

Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und Maximierung des PV-Eigenverbrauchs durch gezieltes Lastmanagement

Analyse von 19 landwirtschaftlichen Betrieben

Masterarbeit



Institut für Elektrische Anlagen
Technische Universität Graz

Vorgelegt von
Chmeliczek Daniel, Matr.Nr. 1131701
Gruber Harald Franz, Matr.Nr. 0630541

Betreuer
DI Christian Elbe
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Lothar Fickert

Externer Betreuer
DI Veit Ruprecht

Institutsleiter: Univ.-Prof. DI Dr. techn. Lothar Fickert

A - 8010 Graz, Inffeldgasse 18-I
Telefon: (+43 316) 873 – 7551
Telefax: (+43 316) 873 – 7553
<http://www.ifea.tugraz.at>
<http://www.tugraz.at>

Graz / Dezember – 2013



Danksagung

An dieser Stelle möchten wir uns bei all denjenigen, die uns bei der Anfertigung dieser Arbeit und im Laufe unseres Studiums unterstützt haben, recht herzlich bedanken.

Ein besonderer Dank gilt den Betreuern Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Lothar Fickert, Herrn Dipl.-Ing. Veit Ruprecht und Herrn Dipl.-Ing. Christian Elbe für die angenehme Betreuung, die wir bei der Anfertigung dieser Arbeit erfahren haben. Die konstruktiven Anregungen und Kritiken waren jederzeit eine hervorragende Hilfestellung.

Den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Energie-Steiermark AG möchten wir für ihre Unterstützung und die aufgeschlossene sowie hilfreiche Art, mit der sie uns gegenübergetreten sind, danken.

Daniel Chmeliczek und Harald Franz Gruber

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die mit meinem Namen gekennzeichneten Abschnitte zu 100% verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Die Kennzeichnung erfolgt dabei mit einem hochgestellten C in den Überschriften der betroffenen Abschnitte.

Graz, am 02.10.2013



Daniel Chmeliczek

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die mit meinem Namen gekennzeichneten Abschnitte zu 100% verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Die Kennzeichnung erfolgt dabei mit einem hochgestellten G in den Überschriften der betroffenen Abschnitte.

Graz, am 02.10.2013



Harald Franz Gruber

Kurzfassung^G

Bedingt durch die gegenwärtige Diskrepanz zwischen Bezugskosten für elektrische Energie und Photovoltaik Einspeisevergütung rückt für Anlagenbesitzer die Maximierung des Eigenverbrauchs der Photovoltaikenergie in den Mittelpunkt des Interesses. Zur Bestimmung der erzielbaren Eigenverbrauchsquoten im landwirtschaftlichen Sektor wurden im Rahmen eines Pilotprojektes landwirtschaftliche Betriebe aus zehn Landwirtschaftssparten mit Photovoltaikanlagen ausgestattet. Aus diesem Zusammenhang ergibt sich als Aufgabenstellung dieser wissenschaftlichen Arbeit die Identifizierung sowohl betriebsspezifischer als auch spartenübergreifender Maßnahmen zur Eigenverbrauchssteigerung in der Analyse von 19 landwirtschaftlichen Betrieben. Als weitere Ziele dieser Arbeit werden energieeffizienzsteigernde Maßnahmen definiert sowie Optimierungspotentiale der bestehenden Photovoltaikanlagen erhoben. Die Datengrundlage hierfür bilden die Smart-Meter Messwerte der Betriebe. Als Besonderheit dieser Arbeit sind die Bandbreite der analysierten Betriebe sowie die Quantität und die Qualität der zugrundeliegenden Daten anzusehen. Die durchgeführten Betriebsanalysen haben gezeigt, dass abhängig von der Betriebsausstattung erhebliche Unterschiede hinsichtlich der erzielbaren Eigenverbrauchsquoten und Energieeinsparungspotentiale auftreten. So wurden durch gezieltes Lastmanagement Steigerungspotentiale der Eigenverbrauchsquoten um bis zu 40 % identifiziert.

Schlüsselwörter: Photovoltaik, Eigenverbrauch, Lastmanagement, Energieeffizienz, Anlagenoptimierung

Abstract^G

Within Austria a decline of feed-in tariffs on renewable electricity generation occurred in recent years. Therefore, increased attention is drawn to maximize the own consumption of electricity generated by photovoltaics. Under a pilot project farms out of ten agricultural sectors were equipped with photovoltaic systems for gaining knowledge on the issue. This thesis is focused on measures maximizing own consumption and increasing energy efficiency by including 19 farms in the analysis. Furthermore certain capabilities of plant optimization are derived. The outstanding character of this work is closely linked to the quantity and variety of the analysed agricultural units combined with the accuracy and quantity of the available smart meter data. As a result the reachable own consumption rates and efficiency gains show vast differences according to the equipment used for performing the farms agricultural processes. A potential increase in own consumption up to 40 % was derived due to the examined demand side measures.

Keywords: photovoltaics, own consumption, demand side management, energy efficiency, plant optimization

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	5
Abkürzungsverzeichnis	10
1 Kurzfassung	11
1.1 Ziel ^C	11
1.2 Methode ^C	11
1.3 Ergebnisse ^{C+G}	11
1.4 Schlussfolgerungen und Ausblick ^{C+G}	11
2 Einleitung	12
2.1 Vorbemerkung ^G	12
2.2 Energieverbrauch in der Landwirtschaft ^G	13
2.3 Übersicht landwirtschaftliche Betriebssparten ^G	14
2.4 Motivation für eine gemeinsame Masterarbeit ^C	14
2.5 Resultierende Aufgabenstellung ^C	15
3 Grundlegendes zur Eigenverbrauchsmaximierung und Energieeffizienz	17
3.1 Leistungsmessung ^C	17
3.2 Charakteristische PV-Kennzahlen ^C	19
3.3 Lastgang ^C	21
3.4 Erneuerbare Energien ^G	23
3.5 Methoden des Demand-Side Management ^C	25
3.6 Energieeffizienz ^C	27
4 Methoden^C	28
4.1 Lastganganalyse ^C	28
4.2 Vor-Ort-Besuch zur spezifischen Betriebsanalyse (Ist-Situation) ^G	29
4.2.1 Fragebogen zur spezifischen Betriebsanalyse ^G	29
4.2.2 Verbraucher-Checkliste zur spezifischen Betriebsanalyse ^G	29

5	Erhobene Daten der analysierten Betriebe^G	30
5.1	Übersicht der analysierten Prozesse ^G	32
5.1.1	Warmwassererzeugung ^G	32
5.1.2	Beleuchtung ^G	33
5.1.3	Kühlung ^G	33
5.1.4	Trocknung ^G	33
5.1.5	Heubelüftung ^G	33
5.1.6	Stallheizung ^G	33
5.1.7	Stallbelüftung ^C	33
5.1.8	Fütterung ^G	35
5.1.9	Entmistung ^G	35
5.1.10	Ferkelnestheizung ^G	35
5.1.11	Milchgewinnung und Milchkühlung ^C	36
5.2	Ferkelzucht ^C	36
5.2.1	Betrieb F1 ^C	36
5.2.2	Betrieb F2 ^C	39
5.2.3	Betrieb F3 ^C	42
5.3	Schweinemast ^C	45
5.3.1	Betrieb S1 ^G	45
5.4	Milchwirtschaft ^C	47
5.4.1	Betrieb M1 ^C	47
5.4.2	Betrieb M2 ^C	48
5.4.3	Betrieb M3 ^C	50
5.5	Eierproduktion ^G	53
5.5.1	Betrieb E1 ^G	53
5.5.2	Betrieb E2 ^G	54
5.6	Geflügelmast ^G	56
5.6.1	Betrieb GM1 ^G	56
5.7	Direktvermarktung	59
5.7.1	Betrieb D1 ^G	59
5.7.2	Betrieb D2 ^G	61
5.7.3	Betrieb D3 ^C	63

5.7.4	Betrieb D4 ^G	65
5.8	Urlaub am Bauernhof ^G	67
5.8.1	Betrieb U1 ^G	67
5.9	Obstbau ^G	70
5.9.1	Betrieb O1 ^G	70
5.9.2	Betrieb O2 ^G	72
5.10	Gemüsebau ^C	75
5.10.1	Betrieb GB1 ^C	75
5.11	Weinbau ^C	77
5.11.1	Betrieb W1 ^C	77

6 Betriebsanalyse: Entwicklung individueller und spartenbezogener Maßnahmen 79

6.1	Ferkelzucht ^C	79
6.1.1	Betrieb F1 ^C	79
6.1.2	Betrieb F2 ^C	82
6.1.3	Betrieb F3 ^C	86
6.1.4	Zusammenfassung Ferkelzucht ^C	88
6.2	Schweinemast ^C	92
6.2.1	Betrieb S1 ^C	92
6.3	Milchwirtschaft ^C	95
6.3.1	Betrieb M1 ^C	95
6.3.2	Betrieb M2 ^C	97
6.3.3	Betrieb M3 ^C	102
6.3.4	Zusammenfassung Milchwirtschaft ^C	107
6.4	Eierproduktion ^G	111
6.4.1	Betrieb E1 ^G	111
6.4.2	Betrieb E2 ^G	113
6.4.3	Zusammenfassung Eierproduktion ^G	115
6.5	Geflügelmast ^G	116
6.5.1	Betrieb GM1 ^G	116
6.6	Direktvermarktung	119

6.6.1	Betrieb D1 ^G	119
6.6.2	Betrieb D2 ^G	121
6.6.3	Betrieb D3 ^C	124
6.6.4	Betrieb D4 ^G	125
6.6.5	Zusammenfassung Direktvermarktung	130
6.7	Urlaub am Bauernhof ^G	131
6.7.1	Betrieb U1 ^G	131
6.8	Obstbau ^G	136
6.8.1	Betrieb O1 ^G	136
6.8.2	Betrieb O2 ^G	137
6.8.3	Zusammenfassung Obstbau	138
6.9	Gemüsebau ^C	139
6.9.1	Betrieb GB1 ^C	139
6.10	Weinbau ^C	140
6.10.1	Betrieb W1 ^C	140

7 Optimierungspotential bei PV-Anlagen mit Fokus auf die Eigenverbrauchsmaximierung^G 143

7.1	Anlagenausrichtung ^G	143
7.2	Anlagengröße ^G	148
7.3	Energiespeicher ^G	148

8 Zusammenfassung 150

8.1	Vergleich von charakteristischen Kennzahlen ^{C+G}	150
8.2	Derzeit unwirtschaftliche Maßnahmen ^{C+G}	152
8.3	Potentiell rentable Lastmanagementmaßnahmen ^{C+G}	154
8.4	Energieeffizienzmaßnahmen ^{C+G}	155
8.5	Ausblick ^{C+G}	158

9 Literaturverzeichnis 159

10 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis 166

10.1	Abbildungen.....	166
10.2	Tabellen.....	171

11	Anhang.....	174
11.1	Weiterführende Informationen zum Programm zur Lastgangauswertung und Beispieldiagramme ^C	174
11.2	Fragebogen zur Betriebserfassung ^G	178
11.3	Verbraucherliste zur Detaillierung ^G	190
11.4	Anschaffungskosten von EC-Ventilatoren zur Stallbelüftung ^C	192
11.5	Technische Daten von Ventilatoren zur Stallbelüftung ^C	194
11.5.1	Axialventilatoren mit Außenläufer-Asynchronmotor ^C	194
11.5.2	Axialventilatoren mit Außenläufer-EC-Antrieben ^C	195
11.6	Technische Daten IE3 Elektromotoren (~3; 230/400 V; 50 Hz) ^C	195
11.7	Technische Daten Frequenzumrichter ^C	196
11.8	Technische Daten zur Wärmerückgewinnung in Betrieb O2 ^G	197
11.8.1	Verdichterauslegung ^G	198
11.8.2	Wärmetauscherberechnung Variante 1 ^G	201
11.8.3	Wärmetauscherberechnung Variante 2 ^G	202
11.9	h-x Diagramm nach Mollier ^C	205

Abkürzungsverzeichnis

BZR	Betrachtungszeitraum
CA	Controlled Atmosphere
DSM	Demand Side Management
EC	Electronical Commutation
ECA	Energie-Control Austria
ED	Eigendeckung
EDP	Eigendeckungspotential
EV	Eigenverbrauch
FU	Frequenzumrichter
GZF	Gleichzeitigkeitsfaktor
ha	Hektar
HH	Haushalt
IE3	International Efficiency 3
km	Kilometer
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
kWp	Kilowatt-Peak
lm	Lumen
LW	Landwirtschaft
MPP	Maximum Power Point
NEFZ	Neuer Europäischer Fahrzyklus
OeMAG	Österreichische Ökostromabwicklungsstelle
PV	Photovoltaik
VBA	Visual-Basic
VP	Vakuumpumpe
VS	Volumenstrom
WW	Warmwasser

1 Kurzfassung

1.1 Ziel^C

In dieser Masterarbeit werden 19 landwirtschaftliche Betriebe aus zehn Landwirtschaftssparten hinsichtlich elektrischem Energieverbrauch sowie Energieerzeugung mittels Photovoltaik (PV) analysiert. Auf Basis der Analyse werden individuelle und spartenbezogene Effizienzmaßnahmen und Einsparpotentiale des elektrischen Energieverbrauchs identifiziert. Zudem wird der Eigenverbrauch (EV) des erzeugten PV-Stroms durch gezieltes Lastmanagement maximiert und eine hypothetische Optimierung der bestehenden PV-Anlagen vorgenommen um je Betrieb den theoretisch maximal möglichen EV zu ermitteln.

1.2 Methode^C

Mittels Literatur- und Internetrecherche sowie durch Besuch einer Fachmesse werden energieintensive elektrische Verbraucher der zu untersuchenden Landwirtschaftssparten ermittelt. Durch Lastgang- und Vor-Ort-Analyse werden die Einsatzzeiten dieser Verbraucher in den jeweiligen Betrieben bestimmt.

Abschließend werden Möglichkeiten zur hypothetischen Optimierung der bestehenden PV-Anlagen, basierend auf Anlagenausrichtung, Anlagengröße und Energiespeicherung identifiziert.

1.3 Ergebnisse^{C+G}

Die identifizierten Potentiale hinsichtlich Verbesserung der Energieeffizienz und Steigerung des PV-Eigenverbrauchs sind zumeist mit sehr geringem Aufwand nutzbar, jedoch können die erzielbaren Ergebnisse aufgrund variierender Betriebsausstattungen stark schwanken. Energieeffizienzpotentiale konnten in den Bereichen Milchgewinnung und -kühlung, Wärmerückgewinnung, Belüftung sowie Beleuchtung festgestellt werden. Möglichkeiten zur Eigenverbrauchssteigerung sind hauptsächlich in den Bereichen Fütterung, Kühlung im Obstbau und bei Prozessen in auf Selbstvermarktung spezialisierten Betrieben zu finden.

1.4 Schlussfolgerungen und Ausblick^{C+G}

Im Vorfeld der Adaptierung der erarbeiteten Ergebnisse ist aufgrund der Betriebsindividualität im landwirtschaftlichen Bereich eine betriebsspezifische Lastgang- und Prozessanalyse in Anlehnung an der in dieser Arbeit entwickelten Methodik unerlässlich. Ebenso ist bei der Auslegung einer PV-Neuanlage das zeitliche Verbrauchsverhalten des zugehörigen Landwirtschaftsbetriebes in die Anlagenplanung einzubeziehen, um die wirtschaftlichste Anlagenkonfiguration ermitteln zu können.

2 Einleitung

2.1 Vorbemerkung^G

Die Investitionen im landwirtschaftlichen Bereich in PV-Anlagen sind in den letzten Jahren stetig gestiegen. Da bis 2011 der geförderte Einspeisetarif um mindestens 40% über den Strombezugskosten lag, wurde aus ökonomischen Gesichtspunkten die Einspeisung der erzeugten elektrischen Energie in das Stromnetz forciert. Diese für jeweils 13 Jahre von der österreichischen Ökostromabwicklungsstelle (OeMAG) garantierten und fixierten Einspeisetarife sind im Laufe der Jahre stetig gesunken. Gleichzeitig sind die Anlagenpreise je installiertem Kilowatt-Peak (kWp) gesunken, in Österreich für Anlagen in der Größenordnung von 5 bis 10 kWp um durchschnittlich 42 % von 2008 bis 2011 [1]. Dadurch hat sich ein gesteigertes Interesse seitens der Landwirtschaft (LW) entwickelt, den erzeugten Strom aus PV auch direkt im eigenen Betrieb zu verbrauchen.

Mit diesem Hintergrund haben die Energie Steiermark AG und die Landwirtschaftskammer Steiermark ein Kooperationsprojekt gestartet. Ziel dieses Projektes ist es, die Quote des Eigenverbrauchs des erzeugten PV-Stromes der teilnehmenden Betriebe zu maximieren. Zudem soll die Energieeffizienz der Betriebe verbessert werden.

Bei gründlicher Kalkulation der PV-Anlage kann sich durch die Errichtung der Anlage für den Landwirt ein Kostenvorteil gegenüber dem ausschließlichen Netzbezug von elektrischer Energie ergeben. Dies ist durch den Unterschied zwischen Strombezugskosten in der Höhe von 17,15 Cent/kWh und den Kosten des Eigenverbrauchs begründet, welche sich aus der anteiligen Abschreibung der Anlage und den entgangenen Erlösen der Einspeisung in der Höhe von 6 Cent/kWh zusammensetzen [2], [3]. Der Einsatz von PV-Anlagen leistet einen Beitrag zum Klimaschutz, da die Energieerzeugung ohne CO₂-Emissionen stattfindet und somit CO₂-neutral ist. Dem stehen CO₂-Emissionen von 440 g/kWh bei Erdgas- und 882 g/kWh bei Kohleeinsatz gegenüber. [4] Über den Lebenszyklus betrachtet entstehen bei PV-Energie mit durchschnittlich 46 g/kWh deutlich geringere CO₂-Emissionen als bei fossilen Brennstoffen [5].

Obwohl eine autarke Stromversorgung ohne Speichertechnologien nicht möglich ist, kann der einzelne landwirtschaftliche Betrieb durch eine partielle Eigenversorgung mit elektrischer Energie die laufenden Bezugskosten für elektrische Energie verringern und sich auch bis zu einem gewissen Grad gegen potentielle zukünftige Strompreissteigerungen absichern.

Im Zuge des Projektes wurden bei 21 landwirtschaftlichen Betrieben PV-Anlagen installiert und eine Datenfernerfassung mittels Smart Meter eingerichtet. An dieser Stelle sei jedoch erwähnt, dass zwei der Pilotbetriebe zwischenzeitlich aus diesem Projekt ausgestiegen sind und somit lediglich 19 Betriebe im Zuge dieser Arbeit behandelt werden.

Zur Realisierung der Eigenverbrauchsmaximierung sind Lastmanagement- und effizienzsteigernde Maßnahmen geplant.

In dieser Arbeit wird eine Kombination verschiedener Methoden angewandt, um die eigenverbraucherhöhenden und effizienzsteigernden Maßnahmen zu identifizieren. Diese Methoden umfassen neben Literaturrecherche und Lastgangauswertungen auch die konkrete Erfassung der einzelnen Betriebe durch Vor-Ort Besuche mit detaillierter Befragung. Das Ergebnis dieser Auswertung bilden detaillierte Empfehlungen hinsichtlich Lastmanagement- und Effizienzmaßnahmen je Betrieb und Landwirtschaftssparte sowie je Prozess.

Ein weiterer betrachteter Aspekt betrifft hypothetische Optimierungsmaßnahmen hinsichtlich Anlagendesign und Eigenverbrauchsmaximierung.

Vielfältige Forschungsergebnisse sind in der Literatur zum Thema Energieeinsatz in der LW verfügbar. So sind Auflistungen von elektrischen Verbrauchern in der LW vorhanden [6], auch sind detaillierte Lastgangmessungen einzelner Betriebe durchgeführt worden [7]. Gesamtbetrachtungen des Energieeinsatzes je Betriebssparte sind erstellt worden, ohne jedoch auf PV-Erzeugung und auf maximierten EV im Speziellen einzugehen [8].

Bisher wurde noch keine Arbeit verfasst, welche bei PV-Erzeugung in einer breiten Auswahl von landwirtschaftlichen Betrieben unterschiedlicher Sparten den Fokus auf Eigenverbrauchsmaximierung mittels Lastmanagement und Energieeffizienzmaßnahmen legt. Die detaillierte Analyse von 19 Pilotbetrieben ermöglicht es Empfehlungen für zehn Sparten der LW bezüglich der Maximierung des PV-Eigenverbrauchs abzuleiten. Diese Kombination aus mehreren Methoden angewandt auf 19 Betriebe stellt den Neuheitsgrad dieser Masterarbeit dar.

Als abschließende Vorbemerkung ist anzuführen, dass die Bezeichnung Landwirt in dieser Arbeit als geschlechtsneutral zu betrachten ist.

