlung, speziell um die Wichtigkeit der Teillasteffizienz herauszuarbeiten, werden in Abbildung 7 und Abbildung 8 gemessene Tageslastgänge verglichen. Einziger Unterschied zum vorangegangen Kapitel 2.3.1.1 ist der Vergleich eines Sommertages in Abbildung 8. Aufgrund der räumlichen Nähe beider Betriebe, werden Wetterdaten derselben Wetterstation verwendet (siehe Band I, Kapitel 5.1.3). In Abbildung 7 sind Tageslastgänge an einem Wintertag dargestellt. Die Außentemperatur überschreitet zu keinem Zeitpunkt zehn Grad Celsius. Es ist zu erkennen, dass die Lüftung von RWE2, aufgrund der sich ständig ändernden Anforderungen an das Stallklima im Stall, die Drehzahl und somit die Leistungsaufnahme über den Tag permanent anpasst. Dabei sind keine gröberen Lastsprünge zu verzeichnen. Der Lastverlauf von RWE1 unterliegt wesentlich kleineren Schwankungen, hat aber dennoch eine durchschnittlich 37% höhere Leistungsaufnahme. Die Vorteile einer Frequenzregelung werden bereits hier offensichtlich.

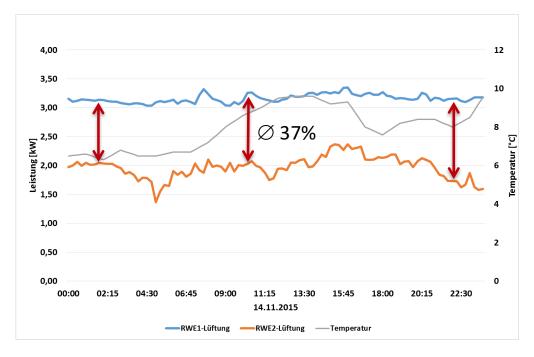


Abbildung 7: RWE1 und RWE2 - Lastgang Lüftung 14.11.2015

Um zu verdeutlichen, dass die Frequenztechnik nur im Regelbereich bis etwa 60% der Nenndrehzahl den Vorteil geringerer Aufnahmeleistung bietet, werden in Abbildung 8 gemessene Tageslastgänge eines Sommertags verglichen. [4]

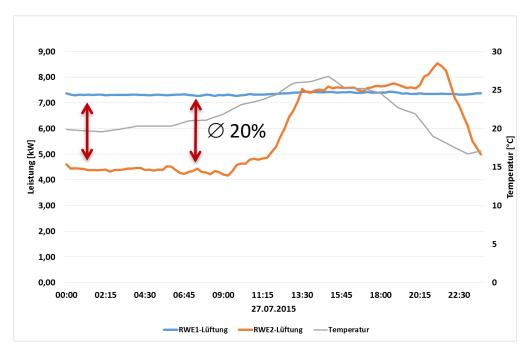


Abbildung 8: RWE1 und RWE2 - Lastgang Lüftung 27.07.2015

Die Außentemperatur erreicht ihren maximal Wert gegen 13:30h und sinkt im Verlauf des Tages auf 17 °C ab. Dementsprechend erhöht sich die Aufnahmeleistung von RWE2 ab 09:00h auf bis zu 7,2 kW, abgesehen vom kurzzeitigen Leistungshoch zwischen 20:15h und 22:30h verringert sich die Aufnahmeleistung mit sinkender Außentemperatur. Dadurch ist für RWE2 ein durchschnittlich 20% geringerer Energiebedarf

(Reinigung, Entmistung)

Gesamt

für diesen Tag zu verzeichnen. Das Lüftungssystem von RWE1 läuft beinahe konstant mit ca. 7,2 kW. Als möglicher Grund für die konstante Leistungsaufnahme lässt sich eine nicht mehr zeitgemäße Gebäudedämmung anführen, wodurch der Abwärmetransport erschwert wird, da nicht nur die Tiere, sondern auch das Gebäudeinnere Wärme abgibt. Dies führt unweigerlich dazu, dass auch in den Nachtstunden entsprechende Luftwechselraten erforderlich sind und die Leistung der Lüftung nicht absinkt. Eine defekte Regelung ist ebenfalls nicht auszuschließen.

Aus Tabelle 5 können die berechneten spezifischen Energieverbrauchskennzahlen in Abgleich mit den KTBL Energiebedarfskennzahlen entnommen werden.

	RWE1 2014	RWE1 2015	RWE2 2014	RWE2 2015	nach KTBL Heft 103
	[kWh/TP*a]	[kWh/TP*a]	[kWh/TP*a]	[kWh/TP*a]	[kWh/TP*a]
Verbraucher/Stallart	SA	SA	SA	SA	SA
Lüftung	65,1	59,2	24,0	29,8	51,2
Futteraufbereitung	-	-	-	-	20,5
Fütterung (Futteraufbereitung)	3,0	2,9	11,9	12,6	3,4 (20,5)
Beleuchtung	29,7 (17,6)	27,1 (10,0)	9,3	12,7	30,7
Sonstiges	-	-	7,5	6,8	6,8

99.2

52,7

61.9

109.2

115.4

Tabelle 5: RWE1 und RWE2 - Vergleich der spezifischen Energieverbrauchskennzahlen

Beim Vergleich der Kennzahlen lässt sich wie zu erwarten festhalten, dass der Betrieb RWE2 im Vergleich zu RWE1 im Bereich der Lüftungen einen 57% geringeren Energiebedarf besitzt. Der direkte Einfluss der Luftführungen lässt sich anhand der Messdaten nicht explizit nachweisen, jedoch können unter Berücksichtigung der Energiebedarfskennzahlen der KTBL nach Heft 105 die Einflüsse annäherungsweise bestimmt werden. Für die Zuluftführung über eine Futterganglüftung (RWE1) wird angenommen, dass sich der Energiebedarf nicht erhöht, somit handelt es sich bereits um eine strömungsgünstigste Variante. Die Abluftführung über eine dezentrale Einzelabsaugung ist der zentralen Absaugung überlegen, hier bestünde bei RWE1 und RWE2 noch Einsparpotential (bisher: Zentralabsaugung). Es wird davon ausgegangen, dass zentrale Oberflurabsaugungen den Energiebedarf um einen Faktor von bis zu 1,75 erhöhen. [4] Über die Bauarten der Kamine lässt sich bei beiden Betrieben keine Aussagen treffen, da die Ausführungen nicht bekannt sind. Der Fokus der vergleichenden Betrachtung lag allerdings wie bereits zuvor beim Aufdecken von Verbesserungspotentialen im Bereich der Lüftungsregelung. Durch den Vergleich der Tageslastgänge konnte erneut aufgezeigt werden, dass Betriebe, die mit Frequenztechnik ausgestattet sind, einen deutlich geringeren Energiebedarf ausweisen.

2.3.2 Fütterungssysteme in der Schweinemast und Ferkelaufzucht

Eine Erläuterung der unterschiedlichen Verfahren und Ausgestaltung der Fütterung in Aufzucht- und Mastbetrieben erfolgte in Band I Kapitel 6.1.2 und 6.1.3. In Kapitel 6.6.1 von Band I werden die Aufgaben, Funktionen und die effiziente Ausgestaltung von Fütterungssystemen in der Schweinewirtschaft beschrieben.

2.3.2.1 Schweinemastbetriebe BeSte2 und BeSte5

In diesem Kapitel werden zwei Flüssigfütterungen inklusive des Futtervorbereitungsprozesses in den Schweinemastbetrieben BeSte2 und BeSte5 hinsichtlich des Energieaufwandes miteinander verglichen. In Abbildung 9 ist der anteilige gemessene Stromverbrauch aufgetragen. Zum besseren Verständnis ist hinzuzufügen, dass beim Betrieb BeSte2 insgesamt vier Smart-Meter in zwei verschiedenen Ställen installiert worden sind (vgl. Tabelle 2.1). Der anteilige Verbrauch für BeSte2 in Abbildung 9 ist zunächst für beide Ställe zusammengefasst. Hintergrund dieser Darstellung ist, dass der Prozess der Futtervorbereitung in Stall2 über den Smart-Meter "Fütterung2-F2" (vgl. Tabelle 2.1) erfasst wird und dann das angemischte Futter über eine Kolbenpumpe zu Stall1 transportiert wird. Von dort aus beginnt die Futtervorlage in Stall1, die über den Smart-Meter "Fütterung1 – F1" (vgl. Tabelle 2.1) erfasst wird. Für die Darstellung wurde der Verbrauch für die am Smart-Meter angeschlossene Mühle des Betriebs BeSte2 separiert, wodurch ein Vergleich mit der im Betrieb BeSte5 gemessenen Mühle ermöglicht wird.

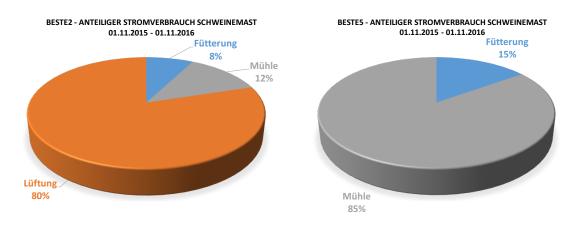


Abbildung 9: BeSte2 und BeSte5 - Anteiliger Stromverbrauch

Der monatliche Stromverbrauch für beide Betriebe ist in Abbildung 10 dargestellt. Der Verbrauch der Fütterungen in BeSte2 für Stall1 und Stall2 schwankt je nach Tierbelegung in den jeweiligen Ställen zwischen ca. 130 und ca. 260 kWh im Monat. Im Schnitt fallen für Fütterung1 in Stall1 225 kWh und für Fütterung2 Stall2 182 kWh an. Der

Verbrauch der Fütterung von BeSte5 zeigt minimale Schwankungen, durchschnittlich werden 330 kWh pro Monat verbraucht. Eine Aufschlüsselung aller angeschlossenen Komponenten und Geräte liegt für beide Betriebe nicht vor. Dennoch kann anhand der monatlichen Verbräuche eine Tendenz abgelesen werden und zwar das die Fütterungssysteme von BeSte2 einen insgesamt geringeren Energieaufwand aufweisen. Besonders deutlich wird es bei der Betrachtung der monatlichen Verbräuche des Futtervorbereitungsprozesses in beiden Betrieben, also die jeweils erfassten Verbräuche für die Messpunkte Mühle. Die Verbräuche unterliegen grundsätzlich größeren Schwankungen aufgrund zusätzlicher Mahlvorgänge im Erntezeitraum (zum Beispiel für BeSte2 in den Monaten August, September und Oktober). Es lässt sich festhalten, dass der Gesamtverbrauch der Mühle im Betrieb BeSte2 deutlich geringer ausfällt als der Gesamtverbrauch der Mühle im Betrieb BeSte5 (7.995,2 kWh Beste2 zu 22.961,5 kWh BeSte5)

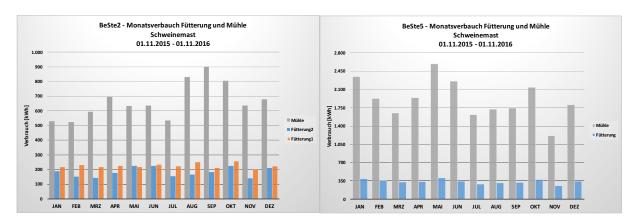


Abbildung 10: BeSte2 und BeSte5 - Monatlicher Stromverbrauch

Es folgen vier Abbildungen mit teilweise gemittelten und gemessenen Tageslastprofilen zu den Verbrauchern Fütterung und Mühle in beiden Betrieben. Diese visualisieren den täglichen Lastgang, geben unter anderem Auskunft über die Nutzungszeit und gegebenenfalls über die Verfahrensgestaltung der Fütterung. Abbildung 11 vergleicht den Lastgang von BeSte2 Fütterung im Stall1 mit der Fütterung von BeSte5. Die Futterverteilung und Vorlage erfolgt im Zusammenspiel mit der Reinigung der Rohrleitungen im Betrieb BeSte2 und lässt daher keine genauen Rückschlüsse zum tatsächlichen Fütterungszeitpunkt zu. Möglicherweise wird hier sowohl in Stall1 als auch in Stall2 Gruppen- bzw. Herdenbezogen Futter vorgelegt. Aufgrund der drei markanten Leistungsaufnahmen in den Morgen-,Mittag- und Abendstunden ist bei BeSte5 davon auszugehen, dass die Futterverteilung und Vorlage eben genau zu diesen genannten

Zeitpunkten erfolgt und die nachgelagerten Reinigungsprozesse des Flüssigfütterungssystems nicht über diesen Smart-Meter erfasst werden.