2.2 Energieverbrauch in der Landwirtschaft^G

Vom energetischen Endverbrauch Österreichs im Jahr 2010 von 1.119 Petajoule entfielen 2 % auf die LW, wie Abbildung 2.1 zeigt [9]. Dieser Anteil resultiert aus dem Einsatz mehrerer Energieträger, wovon elektrische Energie einen darstellt.

Von den gesamten Direktkosten eines landwirtschaftlichen Betriebes stellen die Energiekosten nur einen geringen Anteil dar. So entfällt in einem durchschnittlichen Ferkelzuchtbetrieb auf das Segment „Energie und Wasser“ ein Kostenanteil von 5,7 %, während sie in der Schweinemast einen Kostenanteil von lediglich 2,3 % verursachen [10].

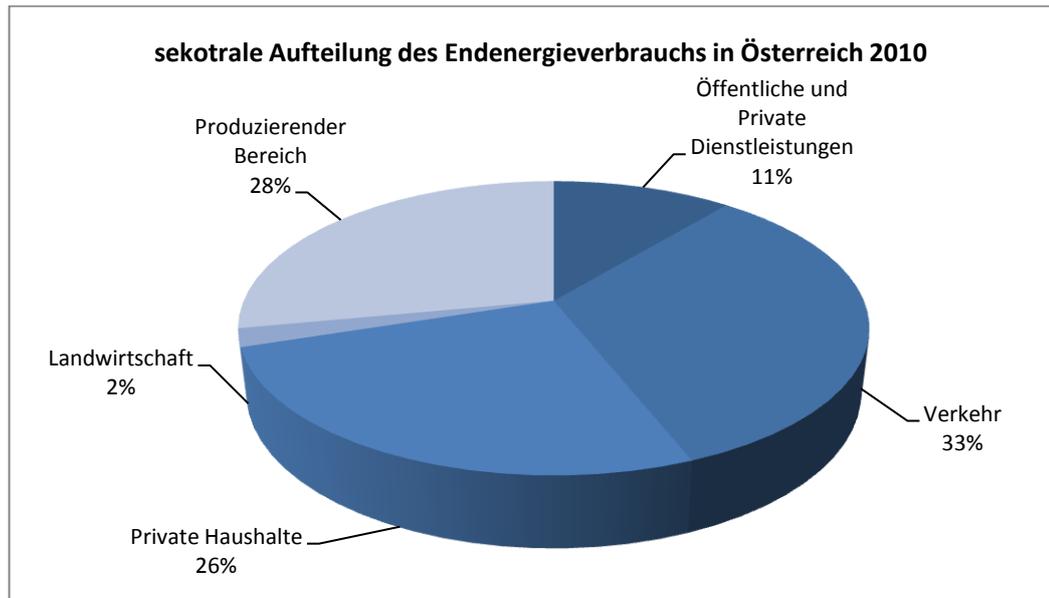


Abbildung 2.1: Energetischer Endverbrauch in Österreich im Jahr 2010 (Quelle: [9])

2.3 Übersicht landwirtschaftliche Betriebssparten^G

In der Steiermark werden 407.751 Hektar (ha) Boden landwirtschaftlich genutzt. Davon entfallen 61,4 % auf Grünland, 34,7 % auf Ackerland und 3,9 % auf sonstige Kulturarten. [9]

Im Jahr 2007 waren von den 42.370 steirischen land- und forstwirtschaftlichen Betrieben 13.636 im Vollerwerb geführt. Im Jahr 2010 hatten die steirischen Betriebe einen Viehbestand von unter anderem 338.000 Rindern, 869.000 Schweinen und 5.509.000 Hühnern. Im selben Jahr betrug die steirische Produktion an Äpfeln 169.000 Tonnen sowie 177.000 Hektoliter Wein. [11] Diesem Umstand wurde bei der Auswahl der Betriebe Rechnung getragen. Die detaillierte Auflistung der betrachteten Betriebe nach Haupt- und Nebenerwerbszweigen zeigt Tabelle 5.1. Mit Ausnahme der Rindermast, welche einen vergleichsweise geringen Strombedarf aufweist, wurden die wichtigsten Produktionszweige der steirischen LW berücksichtigt. Diese beinhalten Milchwirtschaftsbetriebe, Ferkelzucht und Schweinemast, Geflügelmast und Eierproduktion, sowie Gemüse-, Obst- und Weinbau. Auch sind Betriebe mit Fokus auf Direktvermarktung und Urlaub am Bauernhof Teil der Analyse.

2.4 Motivation für eine gemeinsame Masterarbeit^C

Das Verfassen zweier separater Masterarbeiten zur Bewältigung des eine einzige Arbeit übersteigenden Workloads wäre grundsätzlich möglich gewesen. Außerdem hätten wichtige Elemente wie die Erstellung des Tools zur Lastgangauswertung oder des Fragebogens separat und doppelt durchgeführt werden müssen. Daraus hätte ein unübersichtliches Gesamtbild resultieren können. Aufgrund der gemeinsamen Durchführung der Masterarbeit konnte eine einheitliche und übersichtliche Darstellung der Ergebnisse erreicht werden.

Die detaillierte Vor-Ort Erfassung der 19 Betriebe in Kombination mit den notwendigen Vorarbeiten und der Auswertung hätte den Rahmen für eine einzelne Masterarbeit überstiegen. Auch hat sich durch die geführten Diskussionen eine positive Feedback-Schleife ergeben, welche das Erstellen einer qualitativ hochwertigen Arbeit begünstigt hat.

Die genannten Argumente begründen den Entschluss, eine gemeinsame Masterarbeit zu verfassen.

2.5 Resultierende Aufgabenstellung^C

Um für die parallele Bearbeitung dieser Arbeit eine voneinander unabhängige und dennoch strukturierte und einheitliche Vorgehensweise zu ermöglichen wurden im Vorfeld folgende Arbeitspakete definiert:

Literatur- und Internetrecherche, Besuch einer Fachmesse

Einarbeiten in die Arbeitsprozesse der zu analysierenden landwirtschaftlichen Betriebssparten sowie in die Themengebiete PV, Demand-Side Management (DSM) und Energieeffizienz. Besuch einer Fachmesse um den aktuellen Stand der Technik im Landwirtschaftsbereich zu ermitteln. Identifikation typischer Großverbraucher in den jeweiligen Landwirtschaftssparten.

Analyse der Ist-Zustände des Energieverbrauchs in den Betrieben

Ermittlung des typischen Verbrauchsverhaltens der Landwirtschaftsbetriebe durch Analyse der vorhandenen Smart-Meter Messwerte hinsichtlich wiederkehrender Lastgangmuster basierend auf den Rechercheergebnissen.

Entwicklung spartenspezifischer Fragebögen zur detaillierten Betriebserfassung

Erstellen eines Dokumentes zum Erfassen allgemeiner und energiebezogener Betriebsinformationen während der Vor-Ort-Analyse inklusive Abbildung der möglichen landwirtschaftlichen Prozesse und deren möglichen Varianten. Ausarbeitung einer prozessgegliederten Tabelle zur Erfassung der Stromverbraucher in den Betrieben.

Vor-Ort-Analyse der landwirtschaftlichen Betriebe

Besichtigung der Betriebe und Gespräche mit den Landwirten um Betriebsinformationen und Betriebsprozesse detailliert zu erfassen.

Identifikation von Effizienzmaßnahmen und Einsparpotentialen

Identifikation individueller und spartenbezogener Effizienzmaßnahmen und Einsparpotentiale anhand der erhobenen Daten mit Fokus auf Großverbraucher. Nach Möglichkeit Abschätzung der resultierenden Auswirkungen auf den Energieverbrauch.

Maßnahmen zur Maximierung des Energieeigenverbrauchs

Ableitung möglicher Lastmanagementmaßnahmen zur Maximierung des Eigenverbrauchs unter Berücksichtigung prozessbedingter Einschränkungen. Nach Möglichkeit Abschätzung der resultierenden Auswirkungen auf den EV aus PV-Erzeugung.

Hypothetische Optimierung der bestehenden PV-Anlagen

Ermittlung hypothetischer Optimierungspotentiale der PV-Anlagen zur Eigenverbrauchsmaximierung durch Variation verschiedener Parameter und unter Berücksichtigung der landwirtschaftlichen Prozesse.

3 Grundlegendes zur Eigenverbrauchsmaximierung und Energieeffizienz

Dieser Abschnitt beschreibt die theoretischen Grundlagen zur elektrischen Leistungsmessung, charakteristischer PV-Kennzahlen und zum Lastgang. Zudem wird die gegenwärtige Situation der Energieerzeugung mittels PV-Anlagen in Österreich dargelegt. Zuletzt werden Definitionen der Methoden des Demand-Side Managements und der Energieeffizienz angeführt.

3.1 Leistungsmessung^C

In Wechsel- und Drehstromkreisen wird die elektrische Wirkleistung P aus den Effektivwerten von Strom I und Spannung U sowie dem Phasenwinkel φ berechnet, wobei der Phasenwinkel die zeitliche Verschiebung von Spannung zu Strom kennzeichnet.

Im Wechselstromkreis berechnet sich die Leistung nach folgender Gleichung:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T U \cdot I \cdot \cos(\varphi_u - \varphi_i) dt = \frac{1}{T} \int_0^T U \cdot I \cdot \cos(\varphi) dt = U \cdot I \cdot \cos(\varphi) \quad 3.1$$

P	Wirkleistung	in W
U	Spannung	in V
I	Strom	in I
φ_u	Phasenwinkel der Spannung	in rad
φ_i	Phasenwinkel des Stromes	in rad
φ	Phasenwinkel zwischen Spannung und Strom	in rad
T	Zeitintervall (Messzeitraum)	in s

Messtechnisch kann die elektrische Leistung im Wechselstromkreis mit der in Abbildung 3.1 dargestellten Schaltung ermittelt werden.

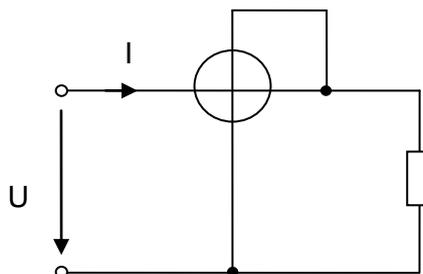


Abbildung 3.1: Leistungsmessung im Wechselstromkreis

Im Drehstromkreis berechnet sich die elektrische Leistung aus der Summe der drei Strangleistungen:

$$P_{Ges} = P_1 + P_2 + P_3 = \sum_{i=1}^3 P_i \quad 3.2$$

P_i	Wirkleistung der Stränge	in W
P_{Ges}	Gesamtleistung im Drehstromkreis	in W

Messungen der Last- bzw. Erzeugungskurven mit zu installierenden Leistungsmessgeräten erfolgen über einen begrenzten Zeitraum und müssen durch geeignetes Fachpersonal durchgeführt werden. Der entstehende Installations- und Deinstallationsaufwand ist ein nicht vernachlässigbarer Zeit- und somit Kostenfaktor und sorgt insbesondere im Bereich der Kleinverbraucher (z.B. Haushalte, Kleinbetriebe) für unverhältnismäßig hohe Kosten im Vergleich zu den möglichen Energieeinsparungen. Aus diesem Grund stellen Leistungsmessungen, die zu installierende Messgeräte benötigen, bei Kleinverbrauchern (z.B. Haushalte, Kleinbetriebe) in der Regel ein ungeeignetes Mittel zur Verbrauchsanalyse dar.

Alternativ zu zusätzlich zu installierenden Messgeräten können zur Verbrauchsanalyse beispielsweise die Messwerte von bereits vorhandenen Energiezählern herangezogen werden. Konventionelle Energiezähler ermöglichen den Verbrauchern jedoch nur in eingeschränktem Maß oder mit hohem Aufwand eine Analyse des eigenen Energieverbrauchs, da kontinuierlich Zählerstände protokolliert werden müssen um eine ausreichend genaue Datenbasis für eine Verbrauchsanalyse zu erhalten. Abhilfe können hier intelligente Zähler schaffen, sogenannte Smart Meter. Die europäische Kommission hat daher in der Richtlinie 2009/72/EG als Ziel ausgegeben, dass bis zum Jahr 2020 mindestens 80% der Verbraucher mit intelligenten Messsystemen ausgestattet werden [12]. In Österreich wurde daraufhin im §83 Z2 des Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz 2010 die Regulierungsbehörde Energie-Control Austria (ECA) damit betraut „jene Anforderungen durch Verordnung zu bestimmen, denen diese intelligenten Messgeräte zu entsprechen haben“ [13]. Vor diesem Hintergrund hat die ECA in der Verordnung [14] unter anderem die Aufzeichnung der Zählerstände oder Leistungsmittelwerte inklusive Zeitstempel in 15-minütigen Zeitintervallen und eine bidirektionale Kommunikationsschnittstelle als verpflichtende Funktionsmerkmale der intelligenten Zähler festgelegt. In der praktischen Anwendung werden die erfassten Verbrauchswerte inklusive Zeitbezug täglich an eine zentrale Datenbank übertragen. Zudem werden die wichtigsten Verbrauchsinformationen in Echtzeit auf dem Gerätedisplay angezeigt.

Verbraucher können über eigens vom Energieversorger dafür eingerichtete Onlineportale auf diese Datenbank zugreifen und somit ihre Verbrauchsdaten zeitnah einsehen. Zudem bieten diese Portale in der Regel umfassende statistische Auswertungs- und individuell konfigurierbare Visualisierungsmöglichkeiten, wie zum Beispiel die Darstellung der Lastgangdiagramme. Die Direktanzeige auf dem Gerätedisplay und der ortsunabhängige

Datenbankzugriff ermöglicht den Verbrauchern mit geringem Aufwand eine zeitnahe Verbrauchsanalyse und fördert auf diese Weise den effizienten Energieeinsatz [15].

Eine ähnlich umfangreiche Funktionalität wie die intelligenten Zähler weisen auch sogenannte Eigenverbrauchsregler auf. Die wesentlichen Vorteile derartiger Geräte gegenüber den Energiezählern sind die höhere zeitliche Auflösung der Messungen sowie die gezielte Steuerung einzelner Verbraucher zur Optimierung des PV-Eigenverbrauchs. Die Funktion beinhaltet die Messung von Spannung und Strom je Phase. Mit den daraus gewonnenen Informationen kann bei einem Erzeugungsüberschuss vier Schaltkontakte und auch ein Regelausgang (Regelbereich 0 % bis 100 %) geschaltet werden. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind diese Geräte um netto 783 € zzgl. Installationskosten erhältlich, wobei die Installationskosten rund 400 € betragen [16].

3.2 Charakteristische PV-Kennzahlen^C

Bedingt durch die in Abschnitt 2.1 erörterte Diskrepanz zwischen Einspeisevergütung für Energieüberschüsse und Strombezugskosten liegt das Bestreben der Besitzer von PV-Anlagen ohne OeMAG-Vertrag in der Maximierung des Eigenverbrauchs.

Unter dem EV ist derjenige Anteil der erzeugten PV-Energie zu verstehen, der im Zeitpunkt der Erzeugung vom Betreiber der PV-Anlage verbraucht und somit nicht ins öffentliche Stromnetz eingespeist wird. Die Angabe des EV erfolgt zumeist als relative Kennzahl unter Zuhilfenahme der erzeugten PV-Energie als Bezugsgröße (s. Gleichung 3.3). Aufgrund der höheren Aussagekraft hinsichtlich der in dieser Arbeit vorzunehmenden Betrachtungen wird der EV im weiteren Verlauf dieser Arbeit bevorzugt als relative Kennzahl angegeben.

$$EV = \frac{W_{PV,EV}}{W_{PV}} \cdot 100\% = \frac{\int_0^T P_{PV,EV}(t) dt}{\int_0^T P_{PV}(t) dt} \cdot 100\% = \frac{\int_0^T [P_{PV}(t) - P_{NE}(t)] dt}{\int_0^T P_{PV}(t) dt} \cdot 100\% \quad 3.3$$

$$\Rightarrow EV = \frac{P_{PV} - P_{NE}}{P_{PV}} \cdot 100\% = \left(1 - \frac{P_{NE}}{P_{PV}}\right) \cdot 100\%$$

EV	Eigenverbrauch	in %
$P_{PV,EV}(t)$	Leistungsmomentanwert des Eigenverbrauchs	in W
$P_{NE}(t)$	Leistungsmomentanwert der Netzeinspeisung	in W
$P_{PV}(t)$	Leistungsmomentanwert der PV-Erzeugung	in W
P_{NE}	Leistungsmittelwert der Netzeinspeisung im Zeitintervall T	in W
P_{PV}	Leistungsmittelwert der PV-Erzeugung im Zeitintervall T	in W
$W_{PV,EV}$	eigenverbrauchte PV-Energie im Zeitintervall T	in Ws
W_{PV}	erzeugte PV-Energie im Zeitintervall T	in Ws
T	Zeitintervall (Messzeitraum)	in s

Einen weiteren Zusammenhang zwischen erzeugter PV-Energie und Energieverbrauch gibt die Eigendeckung (ED) an. Hierbei handelt es sich um das Verhältnis von eigenverbraucher PV-Energie zum Gesamtenergieverbrauch im Zeitintervall T, wobei auch hier der Erzeugungs- und Verbrauchszeitpunkt zu berücksichtigen ist:

$$ED = \frac{W_{PV,EV}}{W_{Ges}} \cdot 100\% = \frac{\int_0^T P_{PV,EV}(t) dt}{\int_0^T P_{Ges}(t) dt} \cdot 100\% = \frac{\int_0^T [P_{PV}(t) - P_{NE}(t)] dt}{\int_0^T P_{Ges}(t) dt} \cdot 100\% \quad 3.4$$

$$\Rightarrow ED = \frac{P_{PV} - P_{NE}}{P_{Ges}} \cdot 100\% = \left(EDP - \frac{P_{NE}}{P_{Ges}} \right) \cdot 100\%$$

ED	Eigendeckung im Zeitintervall T	in %
$P_{EV}(t)$	Leistungsmomentanwert des Energieverbrauchs	in W
$P_{PV,EV}(t)$	Leistungsmomentanwert des Eigenverbrauchs aus PV	in W
$P_{NE}(t)$	Leistungsmomentanwert der Netzeinspeisung	in W
$P_{PV}(t)$	Leistungsmomentanwert der PV-Erzeugung	in W
P_{NE}	Leistungsmittelwert der Netzeinspeisung im Zeitintervall T	in W
P_{PV}	Leistungsmittelwert der PV-Erzeugung im Zeitintervall T	in W
$W_{PV,EV}$	eigenverbrauchte PV-Energie im Zeitintervall T	in Ws
W_{Ges}	Gesamtenergieverbrauch im Zeitintervall T	in Ws
T	Zeitintervall (Messzeitraum)	in s

Als weitere Kennzahl gibt das Eigendeckungspotential (EDP) das Verhältnis von erzeugter PV-Energie und Gesamtenergieverbrauch im Zeitintervall T an. Das EDP entspricht somit der ED bei 100 % EV:

$$EDP = \frac{W_{PV}}{W_{Ges}} \cdot 100\% = \frac{\int_0^T P_{PV}(t) dt}{\int_0^T P_{Ges}(t) dt} \cdot 100\% \quad 3.5$$

EDP	Eigendeckungspotential im Zeitintervall T	in %
$P_{Ges}(t)$	Leistungsmomentanwert des Gesamtenergieverbrauchs	in W
$P_{PV}(t)$	Leistungsmomentanwert der PV-Erzeugung	in W
W_{PV}	erzeugte PV-Energie im Zeitintervall T	in Ws
W_{EV}	Energieverbrauch im Zeitintervall T	in Ws
T	Zeitintervall (Messzeitraum)	in s

Die genannten Kennzahlen geben auf Basis einfacher Berechnungen einen Überblick bezüglich Energieverbrauch und -erzeugung. Insbesondere die zeitliche Entwicklung dieser Kennzahlen ist ein wichtiger Indikator hinsichtlich der Wirksamkeit gezielter Lastmanagementmaßnahmen.

In die Interpretation der Kennzahlen sind jedoch einige, zumeist zeitabhängige Einflussgrößen einzubeziehen um die Aussagekraft der Kennzahlen zu wahren. Neben der Dargebotsabhängigkeit der Energieerzeugung haben auch die betriebsspezifischen Prozesse – insbesondere wenn diese saisonalen Schwankungen unterliegen – großen Einfluss auf EV und ED. Zugleich stellen auch die Geräteausstattung und der Automatisierungsgrad der Betriebe sowie die Auslegung der PV-Anlage Einflussgrößen dar, die zu berücksichtigen sind.

3.3 Lastgang^C

Der Lastgang beschreibt den zeitabhängigen Leistungsverlauf eines Energieverbrauchers. Ebenfalls gebräuchliche Bezeichnungen sind Lastkurve und Lastprofil. Sie sind ein verbreitetes Mittel der Verbrauchsanalyse und bilden die Grundlage zur Identifizierung von Lastmanagement- und Effizienzmaßnahmen [17]. Im Bereich der Energieerzeugung wird der zeitabhängige Leistungsverlauf als Erzeugungskurve oder Erzeugungsprofil bezeichnet. Hinsichtlich des Betrachtungszeitraumes wird zwischen Tages-, Wochen- und Jahreskurven unterschieden.

Mittels Integration aller Leistungswerte im Zeitintervall T lässt sich die elektrische Arbeit W des Betrachtungszeitraumes errechnen und der Zusammenhang zur mittleren Leistung P_{mittel} herstellen:

$$W = \int_0^T P(t) dt = P_{\text{mittel}} \cdot T \quad 3.6$$

W	elektrische Energie	in Ws
$P(t)$	zeitabhängiger Wirkleistungsverlauf	in W
P_{mittel}	mittlere Wirkleistung	in W
T	Zeitintervall	in s

Abbildung 3.2 zeigt ein Tageslastgangdiagramm eines Milchwirtschaftsbetriebes mit 28 Milchkühen und die Erzeugungskurve der in diesem Betrieb installierten 5,25 kWp PV-Anlage. Zudem ist jeweils der arithmetische Leistungsmittelwert P_{mittel} der beiden Kurven eingezeichnet. Bei der Interpretation des Leistungsmittelwertes der PV-Erzeugung ist zu beachten, dass in dessen Berechnung alle 24 Stunden des Tages einbezogen werden. Aufgrund der Berücksichtigung der sonnenlosen Stunden ergibt sich ein niedrigerer Mittelwert als bei ausschließlicher Berücksichtigung jener Stunden in denen Energie mittels PV erzeugt wird. Die nach Gleichung 3.6 ermittelten Leistungsmittelwerte der PV-Erzeugung

ergeben bei einem Zeitraum von 24 Stunden den Tagesmittelwert. Ein EV nahe 100% kann beispielsweise mit Energiespeichern erreicht werden. Jedoch ist deren Einsatz derzeit aufgrund der gegenwärtig sehr hohen Anschaffungskosten nicht wirtschaftlich [18]. Nähere Erläuterungen hierzu sind im Abschnitt 7.3 angeführt.

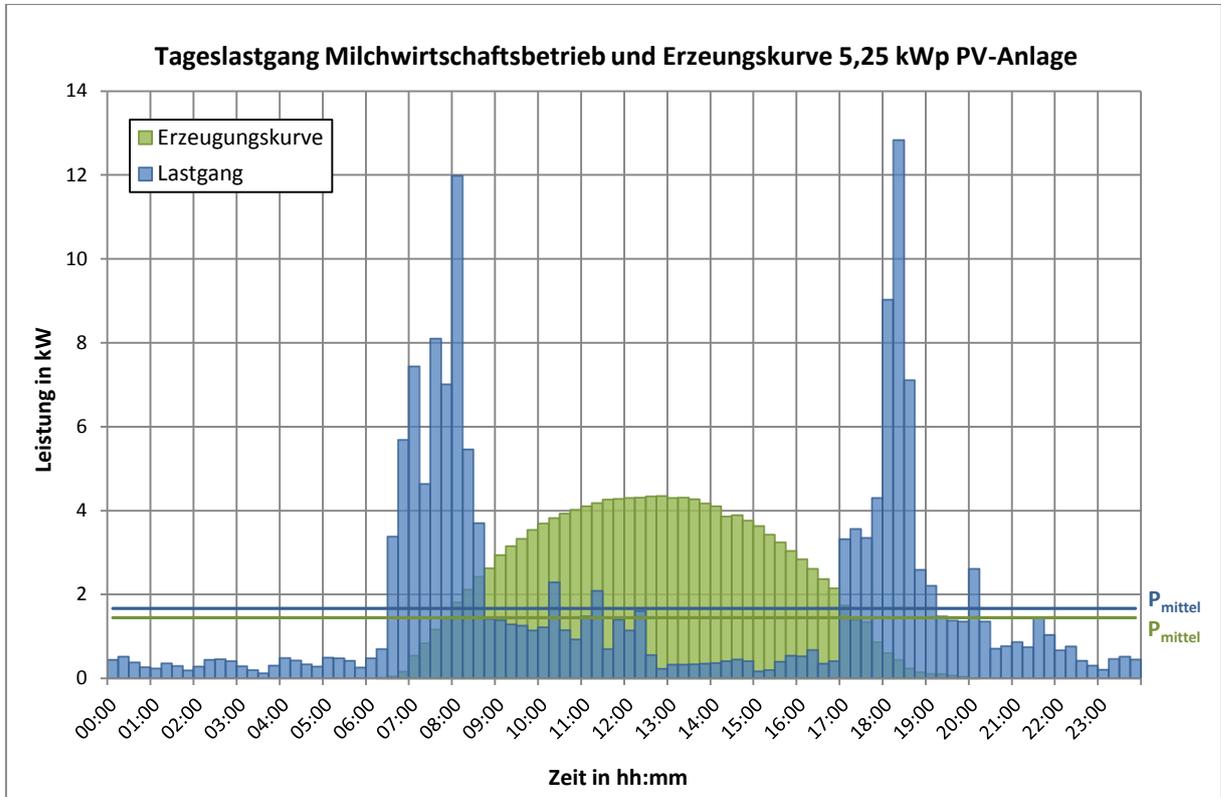


Abbildung 3.2: Tageslastgang eines Milchwirtschaftsbetriebes und Erzeugungskurve einer 5,25 kWp PV-Anlage

Die Dauerlinie – ein weiteres Mittel zur Analyse von Energieverbrauch und Energieerzeugung (s. Abbildung 3.3) – kann aus der Datenbasis der Last- bzw. Erzeugungskurven entwickelt werden. Die Leistungswerte werden hierfür – ausgehend vom maximalen Leistungswert P_{max} – der Größe nach sortiert und optional auf den maximalen Leistungswert P_{max} normiert. Durch die Umsortierung geht jedoch der zeitliche Bezug zum Auftrittszeitpunkt der einzelnen Leistungswerte verloren. Aus der Dauerlinie ist die Zeitdauer ersichtlich für die ein bestimmter Leistungswert erreicht oder auch überschritten wird.

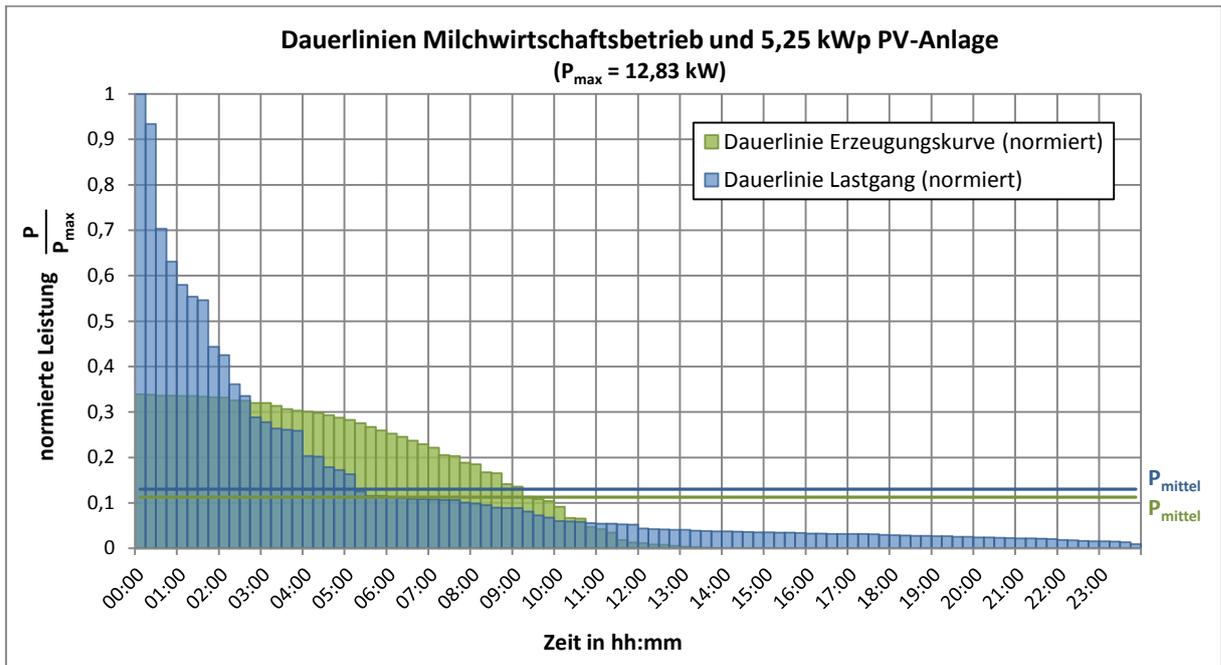


Abbildung 3.3: Normierte Dauerlinie der Lastgang- und Erzeugungskurve in Abbildung 3.2

3.4 Erneuerbare Energien^G

Im Jahr 2010 hat in Österreich elektrische Energie aus PV-Anlagen 0,1 % zum erneuerbaren Endenergieaufkommen von 358 PJ beigetragen. Dieses hat wiederum 30,8 % vom gesamten Endenergieaufkommen abdeckt. Das absolute Wachstum der erneuerbaren Energien betrug 81 % und stellt das größte einer einzelnen Sparte dar. [9]

Der Energieertrag der PV-Anlagen hängt von technischen und räumlichen Parametern ab. Die räumlichen Parameter beinhalten neben dem Montageort auch die Ausrichtung und den Neigungswinkel der Anlage. Die mittlere jährliche Sonneneinstrahlung liegt in Österreich bei 900 bis 1.400 kWh/m². Von den 19 betrachteten Betrieben liegen 15 Betriebe in der Süd-, Südwest- und Oststeiermark.

Abbildung 3.4 zeigt, dass in diesem Bereich die mittlere jährliche Sonneneinstrahlung 1.200 bis 1.300 kWh/m² pro Jahr beträgt. [19]

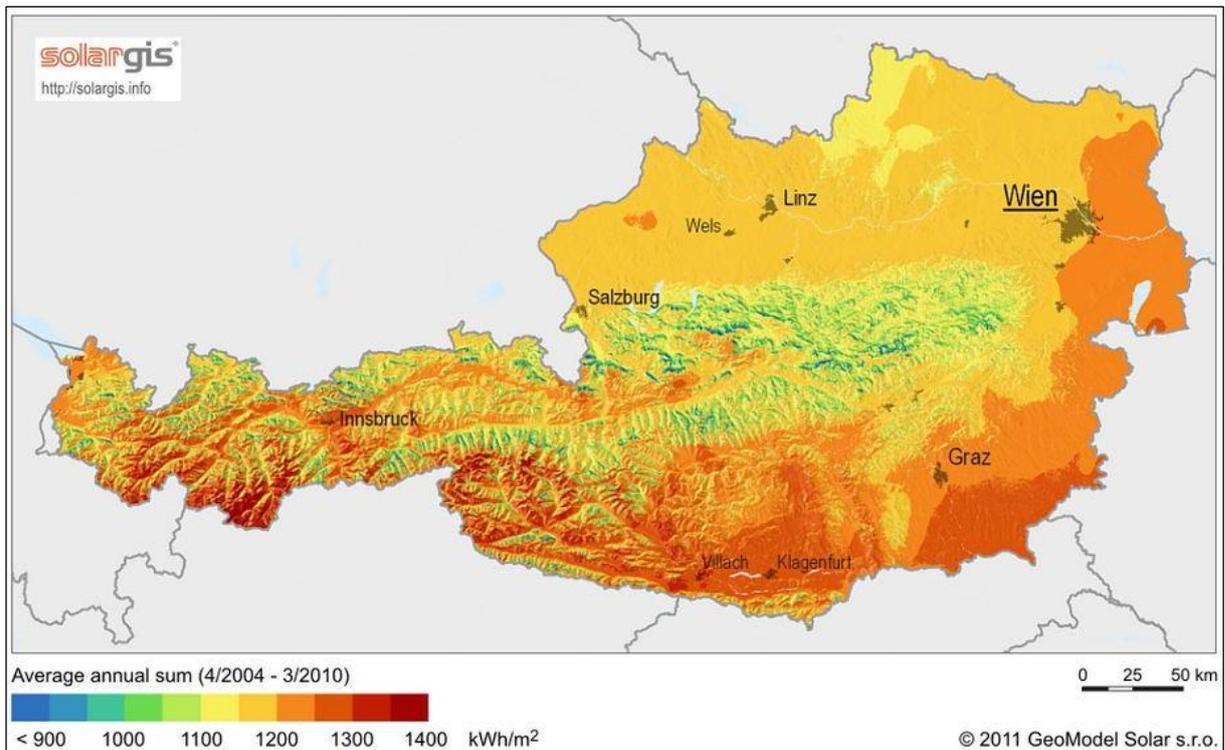


Abbildung 3.4: Mittlere jährliche Sonneneinstrahlung für Österreich in kWh/m² (Quelle: [20])

Der Einfluss des Neigungswinkels auf den Energieertrag der Anlage wird in Abbildung 3.5 deutlich. Über den Montagewinkel kann die saisonale Erzeugungskurve beeinflusst werden. Der maximale Jahresertrag wird bei exakter Südausrichtung und 30 ° Modulneigung erzielt [21]. Durch Verschattungen liefert die betroffene Gruppe von miteinander verschalteten Modulen einen Minderertrag, ausgehend vom gerade verschatteten Modul. Ursachen für Verschattungen können die Horizontlinie oder Hindernisse wie Bäume oder benachbarte Gebäude sein sowie Dachaufbauten wie Gauben oder Antennen bzw. die Eigenverschattung durch Teile der PV-Anlage selbst. Darauf aufbauend wurde von den vorhandenen Dächern am Hof das jeweils am besten geeignete ausgewählt.

Für die im Rahmen des Projektes analysierten PV-Anlagen wurden von den Projektpartnern bei der Anlagenerrichtung monokristalline Module des steirischen Produzenten PVP ausgewählt, sowie Wechselrichter der deutschen Anbieter Kostal und Kaco und des österreichischen Herstellers Fronius.

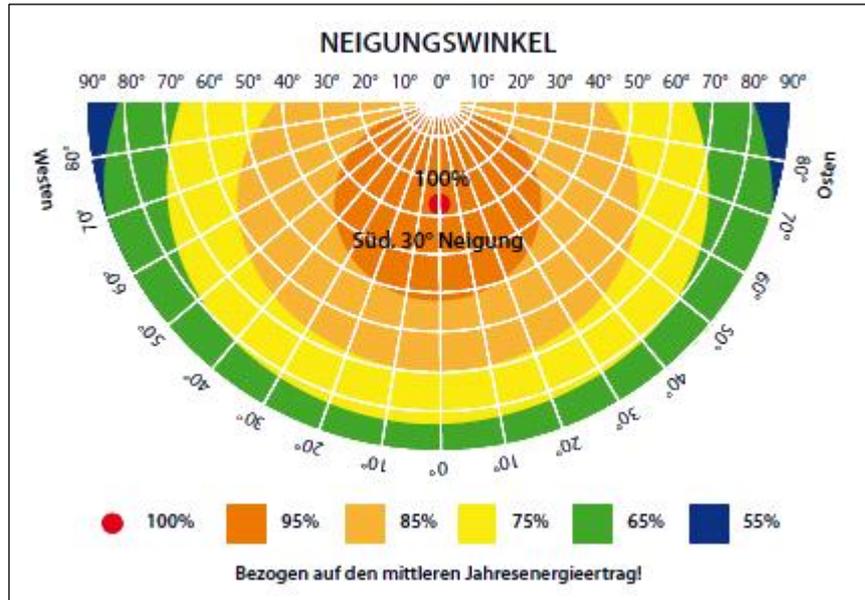


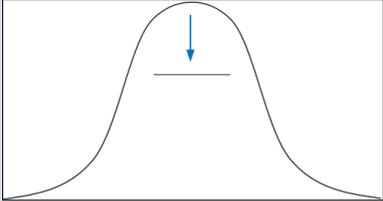
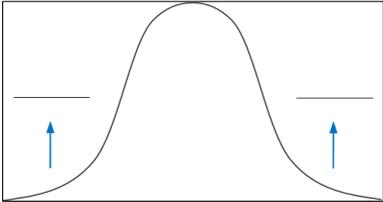
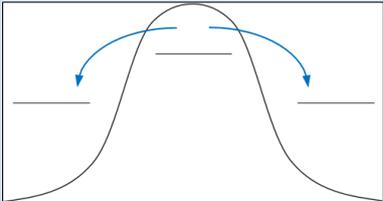
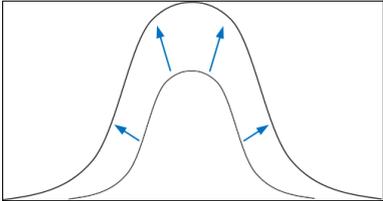
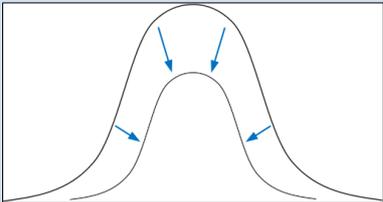
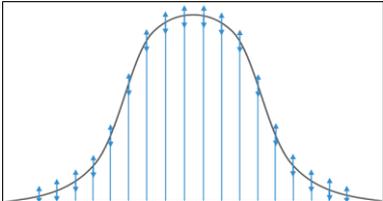
Abbildung 3.5: Prozentualer Jahresenergieertrag in Abhängigkeit von Montagewinkel und -neigung (Quelle: [21])

3.5 Methoden des Demand-Side Management^C

Dieser Abschnitt befasst sich mit der Thematik DSM und erläutert die Relevanz des DSM für diese Arbeit.

DSM ist ein Überbegriff für verschiedene Maßnahmen zur Steuerung der Energienachfrage. Fälschlicherweise wird DSM oftmals als Synonym für Lastmanagement verstanden. Tatsächlich handelt es sich beim Lastmanagement jedoch um einen Teilbereich des DSM, der sich aus den DSM-Methoden *Peak Clipping*, *Valley Filling* und *Load Shifting* zusammensetzt. Ferner umfasst das DSM die Methoden *Strategic Growth*, *Strategic Conservation* und *Flexible Load Shape*. Die Definition der einzelnen Maßnahmen des DSM und deren Auswirkungen auf den Lastgang sind in Tabelle 3.1 zusammengefasst.

Tabelle 3.1: Methoden des Demand-Side Management (Quellen: [22], [23]; eigene Darstellung)

Methode	Definition
<p>Peak Clipping</p> 	<p>Leistungsbegrenzungen beim Energieabnehmer verhindern Lastspitzen. Geringere Schwankungen im resultierenden Lastgang sind das Ergebnis.</p>
<p>Valley Filling</p> 	<p>Zusätzlicher Energieverbrauch beim Endabnehmer zu lastschwachen Zeitpunkten gleicht Lasttäler aus. Der Lastgang wird dadurch geglättet.</p>
<p>Load Shifting</p> 	<p>Durch die Kombination von Peak Clipping und Valley Filling werden Lastspitzen in Lasttäler verschoben. Ein geglätteter Lastgang ist das Ergebnis.</p>
<p>Strategic Growth</p> 	<p>Steigerung des Energieverbrauchs zu jedem Zeitpunkt durch (neue) zusätzliche Verbraucher (z.B. laden von Elektroautos). Oftmals auch als <i>Electrification</i> bezeichnet.</p>
<p>Strategic Conservation</p> 	<p>Reduzierung des Energieverbrauchs zu jedem Zeitpunkt durch Energieeffizienzmaßnahmen. Oftmals auch als <i>Energy Efficiency</i> bezeichnet.</p>
<p>Flexible Load Shape</p> 	<p>Flexibler Lastgang durch Laststeuerung zu jedem Zeitpunkt (z.B. über Energiepreise).</p>

Ursprünglich wurden DSM-Maßnahmen zur Glättung des im Stromnetz resultierenden Lastganges eingesetzt um den Einsatz von Spitzenlastkraftwerken aufgrund von Lastspitzen zu vermeiden. Durch den fortwährenden Wandel von der bedarfsgerechten zur dargebotsabhängigen Stromerzeugung haben sich die Anforderungen an das DSM jedoch geändert. Zur Integration von Wind- und PV-Anlagen in das Stromnetz bedarf es einer an die Energieerzeugung zu bestimmten Zeitpunkten angepasste Energienachfrage.

Aus dieser Anforderung ergibt sich analog zu der in Abschnitt 3.2 angeführten Motivation der analysierten Landwirtschaftsbetriebe zur Steigerung des Eigenverbrauchs. Während die DSM-Methoden im öffentlichen Netz vom Energieversorger zur Steuerung der Netzlast eingesetzt werden, stellen sie in dieser Arbeit das Werkzeug zur Maximierung des Energieeigenverbrauchs in den landwirtschaftlichen Betrieben dar.

Gleichrangiges Ziel dieser Arbeit neben der Maximierung des Eigenverbrauchs ist die Steigerung der Energieeffizienz in den analysierten Betrieben.