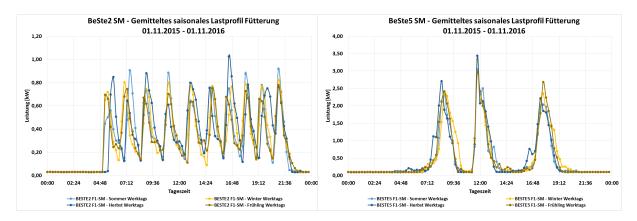


Abbildung 11: BeSte2 (Stall1) und BeSte5 - Gemittelte saisonale Tageslastprofile Fütterung

In Abbildung 12 ist das gemittelte Lastprofil für die Fütterung im Stall2 des Betriebes BeSte2 und die Mühle von BeSte5 aufgetragen. Anhand dieser Abbildung ist zu erkennen, dass beim Betrieb BeSte5 in der Regel 3 Mahlvorgänge zwischen 00:00h – 9:15h (1.920h im Messzeitraum) stattfinden und die Mühle je nach Bedarf auch tagsüber in Betrieb (9:30h- 23:45h, 768h im Messzeitraum) genommen wird. Die BeSte5-Mühle war im Betrachtungszeitraum insgesamt 2.688 Stunden in Betrieb, davon durchschnittlich 7,36 Stunden pro Tag. Die gemessene Peakleistung im Betrachtungszeitraum liegt bei ca. 16,4 kW. Das Zusammenspiel von Mühle und Fütterung im Betrieb BeSte5 ist in Abbildung 14 zu sehen.

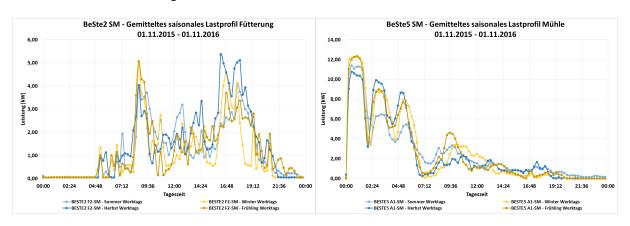


Abbildung 12: BeSte2 (Stall2) und BeSte5 - Gemittelte saisonale Tageslastprofile Mühle

Um den Mahlprozess vom Fütterungsprozess in Stall2 des Betriebes BeSte2 besser trennen zu können, sind in Abbildung 13 zwei beliebige gemessene Tageslastgänge dargestellt, in denen einmal der Verlauf mit und ohne der am Smart-Meter befindlichen Mühle zu sehen ist. Unter Berücksichtigung der exemplarisch gezeigten Lastgänge und der weiteren Messdaten kann für die Mühle des Betriebes BeSte2 festgehalten werden, dass nur bedingt feste Mahlzeiten identifiziert werden können. Die Kernzeiten

des Mahlprozesses liegen zwischen 06:00 - 10:00h und 16:00 – 18:00h. Die im Betrachtungszeitraum gemessene Peakleistung der Mühle beläuft sich auf ca. 17 kW. Die Mühle ist durchschnittlich 2,17 Stunden pro Tag im Betrieb – insgesamt 792h im Betrachtungszeitraum. Es ist allerdings davon auszugehen, dass die Mühle flexibel je nach Bedarf eingeschaltet wird und Vorratsbehälter vorhanden sind (siehe Abbildung 12 links). Demnach sind Lastverschiebungspotentiale für den Mahlprozess vorhanden, vorausgesetzt die nachgelagerten hygienischen Anforderungen der Flüssigfütterung werden nicht beeinträchtigt. Die entsprechend hohen Anforderungen des Flüssigfütterungsprozesses wurden bereits in Band I Kapitel 6.1.3 beschrieben.

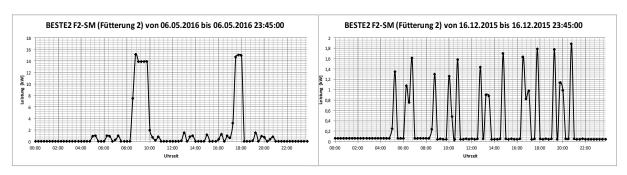


Abbildung 13: BeSte2 (Stall2) - Lastgang mit Mühle (links) und ohne Mühle (rechts)

Der Vollständigkeit halber ist in Abbildung 14 ein kombinierter beliebiger gemessener Lastgang des gesamten Fütterungsprozesses aus Futterverteilsystem und Mühle des Betriebes BeSte5 zu sehen.

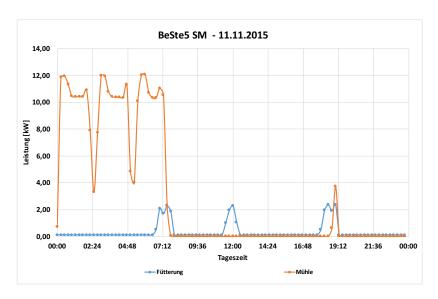


Abbildung 14: BeSte5 - kombinierter Lastgang Mühle und Fütterung 11.11.2015

Zum Abschluss dieses Vergleiches sind in Tabelle 6 die spezifischen Energieverbrauchszahlen beider Betriebe aufgeführt. Es gilt jedoch zu beachten, dass sich die Kennzahl zur Futteraufbereitung für BeSte2 aus der Summe der Tierplätze beider Ställe zusammensetzt. Eine Trennung nach Stall erscheint nicht sinnvoll, da der

gemessene Gesamtverbrauch der Mühle beiden Ställen zugeorndet werden muss. Die für beide Betriebe ermittelten Kennzahlen für die Fütterung sind erwartungsgemäß etwas höher als der Richtwerte des KTBL, da diese Kennzahl ein Mittelwert für alle Fütterungssysteme darstellt und die Flüssigfütterungen einen grundsätzlich höheren Energiebedarf aufweisen als beispielsweise Trockenfütterungen.

Tabelle 6: BeSte2 und BeSte5 - Vergleich der spezifischen Energieverbrauchskennzahlen

Verbraucher/Stallart	BeSte2 01.11.2015 - 01.11.2016 [kWh/TP*a] SM - Stall1	BeSte2 01.11.2015 - 01.11.2016 [kWh/TP*a] SM - Stall2	BeSte5 01.11.2015 - 01.11.2016 [kWh/TP*a] SM	nach KTBL Heft 103 [kWh/TP*a] SM
Lüftung	23,3	15,4	-	18,3
Futteraufbereitung	3	,2	14,5	9,4
Fütterung (Futteraufbereitung)	1,7	2,4	2,6	1,2 (9,4)
Beleuchtung	-	-	-	5,3
Sonstiges (Reinigung, Entmistung)	-	-	-	0,4
Gesamt	28,2	21,0	17,1	34,6

Besonders interessant ist der Vergleich der Kennzahlen zur Futtervor- bzw. Futteraufbereitung. Der Betrieb BeSte2 schneidet sowohl im Vergleich mit dem Betrieb BeSte5 als auch im Vergleich mit der KTBL hervorragend ab. Das liegt unter anderem an der kürzeren täglichen Nutzungszeit der Mühle. Die BeSte5-Mühle war im Betrachtungszeitraum insgesamt 1.896 Stunden länger in Betrieb als die BeSte2-Mühle, dies wiederum ergibt einen insgesamt 78% geringeren tierplatzbezogenen Energiebedarf für die Futteraufbereitung. Demzufolge wird im Betrieb BeSte2 eine entsprechende Mühle der neusten Generation eingesetzt und bezogen auf den Betrieb BeSte5 ergeben sich dadurch erhebliche Energieeinsparpotentiale im Bereich der Futteraufbereitung. Abgesehen vom Austausch in die Jahre gekommener Komponenten des Flüssigfütterungssystems ergeben sich im Bereich der Fütterung für beide Betriebe keine nennenswerten effizienzsteigernden oder energieeinsparenden Maßnahmen.

2.3.2.2 Ferkelaufzuchtbetriebe RWE1, RWE2 und RWE4

In diesem Vergleich werden zwei Trockenfütterungssysteme, eins mit Ketten- bzw. Spiralförderung (RWE1) und eins mit pneumatischer Verteilung (RWE4), mit einem Flüssigfütterungssystem (RWE2) behandelt. In allen drei Fällen handelt es sich um Ferkelaufzuchtställe. In Band I wurde bereits darauf hingewiesen, dass die Entscheidung welches System eingesetzt werden soll im Einzelfall geprüft und mit den betrieblichen Begebenheiten abgeglichen werden muss. [5] [8] In diesem Kapitel soll daher

erneut und explizit auf die zu erwartenden Stromverbräuche in Abhängigkeit zum eingesetzten System hingewiesen werden. Die monatlichen Stromverbräuche für die jeweiligen Systeme sind in Abbildung 15 zu sehen. Links der Verbrauch einer Trockenfütterung mit Ketten- bzw. Spiralförderung, rechts daneben eine Flüssigfütterung und darunter eine Trockenfütterung mit pneumatischer Verteilung. Die dazugehörigen gemittelten Lastprofile sind in gleicher Reihenfolge in Abbildung 16 aufgetragen.

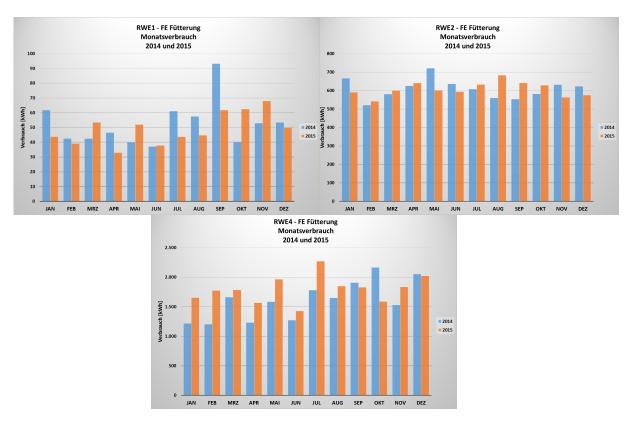


Abbildung 15: RWE1, RWE2 und RWE4 - Monatlicher Stromverbrauch

Anhand dieser Darstellung lässt sich der in Band I bereits bewertete energetische Aufwand für die unterschiedlichen Systeme rezitieren. Die Unterschiede sind immens, so benötigt die Trockenfütterung von RWE1 im Schnitt lediglich ca. 51 kWh pro Monat, die Flüssigfütterung von RWE2 ca. 608 kWh pro Monat und die Trockenfütterung mit pneumatischer Verteilung von RWE4 ca. 1.701 kWh pro Monat. In Anbetracht der in Abbildung 16 dargestellten gemittelten Lastprofile lassen sich diese immensen Unterschiede ebenfalls erkennen. Sowohl die aufwendige und energieintensive Prozessführung der Flüssigfütterung als auch die energieintensive Druckluftverteilung und deren zugrundeliegenden hohen Leistungsaufnahmen lassen bereits einen deutlich höheren Energieaufwand im Vergleich zur Trockenfütterung von RWE1 erwarten.

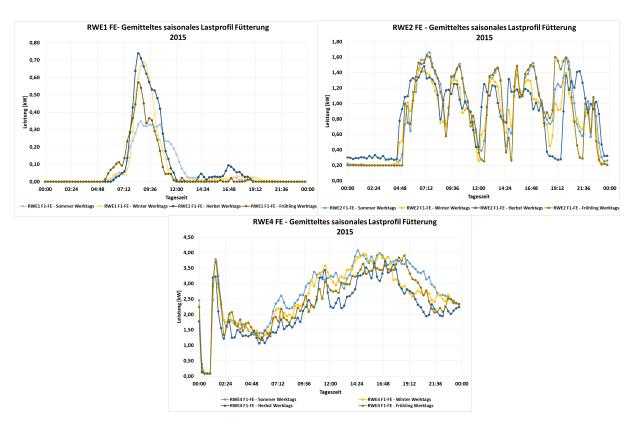


Abbildung 16: RWE1, RWE2 und RWE4 - Gemittelte saisonale Tageslastprofile Fütterung

Demzufolge ergeben sich für die hier gezeigten Verfahren und Systeme folgende spezifische Energieverbrauchszahlen.