3.6 Energieeffizienz^C

In den vergangenen Jahren ist der Begriff Energieeffizienz zum zentralen Thema im Bereich der Gebrauchs- und Investitionsgüter aufgestiegen. Nationale und internationale Richtlinien und Normen sowie unzählige Fachbücher behandeln das Thema Energieeffizienz ohne im Vorfeld eine eindeutige Begriffsdefinition vorzunehmen. In dieser Arbeit soll Energieeffizienz laut der nachfolgenden Definition verstanden werden:

„Der Begriff der Energieeffizienz bezeichnet die rationelle Verwendung von Energie. Ziel von Energieeffizienzmaßnahmen ist die Reduktion des Gesamtenergiebedarfs von Prozessen durch Herabsetzung der quantitativen und qualitativen Verluste, die im Einzelnen bei der Wandlung, dem Transport und der Speicherung von Energie auftreten“ [24].

Aus dieser Definition lässt sich ableiten, dass Energieeffizienzmaßnahmen alle Maßnahmen sind, die nach dem ökonomischen Minimalprinzip den Gesamtenergiebedarf von Prozessen bei gleichbleibendem Nutzen reduzieren.

4 Methoden^C

Dieser Abschnitt beschreibt die Herangehensweise zur Analyse der Lastgänge der zu analysierenden Betriebe sowie die Erfassung des Ist-Zustandes in den Betrieben hinsichtlich Geräteausstattung und Verbrauchsverhalten.

4.1 Lastganganalyse^C

Die Analyse der Lastgänge zur Identifizierung der energieintensiven Verbraucher in den Betrieben basiert auf den Erkenntnissen der im Vorfeld durchgeführten Literatur- und Internetrecherche. Bei der Lastganganalyse ist darauf zu achten, dass auch der durch den Haushalt (HH) verursachte Stromverbrauch in den Lastgängen aufscheint (s. Abschnitt 5). In den Lastgangdiagrammen sind die typischen Betriebsprozesse und deren zyklischer Ablauf erkennbar. Die exakten Prozessabläufe können aus den vorliegenden Lastgangdaten nicht identifiziert werden. Hierfür wären Messwerte mit höherer zeitlicher Auflösung nötig. Um dennoch ein bestmögliches Abbild der Prozessabläufe in den jeweiligen Betrieben zu erhalten wurden ein detaillierter Fragebogen sowie eine Verbraucher-Checkliste im Sinne einer Verbrauchsgeräte-Checkliste erstellt. Diese dienen der Erfassung relevanter Informationen während der Vor-Ort Analyse.

Softwaretechnische Umsetzung:

Zur Lastganganalyse werden die zur Verfügung stehenden Smart-Meter Messwerte der Landwirtschaftsbetriebe herangezogen. Diese liegen für Energieverbrauch, -bezug, -erzeugung und -einspeisung in Form von 15-minütigen Energiewerten vor. Zur gezielten Analyse der Messwerte wurde ein Programm auf Basis von Microsoft Excel und entsprechender Makroprogrammierung in Visual-Basic for Application (VBA) erstellt. Es können alle Wochen- und Monatsdiagramme der zugrundeliegenden Datenbasis als Seriendruck, individuelle Tages-, Wochen- oder Monatsdiagramme und zudem Übersichtsgrafiken zur Eigenverbrauchsanalyse sowie Jahresdiagramme erstellt werden. Außerdem werden für jedes Diagramm die wichtigsten Kennwerte berechnet und dargestellt.



The screenshot shows a software interface for data analysis. It is divided into several sections:

- Landwirt:** A dropdown menu set to "Betrieb S1".
- Tageslastgang:** A dropdown menu set to "15.10.13".
- Wochenlastgang:** A dropdown menu set to "14.10.13 - 20.10.13".
- Monatslastgang:** A dropdown menu set to "Oktober '13".
- Datenimport:** A button.
- Diagrammtyp:** Radio buttons for "Linien" (selected), "Säulen", and "Flächen".
- Darzustellende Daten:** Checkboxes for "Verbrauch" (checked), "Netzbezug", "PV-Erzeugung" (checked), and "Netzeinspeisung".
- Buttons:** "Ok" and "PDF erstellen".

Below this main section, there is a smaller, similar interface for "Seriendruck":

- Seriendruck:** Radio buttons for "Wochendiagramme" (selected) and "Monatsdiagramme".
- Diagrammtyp:** Radio buttons for "Linien" (selected), "Säulen", and "Flächen".
- Darzustellende Daten:** Checkboxes for "Verbrauch" (checked), "Netzbezug", "PV-Erzeugung" (checked), and "Netzeinspeisung".
- Buttons:** "Ok".

Abbildung 4.1: Bedienelemente des Auswertungsprogrammes

Zur Wahrung der Übersichtlichkeit an dieser Stelle werden weitere Informationen zum Programmablauf und die verschiedenen Diagrammtypen im Anhang dargelegt (s. Abschnitt 10.1).

4.2 Vor-Ort-Besuch zur spezifischen Betriebsanalyse (Ist-Situation)^G

Bei jedem teilnehmenden Betrieb wurde mindestens ein Vor-Ort Besuch absolviert, in dessen Rahmen die Vor-Ort Analyse durchgeführt wurde. Sie lieferte die Basis für die weitere Analyse inklusive Ableitung der Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und des Lastmanagements. Das Ziel der Erhebung war, den derzeitigen Stand im Betrieb detailliert zu erfassen, die durchgeführten Produktionsprozesse zu verstehen und die Analyse vorzubereiten.

Die Termine wurden telefonisch vereinbart. Im Rahmen des Telefonats wurde auch darum gebeten, außergewöhnliche Ereignisse welche elektrische Energie benötigen zu notieren. Der Zeitrahmen je Vor-Ort Erhebung hat in Abhängigkeit von der Betriebsgröße zwischen drei und sechs Stunden betragen. Der weitaus größere Zeitanteil entfiel somit auf die Vor- und Nachbereitung eines Betriebsbesuches.

4.2.1 Fragebogen zur spezifischen Betriebsanalyse^G

Anhand der energetisch relevanten Prozesse in der LW wurde ein Fragebogen gestaltet, damit jeder Betrieb im Rahmen eines Besuchstermins erfasst werden konnte.

Im ersten Abschnitt des Fragebogens werden Informationen zum Betrieb gesammelt. Dieser Bereich beinhaltet Kontaktdaten, Details zur PV-Anlage sowie Informationen zum Elektrizitätsbezug, beispielsweise ob und in welchem Umfang Gewerbetarife mit separaten Zählern zum Einsatz kommen. Der zweite Teil legt den Fokus auf die im Betrieb ablaufenden Prozesse. Abgefragt werden die Abschnitte Stallheizung und Warmwasserverbrauch, Beleuchtung, Stallbelüftung, Fütterung, Entmistung, Trocknung/Heubelüftung, Kühlung, Melken, Ferkelnestbeheizung, Eierproduktion, Urlaub am Bauernhof, Direktvermarktung sowie Obst-, Wein- und Gemüsebau. Abgeschlossen wird der Fragebogen mit eigenen Notizen, welche zur Erfassung des Betriebes in seiner Gesamtheit beitragen.

Im Betrieb wurde nach einer kurzen Begehung der Fragebogen gemeinsam mit dem Betriebsführer ausgefüllt. Auch wurde mit dem Landwirt eine Auswahl an Lastgängen besprochen, um ablaufende Prozesse zu identifizieren und auffälliges Lastverhalten zu ergründen.

4.2.2 Verbraucher-Checkliste zur spezifischen Betriebsanalyse^G

Abschließend wurde eine detaillierte Begehung durchgeführt, bei der die Verbraucher-Checkliste ausgefüllt wurde. Dabei werden zusätzlich in der separaten Verbraucher-Checkliste Details aller elektrischen Verbraucher dokumentiert, welche entweder durch hohe Anschlussleistung oder lange Betriebszeiten einen signifikanten Anteil am betrieblichen Stromverbrauch haben. Die Informationen beinhalten die Anzahl des jeweiligen Verbrauchers, die Leistungsaufnahme, die Einsatzstunden, den Einsatzzyklus, die typische Uhrzeit des Einsatzes und ob die Möglichkeit einer Verschiebung der Anwendung besteht. Die Gliederung erfolgt nach den Prozessen Stallheizung und Warmwasser (WW), Kühlung, Belüftung, Fütterung, Melken, Entmistung, Einlagerung/Silo, dem Teilbereich welcher

Pressen, Sammeln, Verpacken und Sortieren umfasst, und in weiterer Folge Beleuchtung, Wohngebäude/HH/Verwaltung sowie sonstige Verbraucher.

5 Erhobene Daten der analysierten Betriebe^G

In sieben der 19 analysierten Betriebe wird lediglich ein landwirtschaftlicher Produktionszweig verfolgt wohingegen es sich bei zwölf von 19 Betrieben um Mischbetriebe handelt, die neben ihrem Hauptproduktionszweig über zumindest einen weiteren Produktionszweig verfügen. Dieser Sachverhalt ist in Tabelle 5.1 dargestellt, wobei die Betriebe mit einer eindeutigen Abkürzung ihres jeweiligen Hauptproduktionszweiges und fortlaufender Nummer benannt werden. Diese Betriebskennzeichnung wird im weiteren Verlauf der Arbeit beibehalten.

Tabelle 5.1: Haupt- und Nebenproduktionszweige der analysierten Betriebe

	F 1	F 2	F 3	S 1	M 1	M 2	M 3	E 1	E 2	GM 1	D 1	D 2	D 3	D 4	U 1	O 1	O 2	GB 1	W 1
Ferkelzucht	■	■	■											■					
Schweinemast	■	■	■	■										■	■				
Milchwirtschaft					■	■	■												
Eierproduktion								■	■					■					
Geflügelmast										■			■						
Direktvermarktung											■	■	■	■			■		■
Urlaub am Bauernhof															■				■
Obstbau												■	■				■	■	
Gemüsebau									■		■							■	
Weinbau																			■
Andere Sparten											■	■		■	■			■	

■ Hauptproduktionszweig ■ Nebenproduktionszweig

In Abschnitt 4.1 wurde bereits darauf hingewiesen, dass die zur Energieverbrauchsanalyse zugrundeliegenden Messwerte die Haushaltsenergieverbräuche beinhalten. Um in der nachfolgenden Detailanalyse der Betriebe ausschließlich den durch landwirtschaftliche Prozesse bedingten Energieeinsatz zu berücksichtigen, werden die Gesamtstromverbräuche um Durchschnittshaushaltsverbräuche korrigiert.

Dabei wird die Anzahl der im HH lebenden Personen je Betrieb gemäß Tabelle 5.2 berücksichtigt. Vier Quellen wurden erhoben, diese beinhalten mit den Quellen [25], [26] und [27] drei österreichische und mit [28] eine deutsche Publikation. Da in den untersuchten Betrieben nur Hackgutheizungen und Fernwärme zum Einsatz kommen, wurden die Angaben um die explizit angeführten Verbräuche für Heizung und WW bereinigt. Die maximale Haushaltsgröße in den erhobenen Betrieben beträgt neun Personen, was die

maximalen Haushaltsgrößen in den Literaturquellen übersteigt. Energieverbräuche für Personenzahlen, welche in den Publikationen nicht angeführt sind, werden aus den verfügbaren Daten der verwendeten Quellen unter Verwendung einer Potenzreihe¹ interpoliert. Sterne in Tabelle 5.2 weisen auf Verbrauchswerte der Haushalte hin, die durch Interpolation ermittelt wurden. Dies musste aufgrund fehlender Angaben in den genannten Quellen durchgeführt werden.

Die minimalen und maximalen Haushaltsverbräuche, welche in den letzten beiden Zeile von Tabelle 5.2 enthalten sind, resultieren aus den Minimalwerten respektive Maximalwerten der vier verwendeten Quellen. Sie definieren die Bandbreite der Berechnung. Der Gesamtstromverbrauch wird um diese Bandbreite des Haushaltsstromverbrauchs bereinigt, um wiederum die Bandbreite für den landwirtschaftlich verursachten Stromverbrauch je Betrieb zu erhalten. Diese Vorgangsweise wird bei jenen Betrieben angewandt, wo lediglich ein Smart Meter zur Erfassung der Bereiche Landwirtschaft und Haushalt zur Verfügung stand. Einige Betriebe verfügen über separate Smart Meter für den landwirtschaftlichen Bereich. Falls diese separate Erfassung gegeben ist, wird dies in der Betriebsauswertung angegeben. Eine Bereinigung um den Haushaltsverbrauch findet in diesen Fällen nicht statt.

Tabelle 5.2: Minimale und maximale Durchschnittsstromverbräuche im Haushalt nach Personenzahl exklusive Verbräuche für Warmwasser und Heizung (Quellen: [25], [26], [27], [28]; eigene Darstellung)

Personen im Haushalt:		1	2	3	4	5	6	7	8	9	Quelle:
Stromverbrauch in kWh/a:		2.100	2.800	3.400	4.000	4.500	4.950	5.200	5.521*	5.837*	[25]
		1.700	3.000	3.500	4.200	4.700	5.423*	5.967*	6.483*	6.975*	[28]
		2.308	3.357	3.997	4.524	5.541	5.833*	6.319*	6.772*	7.199*	[26]
		2.158	3.562	4.728	4.675	5.864*	6.536*	7.164*	7.756*	8.319*	[27]
Stromverbrauch in kWh/a:	Min:	1.700	2.800	3.400	4.000	4.500	4.950	5.200	5.521	5.837	
	Max:	2.308	3.562	4.728	4.675	5.864	6.536	7.164	7.756	8.319	

Mit * gekennzeichnete Werte durch Interpolation ermittelt

Die in Tabelle 5.1 vorgenommene Zuteilung der landwirtschaftlichen Produktionszweige sowie die im weiteren Verlauf dieses Abschnittes angegebenen Produktionsmengen beruhen auf den Angaben der Landwirte. Die Plausibilität dieser Angaben konnte durch die Momentaufnahme während der Vor-Ort-Analyse nur bedingt geprüft werden.

¹ Zur Interpolation verwendete Korrelationsfunktion je Quelle (x = Personenzahl)

[25]: $2062 \cdot x^{0,4736}$ ab der achten Person

[26]: $2303 \cdot x^{0,5187}$ ab der sechsten Person

[27]: $2250 \cdot x^{0,4586}$ ab der fünften Person

[26]: $2303 \cdot x^{0,5187}$ ab der sechsten Person

[27]: $2250 \cdot x^{0,5951}$ ab der fünften Person

Die verwendeten Daten zum Jahresstromverbrauch je Person sind die Mittelwerte der Auswertung „Jahresstromverbrauch Zähler 1“ der Quelle [27], da in keinem der besuchten Betriebe eine elektrische Haushalt-Brauchwasserbereitung im Einsatz war.

[28]: $1783,7 \cdot x^{0,6206}$ ab der sechsten Person

Zwischen den Betrieben einer Landwirtschaftssparte ergeben sich vor allem aufgrund von Skaleneffekten und unterschiedlichen Prozessabläufen teilweise erhebliche Unterschiede beim Energieverbrauch je Produktionseinheit. Dieser spezifische Kennwert wird im weiteren Verlauf der Arbeit als Energieintensität bezeichnet und in den Abschnitten 5.2 bis 5.11 nach Möglichkeit für jeden Betrieb explizit angegeben. In einigen der analysierten Betriebe ist eine direkte Umrechnung der Energieverbräuche auf die Produktionseinheiten nicht möglich, was hauptsächlich durch mehrere Produktionszweige innerhalb eines Betriebes begründet ist. Weiterhin sei angemerkt, dass die Berechnung der Energieintensität ausschließlich auf elektrischen Energieverbräuchen basiert. Soweit im Zuge anderer Berechnungen nicht explizit auf die Berücksichtigung weiterer Energieformen hingewiesen wird, basieren auch diese ausschließlich auf elektrischer Energie.

In den Abschnitten 5.2 bis 5.11 wird betriebsbezogen und in tabellarischer Form ein Überblick hinsichtlich energieintensiver Prozesse inklusive eingesetzter Verbraucher gegeben. Zur Kennzeichnung der Einsatzzyklen der Verbraucher werden folgende Abkürzungen definiert:

<i>bei Bed.</i>	bei Bedarf
<i>p.T.</i>	pro Tag
<i>p.W.</i>	pro Woche
<i>p.M.</i>	pro Monat
<i>p.J.</i>	pro Jahr
<i>n T. / m W.</i>	<i>n</i> Tage im <i>m</i> -Wochenzyklus
<i>n WZ</i>	<i>n</i> -Wochenzyklus

Im Zuge der Vor-Ort-Analyse und durch intensive Recherchen konnte für einige Verbraucher kein Leistungswert ermittelt werden, da deren Typenschilder nicht vorhanden oder nicht ablesbar waren. Diese Verbraucher werden mit der für „keine Angabe“ stehenden Abkürzung k.A. gekennzeichnet.

5.1 Übersicht der analysierten Prozesse^G

Je nach Betriebssparte werden differenzierte Prozesse, welche elektrisch betrieben werden, verwendet. Die folgende Aufstellung gibt einen Überblick über die Prozesse und die Sparten, in denen sie eingesetzt werden. Detailliert behandelt werden die einzelnen Prozesse in den betreffenden Teilabschnitten von Abschnitt 6.

5.1.1 Warmwassererzeugung^G

WW kann zu Heiz- oder Reinigungszwecken verwendet werden. Eine weitere Anwendung stellt das Anrühren von Futtermitteln mit vorgewärmtem Wasser dar.

Zum Betrieb der Raumheizung und für die Erzeugung von WW waren in 18 von 19 Betrieben Hackguthheizsysteme unterschiedlicher Hersteller im Einsatz, wobei moderne

Hackschnitzelheizungen einen Wirkungsgrad von bis zu 94 % erreichen [29]. In der Regel sind die Hackgutheizungen mit einem Pufferspeicher ausgestattet, dessen Größe in den Betrieben im Bereich von 1.000 l bis 10.000 l liegt.

5.1.2 Beleuchtung^G

Eine Vielzahl unterschiedlicher Leuchtmittel ist verfügbar, wobei LED-Technologie als am verbrauchsärmsten gilt. Beleuchtung stellt in Bereichen, in denen die Leuchtmittel viele Betriebsstunden erreichen einen relevanten Stromverbraucher dar wie in der Geflügelzucht und Eierproduktion sowie in der Direktvermarktung.

5.1.3 Kühlung^G

Kühlhallen mit den dazugehörigen Kühlaggregaten tragen zur Grundlast bei und gelten als energieintensive Verbraucher. Anwendung finden sie sowohl in Obstlagerhallen als auch im Bereich der Direktvermarktung. Zur Kühlung im Stallbereich werden auch über Kompressoren betriebene Wasser-Zerstäuber eingesetzt, beispielsweise in der Eierproduktion, welche als Zusatzkühlung an überdurchschnittlich heißen Tagen dienen.

5.1.4 Trocknung^G

Trocknungsanlagen für Getreide und Mais verbrauchen neben elektrischer Energie auch einen Brennstoff, beispielsweise Heizöl. Trocknungsanlagen werden direkt nach der Ernte betrieben.

5.1.5 Heubelüftung^G

Heubelüftungen sind bei vielen rinderhaltenden Betrieben im Einsatz und weisen hohe Leistungswerte auf. Dabei wird zwischen Kalt- und Warmbelüftung unterschieden. Heubelüftungen werden drei bis viermal im Jahr im Zeitraum April bis Spätherbst und zumeist über mehrere Tage hinweg eingesetzt.

5.1.6 Stallheizung^G

In vielen Betrieben werden Heizsysteme mit Holz aus dem eigenen Forst, wie Stückgut oder Hackschnitzel betrieben. Ein Beispiel für Stallheizungen stellt die Stallheizung in der Geflügelmast dar.

5.1.7 Stallbelüftung^C

Die Ventilatoren von Belüftungsanlagen können auf mehrere Arten geregelt werden. Varianten sind Transformatoren-, Phasenanschnittsteuerung und Regelung mit Frequenzumrichter (FU). Die modernste Ausführung stellen kommutatorlose Gleichstrommaschinen mit elektronischer Kommutierung dar. Abgeleitet vom englischen Begriff Electronical Commutation (EC) wird diese Ausführung oftmals als EC-Motor bzw. EC-Lüfter bezeichnet. Die von den Ventilatoren aufgenommene Leistung ist abhängig von Drehzahl und eingesetzter Regelungsvariante (s. Abbildung 5.1). Des Weiteren hat die

Ausführung des Abluftkanals direkten Einfluss auf den erzielten Volumenstrom (VS) und die daraus resultierende spezifische Leistungsaufnahme der Ventilatoren (s. Tabelle 5.3).

Stallbelüftungen mit mehreren kW Anschlussleistung werden in den Bereichen Ferkelzucht, Schweine- und Hühnermast sowie Eierproduktion eingesetzt. Dort gehören sie als grundlastverursachende Dauerläufer zu den größten Stromverbrauchern.

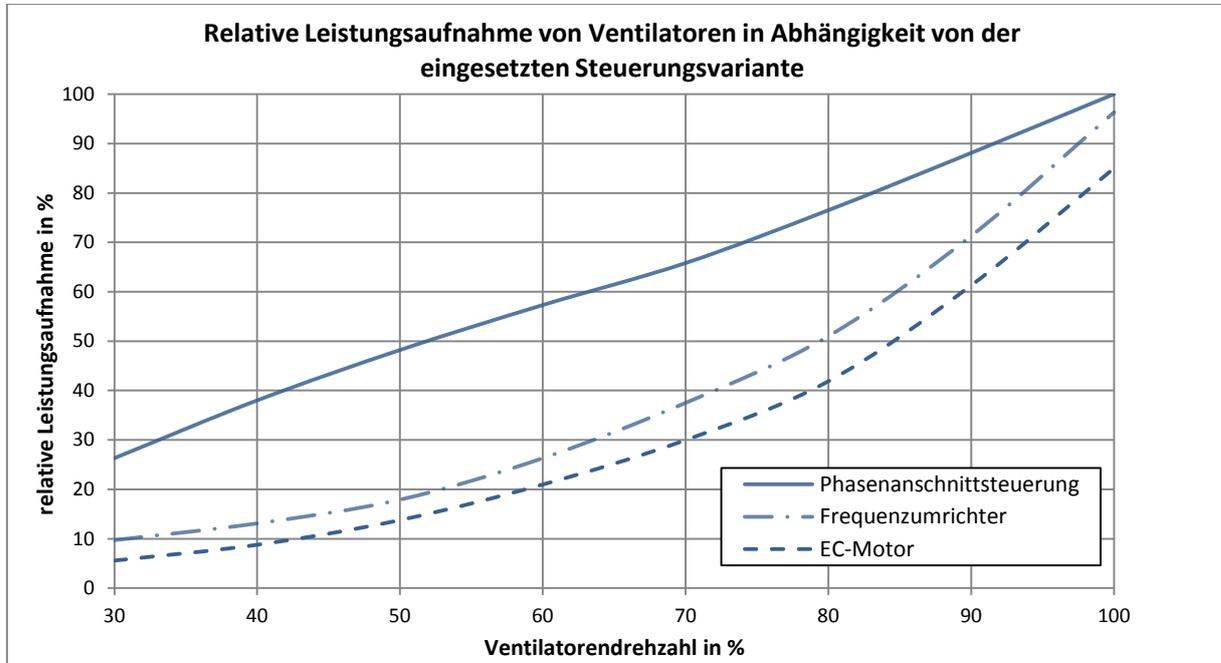
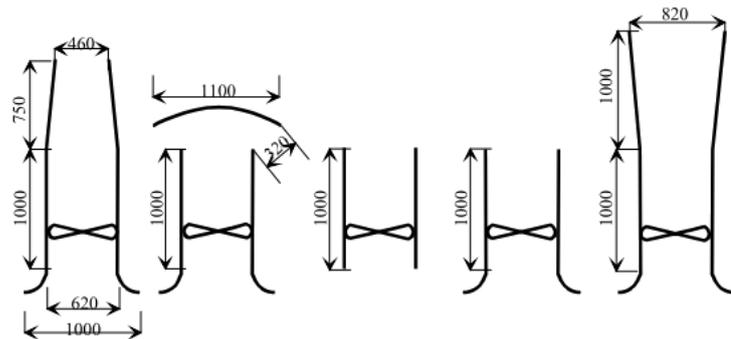


Abbildung 5.1: Leistungsaufnahme von Ventilatoren in Abhängigkeit von der Regelungsvariante (Quelle: [30]; eigene Darstellung)

Tabelle 5.3: Volumenstrom in Abhängigkeit der Form des Luftkanals (Quelle: [31]; z.T. eigene Darstellung)

Luftkanalform



Variante:		A	B	C	D	E
Drehzahl:	min ⁻¹	821	814	790	805	832
Leistungsaufnahme:	W	390	390	403	401	378
Volumenstrom:	m ³ / h	5.870	6.090	8.620	9.410	10.930
	%	68	71	100	109	127
Spezifischer Volumenstrom:	m ³ / kWh	15.050	15.620	21.390	23.470	28.920
	%	70	73	100	110	135
Spezifische Leistungsaufnahme:	Wh/1000 m ³	66,4	64,1	46,8	42,6	34,6
	%	142	137	100	91	74

5.1.8 Fütterung^G

Diese Prozesskette beinhaltet alle Schritte vom Futtermittelsilo bis zum Futtertrog. Der Energieeinsatz schwankt mit Wahl des Futtermittels und steigt mit steigendem Automatisierungsgrad. Am wenigsten Stromverbrauch am Hof verursacht vorgemischtes Trockenfutter, wie es in der Eierproduktion eingesetzt wird. Ganzkornfütterung mit integrierter Hammermühle und vollautomatischem Ablauf weist einen vergleichsweise hohen Elektrizitätsbedarf auf. Die Durchführung des Fütterungsprozesses ist in der Schweinemast, Geflügelzucht und Eierproduktion vollautomatisch möglich.

5.1.9 Entmistung^G

Entmistungsanlagen können, wie in der Rinderhaltung verbreitet eingesetzt, als Kettenförderer ausgeführt sein. Schieber können mit hydraulischen Anlagen, Seilanlagen oder Kettenanlagen kombiniert werden. Es sind aber auch Systeme in der Schweinemast verfügbar, welche keine elektrische Energie benötigen.

5.1.10 Ferkelnestheizung^G

Diese können mit Strahlern oder mit Heizplatten realisiert sein. Strahler können mit Gas oder Strom betrieben werden, Heizmatten hingegen mit Strom oder WW aus dem Heizungssystem.

5.1.11 Milchgewinnung und Milchkühlung^C

Der Melkprozess wird bei herkömmlichen Melkanlagen morgens und abends – also zweimal täglich – durchgeführt. Die Veränderung des Stromverbrauchverhaltens vom konzentrierten Stromverbrauch in den Morgen- und Abendstunden, hin zu einem kontinuierlichen Stromverbrauch kann nur bei Einsatz eines Melkroboters erreicht werden. Bei der Kühlung werden die Varianten Direktverdampfer- und Eiswasserkühlung unterschieden. Bei der Reinigung der Melkanlage wird zwischen Kochendwasser- und Zirkulationsreinigung unterschieden.

5.2 Ferkelzucht^C

Bei den analysierten Ferkelzuchtbetrieben handelt es sich um Mischbetriebe mit Zucht- und Mastbereich. In zwei der drei Ferkelzuchtbetriebe werden sämtliche Ferkel im eigenen Betrieb gemästet. In diesen Betrieben sind Ferkelzucht und Schweinemast gleichrangige Hauptproduktionszweige. Im dritten Betrieb werden etwa 45 % der Ferkel Vor-Ort gemästet. Hier stellt die Schweinemast einen untergeordneten Nebenproduktionszweig dar. Die Prozessabläufe im Zucht- sowie im daran angeschlossenen Mastbereich sind hinsichtlich des zeitlichen Ablaufs stark durch den betrieblichen Zuchtzyklus geprägt. Soweit eine Berechnung der Energieintensität möglich ist, basiert diese auf sämtlichen Stromverbräuchen in der Zucht- und Mastphase.

5.2.1 Betrieb F1^C

Der Vollerwerbsbetrieb F1 betreibt Ferkelzucht und Schweinemast, wobei alle im Betrieb gezüchteten Ferkel auch dort gemästet werden. Der Betrieb verfügt über eine vollautomatisierte Trockenfütterungsanlage für den Mast- und Zuchtbereich. Für letzteren wird das Futter maschinell gemischt und per Hand ausgebracht.

Tabelle 5.4: Eckdaten Betrieb F1

Betriebsstandort:	Bezirk Leibnitz
Hauptproduktionszweig:	Ferkelzucht und Schweinemast
Nebenproduktionszweige:	---
Jahresproduktion:	Ø 800 Schweine
Haushaltsgröße:	3 Personen
Betrachtungszeitraum (BZR):	01.10.2012 – 30.09.2013
Gesamtstromverbrauch im BZR in kWh:	23.601
Stromverbrauch LW im BZR in kWh:	18.873 bis 20.201
Photovoltaikanlage:	8 kWp, 12° Süd-Ost, 28° Neigung
Stromerzeugung im BZR in kWh:	7.085
Ø Eigenverbrauch EV im BZR in %:	74,4
Ø Eigendeckung ED im BZR in %:	22,3
Eigendeckungspotential EDP im BZR in %:	30,0
Energieintensität (elektr.) in kWh/Schwein:	23,6 bis 25,3

Tabelle 5.5: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb F1

Prozess	Intervall	Verbraucher	Anschlussleistung in kW
Stallbelüftung	dauerhaft	konventionelle Ventilatoren (8 Stück)	3,6 ²
		Energiesparventilatoren (1 Stück)	
Fütterung	2x p.T.	Futtermischmotor	3,5
		Fördermotor Futterausbringung	1,5
		Fördermotoren Trockenfutterzufuhr (4 Stück)	7,6
		Fördermotor Sojazufuhr	2,6
		Silofräse inkl. Futteransauggebläse	10,0
		Druckluftkompressor für Futterventile	3,5
Ferkelnestheizung	azyklisch	Elektroinfrarotstrahler (19 Stück)	1,9
Futter mahlen	2x p.M.	Futtermühle	8,4
Futtereinlagerung	1x p.J.	Senkrechtförderer	3,5
		Querförderer	3,5
Stallreinigung	10x p.J.	Hochdruckreiniger	7,0

² Geschätzte Leistung

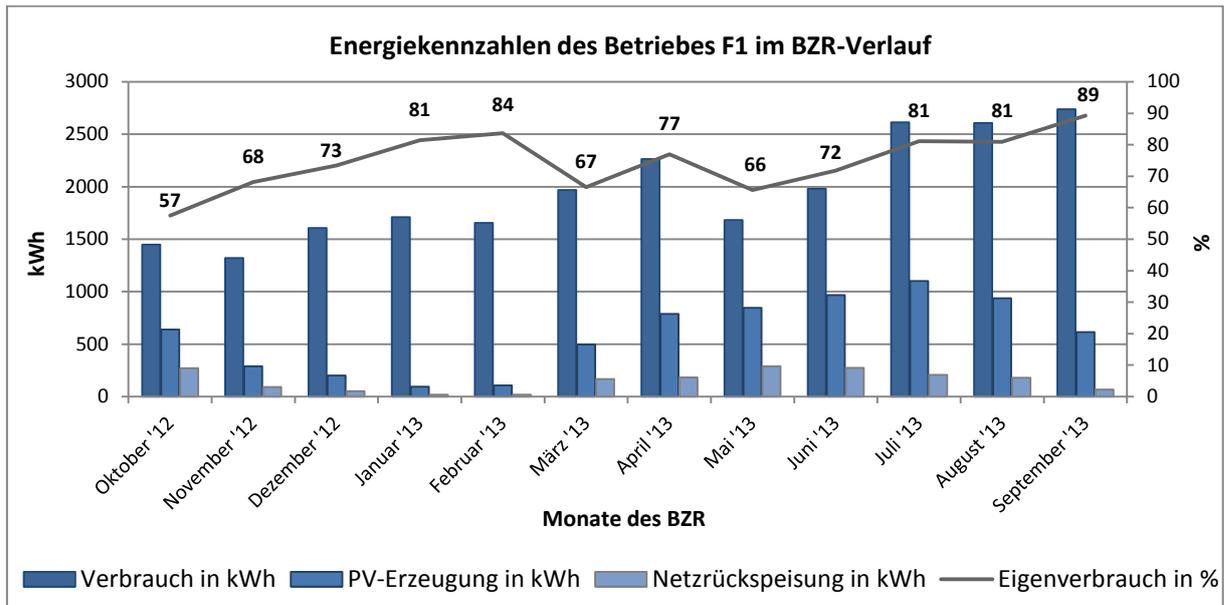


Abbildung 5.2: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes F1 im BZR-Verlauf

Während des Vor-Ort-Besuchs war das Betreten der ausnahmslos belegten Stallabteile und somit die Erfassung der Ventilatorentypenschilder nicht möglich. Genaue Leistungswerte der Ventilatoren konnte auch der Landwirt nicht nennen.

Im Betrieb F1 werden ausschließlich temperaturgeführte Ventilatorregelungen eingesetzt. Daher werden zur Ermittlung der maximal auftretenden Gesamtleistung der Ventilatoren die Smart-Meter Messwerte der drei wärmsten Tage im BZR herangezogen und daraus der in Abbildung 5.3 dargestellte unbereinigte Durchschnittslastgang gebildet. Zudem werden die drei Einzellastgänge der wärmsten Tage jeweils nach den Angaben des Landwirts um den Fütterungsprozess, die Mittagsspitze des Haushalts und weitere nicht durch die Stallbelüftung verursachte Lastanteile bereinigt. Aus den drei bereinigten Lastgängen wird mittels Mittelwertbildung der ebenfalls in Abbildung 5.3 dargestellte Durchschnittslastgang gebildet. In der Abbildung ist die Temperaturabhängigkeit der elektrischen Energieaufnahme durch die Ventilatoren erkennbar. Die von den Ventilatoren verursachte Maximallast tritt zu den Zeitpunkten mit der höchsten Umgebungstemperatur. In Abbildung 5.3 ist dies im Zeitraum von 15:00 - 19:00 Uhr der Fall.

Zur Bestimmung der tatsächlich auf die Stallbelüftung entfallenden Lastanteile müssen Lastanteile des Dreipersonenhaushalts und der Kleinverbraucher des landwirtschaftlichen Bereichs subtrahiert werden. Der zu subtrahierende Lastanteil wird für den genannten Zeitbereich von 15:00 - 19:00 Uhr auf durchschnittlich 200 W geschätzt. Die somit ermittelte Maximallast der neun Ventilatoren beträgt rund 3,6 Kilowatt (kW) und wird zwischen 15:00 und 19:00 Uhr erreicht. Die Maximallast entspricht dem Wert des bereinigten Durchschnittslastgangs der drei heißesten Tage reduziert um 200 W die durch den Haushalt und Kleinverbraucher der Landwirtschaft verursacht werden. Aufgrund der hohen Temperaturen im betrachteten Zeitraum ist anzunehmen, dass sämtliche Ventilatoren unter Vollast betrieben werden. Der geringe Unterschied der von den Ventilatoren verursachten

Last im Verlauf des bereinigten Tageslastgangs ist durch die durchgehend hohe Umgebungstemperatur begründet. Nach Abbildung 5.1 ergibt sich im Volllastbereich gegenüber dem Teillastbereich nur noch ein geringer Unterschied zwischen der Leistungsaufnahme von konventionellen Ventilatoren und Energiesparventilatoren, weshalb auf die genaue Aufschlüsselung der Leistungsverhältnisse der beiden Ventilatorentypen an dieser Stelle verzichtet wird. Die ermittelte Einzelleistung der Ventilatoren liegt mit 0,4 kW im unteren Leistungsbereich der Stallventilatoren (s. Abschnitt 10.2).

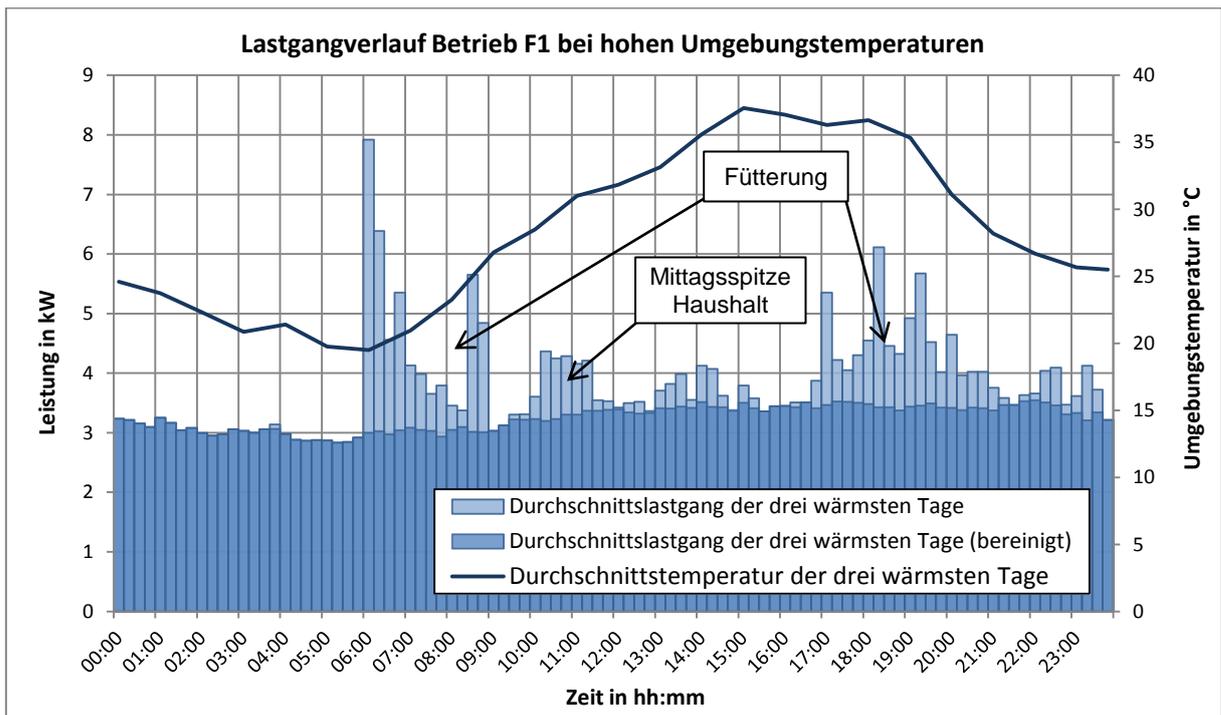


Abbildung 5.3: Betrieb F1: Last- und Temperaturverlauf an warmen Sommertagen (Quelle Wetterdaten: [32]; eigene Darstellung)

5.2.2 Betrieb F2^C

Der Nebenerwerbsbetrieb F2 betreibt Ferkelzucht und Schweinemast, wobei alle im Betrieb gezüchteten Ferkel auch dort gemästet werden. Der Betrieb verfügt über zwei separate Netzanschlüsse und ist aus elektrotechnischer Sicht in zwei Bereiche geteilt. Im nord-westlichen Teil befinden sich die im Rahmen des Projektes installierte PV-Anlage, die Zucht- und Mastställe sowie die Flüssigfütterungsanlage für diese Stallungen. In der süd-östlichen Hälfte befinden sich die Ferkelställe, das Wohnhaus sowie eine zweite PV-Anlage. Aufgrund der Zweiteilung liegen ausschließlich für den nord-westlichen Betriebsteil Smart-Meter Messwerte vor, weshalb die Betriebsanalyse im Abschnitt 6.1.2 auf diesen Betriebsteil eingegrenzt wird und keine Korrektur des Jahresstromverbrauchs hinsichtlich des Haushaltsverbrauchs vorgenommen werden muss. Bei der genannten Fütterungsanlage handelt es sich um eine vollautomatisierte Flüssigfütterungsanlage für den Mastbereich. Im Zuchtbereich wird das Futter per Hand ausgebracht. Die ausschließlich mittels Infrarotlampen realisierte Ferkelnestheizung wird in den ersten drei Wochen der Aufzucht

eingesetzt und bei hohen Umgebungstemperaturen in den Sommermonaten auf die Nachtstunden beschränkt.