Tabelle 7: RWE1, RWE2 und RWE4 - Vergleich der spezifischen Energieverbrauchskennzahlen

							nach KTBL Heft 103
	RWE1 2014	RWE1 2015	RWE2 2014	RWE2 2015	RWE4 2014	RWE4 2015	
	[kWh/TP*a]						
Verbraucher/Stallart	FE						
Lüftung	1,7	2,0	3,1	3,8	6,8	6,1	9,0
Futteraufbereitung	-	-	•	-		-	3,4
Fütterung (Futteraufbereitung)	0,4	0,4	1,8	1,8	4,3	4,8	0,3 (3,4)
Beleuchtung (SA-BE inkl. Licht im Deckzentrum)	2,8	2,6	0,9	1,1	-	-	3,4
Sonstiges (Reinigung, Entmistung)	0,1	0,1	0,2	0,2	1	-	5,6
Gesamt	5,1	5,0	6,0	6,8	11,0	10,9	21,4

2.3.3 Kühlsysteme in der Milchviehhaltung

Zum Abschluss dieses Kapitels werden die Milchviehbetriebe BeSte6 und BeSte7 betrachtet. In beiden Betrieben sind Smart-Meter an den Verbrauchern Milchkühlung angeschlossen (vgl. Tabelle 2.1). Die Grundlagen zur Milchviehwirtschaft und deren Hauptstromverbraucher sind in Band I Kapitel 6.1.1. beschrieben. In beiden Betrieben wird das Prinzip der Direktkühlung mit Plattentauscher/Wasservorkühlung eingesetzt. Die Leistung der Kompressoren ist mit 6 kW für den Betrieb BeSte6 und mit 3 kW für den Betrieb BeSte7 angegeben. Die monatlichen Stromverbräuche sind in Abbildung 17 dargestellt.

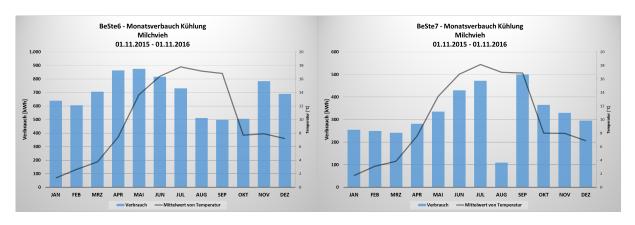


Abbildung 17: BeSte6 und BeSte7 - Monatlicher Stromverbrauch zur mittleren Außentemperatur

Aufgrund der Leistungsdifferenz von 3 kW ist bereits davon auszugehen, dass der Verbrauch vom Betrieb BeSte6 entsprechend höher ausfällt. Abbildung 17 kann entnommen werden, dass der monatliche Verbrauch von BeSte6 im Schnitt 686 kWh (ca. 23 kWh pro Tag) und von BeSte7 im Schnitt 322 kWh (ca. 11 kWh pro Tag) beträgt. Unter Berücksichtigung der gemittelten Temperaturkurve fällt auf, dass nur beim Betrieb BeSte7 ein erkennbarer Zusammenhang zwischen zunehmender Außentemperatur und erwartungsgemäß höherer Leistungsaufnahmen bzw. eines steigenden Stromverbrauchs der Kühlung besteht. Der Monat August widerspricht wiederum dieser Aussage. Der Einbruch des Verbrauchs in diesem Monat ist allerdings auf die Betriebsferien zurückzuführen. Ein ähnliches Phänomen ist ebenfalls beim Betrieb BeSte6 in den Monaten August bis Oktober festzustellen. Hinzu kommt, dass ein jahreszeitlicher Zusammenhang zwischen Stromverbrauch und Außentemperatur nur bedingt zu erkennen ist. Als erster Erklärungsansatz kann angeführt werden, dass im besagten Zeitraum die durchschnittliche Betriebszeit der Kühlung 4 Stunden pro Tag betrug. Insgesamt war die Kühlung 1.860 Stunden im Betrachtungszeitraum im Betrieb, bezogen auf ein Jahr entspricht das ca. 5 Stunden pro Tag. Demnach ist der geringere Verbrauch in dem Zeitraum August bis Oktober unter anderem auf die geänderte Laufzeit der Kühlung zurückzuführen. Gründe für eine Änderung der Betriebszeit liegen zum Zeitpunkt der Berichterstellung allerdings noch nicht vor und müssen
durch weitere Rücksprachen mit dem Landwirt abschließend geklärt werden. Die Kühlung von BeSte7 war im Betrachtungszeitraum insgesamt 1.531 Stunden im Betrieb
und davon ungefähr 4 Stunden pro Tag. Im August lag die durchschnittliche Betriebszeit bei ca. 1,26 Stunden pro Tag. Die sich ergebenen saisonalen gemittelten Lastprofile für beide Betriebe sind Abbildung 18 aufgetragen.

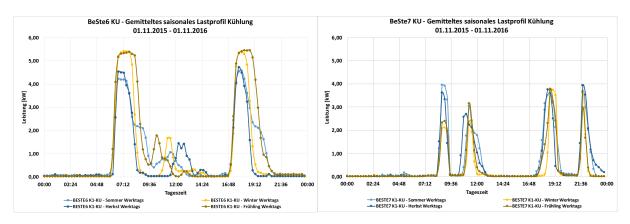


Abbildung 18: BeSte6 und BeSte7 - Gemittelte saisonale Tageslastprofile Kühlung

Die angesprochene Problematik der geringeren Verbräuche in der Sommerperiode spiegeln sich vor allem in den Lastprofilen des Betriebes BeSte6 entsprechend wider. Hervorzuheben sind die Zeitpunkte der Leistungsaufnahme. Im Betrieb BeSte6 steigt die Leistung in der Regel zwischen 06:00 - 10:00h und 17:00 - 21:00h an. An vereinzelten Tagen sind zudem Leistungsaufnahmen während der Mittagszeit aufgetreten. Beim Betrieb BeSte7 fallen die kurz hintereinander auftretenden Leistungsspitzen im Zeitraum 08:00 - 09:30h, 10:30 - 12:30h und 18:00 - 19:30h sowie 21:00 - 22:30h auf. Abschließend sind aus Tabelle 8 die Energieverbrauchskennzahlen zu entnehmen. Die Kennzahlen des KTBL werden dabei von beiden Betrieben unterboten, BeSte7 wiederum hat einen 30% geringeren tierplatzbezogenen Energieverbrauch wie BeSte6. Bezogen auf den Liter Milch lässt sich für BeSte6 ein spezifischer Verbrauch von 10,8 Wh/Liter*a und für den Betrieb BeSte7 von 7,6 Wh/Liter*a festhalten.

Tabelle 8: BeSte6 und BeSte7 - Vergleich der spezifischen Energieverbrauchskennzahlen

	BeSte6	BeSte7	nach KTBL Heft 103
	01.11.2015 - 01.11.2016	01.11.2015 - 01.11.2016	
	[kWh/TP*a]	[kWh/TP*a]	[kWh/TP*a]
Verbraucher/Stallart	KU	KU	KU
Kühlung	91,5	64,5	132,9
Gesamt	91,5	64,5	443,0

2.4 Beispiel für Lastverschiebung in einem Milchviehbetrieb durch Kombination aus einer Photovoltaikanlage und eines Eiswasserkühlsystems

Insgesamt sind in vier unterschiedlichen Milchviehbetrieben Smart-Meter installiert. Für die vorliegende beispielhafte Simulation wird einer dieser Betriebe ausgewählt und die aufgezeichneten Smart-Meter Daten analysiert. Die Auswahl des Betriebes erfolgt sowohl über die Vollständigkeit der vorliegenden Betriebsdaten als auch über die Anzahl der Messstationen und die Qualität der gesammelten Datenreihen. Aufgrund dieser Kriterien wird der Hof BeSte8 (siehe Tabelle 2.1) ausgewählt. Eine Übersicht der wichtigsten Eckdaten des Betriebes sind in Tabelle 9 aufgeführt.

Tabelle 9: BeSte 8 - Betriebsdaten

Betriebsdaten - BeSte 8					
Anzahl Tiere:	180				
Produzierte Milchmenge:	ø 9.500 Liter/Kuh und Jahr				
Tagesproduktion:	ø 4.600 Liter/Tag				
Milchtankvolumen:	11.000 Liter				
Art des Melkstandes:	Karussell				
Gemessener Stromverbrauch:	49.836 kWh/a				
Anzahl installierte Smart-Meter:	5				

Auf Basis der gesammelten Smart-Meter Daten kann ein monatliches Verbrauchsprofil für die einzeln gemessenen Verbraucher erstellt und daraus die anteiligen Stromverbraucher abgeleitet werden (vgl. Abbildung 19 und Abbildung 20).

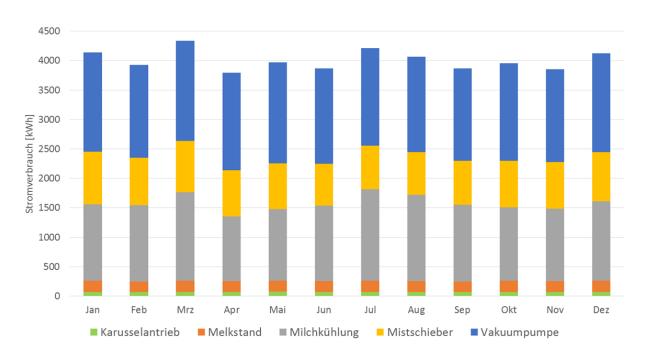


Abbildung 19: BeSte 8 - Monatlicher Stromverbrauch

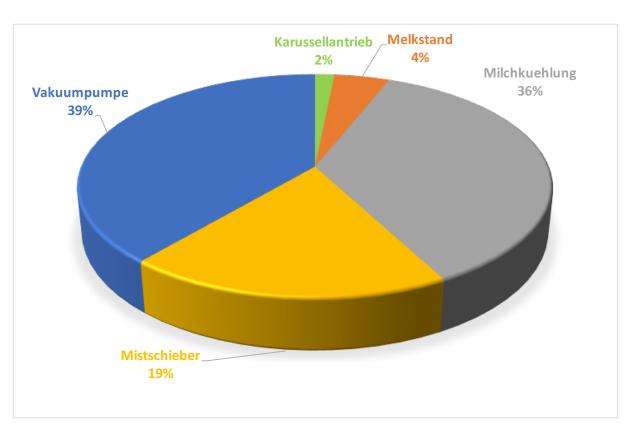


Abbildung 20: BeSte 8 - Anteiliger Stromverbrauch

Durch die Bildung und den Vergleich der tierspezifischen Energieverbrauchszahlen mit den abgeleiteten Kennzahlen der KTBL kann eine erste Überprüfung der Plausibilität der Daten vorgenommen werden. Des Weiteren wird bereits ersichtlich, dass der Betrieb BeSte8 im Bereich der Kühlung und Milchgewinnung den erwarteten Energiebedarf der KTBL unterbietet und dieser Bereich erwartungsgemäß den anteilig größten Energiebedarf mit 79% (Summe aus Vakuumpumpe, Melkstand und Milchkühlung) aufweist.

Tabelle 10: BeSte 8 - Vergleich der spezifischen Energieverbrauchskennzahlen

	BeSte8 01.11.2015 - 01.11.2016	nach KTBL Heft 103 [kWh/TP*a]
Verbraucher/Stallart	KU	KU
Lüftung	-	44,3
Fütterung (Futteraufbereitung)	-	4,4
Beleuchtung	-	70,9
Kühlung	100,3	132,9
Milchgewinnung	124,0	159,5
Sonstiges (Reinigung, Entmistung)	52,5	31,0
Gesamt	276,9	443,0

Das Diagramm in Abbildung 21 zeigt den durchschnittlichen Tageslastgang aller angeschlossenen Geräte und den aufsummierten Gesamtlastgang (Gesamtkurve) über den Tag.

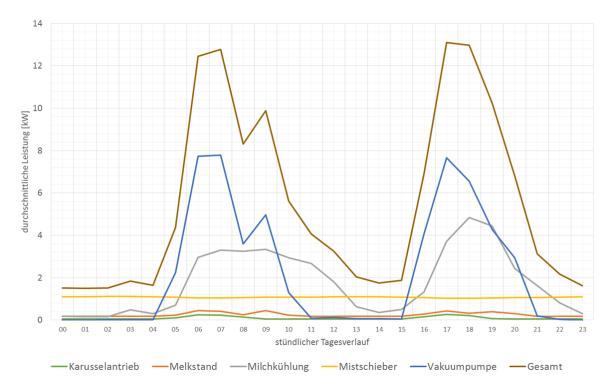


Abbildung 21: BeSte 8 - Typischer Tageslastgang

Deutlich zu erkennen sind die beiden Melkzeiten von ca. 4 bis 10 Uhr und von ca. 15 Uhr bis 21 Uhr. Zu diesen beiden Melkzeiten sind die größten Verbraucher die Vakuumpumpe und die Milchkühlung. Alle anderen Komponenten haben entweder nur einen sehr kleinen Einfluss auf das Lastprofil oder laufen, wie beispielsweise der Mistschieber kontinuierlich und bieten daher kein Potenzial für eine Verschiebung der Last in eine andere Tageszeit an. Zwischen den beschriebenen Lastspitzen bricht die Lastkurve ein und der Energieverbrauch geht deutlich zurück. Der Verlauf in Abbildung 21 spiegelt einen typischen Lastgang eines Milchviehbetriebes wieder, wie er auch in der der Auswertung von Lastgängen der Landwirtschaftskammer NRW zu finden ist. [9] Jahreszeitliche Schwankungen der Leistungsaufnahmen konnten in einem sehr geringen Maß festgestellt werden, wodurch diese zu vernachlässigen sind. Die täglichen Leistungsaufnahmen der gemessenen Komponeten sind nahezu gleich.

Aufgrund der oben angeführten Erkenntnisse bieten die Vakuumpumpe und das Kühlsystem die größten Möglichkeiten zur Lastverschiebung und Verbesserung des Eigenverbrauchsanteils. Da es sich bei der installierten Vakuumpumpe um eine dem Stand der Technik entsprechende Pumpe mit Frequenzsteuerung handelt, ist das Einsparpotential an dieser Stelle allerdings begrenzt. Bei der Milchkühlung handelt es sich um eine Direktkühlung die ebenfalls dem Stand der Technik entspricht. Als Kühlsystem kommt jedoch neben der Direktkühlung auch ein Eiswasserkühlsystem in Frage. Diese haben zwar insgesamt bei gleicher Kühlleistung einen höheren Energiebedarf, es bietet sich jedoch die Möglichkeit durch zeitunabhängiges "aufladen" des Eiswasserkühltanks eine Lastverschiebung vorzunehmen und so die Sonnenstunden besser zu nutzen. [10] [8] Aufgrund des erwähnten Rückgangs der Lastkurven während der Mittagsstunden bietet sich eine Kombination der Eiswasserkühlung mit einer Photovoltaik-Anlage als Optimierungsmöglichkeit besonders an. Das Potential dieser Kombination wird im folgenden Kapitel näher betrachtet.

2.4.1 Potential der Eiswasserkühlung

Um die Glättung des Lastprofiles zum Zeitpunkt der beiden energieintensiven Melkzeiten zu erreichen wird eine Eiswasserkühlung eingesetzt. Diese bietet die Möglichkeit den benötigten Kühlbedarf im Vorhinein einzuspeichern. Bei der Eiswasserkühlung wird, anders als bei der Direktkühlung, Eis genutzt, um bei Abgabe der Schmelzenthalpie, die Wärme dem zu kühlenden Medium zu entziehen und somit die gewünschte Solltemperatur zu erreichen. Das benötigte Eis wird elektrisch erzeugt und in einem Speicher zwischengelagert bis es benötigt wird. Durch den Einsatz des Eisspeichers

entfallen die hohen Lastspitzen zu den Melkzeiten und können somit in andere Tageszeiten verschoben werden, wodurch eine Lastverschiebung erreicht wird. Beispielsweise könnte sich die Eisproduktion nach günstigen Preissignalen der Stadtwerke oder des Energieversorgers richten. Für die Auslegung der Eiswasserkühlung wird über die produzierte Milchmenge in Litern pro Tag der benötigte Kühlbedarf berechnet. Dieser beträgt für den Referenzhof eine elektrische Energiemenge von 17,5 kWh pro Tag. Anhand dieses Wertes wurde das Eisspeichersystem ausgelegt und für die weitere Simulation verwendet. Ebenfalls wurden mehrere Hersteller kontaktiert, um genauere Auslegungsparameter zu erhalten. Die Resonanz der kontaktierten Hersteller war gering, es konnten aber ungefähre Investitionskosten für die ausgelegte Anlagenvariante in Erfahrung gebracht werden. Diese wurden für die Wirtschaftlichkeitsberechnung in Kapitel 2.4.3 berücksichtigt.

In Abbildung 22 ist eine generierte Lastkurve für die ausgelegte Eiswasserkühlung in Kombination mit einer Einstrahlungskennlinie exemplarisch für eine 25 kW_P Photovoltaikanlage dargestellt. Als Grundlage für die Lastkurve der Eiswasserkühlung wurde die gemessene Lastkurve der Direktkühlung mit 20% beaufschlagt. [10]

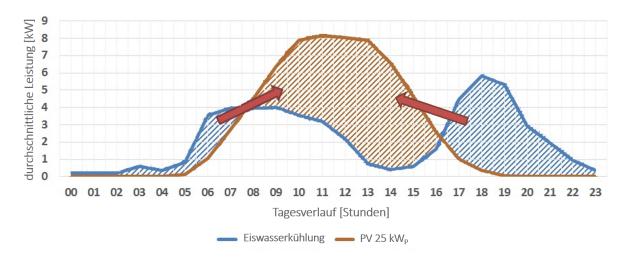


Abbildung 22: BeSte8 - Durchschnittliches Tageslastprofil für eine kombinierte PV-Eiswasserkühlung Die Idee ist es, die überschüssige Energie der Tagesstunden zu nutzen, um die Kühlung (Erzeugung von Eis) damit zu betreiben. Dies soll durch die Pfeile in Abbildung 22 verdeutlicht werden. Dabei soll der Energiebedarf für die Milchkühlung in die Mittagszeit verlagert werden, um den selbstproduzierten Solarstrom zu nutzen.

2.4.2 Simulation der Photovoltaikanlage

Damit das größtmögliche Einsparpotential der Eiswasserkühlung in Kombination mit einer Photovoltaikanlage ermittelt werden kann, werden drei Anlagen unterschiedlicher Größenordnung mit dem Simulationsprogramm PV-SOL¹ simuliert und anschließend das jeweils mögliche Einsparpotential bewertet. Die Ausrichtung der Anlagen ist in Süd-Richtung bei einem optimalen Neigungswinkel von 30° für Photovoltaikanlagen gewählt. [11]

Die kleinste der drei Anlagen (25 kW_P) wird dabei so ausgelegt, dass eine vollständige Abdeckung der Eiswasserkühlung gewährleistet ist. Die mittlere Anlage (50 kW_P) ist in der Lage den Bedarf der beiden größten Verbraucher (Eiswasserkühlung und Vakuumpumpe) abzudecken. Die größte der drei Anlagen orientiert sich an der maximal nutzbaren Dachfläche des betrachteten Betriebes (250 kW_P). Um die Simulationsergebnisse möglichst realitätsnah zu halten werden die in PV-SOL für das Jahr 2015/2016 hinterlegten Einstrahlungsdaten am Standort des Betriebes verwendet. Ferner werden die mit Hilfe der Smart-Meter-Daten erstellten Lastprofile in das Programm eingelesen und sowohl um ein Standardlastprofil für einen Einfamilienhaushalt als auch mit einem erstellten Lastprofil für die Beleuchtung nach KTBL Heft 4 ergänzt.

Die aus der Simulation gewonnenen Erzeugungsprofile der unterschiedlichen Photovoltaikanlagen werden mit den Lastprofilen verrechnet. Somit kann eine Aussage über
ein realisierbares Einspar- bzw. Verbesserungspotential des Eigenverbrauchsanteils
und Autarkiegrads getroffen werden. Eigenverbrauch von Solarstrom bedeutet, dass
der täglich durch Solaranlagen selbst erzeugte Strom direkt vor Ort genutzt und nicht
ins öffentliche Stromnetz eingespeist wird. Der Autarkiegrad hingegen zeigt auf, zu
welchem Anteil sich ein Haushalt oder Betrieb selbst mit Strom aus der eigenen Solarstromanlage bezogen auf den jährlichen Gesamtstromverbrauch versorgen kann.
Ein Autarkiegrad von 100% würde also bedeuten, dass sich ein Stromkunde vollkommen vom Netzbetreiber abkoppeln könnte um sich selber mit Strom zu versorgen. [11]

Als Voraussetzung wird eine vollständige Abdeckung des Energiebedarfs der Eiswasserkühlung mit Hilfe des generierten Solarstroms festgelegt. Hierfür wurde experimentell eine Befüllungspriorität des Eiswasserspeichers bis 66% des Speichervolumens

¹ Dynamisches Simulationsprogramm zur Auslegung und Optimierung von Photovoltaik-Anlagen mit Speicherung in Batteriesystemen [http://www.valentin-software.com/produkte/photovoltaik/55/pvsol]

festgelegt. Somit ist eine vollständige Abdeckung des Kühlbedarfs durch die Eiswasserkühlung über das gesamte Jahr sichergestellt. Ist der Eiswasserspeicher bis zu 66% gefüllt, wird der darüber hinaus generierte Solarstrom den übrigen aktuellen Verbrauchern, gemäß den erstellten Lastprofilen, zugeführt. Sind auch diese abgedeckt wird der Eiswasserspeicher bis zur maximalen Kapazität weiter aufgeladen. Wenn diese erreicht ist, alle anderen Verbraucher abgedeckt sind und die PV Anlage darüber hinaus weitere Energie produziert, so wird der verbleibende Strom in das Netz eingespeist. Die Prioritätenfolge der Solarstromverwendung ist in Abbildung 23 zu sehen.

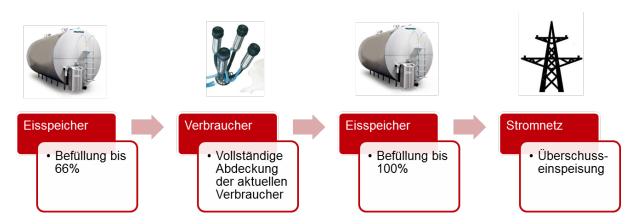


Abbildung 23: BeSte8 - Verteilung des Solarstroms gemäß Prioritätenabfolge [eigene Darstellung]

Auf Grundlage der Verteilung des generierten Photovoltaikstroms lässt sich eine Analyse des Eigenverbrauchsanteils und Autarkiegrades durchführen. Um eine Aussage über die Verbesserung mit Hilfe der Eiswasserkühlung im Vergleich zur vorherigen Direktkühlung treffen zu können, wird für die Variante der Direktkühlung der generierte Strom direkt den aktuellen Verbrauchern zugeführt und der darüber hinaus generierte Strom in das öffentliche Netz eingespeist. Der Vergleich der so ermittelten Eigenverbrauchsanteile und des Autarkiegrads ist in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: BeSte8 - Vergleich Direktkühlung und Eiswasserkühlung mit PV-Anlagen-Varianten auf Basis des Gesamtenergieverbrauchs des Betriebs (= 100%)

PV-Anlagen- Variante	Direktkühlung - Eigenverbrauchsanteil [%]	Direktkühlung - Autarkiegrad [%]	Eiswasserkühlung - Eigenverbrauchsanteil [%]	Eiswasserkühlung - Autarkiegrad [%]
25 kWp	52,08	18,15	80,67	41,19
50 kWp	35,96	25,07	69,54	46,22
250 kWp	11,27	39,29	16,83	55,94

Durch die größte simulierte Anlage (250 kW_P) in Kombination mit einer Eiswasserkühlung wird eine Verbesserung des Autarkiegrads von 16,65% erzielt, der Eigenver-

brauchsanteil ist jedoch am geringsten, sowohl mit Direktkühlung als auch mit simulierter Eiswasserkühlung. Aufgrund der Überdimensionierung wird im Mittel deutlich mehr Strom produziert als selbst verbraucht werden kann, dennoch kann der Eigenverbrauchsanteil durch die Eiswasserkühlung um 5,56% gesteigert werden. Für die 50 kW_P Variante wurde eine Steigerung des Autarkiegrads von 21,15% verzeichnet. Der Eigenverbrauchsanteil steigt im Vergleich mit der Direktkühlung um 33,58%. Die Simulation der 25 kW_P Anlage hat ergeben, dass der Autarkiegrad um 23,04% und der Eigenverbrauchsanteil um 28,59% ansteigt. Anhand der Simulationsergebnisse wird bereits deutlich, dass die Kombination aus Eiswasserkühlung und einer PV-Anlage die erwarteten Steigerungen, sowohl des Eigenverbrauchsanteils als auch des Autarkiegrads, zur Folge haben. Zur weiteren Entscheidungshilfe wird eine Wirtschaftlichkeitsberechnung durchgeführt, um die Optimale Anlagenkonfiguration festzulegen. Diese ist im folgenden Kapitel beschrieben.