Tabelle 5.6: Eckdaten Betrieb F2

Betriebsstandort:	Bezirk Leibnitz
Hauptproduktionszweig:	Ferkelzucht und Schweinemast
Nebenproduktionszweige:	---
Jahresproduktion:	∅ 2.000 Schweine
Haushaltsgröße:	---
Betrachtungszeitraum (BZR):	01.10.2012 – 30.09.2013
Gesamtstromverbrauch im BZR in kWh:	34.137
Stromverbrauch LW im BZR in kWh:	34.137
Photovoltaikanlage:	11,25 kWp, 42° Süd-Ost, 15° Neigung
Stromerzeugung im BZR in kWh:	10.890
∅ Eigenverbrauch EV im BZR in %:	73,8
∅ Eigendeckung ED im BZR in %:	23,5
Eigendeckungspotential EDP im BZR in %:	31,9
Energieintensität (elektr.) in kWh/Schwein:	17,1

Tabelle 5.7: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb F2

Prozess	Intervall	Verbraucher	Anschlussleistung in kW
Stallbelüftung	dauerhaft	konventionelle Ventilatoren (8 Stück)	4,1
		frequenzgesteuerte ³ Ventilatoren (2 Stück)	
Fütterung	3x p.T.	Futtermischmotor	2,6
		Futterpumpe	8,4
		Fördermotoren Trockenfutterzufuhr (4 Stück)	3,8
		Silofräse inkl. Futteransauggebläse	12,5
		Druckluftkompressor für Futterventile	k.A.
Ferkelnestheizung	azyklisch	Elektroinfrarotstrahler (15 Stück)	2,25
Stallreinigung	2-3 WZ	Hochdruckreiniger	9,2

³ frequenzgesteuert bezeichnet die Ansteuerung über einen Frequenzumrichter

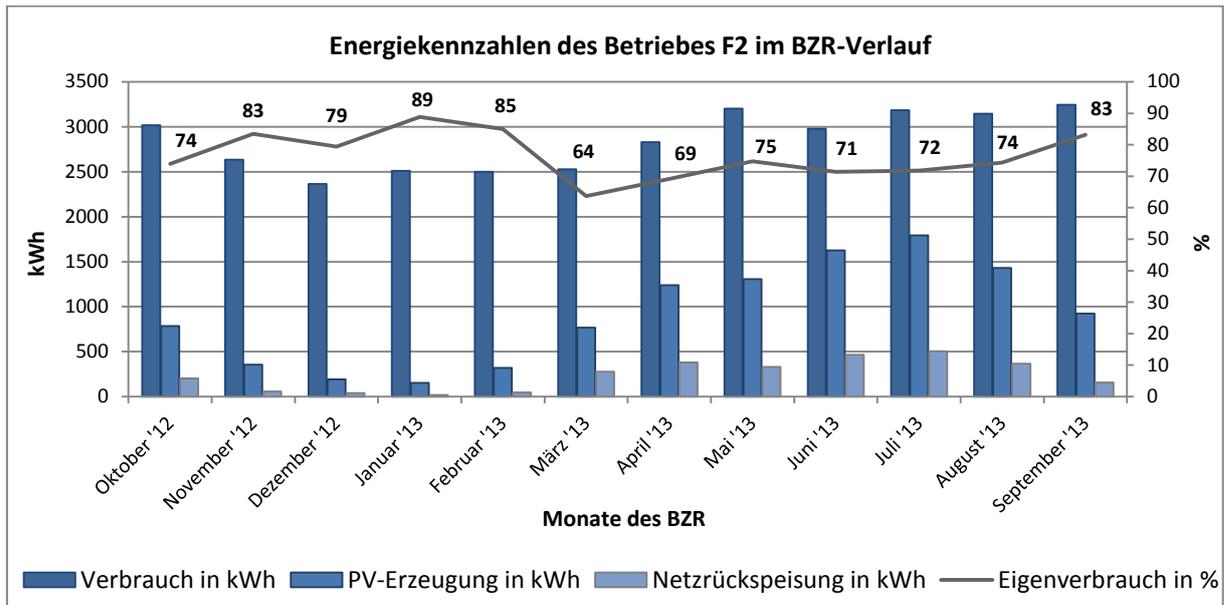


Abbildung 5.4: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes F2 im BZR-Verlauf

An den im Betrieb F2 eingesetzten Ventilatoren sind die Typenschilder oberhalb der Ventilatorenblätter angebracht. Durch die ungünstige Positionierung konnten die Leistungswerte der Ventilatoren nicht erfasst werden. Genaue Leistungsangaben konnte auch der Landwirt nicht nennen. Im Betrieb F2 werden ausschließlich temperaturgeführte Ventilatorenregelungen eingesetzt. Zur Ermittlung der maximal auftretenden Gesamtleistung der Ventilatoren wird die im Abschnitt 5.2.1 für Betrieb F1 beschriebene Herangehensweise erneut angewandt. In Abbildung 5.5 ist der durchschnittliche Temperaturverlauf sowie der unbereinigte und der um den Fütterungsprozess bereinigte Durchschnittslastgang dargestellt. Der Durchschnittslastgang wurde durch Mittelwertbildung aus den Lastgängen der drei wärmsten Tage im Betrachtungszeitraum ermittelt. Laut Landwirt wird an überdurchschnittlich warmen Tagen keine Ferkelnestbeheizung eingesetzt. Da die betrachteten Smart-Meter Daten ausschließlich die elektrischen Verbraucher der Fütterungsanlage, die Elektroinfrarotstrahler zur Ferkelnestbeheizung und die Stallbelüftung umfassen, kann der Verlauf des bereinigten Durchschnittslastgangs auf die Ventilatoren der Stallbelüftung zurückgeführt werden. Parallel zu den höchsten Temperaturen im Tagesverlauf ergibt sich für die zehn Ventilatoren von 11:00 - 19:00 Uhr eine nahezu kontinuierliche Gesamtleistung von rund 4,1 kW. Die Schwankungen im dargestellten Temperaturverlauf haben kaum Einfluss auf den Lastverlauf, was auf einen kontinuierlichen Vollastbetrieb der Ventilatoren hindeutet. Es ist somit anzunehmen, dass die Ventilatoren in diesem Zeitraum bei maximaler Drehzahl betrieben werden und somit der Unterschied zwischen Phasenanschnitt- und Frequenzsteuerung bei der Bestimmung der Einzelleistungen der Ventilatoren zu vernachlässigen ist. Die ermittelte Einzelleistung liegt mit 0,41 kW im unteren Leistungsbereich der Stallventilatoren (s. Abschnitt 10.5).

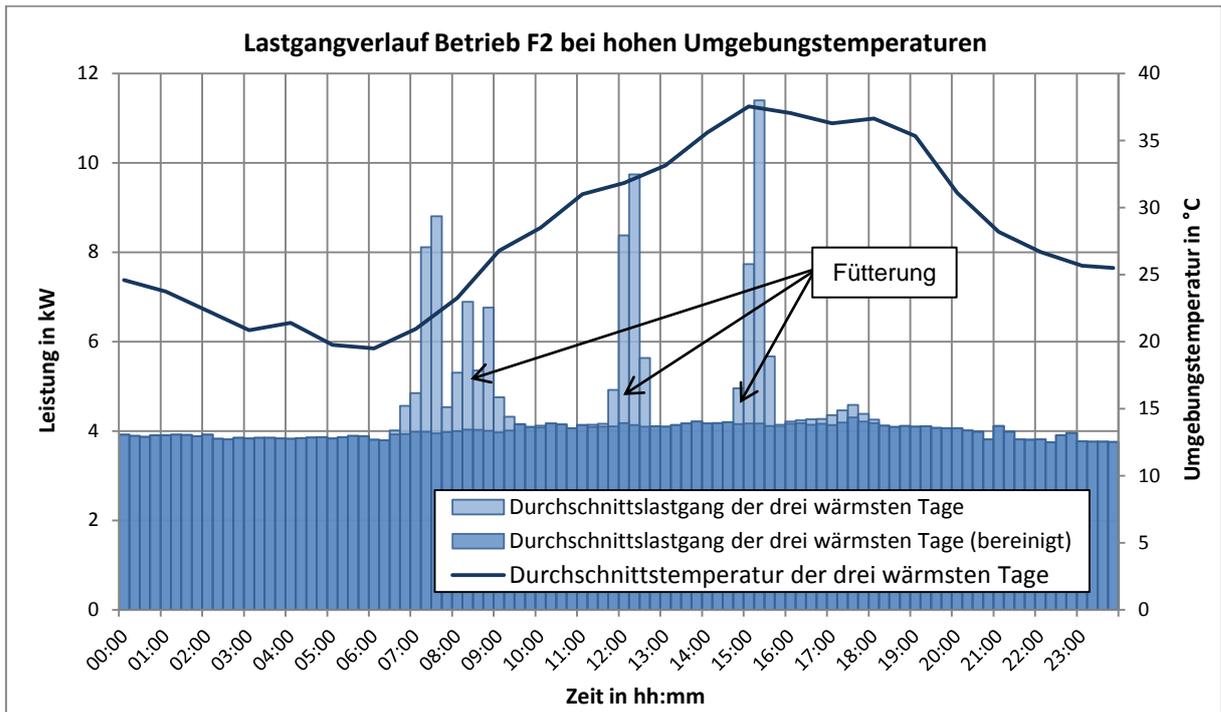


Abbildung 5.5: Betrieb F2: Last- und Temperaturverlauf an warmen Sommertagen (Quelle Wetterdaten: [32]; eigene Darstellung)

5.2.3 Betrieb F3^C

Der Vollerwerbsbetrieb F3 betreibt Ferkelzucht und Schweinemast, wobei von den jährlich 1.800 im Betrieb gezüchteten Ferkeln lediglich 800 dort gemästet werden. Der Zuchtbereich ist in einem geschlossenen Stall untergebracht und wird über eine frequenzgesteuerte Zentrallüftungsanlage belüftet.

Die Ferkelneheizung wird hauptsächlich über Warmwasserplatten realisiert und lediglich in der ersten Lebenswoche der Tiere durch Elektroinfrarotstrahler ergänzt. Im angrenzenden Stall, in dem 180 der 480 Aufzuchtplätze untergebracht sind, wird eine Einzelabsaugung mit konventionellem Ventilator eingesetzt. In diesen beiden Stallbereichen – in Tabelle 5.9 als Stallbereich 1 bezeichnet – wird fertiggemischtes Trockenfutter über eine halbautomatische Fütterungsanlage ausgebracht. Ein weiterer Teil der Ferkelaufzucht ist ebenso wie der gesamte Mastbereich in Offenställen (Stallbereich 2) untergebracht, wodurch auf eine Belüftungsanlage in diesem Bereich verzichtet werden kann. Zur Fütterung in diesem Bereich wird eine halbautomatische Fütterungsanlage inklusive manuell gesteuertem Futtermischer eingesetzt. Zudem verfügt der Betrieb über vier Ferkelaufzuchtboxen, welche jeweils mit einer elektrischen Bodenheizung sowie einem Ventilator ausgestattet sind. Die baulichen Gegebenheiten erfordern in diesem Bereich eine Handfütterung. Als Nebenproduktionszweig wird Kürbiskernöl produziert. Das Auspressen der Kerne ist an einen externen Betrieb ausgelagert. Im Betrieb F2 sind somit zur Ölproduktion keine elektrischen Energieverbraucher im Einsatz. Eine Analyse dieses Produktionszweiges wird daher nicht vorgenommen.

Tabelle 5.8: Eckdaten Betrieb F3

Betriebsstandort:	Bezirk Leibnitz
Hauptproduktionszweig:	Ferkelzucht und Schweinemast
Nebenproduktionszweige:	Ölproduktion
Jahresproduktion:	∅ 1.800 Ferkel / 800 Schweine
Haushaltsgröße:	6 Personen
Betrachtungszeitraum (BZR):	01.10.2012 – 30.09.2013
Gesamtstromverbrauch im BZR in kWh:	49.953
Stromverbrauch LW im BZR in kWh:	43.417 bis 45.003
Photovoltaikanlage:	9,75 kWp, 16° Süd-West, 45° Neigung
Stromerzeugung im BZR in kWh:	10.507
∅ Eigenverbrauch EV im BZR in %:	85,7
∅ Eigendeckung ED im BZR in %:	18,0
Eigendeckungspotential EDP im BZR in %:	21,0
Energieintensität (elektr.) in kWh/Schwein:	---

Energieintensität kann nicht bestimmt werden, da nur ein Teil der Ferkel auch im Betrieb gemästet wird

Tabelle 5.9: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb F3

Prozess	Intervall	Verbraucher	Anschlussleistung in kW
Stallbelüftung	dauerhaft	frequenzgesteuerte Zentralbelüftung	0,9
		konventionelle Ventilatoren (1 Stück)	
Fütterung Stallbereich 1	2x p.T.	Fördermotor Futterausbringung	1,9
Fütterung Stallbereich 2	2x p.T.	Futtermischmotor	--- ⁴
		Fördermotor Futterausbringung	
		Fördermotoren Trockenfutterzufuhr	
		Silofräse inkl. Futteransauggebläse	
Ferkelaufzucht- container (4 Stück)	dauerhaft	Bodenheizung (je 500 W [33])	2,0
		Ventilatoren (je 120 W [33])	0,48
Ferkelnestheizung	azyklisch	Elektroinfrarotstrahler (16 Stück)	2,4
Stallreinigung	3 WZ	Hochdruckreiniger	9,5

⁴ Die Leistung der Fütterungsanlage im Stallbereich 2 konnte aufgrund der Unzugänglichkeit nicht ermittelt werden. Die Fütterungsanlage wird jedoch über einen Zwischenzähler erfasst. So ergab sich vom 06.07.13 bis zum 17.10.13 eine Differenz des Zählerstands von 1.457 kWh, woraus der Energiebedarf der Fütterungsanlage mit 14,1 kWh je Tag resultiert.

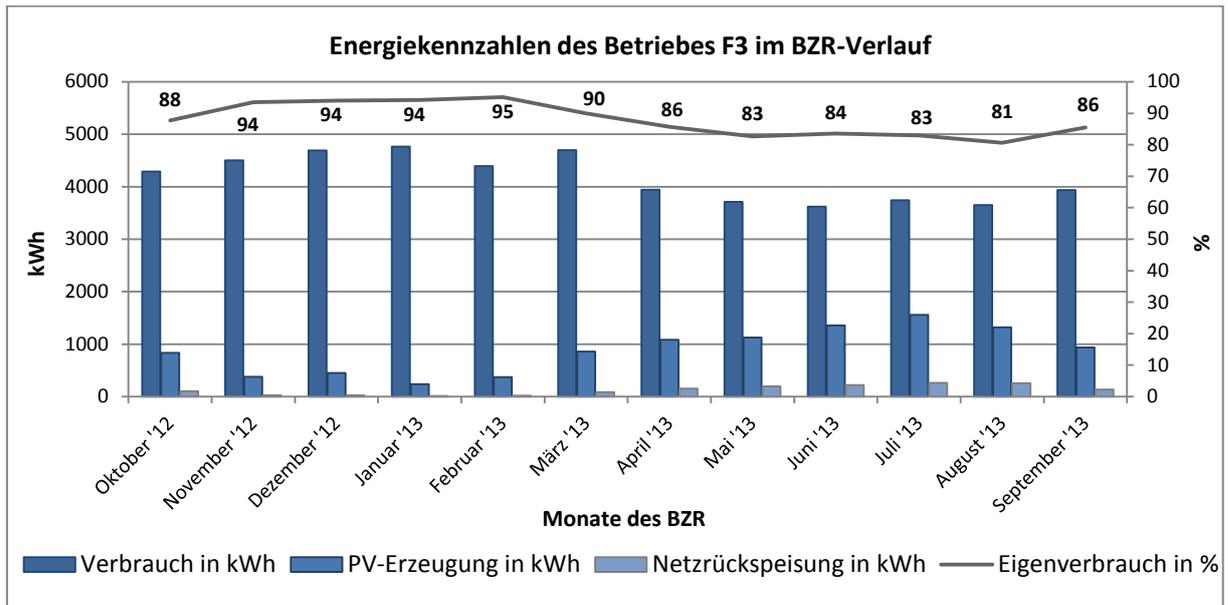


Abbildung 5.6: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes F3 im BZR-Verlauf

Tabelle 5.10: Gegenüberstellung der F-Betriebe hinsichtlich energetischer Kennzahlen

Betrieb	F1	F2	F3
Gesamtstromverbrauch im BZR in kWh:	23.601	34.137	49.953
Stromverbrauch LW im BZR in kWh:	18.873 - 20.201	34.137	43.417 - 45.003
Photovoltaikanlage:	8 kWp	11,25 kWp	9,75 kWp
Stromerzeugung im BZR in kWh:	7.085	10.890	10.507
Ø Eigenverbrauch im BZR in %:	74,4	73,8	85,7
Ø Eigendeckung im BZR in %:	22,3	23,5	18,0
Eigendeckungspotential im BZR in %:	30,0	31,9	21,0

5.3 Schweinemast^C

Von den 19 analysierten Betrieben betreibt lediglich ein Betrieb Schweinemast als Hauptproduktionszweig. Es gibt jedoch Überschneidungen mit Betrieben, welche als Ferkelzucht und Direktvermarktung kategorisiert sind. Bei zwei der drei Ferkelzuchtbetriebe werden alle Ferkel im Betrieb gemästet. Im Betrieb D3 bildet die Schweinemast die Grundlage für den Großteil der direkt vermarkteten Produkte.

5.3.1 Betrieb S1^G

Der Betrieb hat ab Juni 2012 die Ferkelzucht sukzessive reduziert und mit Dezember 2012 komplett aufgeben. Die im Bezugszeitraum (BZR) auf die Ferkelzucht zurückzuführenden Stromverbräuche konnten nicht exakt nachvollzogen werden. Der Gesamtstromverbrauch im BZR wird daher lediglich um den durchschnittlichen Jahresstromverbrauch eines Fünf-Personen Haushaltes bereinigt. Der Betrieb wird als Nebenerwerb geführt und verfügt über eine vollautomatisierte Stalltechnik woraus eine hohe Übereinstimmung der Tageslastgänge resultiert.

Tabelle 5.11: Eckdaten Betrieb S1

Betriebsstandort:	Südoststeiermark
Hauptproduktionszweig:	Schweinemast
Nebenproduktionszweige:	---
Jahresproduktion:	∅ 3.000 Mastschweine bei 1.000 Mastplätzen
Haushaltsgröße:	5 Personen
Betrachtungszeitraum (BZR):	01.09.2012 – 31.08.2013
Gesamtstromverbrauch im BZR in kWh:	56.045
Stromverbrauch LW im BZR in kWh:	50.181 bis 51.545
Photovoltaikanlage:	15 kWp, 19° Süd-Ost, 20° Neigung
Stromerzeugung im BZR in kWh:	14.394
∅ Eigenverbrauch EV im BZR in %:	84,4
∅ Eigendeckung ED im BZR in %:	21,7
Eigendeckungspotential EDP im BZR in %:	25,7
Energieintensität (elektr.) in kWh/Schwein:	16,7 bis 17,2

Tabelle 5.12: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb S1

Prozess	Intervall	Verbraucher	Anschlussleistung in kW
Stallbelüftung	dauerhaft	konventionelle Ventilatoren (22 Stück)	7,7
Fütterung	4x p.T.	Hammermühle / Förderschnecke Kornzufuhr	15 / 2,2 ⁵
		Silofräse / Förderschnecke Futtermus	k.A. ⁶
		Wasserpumpe	4,0
		Rührmotor	4,0
		Futterpumpe	4,0
		Förderschnecke Soja	1,6
		Druckluftkompressor für Futterventile	1,1
Trocknung	---	elektrische Antriebe und Steuerung (keine explizite Erfassung, da energetische Erfassung getrennt vom landwirtschaftlichen Energiezähler)	k.A.

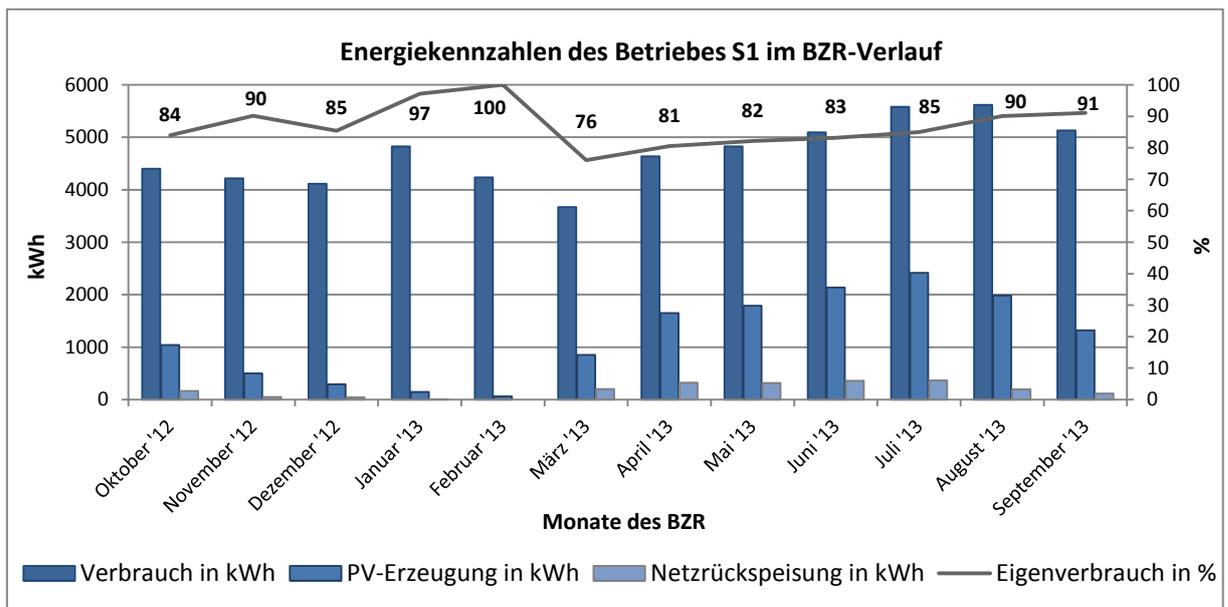


Abbildung 5.7: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes S1 im BZR-Verlauf

⁵ In Abhängigkeit des eingesetzten Futtermittels werden unterschiedliche Prozessschritte eingesetzt. Bei der Ganzkornfütterung erfolgt ein Mahlvorgang vor der Futterzubereitung. Bei der Musfütterung wird Futtermus aus dem Mussilo gefördert.

⁶ Wie bei der Hammermühle bzw. Förderschnecke für Kornzufuhr ist der Einsatz der Silofräse bzw. der Förderschnecke für Futtermus abhängig vom eingesetzten Futtermittel. Leistungswerte der Maschinen konnten aufgrund der Unzugänglichkeit der Maschinen nicht ermittelt werden.