2.4.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Neben der Simulation und technischen Machbarkeit ist die Wirtschaftlichkeit des Systems betrachtet worden. Dabei setzen sich die Investitionskosten (kapitalgebundenen Kosten) aus der Eiswasserkühlung und der Photovoltaikanlage mit allen notwendigen Komponenten zusammen. Durch Kontakt mit einem Hersteller für Eiswasserkühlsysteme werden für die Anlage ca. 9.000€ Investitionskosten angesetzt. [12]

Die Kosten für die Photovoltaikanlage sind über spezifische Kosten pro Anlagenleistung ermittelt worden. Der Systempreis der Photovoltaikanlage beinhaltet, die Anlieferung und Montage sowie alle notwendigen Komponenten, wie beispielsweise Wechselrichter, Halterungen und Verkabelungen für die Module. In Tabelle 12 sind die Systempreise für Photovoltaikanlagen aufgelistet, dabei handelt es sich um Nettopreise.

Tabelle 12: Systempreise Photovoltaikanlage nach Leistung [13]

Anlagenleistung	Systempreis
bis 3 kW _P	1.761 €/kW _P
3 kW _P bis 10 kW _P	1.607 €/kW _P
10 kW _P bis 100 kW _P	1.409 €/kW _P
bis 300 kW _P	1.199 €/kW _P

Weiterhin sind jährliche laufende Kosten (betriebsgebundene Kosten) mit in der Berechnung berücksichtig worden. Diese setzten sich aus Wartungs- und Instandhaltungskosten mit einem Anteil von 1,5% der Investitionskosten zusammen. Ebenfalls sind Reinigungskosten für die Photovoltaikmodule, durch Verschmutzung, mit 2,50€ pro Quadratmeter Modulfläche angesetzt. Darüber hinaus noch eine Versicherung für die Photovoltaikanlage in Höhe von 350€ pro Jahr. [14]

Mithilfe der simulierten Werte für die Stromerzeugung aus PV-SOL konnten eigene Berechnungen für die Ersparnis durch den Einsatz des Eisspeichers mit günstigem Solarstrom kalkuliert werden. Die durch die Bundesregierung über das Erneuerbare-Energien-Gesetz feste Einspeisevergütung wird ebenfalls berücksichtigt². [15] Darüber hinaus wird über den Betrachtungszeitraum von 20 Jahren ein Mittelwert für die Strompreisentwicklung gebildet, der sich aus Kennwerten einer Prognose-Studie des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie bildet³. [16] Unter Betrachtung der im Vorfeld aufgeführten Parameter sind aus den kapitalgebundenen Investitionskosten und den jährlichen betriebsgebundenen Kosten sowie den Einnahmen und Ersparnissen durch den Betrieb des Systems eine Amortisationszeit berechnet worden (siehe Tabelle 13). Dabei stellte sich heraus, dass das System mit der 25 kW_P Photovoltaikanlage, die kürzeste Amortisationszeit von ungefähr 13 Jahren aufweist. Die simulierten Systeme mit einer größeren Photovoltaikanlage übersteigen schnell den angesetzten Betrachtungszeitraum von 20 Jahren, aufgrund Ihrer hohen Investitionskosten⁴.

Tabelle 13: BeSte 8 - Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Leistung	Überschuss- einspeisung	Einspeise- vergütung	Gesamt Ersparnis	Laufende Betriebskosten	Gewinn (Verlust)	Amortisation
[kW _P]	[kWh/a]	[€/a]	[€/a]	[€/a]	[€/a]	[a]
25,00	13.429,87	1.145,01	9.190,99	5.833,75	3.357,24	13,17
50,00	32.616,74	2.780,86	11.808,79	11.317,50	491,29	161,72
250,00	206.875,94	18.436,97	29.362,66	47.312,50	-17.949,84	Kosten>Ersparnisse

Die Plausibilitätsprüfung der gemessenen Smart-Meter Messdaten und die darauf aufbauenden Analysen der Verbräuche der Komponenten hat gezeigt, dass diese sowohl mit den Kennzahlen der KTBL als auch mit einer Auswertung der Landwirtschaftskammer NRW übereinstimmen. Dennoch gilt zu beachten, dass es eine Vielzahl an Komponenten oder Geräten gibt, die nicht über die Smart-Meter erfasst werden. In den

² EEG-Vergütung (ab 01.09.2016): 8,53 ct/kWh

³ Preisentwicklungsprognose nach BMWI (2015-2035) – Mittelwert 0,287095238 [€/kWh]

⁴ Gesamtinvestitionskosten: 25 kW_p 44.225€; 50 kW_p 79.450€; 250 kW_p 308.750€

Betriebsdaten ist für den gesamten Betrieb ein Verbrauch von rund 92.000 kWh pro Jahr angegeben und durch die fünf angeschlossenen Smart-Meter wurden innerhalb eines Messzeitraums von 12 Monaten ungefähr 48.000 kWh pro Jahr erfasst. Die Differenz bietet gegebenenfalls weitere Möglichkeiten für Lastverschiebungspotenziale in diesem Betrieb, die identifiziert und anschließend nutzbar gemacht werden könnten.

2.4.4 Diskussion der Ergebnisse und Fazit

Die Ergebnisse der Simulation der unterschiedlich großen Photovoltaikanlagen hat gezeigt: "Je größer die Anlage, desto größer ist der Anteil der Energie die selbst vor Ort genutzt werden kann". Aber unter Betrachtung der Wirtschaftlichkeit kann nur die kleinere Photovoltaikanlage mit 25 kWP als sinnvoll erachtet werden, da diese eine Amortisationszeit von ca. 13 Jahren aufweist und somit innerhalb des Betrachtungszeitraums von 20 Jahren liegt. In der Wirtschaftlichkeitsberechnung wurden bereits viele Parameter berücksichtigt, wie zum Beispiel die Entwicklung der zukünftigen Strompreise und laufende Kosten, trotzdem handelt es sich bei der Berechnung um eine erste überschlägige Abschätzung der Kosten inklusive der Einnahmen. Da jeder Betrieb über andere Komponenten verfügt und daher eventuell angepasste Systemlösungen benötigt, variieren aus diesem Grund auch die Investitionskosten für die Systeme. Eine genaue Wirtschaftlichkeitsanalyse unter Berücksichtigung von aktuellen Zinskonditionen sowie von aktuellen Preisen für das benötigte System, die in der Regel nur direkt beim gewünschten Händler eingeholt werden können, ermöglichen eine Einzelfallkalkulation. Hervorzuheben ist allerdings, dass die Ergebnisse der Simulation und die daraus resultierenden Erkenntnisse auf andere Betriebe der Milchviehwirtschaft in Teilen übertragbar sind. Des Weiteren gilt zu beachten, dass die simulierte Photovoltaikanlage anhand der örtlichen Lage der Stallgebäude ausgerichtet wurde. Bei abweichenden örtlichen Gegebenheiten können daher die produzierbaren Strommengen geringer ausfallen und damit auch die Wirtschaftlichkeit negativ beeinflussen.

Fakt ist jedoch, dass die Installation eines Eiswasserkühlsystems in Kombination mit einer PV-Anlage eine praktikable Lösung darstellt um Lastverschiebungen durchzuführen. Die Simulation des Eisspeichersystems in Kombination mit einer auf den Betrieb angepassten Photovoltaikanlage hat gezeigt, dass ein wirtschaftlicher Betrieb möglich ist. Dabei sollte aber nicht außer Acht gelassen werden, dass jeder landwirtschaftliche Betrieb anders aufgebaut ist und über unterschiedliche Betriebszeiten und andere Systeme verfügt, die in Ihrer Leistung und Effizienz stark variieren können.

Daher sollte jeder Betrieb, separat auf seine Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit untersucht werden, da sich zusätzlich die Einspeisevergütungen ständig ändern. Dabei kann die hier erarbeitete Vorgehensweise zur Analyse und Auswertung der Smart-Meter Messdaten genutzt werden und soll als Leitfaden für die weitere Betrachtung von anderen landwirtschaftlichen Milchbetrieben zur Identifizierung von Lastverschiebungspotenzialen dienen.

2.5 Ergänzende Messungen mit Strommesszange im Betrieb BeSte4

Im Betrieb BeSte 4 sind Smart-Meter an den Verbrauchern Milchkühlung und Melkroboter installiert worden. Der im Betrieb eingesetzte Melkroboter kann den Melkprozess völlig autonom durchführen. Wenn eine Kuh den Roboter betritt, schließt sich das Tor. Dann fällt Kraftfutter in eine Futterschale. Während die Kuh im Roboter ist, wird der Euter per Laser, Ultraschall oder Wärmebildkamera vermessen. Danach steckt der Melkroboter das Melkgeschirr nacheinander an die vier Zitzen des Euters und beginnt mit dem melken. Vor dem Melken werden die Zitzen im Melkbecher gereinigt. Sinkt der Milchfluss pro Minute für jede der Zitzen unter einen bestimmten Wert, so wird das Melken beendet. Nachdem das Melkgeschirr abgenommen wurde, wird die Kuh vom Melkroboter entlassen. In diesen modernen Melkständen ist für die zahlreichen Teilprozesse der Einsatz von Druckluft erforderlich. Neben dem Öffnen und Schließen der Tore stellt der Druckluftbedarf der Sortierschleusen oder des automatischen Melkgeschirrs eine entscheidende Größe dar. Um den Prozess der Milchgewinnung im Betrieb BeSte4 weiter differenzieren zu können, wurde daher eine Strommesszange der Firma Ahlborn Mess- und Regelungstechnik GmbH am Druckluftkompressor angeschlossen, der die angesprochene Hilfsenergie für den Melkroboter zur Verfügung stellt. Somit kann der gesamte Energieaufwand des Milchgewinnungsprozesses erfasst und ausgewertet werden.

2.5.1 Beschreibung des Datenlogger ALMEMO® 710

Im Folgenden wird der ALMEMO 710 Datenlogger beschrieben. Abbildung 24 zeigt die Bedienelemente des Datenloggers. Unter 1) sind Messbuchsen M0 bis M9 zu sehen. Hier können die entsprechenden ALMEMO Sensoren platziert werden. Darauffolgend sind unter 2) die Ausgangsbuchsen A1, A2 und A3 angeordnet. Über diese Ausgangsbuchsen ist eine digitale Schnittstelle, ein Speicherstecker, ein Analogausgang, ein Triggereingang sowie Alarmkontakte anschließbar. Die Ausgangsbuchse A1 stellt eine

USB Schnittstelle dar. A2 ist ein Steckplatz für das Netzwerkkabel. Einfaches Aneinanderstecken mit Netzwerkkabeln ermöglicht eine Vernetzung mehrerer Geräte. Für eine Verbindung mit einer SD-Card ist die Ausgangsbuchse A3 vorgesehen. Der Netzadapter für die Stromversorgung 3) ist mit dem Kürzel DC gekennzeichnet. Rechts daneben befindet sich ein Notausschalter 4). Links neben dem Display des Datenloggers sind unter 5) Kontrolllampen zur Funktionsüberwachung während des Betriebes angebracht. Unter den Kontrolllampen befinden sich drei Touchtasten zur schnellen Bedienung des Gerätes. Für detailliertere Eingaben kann das Touchscreen Bedienfeld genutzt werden. [17]

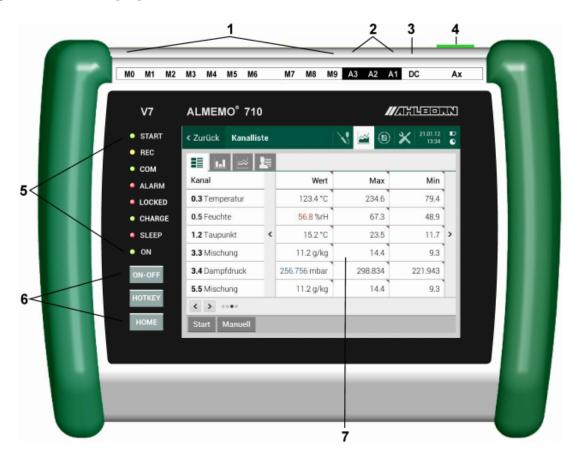


Abbildung 24: Bedienelemente des ALMEMO 710 [17]

Die Messwerte lassen sich wahlweise als Liniendiagramm, Balkendiagramm, Messwertliste oder Einzelausgabe anzeigen. Mittels 8MB Flash-Speicher lassen sich je nach eingestelltem Messintervall bis zu 1,5 Mio. Datensätze anlegen. Der Speicher kann hierbei als Linear- oder Ringspeicher eingestellt werden. Durch die ALMEMO-Stecker werden die Messkanäle automatisch programmiert. Über den Touchscreen kann die Programmierung jedoch beliebig ergänzt oder geändert werden. [17]

Das Starten und stoppen der Messung kann über die Tastatur, die Schnittstelle, ein externes Triggersignal oder eine Zeitsteuerung erfolgen. Für die Ausgabe der Messwerte auf die Schnittstelle oder den Speicher ist der Ausgabezyklus zwischen 1 s und 59 h, 59 min und 59 s programmierbar. [17]

2.5.2 Einbau und Initialisierung der Messung

Im Rahmen des Projektes ist in dem Betrieb BeSte4 bereits eine Smart-Meter Erfassung der Kühlleistung und Melkroboterleistung angebracht (vgl. Tabelle 2.1). Zur Ergänzenden Messung wird ein weiterer Messpunkt zu Erfassung der Leistung des Druckluftkompressors (siehe Abbildung 25) eingeführt. An diesem Messpunkt wird über den ALMEMO Datenlogger die benötigte Energie des Kompressors erfasst. Der Kompressor stellt die benötigte Druckluft zum Betrieb des Melkroboters zur Verfügung.



Abbildung 25: BeSte4 - Messpunkt Datenlogger ALMEMO 710 (eigenes Bild)

Für den Datenloggerbetrieb wird das Messgerät an einer trockenen und geschützten Stelle platziert. Zur Sicherstellung der Stromversorgung wird das Netzteil des Datenloggers mit dem Stromnetz verbunden. Die entsprechenden Strommesszangen des Datenloggers werden um die einzelnen Phasenkabel der Stromaufnahme des Kompressors installiert. Hierzu wird eine Messbox der TH Köln verwendet. Mit dieser Messbox können die einzelnen Phasen des Starkstromkabels freigelegt werden. Im Anschluss wird das Messgerät eingeschaltet und über die entsprechende Kurzwahltaste das Datenlogger-Menü aufgerufen. Unter dem Punkt "Zyklische Messung" wird der Speicherzyklus auf eine 10-sekündige Messung eingestellt. Nach Rücksprache mit

dem Landwirt soll der Kompressor ca. alle 15 Minuten für ungefähr zwei Minuten anspringen, daher kann der Leistungsbedarf aufgrund der gewählten Einstellung möglichst genau erfasst werden. Die Parameter der Messzangen werden entsprechend nach Einbaustelle auf Phasenspannung (Volt) oder Leiterstrom (Amper) eingestellt. Nach Einstellung der Parameter kann die Messung über den Touchscreen gestartet werden. Die Messkonfigurationen können während der laufenden Messung auf dem Display des Datenloggers eingesehen werden (siehe Abbildung 26). [17]

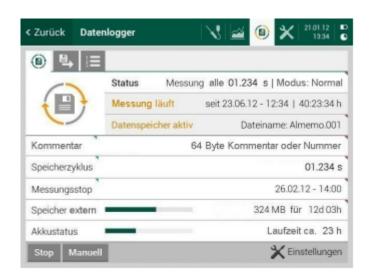


Abbildung 26: Darstellung Messbetrieb [17]

Da die Sensoren des ALMEMO-Systems für die Leistungsmessung bereits vorprogrammiert sind, muss nur eine Ablaufsteuerung konfiguriert werden. Bei Laufender Messung wird permanent der Status der Messung angezeigt. Des Weiteren kann eingesehen werden, wie viel Speicher bei der gewählten Abtastrate zur Verfügung steht. [17]

2.5.3 Datenexport und Aufbereitung der Daten

Die Ausgabe der Messwerte kann über ein Speichermedium oder über die USB-Schnittstelle an einen Rechner erfolgen. Die Messdaten können in Excel oder die Messwertsoftware *WinControl* importiert werden. Hierzu wird im Menü des Datenloggers das Symbol "Speicherausgabe" angewählt, unter dem Menüpunkt "Datei auslesen" kann ein entsprechendes "Ausgabe Starten" Symbol angewählt werden. In Tabelle 14 ist ein beispielhafter Datenschrieb aus einer Messung mit dem ALMEMO Datenlogger dargestellt.

MEMORY:		* ALMEMO C	ontrol * Ver.	AC-5.19.1.22	- 12.03.2015 1	.2:57:54 * 09.0	1.2017 17:50:	05
ALMEMO	K:							
V7	BEREICH:	D260	D260	D260	DIGI	DIGI		
710	KOMMENTA	R:			Ueff	Frequenz		
V7	GW-MAX:							
\$000001	GW-MIN:							
DATUM:	ZEIT:	M0.0 A	M1.0 A	M2.0 A	M3.0 V	M3.1 Hz		Leistung
20.10.2016	15:08:12	0	0	0	401	50		0
	15:08:32	0	0	0	401	50		0
	15:08:52	0	0	0	402	50		0
	15:09:08	0	0	0	401	50		0

Tabelle 14: Datentabelle ALMEMO Datenlogger

In der linken Spalte der Tabelle ist ein Zeitstempel zur Zuordnung der entsprechenden Messdaten. Die danebenliegende Zeitspalte gibt das Messintervall des 10-sekündigen Messzyklus wieder. Die darauffolgenden Spalten "M0.0 A" bis "M2.0 A" geben die Werte der Strommessung in Amper der jeweiligen Phase wieder. Im "M3.0 V" wird die gemessene Spannung in Volt angezeigt. Die Spalte "M3.1 Hz" gibt die gemessene Frequenz in Hertz wieder. Die rechte Spalte "Leistung" ist eine ergänzte Funktion um aus den Messdaten mit dem cosφ (Angabe dem Typenschild des Kompressors entnommen) und der untenstehenden Formel die benötigte Leistung des Kompressors zu berechnen. Bei symmetrischer Belastung wird die Wirkleistung mit folgender Formel Berechnet:

Formel 1: Leistung, Wirkstrom und Blindstrom von Drehstrom [18]

$$P = \sqrt{3} * U * I * cos\varphi$$

Für den festgelegten Messzeitraum vom 20.10.2016 bis 26.11.2016 zeigt sich ein Leistungsprofil wie in Abbildung 27.

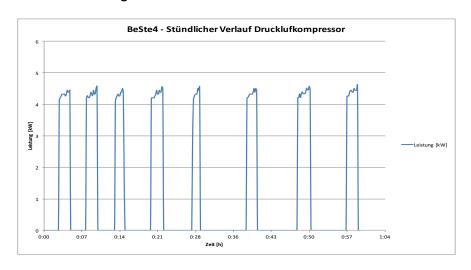


Abbildung 27: BeSte4 - Leistungsprofil Kompressor

Aufgrund des 10-Sekunden Messintervalls ergeben sich pro Tag 8.640 Messpunkte. Die Auswertungen der Daten haben ergeben, dass der Druckluftkompressor alle vier bis sieben Minuten anspringt und eine Leistungsaufnahme über einen Zeitraum von ca. 90 Sekunden gemessen wurde. Die durchschnittliche Leistung beträgt 4,4 kW und die durchschnittliche Betriebszeit pro Tag beträgt sieben Stunden. Dabei wurden insgesamt 1.105 kWh an elektrischer Energie verbraucht, dies entspricht im Mittel 30 kWh pro Tag.

2.5.4 Einordnung der Messdaten

Um die durch die Strommesszange generierten Messdaten in den Gesamtkontext des Betriebes einordnen zu können, werden zunächst die monatlichen Stromverbräuche der an die Smart-Meter angeschlossenen Geräte in Abbildung 28 betrachtet.

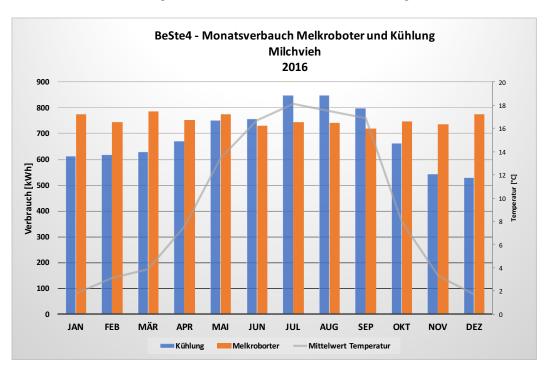


Abbildung 28: BeSte4 - Monatlicher Stromverbrauch

Es fällt auf, dass die Milchkühlung (Direktkühlung mit Plattentauscher/Wasservorkühlung und 3,5 kW Kompressor) nur in den Sommermonaten einen höheren Verbrauch wie der Melkroboter aufweist. Der zunehmende Verbrauch geht zudem mit dem Anstieg der monatlichen Durchschnittsaußentemperatur einher. Im Schnitt verbraucht die Kühlung 689 kWh pro Monat und 23 kWh pro Tag. Der Melkroboter verbraucht hingegen durchschnittlich 751 kWh pro Monat bzw. 25 kWh pro Tag. In der nachfolgenden Abbildung 29 sind die gemittelten Tageslastprofile des Melkroboters und der Milchkühlung aufgetragen.

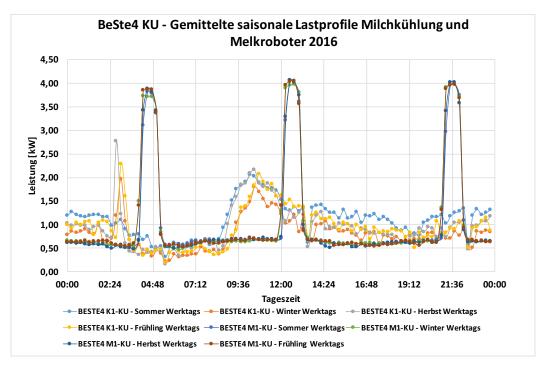


Abbildung 29: BeSte4 - Gemittelte saisonale Tageslastprofile Milchkühlung und Melkroboter

Die drei markanten Peaks in den Morgen-, Mittag- und Abendstunden sind auf die Kochendwasserreinigung des Melkstands (Gesamtleistung von 3,5 kW) zurückzuführen. Der Melkroboter ist 24 Stunden pro Tag im Betrieb und die durchschnittliche tägliche Leistungsaufnahme beträgt 0,65 kW. Jahreszeitliche Schwankungen sind im Gegensatz zur Milchkühlung nicht zu erkennen. Das gemittelte Lastprofil des Messpunkts Milchkühlung zeigt nicht explizit das anspringen der Kühlaggregate. Der gezackte Verlauf lässt sich unter anderem auf die Rührwerke im Milchtank zurückführen. Die Kühlaggregate nehmen dann Leistung auf, wenn nach der Durchmischung der Milch die Solltemperatur (5 bis 6 °C) überschritten wird. Wird trotz zugeführter Milch und anschließender Durchmischung die Solltemperatur im Tank nicht überschritten, dann besteht für das Kühlaggregat keine Notwendigkeit anzulaufen. Da die täglich zugeführten Milchmengen jedoch natürlichen Schwankungen unterliegen, kann für das Kühlaggregat kein eindeutiger Zeitpunkt der Leistungsaufnahme bestimmt werden. Dennoch lässt sich unter Berücksichtigung der täglichen Lastverläufe festhalten, dass zwischen 08:30 – 14:00h das Kühlaggregat die meiste Arbeit verrichtet und in diesem Zeitraum Leistungsaufnahmen zu erwarten sind. Die Peaks in den Nachtstunden ergeben sich durch die regelmäßige Tankspülung mit Warmwasser und sind in den Herbst- und Wintermonaten aufgrund der größeren Temperaturspreizung zur Außentemperatur entsprechend höher.

In Tabelle 15 sind die sich ergebenen spezifischen Energieverbrauchskennzahlen aufgeführt. Dabei wurden die Messdaten des Druckluftkompressors zunächst nicht berücksichtigt. Es ist zu sehen, dass die Richtwerte des KTBL unterschritten werden.

Tabelle 15: BeSte4 - Ver	gleich der spezifischei	n Energieverbrauchskennzahlen

	BeSte4	nach KTBL Heft
	2016	103
	[kWh/TP*a]	[kWh/TP*a]
Verbraucher/Stallart	KU	KU
Kühlung	110,3	132,9
Milchgewinnung	120,3	159,5
Gesamt	230,6	443,0

Unter Berücksichtigung der täglich benötigten Hilfsenergie des Melkstands von ca. 30 kWh pro Tag (Bereitstellung von Druckluft) und einer entsprechenden Hochrechnung auf ein Jahr ergeben sich folgende Kennzahlen (siehe Tabelle 16).