5.4 Milchwirtschaft^C

5.4.1 Betrieb M1^C

Der Betrieb M1 wird im Vollerwerb geführt und besitzt 28 Milchkühe und 25 Jungtiere. Zur Milchgewinnung wird ein Melkstand mit vier Melkplätzen und konventioneller Vakuumpumpe (VP) eingesetzt. Die Melkanlage wird mittels Zirkulationsreinigung gereinigt, wobei das Reinigungswasser über einen Wärmetauscher mit der Abwärme der Kühlanlage vorgewärmt und im Reinigungsautomat auf die benötigte Endtemperatur erhitzt wird. Die Kühlung der Milch erfolgt mittels Direktverdampferkühlung in einem 1.200 l Tank.

Tabelle 5.13: Eckdaten Betrieb M1

Betriebsstandort:	Bezirk Murtal
Hauptproduktionszweig:	Milchwirtschaft
Nebenproduktionszweige:	---
Jahresproduktion:	180.000 Liter Milch
Haushaltsgröße:	5 Personen
Betrachtungszeitraum (BZR):	01.10.2012 – 30.09.2013
Gesamtstromverbrauch im BZR in kWh:	19.718
Stromverbrauch LW im BZR in kWh:	13.854 bis 15.218
Photovoltaikanlage:	5,25 kWp, 17° Süd-Ost, 30° Neigung
Stromerzeugung im BZR in kWh:	5.552
∅ Eigenverbrauch EV im BZR in %:	55,8
∅ Eigendeckung ED im BZR in %:	15,7
Eigendeckungspotential EDP im BZR in %:	28,2
Energieintensität (elektr.) in kWh/100 l:	7,7 bis 8,5

Tabelle 5.14: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb M1

Prozess	Intervall	Verbraucher	Anschlussleistung in kW
Milchgewinnung	2x p.T.	Vakuumpumpe	2,6
		Reinigungsautomat der Melkanlage	9,0
		Milchkühlung	k.A.
Getreideeinlagerung	1-2x p.J.	Förderschnecke	1,9
Futter mahlen	2x p.M.	Futtermühle	5,7
Heueinlagerung	3-4x p.J.	Heukran	k.A.

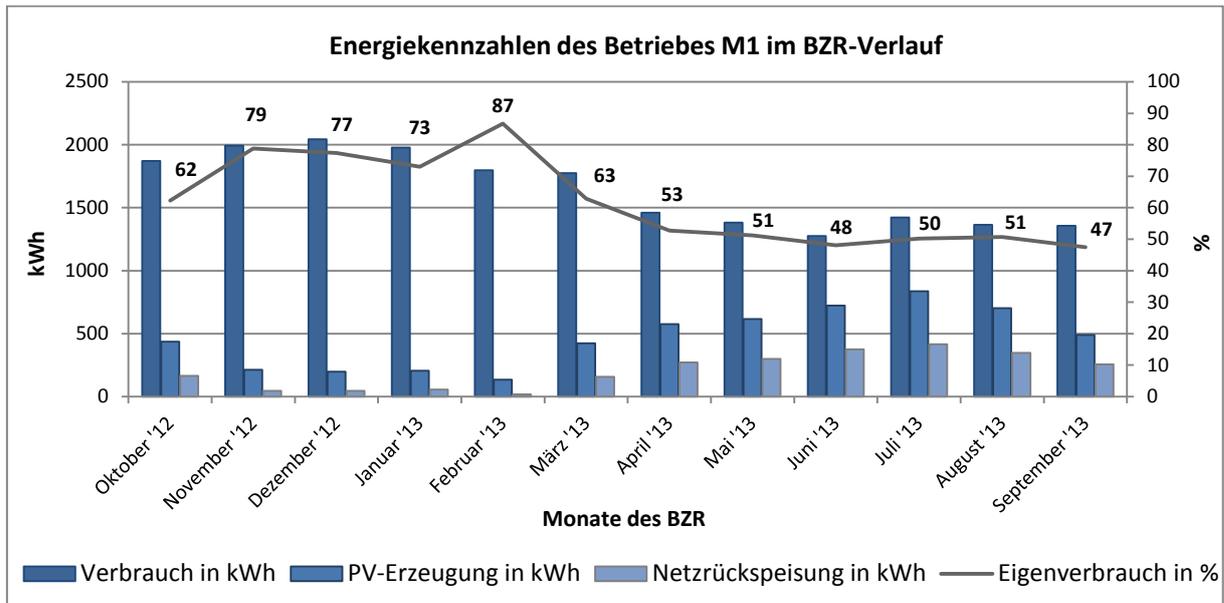


Abbildung 5.8: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes M1 im BZR-Verlauf

5.4.2 Betrieb M2^C

Der Vollerwerbsbetrieb verfügt über 33 Milchkühe und 35 Jungtiere. Zur Milchgewinnung wird ein Melkstand mit vier Melkplätzen und konventioneller VP eingesetzt. Der Motor der VP wird auch als Pumpmotor für die Melkanlagenreinigung eingesetzt. Die Melkanlage wird mittels Kochendwasserreinigung gereinigt, wobei das Reinigungswasser über eine Solaranlage vorgewärmt wird und in einem 200 l Warmwasserboiler auf die benötigte Endtemperatur erhitzt wird. Der Reinigungsvorgang erfolgt im Anschluss an jeden Melkvorgang und benötigt jeweils 100 l Wasser. Die Kühlung der Milch erfolgt mittels Direktverdampferkühlung in einem 1.800 l Tank.

Zur Fütterung kommt Silofutter und Futter aus dem Freilager zum Einsatz. Das Silofutter deckt etwa zwei Monate des Jahresbedarfs und wird mit einer Silofräse aus dem Futtersilo gefördert. In der restlichen Zeit wird Futter aus dem Freilager verwendet. Hierfür ist kein Maschineneinsatz nötig.

Im Betrieb sind zudem zwei Pferde sowie 20 Legehühner für den Eigenbedarf vorhanden. Der dadurch verursachte Stromverbrauch ist jedoch gegenüber dem Stromverbrauch der Milchviehhaltung verschwindend gering und wird daher nicht in der Analyse berücksichtigt. Die 5,5 kWp PV-Anlage ist in Form von zwei Teilanlagen zu 2,5 kWp und 3,0 kWp auf unterschiedlichen Dachflächen ausgeführt.

Tabelle 5.15: Eckdaten Betrieb M2

Betriebsstandort:	Bezirk Deutschlandsberg
Hauptproduktionszweig:	Milchwirtschaft
Nebenproduktionszweige:	---
Jahresproduktion:	251.000 Liter Milch
Haushaltsgröße:	9 Personen
Betrachtungszeitraum (BZR):	01.10.2012 – 30.09.2013
Gesamtstromverbrauch im BZR in kWh:	24.321
Stromverbrauch LW im BZR in kWh:	16.002 bis 18.484
Photovoltaikanlage:	3 kWp, 51° Süd-Ost, 20° Neigung 2,5 kWp, 39° Süd-West, 40° Neigung
Stromerzeugung im BZR in kWh:	5.347 (2.875 + 2.472)
∅ Eigenverbrauch EV im BZR in %:	61,8
∅ Eigendeckung ED im BZR in %:	13,6
Eigendeckungspotential EDP im BZR in %:	22,0
Energieintensität (elektr.) in kWh/100 l:	6,4 bis 7,4

Tabelle 5.16: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb M2

Prozess	Intervall	Verbraucher	Anschlussleistung in kW
Milchgewinnung	2x p.T.	Vakuum-/Reinigungspumpe	3,5
		Warmwasserboiler	3,0
		Milchkühlung	k.A.
Futter mahlen	3x p.W.	Futtermühle	k.A.
Getreideeinlagerung	1x p.J.	Förderschnecke	k.A.
Siloeinlagerung	1x p.J.	Futterhäcksler mit Fördergebläse	k.A.
Siloentnahme	1x p.T.	Silofräse	k.A.

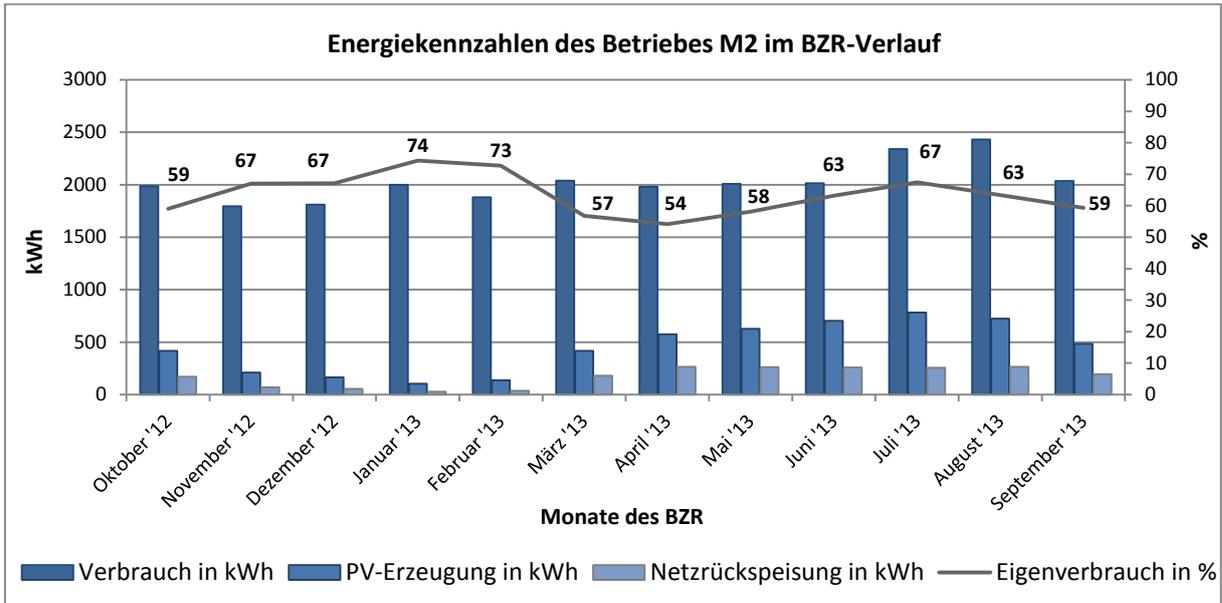


Abbildung 5.9: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes M2 im BZR-Verlauf

5.4.3 Betrieb M3^C

Der Betrieb M3 wird im Vollerwerb geführt und hält 21 Milchkühe und 25 Jungtiere. Aufgrund der Weiden- und Anbindehaltung wird zur Milchgewinnung eine Rohrmelkanlage eingesetzt. Die Melkanlage verfügt über drei Melkgarnituren und wird mit einer konventionellen VP betrieben. Die Melkanlage wird mittels Zirkulationsreinigung gereinigt, wobei das Reinigungswasser im Reinigungsautomat auf die benötigte Endtemperatur erhitzt wird. Es findet keine Vorwärmung des Reinigungswassers statt. Die Kühlung der Milch erfolgt mittels Direktverdampferkühlung in einem 1.050 l Tank. Zur Heutrocknung wird in den Monaten der Heuernte eine zwangsbelüftete Trocknungsanlage eingesetzt. Aus Abbildung 5.10 ist ersichtlich, dass im Betrieb M3 in den Monaten Mai - Juli 2013 ein deutlich höherer Energiebedarf als in den verbleibenden Monaten des BZR aufgetreten ist. Dies ist durch den Einsatz der leistungsstarken Heutrocknungsanlage in diesem Zeitraum begründet.

Tabelle 5.17: Eckdaten Betrieb M3

Betriebsstandort:	Bezirk Murtal
Hauptproduktionszweig:	Milchwirtschaft
Nebenproduktionszweige:	---
Jahresproduktion:	125.000 Liter Milch
Haushaltsgröße:	1 Person
Betrachtungszeitraum (BZR):	01.10.2012 – 30.09.2013
Gesamtstromverbrauch im BZR in kWh:	33.335
Stromverbrauch LW im BZR in kWh:	31.027 bis 31.635
Photovoltaikanlage:	8 kWp, 12° Süd-Ost, 30° Neigung
Stromerzeugung im BZR in kWh:	8.779
∅ Eigenverbrauch EV im BZR in %:	59,0
∅ Eigendeckung ED im BZR in %:	15,5
Eigendeckungspotential EDP im BZR in %:	26,3
Energieintensität (elektr.) in kWh/100 l:	24,8 bis 25,3

Tabelle 5.18: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb M3

Prozess	Intervall	Verbraucher	Anschlussleistung in kW
Milchgewinnung	2x p.T.	Vakuumpumpe	1,9
		Reinigungsautomat der Melkanlage	12,0
		Milchkühlung	k.A.
Warmwasserbereitung	1x p.T.	Warmwasserboiler	1,8
Entmistung	1-2x p.T.	Motor Entmistungsanlage	4,0
Futter mahlen	2x p.J.	Futtermühle	6,2
Heueinlagerung	saisonal	Heukran	k.A.
		Heugebläse	11,0
Maschinenreinigung	1x p.W.	Hochdruckreiniger	4,0

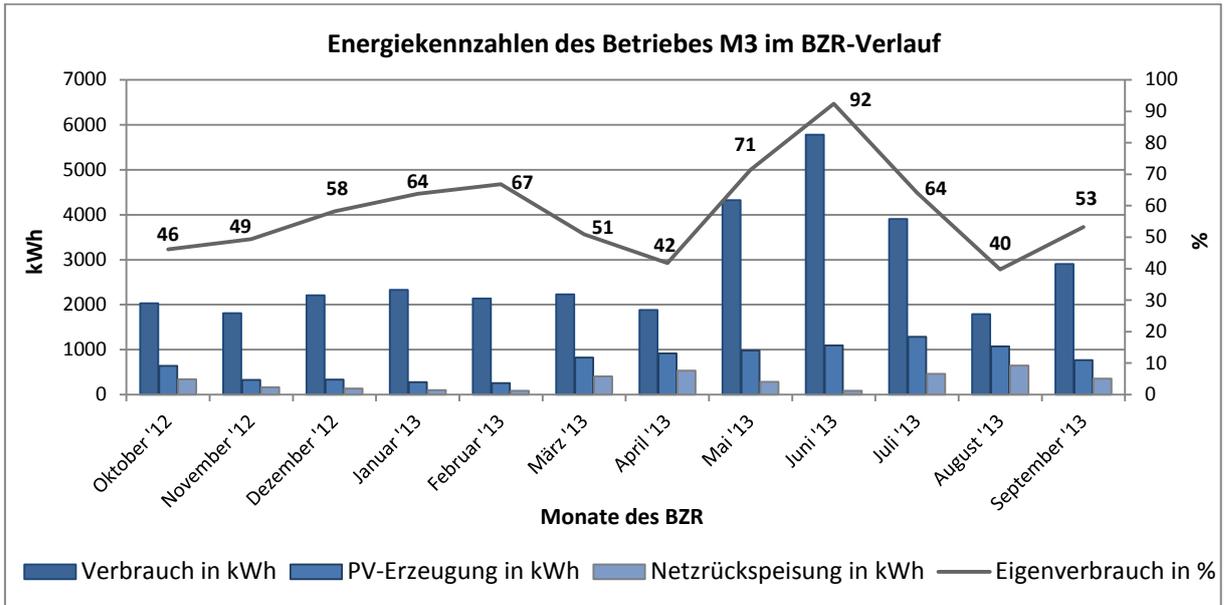


Abbildung 5.10: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes M3 im BZR-Verlauf

Tabelle 5.19: Gegenüberstellung der M-Betriebe hinsichtlich energetischer Kennzahlen

Betrieb	M1	M2	M3
Gesamtstromverbrauch im BZR in kWh:	19.718	24.321	33.335
Stromverbrauch LW im BZR in kWh:	13.854–15.218	16.002–18.484	31.027–31.635
Photovoltaikanlage:	5,25 kWp	5,5 kWp	8 kWp
Stromerzeugung im BZR in kWh:	5.552	5.347	8.779
Ø Eigenverbrauch im BZR in %:	55,8	61,8	59,0
Ø Eigendeckung im BZR in %:	15,7	13,6	15,5
Eigendeckungspotential im BZR in %:	28,2	22,0	26,3

5.5 Eierproduktion^G

5.5.1 Betrieb E1^G

Insgesamt werden in Betrieb E1 13.500 Legehennen, aufgeteilt auf zwei Stallungen, gehalten. Pro Jahr werden 4 Millionen Eier produziert. Direktvermarktung macht einen Anteil von 1 % der Gesamtmenge aus. Beide Stallungen zeichnet ein hoher Automatisierungsgrad aus. Belüftung, Fütterung, Beleuchtung, Eiertransport sowie Eiersortierung laufen automatisiert ab. Die Legehennen werden im Intervall von 15 Monaten getauscht. Auf das Ausräumen des Stalls folgt ein mehrtägiger Reinigungsprozess. Nachdem die natürliche Trocknung der Stallung abgewartet wird, erfolgt das Einstellen der Junghühner. Dieser Ablauf wird für beide Stallungen um einige Monate versetzt durchgeführt, dadurch wird ein kompletter Leerstand vermieden. Da Betrieb und HH über ein Smart-Meter erfasst werden, erfolgt die Bereinigung der Daten um einen 8-Personen HH.

Die PV-Anlage ist auf einem Dach montiert, welches im bodennahen Bereich 20 ° und im Giebelbereich 45 ° geneigt ist und somit über zwei Neigungswinkeln verfügt. Die PV-Anlage ist zu gleichen Teilen von je 6,5 kWp auf diese beiden Dachneigungen aufgeteilt. Für Raumheizung und Warmwasseraufbereitung ist eine Hackschnitzelheizung im Einsatz, für den privaten Bereich steht ein Kühlraum zur Verfügung.

Tabelle 5.20: Eckdaten Betrieb E1

Betriebsstandort:	Bezirk Hartberg-Fürstenfeld
Hauptproduktionszweig:	Eier
Nebenproduktionszweige:	---
Jahresproduktion:	4.000.000 Eier
Haushaltsgröße:	8 Personen
Betrachtungszeitraum (BZR):	01.11.2012 – 31.10.2013
Gesamtstromverbrauch im BZR in kWh:	43.785
Stromverbrauch LW im BZR in kWh⁷:	35.913 bis 38.148
Photovoltaikanlage:	13 kWp, 29° Süd-Ost, 45° und 20° Neigung
Stromerzeugung im BZR in kWh:	13.502
∅ Eigenverbrauch EV im BZR in %:	85,4
∅ Eigendeckung ED im BZR in %:	26,2
Eigendeckungspotential EDP im BZR in %:	30,8
Energieintensität (elektr.) in kWh/1.000	8,98 bis 9,54

⁷ Gesamtstromverbrauch verringert um 8 Personen-HH und 8x Brot backen p.a. (je 14,45 kWh)

Tabelle 5.21: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb E1

Prozess	Intervall	Verbraucher	Anschlussleistung in kW
Belüftung	dauerhaft	1 Ventilator	k.A.
		3 Ventilatoren	k.A.
		4 Ventilatoren je 0,46 kW	1,84
Beleuchtung	15h p.T.	114 LED Röhren je 5,4 W	1,28
	bei Bed.	60 Leuchtstofflampen je 11 W	

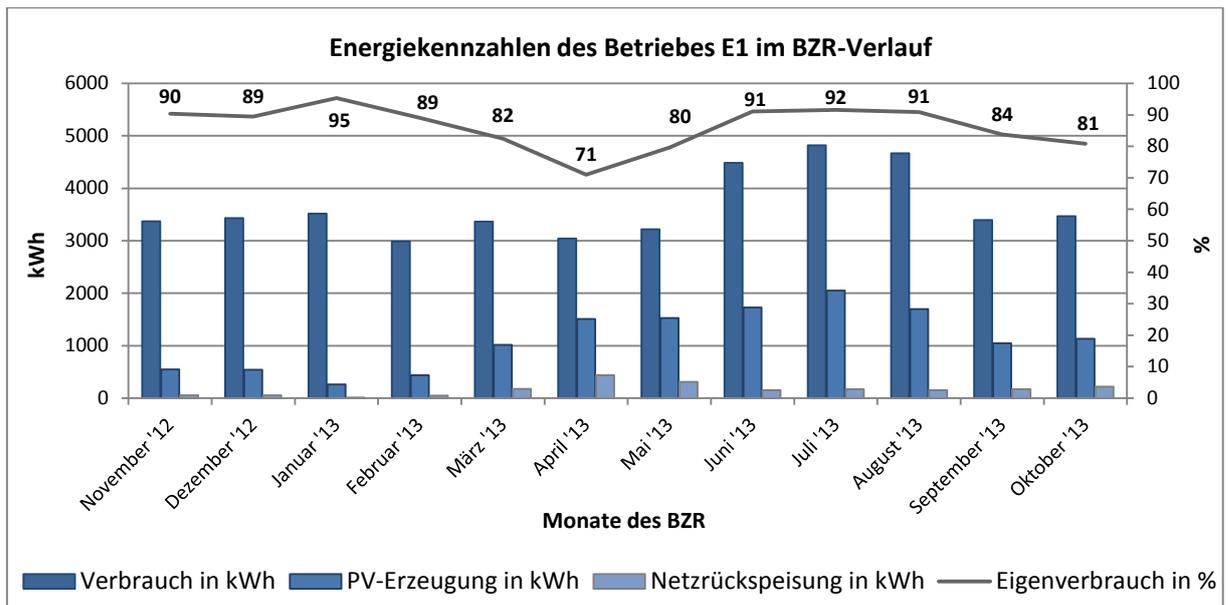


Abbildung 5.11: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes E1 im BZR-Verlauf

5.5.2 Betrieb E2^G

In diesem Betrieb werden 2.850 Freilandhühner gehalten, welche jährlich 850.000 Eier legen. Für den landwirtschaftlichen Betrieb ist ein separater Smart-Meter im Einsatz. Zwei weitere Zähler erfassen den HH sowie den von der LW abgetrennten Gewerbebetrieb. Zusätzlich zur Eierproduktion werden Ölkürbisse und Käferbohnen produziert. Da die Weiterverarbeitung extern durchgeführt wird, fällt für diese Produkte kein Stromverbrauch an. Das Laden der Batterie des Elektrostaplers wird im landwirtschaftlichen Bereich durchgeführt, obwohl der Stapler hauptsächlich im separat erfassten Gewerbebetrieb eingesetzt wird. Aus diesem Grund wurde für die Berechnung der Energieintensität der Stromverbrauch um den Anteil der Staplerladung von ungefähr 220 kWh pro Jahr bereinigt. Der Anteil der selbst vermarkteten Produkte liegt bei 10 bis 20 %.