Tabelle 16: BeSte4 - Vergleich der spezifischen Energieverbrauchskennzahlen inklusive Hilfsenergie

	BeSte4 2016 [kWh/TP*a]	nach KTBL Heft 103 [kWh/TP*a]
Verbraucher/Stallart	KU	KU
Kühlung	110,3	132,9
Milchgewinnung (inkl. Hilfsenergie)	266,3	159,5
Gesamt	376,6	443,0

Im Bereich der Milchgewinnung ergibt sich somit ein höherer tierplatzbezogener Energieverbrauchskennwert. Dem KTBL Heft 104 ist für automatische Einzelbox-Melksysteme ein Energiebedarf zwischen 191 – 434 kWh/TP*a zu entnehmen. [10] Somit liegt das Melksystem vom Betrieb BeSte4 unter dem Durchschnitt. Es besteht dennoch Grund zur Annahme, dass der Energiebedarf für den Melkprozess im Betrieb BeSte4 reduziert werden kann. Wie bereits eingangs des Kapitels angesprochen ist der Druckluftbedarf eine entscheidende Größe bei der Betrachtung des energetischen Aufwands zur Milchgewinnung. Anhand der durch die Strommesszange generierten Daten konnten die Arbeitszeitpunkte des Druckluftkompressors (alle 4 bis sieben Minuten für ca. 90 Sekunden im Betrieb) festgestellt und der Energieverbrauch ermittelt werden. Aufgrund der Tatsache, dass der Melkroboter 24 Stunden pro Tag im Betrieb ist und der Druckluftbedarf entsprechend hoch ausfällt, gilt es zu prüfen, ob die Arbeitsintervalle des Druckluftkompressors durch einen größeren Druckluftvorratskessel vergrößert

werden können. Dadurch könnte die tägliche Gesamtbetriebszeit von ca. sieben Stunden reduziert und der Energiebedarf dementsprechend gesenkt werden. Dennoch muss berücksichtigt werden, dass durch den Einsatz eines vollautomatisierten Melkroboters eine nicht unerhebliche Arbeitszeitersparnis erreicht wird. In anderen Melksystemen (z.B. Melkkarussell wie bei BeSte8) werden für das Anlegen des Geschirrs, Vorreinigen der Euter und Anmelken der Kuh Mitarbeiter benötigt. Dem KTBL liegen die Daten für den Energiebedarf automatischer Melksysteme nicht im gleichem Umfang vor wie für die konventionellen Melksysteme. [10] Daher ist ein Vergleich der Kennzahlen nur bedingt möglich. Die Arbeitszeitersparnis eines automatisierten Melksystems geht zu Lasten eines höheren Energieverbrauchs. Ein aussagekräftiger Vergleich zwischen automatischen und nicht automatischen Melksystemen wird nur dann möglich, wenn der Aufwand für die Milchgewinnung in monetären Einheiten abgebildet wird.

Schlussendlich konnten mit Hilfe der Strommesszange alle relevanten energetischen Flüsse im Bereich der automatisierten Milchgewinnung aufgedeckt und erste Analysen durchgeführt werden.

3. Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse im Projekt und Ableitung allgemeiner Empfehlungen

3.1 Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse im Projekt

Nach anfänglichen Problemen mit der Zuverlässigkeit der Datenerfassung war es seit März 2015 möglich, kontinuierlich die Verbrauchsdaten für alle Betriebe und Zähler zuverlässig aufzuzeichnen. Daher sind für die verlängerte Projektlaufzeit die Betriebe der BeSte-Stadwerke für Auswertungen der Stromverbrauchsdaten geeignet gewesen. Für diese Betriebe wurden die Daten eines kompletten Jahres ausgewertet. Für die RWE-Betriebe konnten Daten aus zwei Jahren herangezogen werden.

Die Erhebung der Betriebsdaten hat starke Unterschiede der Produktionsverfahren innerhalb der ausgewählten Betriebe gleichen Typs hinsichtlich des Energiebedarfs offenbart, wodurch die gesetzten Anforderungen an die Betriebe für das Projekt erfüllt werden konnten. Zudem hat sich gezeigt, dass mit ausreichend betriebsspezifischen Daten qualitativ bessere Analysen erstellt werden können.

Die in Band I und Band II vorgestellten exemplarischen Auswertungen der Energieverbrauchsdaten in Kombination mit der aufgebauten Datenbank inklusive des Analyse-Tools haben die Potentiale des Projektes "Intelligente Energie in der Landwirtschaft" verdeutlicht und bestätigt. Es hat sich gezeigt, dass vor allem im Bereich der Lüftung erhebliche Effizienzsteigerungen zu erzielen sind. Durch entsprechende Vergleiche konnten die Vorteile eines frequenzgeregelten Lüftungssystems herausgearbeitet werden. Dabei ist das entwickelte Tool zur automatischen Erzeugung von saisonalen Lastprofilen hervorzuheben. Des Weiteren konnte veranschaulicht werden, wie der Landwirt durch geringe Verhaltensanpassungen Energieeinsparungen bzw. höhere Eigenverbrauchsanteile erreichen kann. Im Verlauf des Projekts wurde darüber hinaus für einen Milchviehbetrieb die Kombination eines Eiswasserkühlsystems mit einer Photovoltaikanlage simuliert. Ziel war es aufzuzeigen, wie durch diese Kombination Lastverschiebungen durchgeführt werden können und welche wirtschaftlichen Vorteile zu erwarten sind. Dabei haben die erhobenen Smart-Meter-Daten eine praxisnahe Untersuchung ermöglicht. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Kombination eines Eisspeichers mit einer Photovoltaikanlage nicht nur dem Landwirt eine wirtschaftliche Ersparnis bietet, sondern auch als Geschäftsmodell, beispielsweise in einem Virtuellen Kraftwerksverbund Anwendung finden kann.

Die gesteckten Ziele, bezogen auf zu formulierende Beratungsempfehlungen hinsichtlich Effizienzsteigerungen, Lastverschiebungen und das Aufdecken von Unregelmäßigkeiten im Lastverlauf, können als erfüllt angesehen werden. Bereits während des
Projekts konnten durch Rücksprachen mit den Landwirten erste Energieeinsparungen
verzeichnet werden. Im derzeitigen Strom-Mix in Deutschland werden pro erzeugter
kWh ca. 569 Gramm CO₂ emittiert. [19] Demnach ist jede Einsparung von Energie
unmittelbar mit der Einsparung von CO₂ verknüpft.

Als weiteren Erfolg gilt es festzuhalten, dass die erhobenen Kennzahlen aus der Modellkalkulation des KTBL über den Energiebedarf von landwirtschaftlichen Nutztierhaltungsbetrieben durch aussagekräftige Messungen validiert werden konnten. Dabei konnte nachgewiesen werden, wie sehr der Energiebedarf in der Praxis durch betriebsindividuelle Faktoren positiv oder negativ beeinflusst wird. Eine Übersicht aller im Laufe des Projekts berechneten spezifischen Energieverbrauchskennzahlen ist im Anhang B: Vergleich der Energieverbrauchskennzahlen zu finden.

3.2 Ableitung allgemeiner Empfehlungen

Aus den Ergebnissen der exemplarischen Auswertung der Energieverbrauchsdaten lassen sich folgende allgemeinen Empfehlungen ableiten:

- Nach Möglichkeit alle periodischen bzw. zyklischen Prozesse wie zum Beispiel Fütterungs-, Reinigungs-, Entmistungs- und Kühlungsprozesse in Sonnenzeit verlegen um Solarstromausnutzung zu maximieren.
- 2. Je nach Anwendungsfall und Energiebedarf (Strom, Wärme und Kälte) sollte der Einsatz von erneuerbaren Energiequellen geprüft werden. Werden bereits erneuerbaren Energiequellen genutzt, sollte überprüft werden, ob unter Umständen der Anteil selbst erzeugter Energie am betrieblichen Energieverbrauch gesteigert werden kann.
- Je nach Anwendungsfall können aufwendige Prozesse durch Vergrößerung der Speicherkapazitäten stärker entkoppelt werden um den Eigenverbrauch zu erhöhen, z.B. durch Futtersilos bzw. Lagerbehälter, Eiswasserspeicher oder Batterien.
- 4. Energieintensive Komponenten durch effizientere austauschen, z.B. Leuchtmittel und Ventilatoren.
- 5. Steuerungs- und Regelsysteme regelmäßig überprüfen und optimieren.

Fazit und Ausblick - 50 –

4. Fazit und Ausblick

Im Verlauf des Projekts konnten, aufgrund der anfänglichen Probleme zur Sicherstellung einer kontinuierlichen Verbrauchsdatenübertragung, anfangs lediglich Betriebe mit Sauen- und Ferkelaufzucht sinnvoll hinsichtlich der Projektziele untersucht werden. Es wird dabei auf die Plausibilitätsprüfung hingewiesen, welche die eingangs erwähnten Schwierigkeiten mit der Inbetriebnahme der Smart-Meter belegt. Durch die Verlängerung der Projektlaufzeit war es jedoch möglich alle Aufstallungssysteme zu untersuchen.

Die am Projekt beteiligten Landwirte konnten durch die genauen Messungen einzelner Verbraucher relativ schnell besonders große "Energiefresser" aufspüren und diese bereits während der Laufzeit des Projektes optimieren, oder durch effizientere Technik ersetzen. Unter anderem wurden einige Sensoren neu programmiert und der Einbauort geändert, um die Laufzeit der nachgeschalteten Technik zu verkürzen und die Effizienz zu verbessern. Gerade die Kenntnis über die Laufzeiten und die Menge des verbrauchten Stroms, hat einige Landwirte dazu bewegt sich mit intensiverer Eigenstromnutzung auseinanderzusetzen. Je nach Lage des Betriebes kann eine Eigenstromnutzung über PV- Anlagen oder auch kleine Windkraftanlagen interessant sein.

Die vorgestellte Auswertung des Lastverschiebungspotenzials in einem Referenz-Milchviehbetrieb hat gezeigt, dass ein lukrativer Betrieb eines Photovoltaiksystems in Kombination mit einem Eiswasserspeicher für den Landwirt durch einen hohen Eigenverbrauchsanteil und Autarkiegrads möglich ist. Als Geschäftsmodell für Stadtwerke, die mithilfe des Eisspeichers beispielsweise Stromspitzen aus dem Netz abfangen könnten, ist der Effekt eines einzelnen Speichers zu gering. Daher besteht die Überlegung, mehrere Betriebe in einem Verbund, zu einem sogenannten "Virtuellen Kraftwerk" zusammenzufassen, um somit auf dem großen Strommarkt agieren zu können. Dort könnten neben der Netzentlastung, durch die Beladung des Speichers, auch die Photovoltaik-Überschüsse gehandelt werden. Dann könnten auch wiederum größere Photovoltaikanlagen eine wirtschaftliche Überlegung sein. Alternativ könnte auch die Betrachtung eines Batteriespeichersystems anstelle des Eisspeichers sinnvoll sein.

Mit den erhobenen Daten zur eigenen Strom- und Wärmeproduktion von landwirtschaftlichen Nutztierhaltungsbetrieben wird die Erstellung von erneuerbaren Energiekonzepten mit hohem Eigenverbrauchsanteil ermöglicht. Es konnten viele Parameter identifiziert werden, die den Lastverlauf beeinflussen. Dadurch können Lastverläufe Fazit und Ausblick - 51 –

teilweise prognostiziert werden, wodurch die Anpassungsmöglichkeiten des Verbrauchs durch intelligente Steuergeräte gesteigert werden. Zum einen kann eine Lastverschiebung in preisgünstigere Zeiten erfolgen oder der Eigenversorgungsgrad erhöht werden. Dabei werden sowohl Einsparpotentiale als auch Effizienzsteigerungen erzielt. Zu guter Letzt wird somit eine CO₂-Einsparung erreicht. Das zukünftige Ziel ist die Erstellung von möglichst modular aufgebauten Energiekonzepten, die nach gewissen anwendungsfallbezogenen Anpassungen problemlos auf andere Betriebe übertragen werden können.

Literaturverzeichnis - 52 -

5. Literaturverzeichnis

[1] Bundesregierung, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, *Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende*, Berlin: Bundesgesetzblatt, 2016.

- [2] A. Kießling, "Abschlussbericht Beiträge von moma zur Transformation des Energiesystems für Nachhaltigkeit, Beteiligung, Regionalität und Verbundenheit," E - Energy - IKT-basiertes Energiesystem der Zukunft, Mannheim, 2013.
- [3] D.-I. U. Goedecke, "http://www.energieagentur.nrw," EnergieAgentur.NRW, 01 12 2016. [Online]. Available: http://www.energieagentur.nrw/eanrw/hoexters_landwirte_spueren_energie fresser_auf. [Zugriff am 02 12 2016].
- [4] KTBL Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, "Energiebedarf in der Schweine- und Hühnerhaltung - Heft 105 - H. Eckel, W. Büscher, B. Feller, S. Fritzsche, C. Gaio, H. Kämper, J. Neiber," KTBL, Darmstadt, 2014.
- [5] W. Büscher, "Energieverbraucher im Schweinstall," KTBL Fachartikel, 2009.
- [6] S. F. H. v. d. W. W. Büscher, "Lüftung in Schweineställen," *KTBL Fachartikel*, 2009.
- [7] K. B. a. e. U. Averberg, "Energieeffizienzverbesserung in der Landwirtschaft," Verband der Landwirtschaftskammern e.V., Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen, 2009.
- [8] KTBL Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, "Energie clever nutzen - Innovative Energiekonzepte für die Landwirtschaft - Heft 103 - B. Wirth, K. Huesmann, H. Eckel," KTBL, Darmstadt, 2014.
- [9] Lastgänge landwirtschaftliche Betriebe NRW, "Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen," 2014. [Online]. Available: http://www.duesse.de/znr/pdfs/2014/2014-01-30-energie-05.pdf. [Zugriff am 24 Mai 2016].

Literaturverzeichnis - 53 -

[10] KTBL - Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, "Energiebedarf in der Milchviehhaltung - Heft 104 - R.Pommer, H.Eckel, W.Harmann, H.Kämper," KTBL, Darmstadt, 2014.

- [11] V. Quaschning, Regenerative Energiesysteme Technologie-Berechnung-Simulation, München: Hanser Verlag, 2013.
- [12] H. Siethof, Interviewee, Kosten und Auslegungsparameter für Eiswasserkühlung (Pillowplate Niederlande). [Interview]. 22 08 2016.
- [13] EuPD Research (BSW): Photovoltaik Preismonitor Deutschland, "http://www.eupd-research.com," 2013. [Online]. [Zugriff am 10 06 2016].
- [14] Photovoltaik-Betriebskosten-Ratgeber, "http://solaranlagenratgeber.de," [Online]. Available: www.solaranlageratgeber.de/photovoltaik-wirtschaftlichkeit/pv-betriebskosten. [Zugriff am 10 06 2016].
- [15] Bundesnetzagentur, "EEG 2104; §31 Bestimmung der Fördersätze für Photovoltaikanlagen," [Online]. Available: www.bundesnetzagentur.de/ErneuerbareEnergien/Photovoltaik_EEG-VergSaetze. [Zugriff am 10 07 2016].
- [16] Entwicklung der Energiemärkte Energiereferenzprognose, Bundesminesterium für Wirtschaft und Energie - BMWI, 2014. [Online]. Available: www.bmwi.de/BMWi/Publikationen/entwicklung-der-energiemaerkte-energiereferenzprognose.pdf. [Zugriff am 10 07 2016].
- [17] A. M.-. u. R. GmbH, "Bedienungsanleitung ALMEMO 710," [Online]. Available: http://www.ahlborn.com/download/anleitung/deutsch/710d.pdf.
- [18] P. D.-I. R. Haber, *Elektrische Antriebe und Anlagen,* Köln: FH-Köln, 2012.
- [19] Umweltbundesamt, "Wie viel CO2 verursacht eine Kilowattstunde Strom im deutschen Strommix?," 26 08 2016. [Online]. Available: http://www.umweltbundesamt.de/themen/klimaenergie/energieversorgung/strom-waermeversorgung-in-zahlen. [Zugriff am 12 01 2017].

Anhang A - 54 -

Anhang A: Plausibilitätsprüfung

Tabelle 18: Übersicht der Zählergenauigkeit

			Zählergenauigkeit				
Betriebe	Zählerbezeichnung	2014	2015	2016*	Gesamt		
BESTE1	Fütterung	40,17%	98,48%	97,02%	78,56%		
BESTE1	Fütterung 2	56,44%	98,09%	96,73%	83,75%		
BESTE1	Lüftung	40,17%	98,54%	97,02%	78,58%		
BESTE1	Lüftung 2	56,44%	98,09%	96,73%	83,75%		
BESTE2	Fütterung	42,02%	99,26%	95,48%	78,92%		
BESTE2	Fütterung 2	31,48%	77,81%	94,14%	67,81%		
BESTE2	Lüftung	42,02%	99,26%	98,74%	80,01%		
BESTE2	Lüftung 2	31,48%	83,18%	99,47%	71,38%		
BESTE3	Chargenmischer	5,59%	78,99%	94,00%	59,53%		
BESTE3	Lüftung	5,59%	75,30%	98,80%	59,89%		
BESTE4	Kühlung	48,17%	79,67%	98,75%	75,53%		
BESTE4	Melkroboter	48,17%	79,67%	98,39%	75,41%		
BESTE5	Fütterung	90,86%	93,92%	99,65%	94,81%		
BESTE5	Mühle	90,85%	94,67%	99,66%	95,06%		
BESTE6	Kühlung	9,32%	79,49%	99,43%	62,75%		
BESTE7	Kühlung	0,00%	83,44%	98,66%	60,70%		
BESTE8	Karussellantrieb	0,00%	82,45%	97,85%	60,10%		
BESTE8	Melkstand	0,00%	82,76%	97,11%	59,96%		
BESTE8	Milchkuehlung	0,00%	76,00%	98,54%	58,18%		
BESTE8	Mistschieber	0,00%	77,17%	99,76%	58,98%		
BESTE8	Vakuumpumpe	0,00%	83,20%	99,01%	60,74%		
RWE1	Ferkelaufzuchtstall - Trockenfütterungsketten	99,14%	99,91%	99,94%	99,66%		
RWE1	Ferkelaufzuchtstall - Zentrallüftungsanlage	99,55%	99,87%	99,94%	99,79%		
RWE1	Ferkelaufzuchtstall - Beleuchtungstechnik	98,90%	99,89%	99,94%	99,58%		
RWE1	Ferkelaufzuchtstall - sonstige Verbraucher	99,10%	99,92%	99,94%	99,65%		
RWE1	Sauenstall - Trockenfütterungsanlagen	99,17%	99,92%	99,92%	99,67%		
RWE1	Sauenstall - Lüftungsanlage	98,96%	99,88%	99,94%	99,59%		
RWE1	Sauenstall - Beleuchtungstechnik	99,16%	99,65%	99,92%	99,58%		
RWE1	Sauenstall - Rotlicht im Deckzentrum	98,97%	92,14%	99,94%	97,02%		
RWE2	Ferkelaufzuchtstall - Fütterung	99,01%	99,87%	99,95%	99,61%		
RWE2	Ferkelaufzuchtstall - Lüftung	99,00%	99,90%	99,95%	99,62%		
RWE2	Ferkelaufzuchtstall - Licht	99,14%	99,94%	99,97%	99,68%		
RWE2	Ferkelaufzuchtstall - Nebenverbraucher	42,29%	17,40%	99,97%	53,22%		
RWE2	Sauenstall - Fütterung	99,04%	99,90%	99,95%	99,63%		
RWE2	Sauenstall - Lüftung	99,10%	99,91%	99,97%	99,66%		
RWE2	Sauenstall - Licht	98,19%	99,89%	99,86%	99,31%		
RWE2	Sauenstall - Nebenverbraucher	99,61%	92,03%	99,92%	97,19%		
RWE3	Mastschweinestall - Lüftung	99,17%	99,90%	99,97%	99,68%		
RWE3	Mastschweinestall - Fütterung	99,21%	17,58%	99,82%	72,20%		
RWE3	Mastschweinestall - Abzweig / Einspeisung im Nebenstall	98,80%	99,85%	99,97%	99,54%		
RWE4	Ferkelaufzucht - Fütterung	98,47%	99,86%	99,97%	99,43%		
RWE4	Ferkelaufzucht - Lüftung	98,91%	99,84%	98,42%	99,06%		
RWE4	Sauenstall - Fütterung	98,44%	99,84%	99,97%	99,42%		
RWE4	Sauenstall - Lüftung	99,16%	99,88%	98,46%	99,17%		

^{*}BeSte-Betriebe bis Ende 10/2016, RWE-Betriebe bis Ende 04/2016

Anhang B - 55 –

Anhang B: Vergleich der Energieverbrauchskennzahlen

Tabelle 18: Vergleich der spezifischen Energieverbrauchskennzahlen in der Sauen- und Ferkelaufzucht

	RWE1 [kWh/		RWE1 2015 [kWh/TP*a]	
Verbraucher/Stallart	SA	FE	SA	FE
Lüftung	65,1	1,7	59,2	2,0
Futteraufbereitung	-	-	-	-
Fütterung (Futteraufbereitung)	3,0	0,4	2,9	0,4
Beleuchtung (SA-BE inkl. Licht im Deckzentrum)	29,7 (17,6)	2,8	27,1 (10,0)	2,6
Sonstiges (Reinigung, Entmistung)	-	0,1	-	0,1
Gesamt	115,4	5,1	99,2	5,0
	RWE2 2014 [kWh/TP*a]		RWE2 2015 [kWh/TP*a]	
Verbraucher/Stallart	SA	FE	SA	FE
Lüftung	24,0	3,1	29,8	3,8
Futteraufbereitung	-	-	-	-
Fütterung (Futteraufbereitung)	11,9	1,8	12,6	1,8
Beleuchtung	9,3	0,9	12,7	1,1
Sonstiges (Reinigung, Entmistung)	7,5	-	6,8	-
Gesamt	52,7	5,8	61,9	6,6
	RWE4 2014 [kWh/TP*a]		RWE4 2015 [kWh/TP*a]	
Verbraucher/Stallart	SA	FE	SA	FE
Lüftung	104,8	6,8	88,9	6,1
Futteraufbereitung			-	-
Fütterung (Futteraufbereitung)	33,6	4,3	33,5	4,8
Beleuchtung	-	-	-	-
Sonstiges (Reinigung, Entmistung)	-	-	-	-
Gesamt	138,4	11,0	122,4	10,9

Anhang B - 56 -

Tabelle 19: Vergleich der spezifischen Energieverbrauchskennzahlen in der Milchviehwirtschaft

	BeSte4	BeSte6	BeSte7	BeSte8	
	2016	2016 01.11.2015 - 01.11.20		5 - 01.11.2015 -	
		01.11.2016	01.11.2016	01.11.2016	
	[kWh/TP*a	[kWh/TP*a]	[kWh/TP*a]	[kWh/TP*a]	
Verbraucher/Stallart	KU	KU	KU	KU	
Lüftung	-	-	-	-	
Futteraufbereitung	-	-	1	-	
Fütterung (Futteraufbereitung)	-	-	1	-	
Beleuchtung	-	-	-	-	
Kühlung	110,3	91,5	64,5	100,3	
Milchgewinnung	120,3	-	-	124,0	
Sonstiges				F2 F	
(Reinigung, Entmistung)	-	-	-	52,5	
Gesamt	230,6	91,5	64,5	276,9	

Tabelle 20: Vergleich der spezifischen Energieverbrauchskennzahlen in der Schweinemast

	BeSte2	BeSte2	BeSte5	RWE3 2014	RWE3 2015
	01.11.2015 -	01.11.2015 -	01.11.2015 -		
	01.11.2016	01.11.2016	01.11.2016		
	[kWh/TP*a]	[kWh/TP*a]	[kWh/TP*a]	[kWh/TP*a]	[kWh/TP*a]
Verbraucher/Stallart	SM - Stall1	SM - Stall2	SM	SM	SM
Lüftung	23,3	15,4	-	5,6	5,2
Futteraufbereitung	3,2	3,2	14,5	-	-
Fütterung (Futteraufbereitung)	1,7	2,4	2,6	1,2	-
Beleuchtung	-	-	-	-	-
Kühlung	-		-	-	-
Milchgewinnung	-		-	-	-
Sonstiges					
(Reinigung, Entmistung)	-	-	-	-	-
Gesamt	28,2	21,0	17,1	6,8	5,2