Tabelle 5.22: Eckdaten Betrieb E2

Betriebsstandort:	Bezirk Hartberg-Fürstenfeld
Hauptproduktionszweig:	Eier
Nebenproduktionszweige:	Gemüse, separat erfasster Gewerbebetrieb
Jahresproduktion:	850.000 Eier
Haushaltsgröße:	3 Personen
Betrachtungszeitraum (BZR):	01.11.2012 – 31.10.2013
Gesamtstromverbrauch im BZR in kWh:	11.756
Stromverbrauch LW im BZR in kWh*:	11.533
Photovoltaikanlage:	5,25 kWp, 8° Süd-Ost, 30° Neigung
Stromerzeugung im BZR in kWh:	5.731
Ø Eigenverbrauch EV im BZR in %:	64,6
Ø Eigendeckung ED im BZR in %:	31,5
Eigendeckungspotential EDP im BZR in %:	48,8
Energieintensität (elektr.) in kWh/1.000	13,6

*Bereinigt um das Laden der Staplerbatterie

Tabelle 5.23: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb E2

Prozess	Intervall	Verbraucher	Anschlussleistung in kW
Belüftung	dauerhaft	Drei Ventilatoren je 0,6 kW	1,8
Beleuchtung	14h p.T.	22 Leuchtmittel je 40 W	0,88
Fütterung	10x p.T.	Drei Kettenantriebe	k.A.
Laden Staplerbatterie	10x p.J.	Ladegerät 48V/125A für Batterie 22,3 kWh	6,0

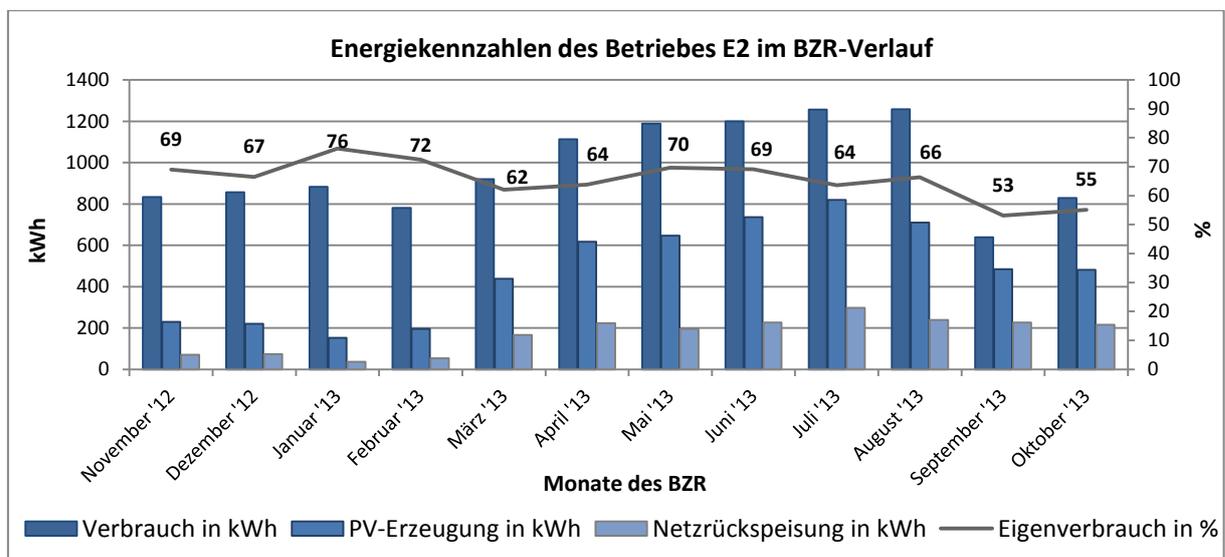


Abbildung 5.12: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes E2 im BZR-Verlauf

Tabelle 5.24: Gegenüberstellung der E-Betriebe hinsichtlich energetischer Kennzahlen

Betrieb	E1	E2
Gesamtstromverbrauch im BZR in kWh:	43.785	11.756
Stromverbrauch LW im BZR in kWh:	35.913 – 38.148	11.533
Photovoltaikanlage:	13 kWp	5,25 kWp
Stromerzeugung im BZR in kWh:	13.502	5.731
∅ Eigenverbrauch im BZR in %:	85,4	64,6
∅ Eigendeckung im BZR in %:	26,2	31,5
Eigendeckungspotential im BZR in %:	30,8	48,8

5.6 Geflügelmast^G

5.6.1 Betrieb GM1^G

Der Geflügelmastbetrieb GM1 verfügt über 15.000 Mastplätze und bewerkstelligt sechs Durchläufe pro Jahr. Die Schweinehaltung mit 400 Mastplätzen wurde aufgelassen, somit verbleiben die Geflügelmast und der 4-Personenhaushalt als Stromverbraucher. Durch die Leerstände zwischen den Produktionsperioden, welche jeweils zwei Wochen dauern, variiert der erreichte monatliche EV über eine große Bandbreite von 66 % bis 96 %. Im Vollbetrieb bei älteren Masthühnern beträgt der wöchentliche Verbrauch elektrischer Energie bis zu 1.080 kWh (Kalenderwoche 41 - 2012), was in der betrachteten Woche bei einer Grundlast von 4,6 kW einen EV von 98 % zur Folge hatte. In Wochen ohne Belegung des Geflügelstalls schwankt der Verbrauch zwischen 180 und 300 kWh. Über den BZR betrachtet erreicht der Betrieb mit der installierten 10 kWp PV-Anlage einen EV-Anteil von 78 % bei 11.394 kWh Jahresproduktion.

Im Jahr 2012 wurde eine Hackschnitzelheizung mit einer Wärmeleistung von 150 kW installiert, welche das Haus und die Stallung beheizt. Dabei wird in das Stallgebäude auf 80 °C vorgewärmte Luft über Ventilatoren eingeblasen. Eine Trocknungsanlage für Futtermittel wird über einen separaten Energiezähler abgerechnet, ihr Verbrauch scheint somit nicht in den verfügbaren Smart-Meter Daten auf.

Tabelle 5.25: Eckdaten Betrieb GM1

Betriebsstandort:	Bezirk Südoststeiermark
Hauptproduktionszweig:	Geflügel
Nebenproduktionszweige:	---
Jahresproduktion:	90.000 Masthühner
Haushaltsgröße:	4
Betrachtungszeitraum (BZR):	01.09.2012 – 31.08.2013
Gesamtstromverbrauch im BZR in kWh:	34.630
Stromverbrauch LW im BZR in kWh⁸:	29.493 bis 29.898
Photovoltaikanlage:	10 kWp, 10° Süd-West, 28° Neigung
Stromerzeugung im BZR in kWh:	11.394
∅ Eigenverbrauch EV im BZR in %:	77,7
∅ Eigendeckung ED im BZR in %:	25,7
Eigendeckungspotential EDP im BZR in %:	32,9
Energieintens. (elektr.) in kWh/100 Hühner:	32,8 bis 33,2

Tabelle 5.26: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb GM1

Prozess	Intervall	Verbraucher	Anschlussleistung in kW
Beleuchtung	dauerhaft	Leuchtmittel LED (40 Stück) mit je 8 W	0,32
Lüftung	bei Bed.	Lüfterventilatoren 400V 3 Stück).	k.A.
		Heizventilatoren	k.A.
Fütterung	1-2x p.T.	Antriebe (4 Stück)	k.A.

⁸ bereinigt um den Haushalt und 462 kWh für Poolpumpe (0,55kW 7h p.T. 4 Monate)

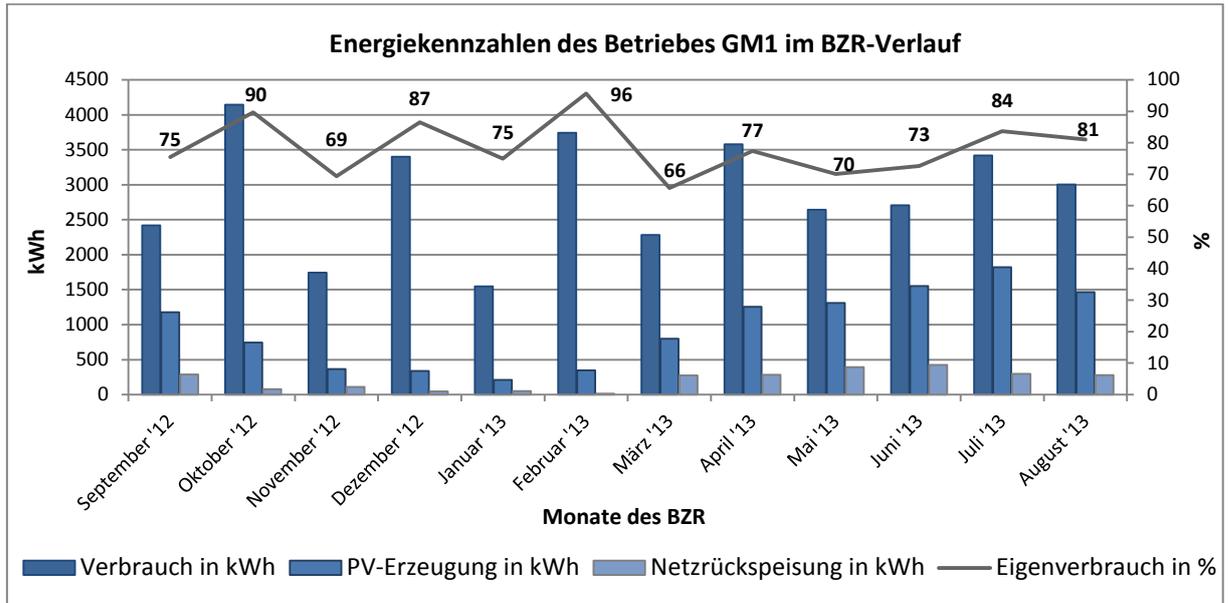


Abbildung 5.13: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes GM1 im BZR-Verlauf

5.7 Direktvermarktung

5.7.1 Betrieb D1^G

Bei Betrieb D1 umfasst die Produktpalette aus eigener Produktion Rindfleisch, Getreide und Getreideprodukte sowie Kürbiskernöl. Auch ein Hofladen ist vorhanden. Die größten Stromverbraucher sind im Bereich der Getreideverarbeitung konzentriert. Die Getreidereinigungsanlage stellt mit einem Anteil von rund 20 % am Gesamtverbrauch den energieintensivsten Prozess dar. Sie wird auch im Lohnverfahren eingesetzt. In der ebenfalls im Betrieb vorhandenen Steinmühle wird das gereinigte Getreide vermahlen. Mit einem Teil des so gewonnenen Mehls werden in der hauseigenen Backstube Brot und Gebäck hergestellt. Für Dinkelprodukte ist eine Dinkelpoliermaschine im Einsatz. Der Ab-Hof Verkauf von Getreideprodukten bietet Mehl und gemahlene Getreide, sowie Brot und Backwaren und Dinkelprodukte an. Weitere betriebsrelevante Stromverbraucher stellen das Aggregat des Kühlraums und die Beleuchtung der Verkaufsräumlichkeiten dar. Der Betrieb wird nach den Richtlinien des organisch-biologischen Landbaus geführt. Die Errichtung einer weiteren PV-Anlage wird angedacht.

Der Eigenverbrauchsanteil der 10 kWp Anlage liegt bei 59 %. Die höchsten Überschüsse verzeichnen die Monate April bis August, wobei die eingespeiste Überschussenergie zwischen 510 und 710 kWh je Monat liegt. Die Lastspitzen erreichen in den Viertelstunden-Werten bis zu 28 kW, wofür die Vielzahl an Verbrauchern im Prozess der Getreidereinigung verantwortlich ist. In der Vergangenheit kam es dadurch vereinzelt zu einem Ansprechen des Leitungsschutzes im Betrieb durch Überlast. Seit der Inbetriebnahme der PV-Anlage sind diese Ausfälle laut Auskunft des Betriebsführers stark zurückgegangen.

Tabelle 5.27: Eckdaten Betrieb D1

Betriebsstandort:	Bezirk Weiz
Hauptproduktionszweig:	Direktvermarktung
Nebenproduktionszweige:	Getreidereinigung, Mutterkuhhaltung
Jahresproduktion:	u.a. zwölf Mastkälber
Haushaltsgröße:	6 Personen
Betrachtungszeitraum (BZR):	01.09.2012 – 31.08.2013
Gesamtstromverbrauch im BZR in kWh:	22.941
Stromverbrauch LW im BZR in kWh:	16.405 bis 17.991
Photovoltaikanlage:	10 kWp, 12° Süd-West, 30° Neigung
Stromerzeugung im BZR in kWh:	10.669
∅ Eigenverbrauch EV im BZR in %:	58,8
∅ Eigendeckung ED im BZR in %:	27,4
Eigendeckungspotential EDP im BZR in %:	46,5
En.-intens. (elektr.) in kWh/100kg Dinkelreinigung*:	1,9

*ermittelt über Mengenangaben des Landwirts und zugehörigem Energieverbrauch (aus Lastgang ermittelt)

Tabelle 5.28: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb D1

Prozess	Intervall	Verbraucher	Anschlussleistung in kW
Getreidereinigungsanlage	6h p.T.	Gesamt 21 Verbraucher	39,9
Getreidemühle	2-3x p.W.	Gesamt 7 Antriebe	19,0
Dinkelpoliermaschine	bei Bed.	Gesamt 2 Antriebe	10,1
Brotbackstube	2x p.W.	Brotbackofen	9,9
		Ofen für Gebäck	9,3
		Teigknetmaschine 1	1,5
		Teigknetmaschine 2	1,1
Verkaufsraumbeleuchtung	bei Bed.	14 Halogenspots je 20 W	0,28
		3 Energiesparlampen je 35 W	0,105
Kühlraum	3T. / 5 W.	Aggregat	0,9

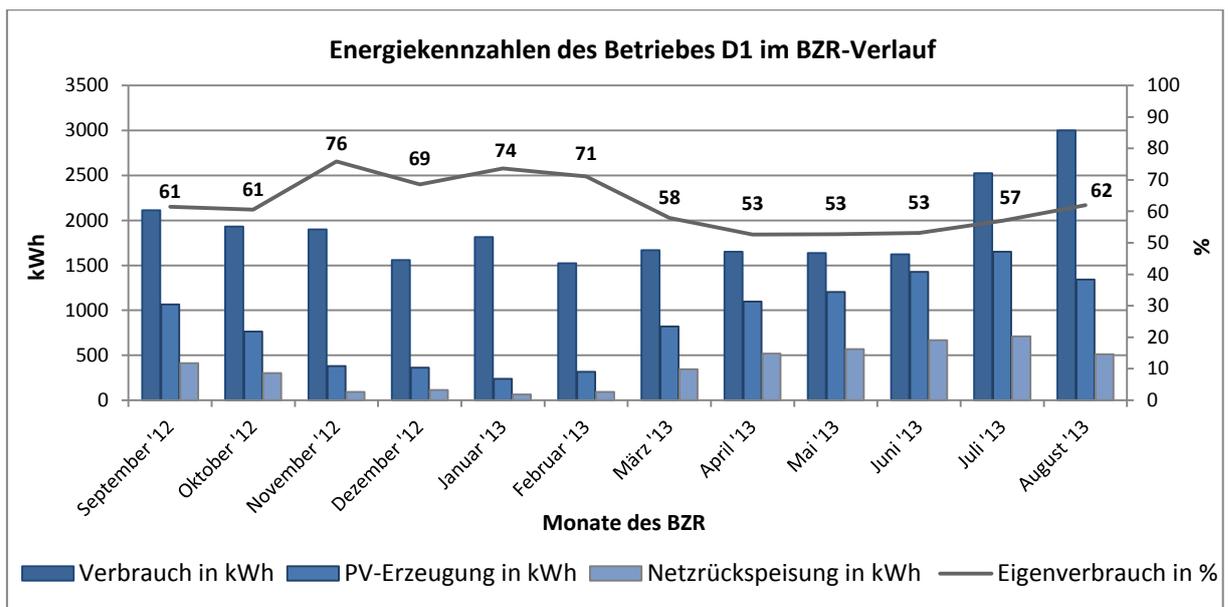


Abbildung 5.14: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes D1 im BZR-Verlauf

5.7.2 Betrieb D2^G

Rindermast und Mutterkuhhaltung liefern die Hauptprodukte für die Direktvermarktung des nach biologischen Grundsätzen bewirtschafteten Betriebs D2. Die Fleisch- und Wurstprodukte werden am Hof hergestellt und sowohl an Kunden ausgeliefert als auch direkt im gastgewerblichen Betrieb verbraucht. Für die Herstellung von Apfelmast ist eine Presse in Betrieb. Auch Bier wird im Umfang von 50 Hektoliter pro Jahr gebraut, wobei der Ausschank hauptsächlich in der eigenen Gastwirtschaft erfolgt. Für die Mutterkuhhaltung und die Rindermast wurde ein komplett neu errichteter Außenklimastall im Herbst 2013 in Betrieb genommen.

Smart-Meter Daten sind sowohl für die 8 kWp PV-Anlage verfügbar als auch für den landwirtschaftlichen Betrieb, die Brauerei und die Gastwirtschaft, welche gemeinsam erfasst werden. Unabhängig vom installierten Smart-Meter sind je ein Energiezähler für den HH, für eine 4,6 kWp PV-Anlage sowie für eine 55 kWp PV-Anlage im Einsatz. Von den diesen drei am Hof installierten Anlagen ist nur die 8 kWp Anlage Teil des Projektes und somit Gegenstand der Analyse.

Der EV beträgt im BZR lediglich 53 %. Dabei weisen die Monate März mit 40 % und April mit 41 % aufgrund der geschlossenen Gaststätte den geringsten EV-Anteil aus. Im zur Gänze geöffneten Monat Mai (59 %) sowie in den Sommermonaten Juli (61 %) und August (60 %) ist der EV am höchsten.

Tabelle 5.29: Eckdaten Betrieb D2

Betriebsstandort:	Bezirk Hartberg-Fürstenfeld
Hauptproduktionszweig:	Direktvermarktung von Rindfleisch
Nebenproduktionszweige:	Mostwirtshaus, Bierbrauerei
Jahresproduktion:	u.a. 20 Mastrinder, 5.000 Liter Bier
Haushaltsgröße:	4 Personen permanent, 4 Personen temporär
Betrachtungszeitraum (BZR):	01.01.2013 – 31.12.2013
Gesamtstromverbrauch im BZR in kWh:	15.518
Stromverbrauch LW im BZR in kWh:	15.518*
Photovoltaikanlage:	8 kWp, 18° Süd-Ost, 38° Neigung
Stromerzeugung im BZR in kWh:	8.193
Ø Eigenverbrauch EV im BZR in %:	53,1
Ø Eigendeckung ED im BZR in %:	27,9
Eigendeckungspotential EDP im BZR in %:	52,8
Energieintensität (elektr.) in kWh/100 Liter:	14,4

*Haushalt wird von separatem Zähler erfasst

Tabelle 5.30: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb D2

Prozess	Intervall	Verbraucher	Anschlussleistung in kW
Bier brauen	saisonal	Brüheinrichtung	9,0
		Rührwerk	1,9
		Pumpe	1,5
Kühlung	dauerhaft	Fleischkühlung	k.A.
		Reiferaum	k.A.
		Bierlagerraum	k.A.
		Kühlzelle Küche	k.A.
Most pressen	saisonal	Pressenantrieb	6,2
Brot backen	saisonal	Brotbackofen 3 Stück zu je 3,3 kW	9,9
Geschirr spülen	saisonal	Gastrospüler	5,2
Fleisch garen	saisonal	Kombidämpfer	6,0
Gülle rühren	2x p.W.	Güllerührwerk	13,1

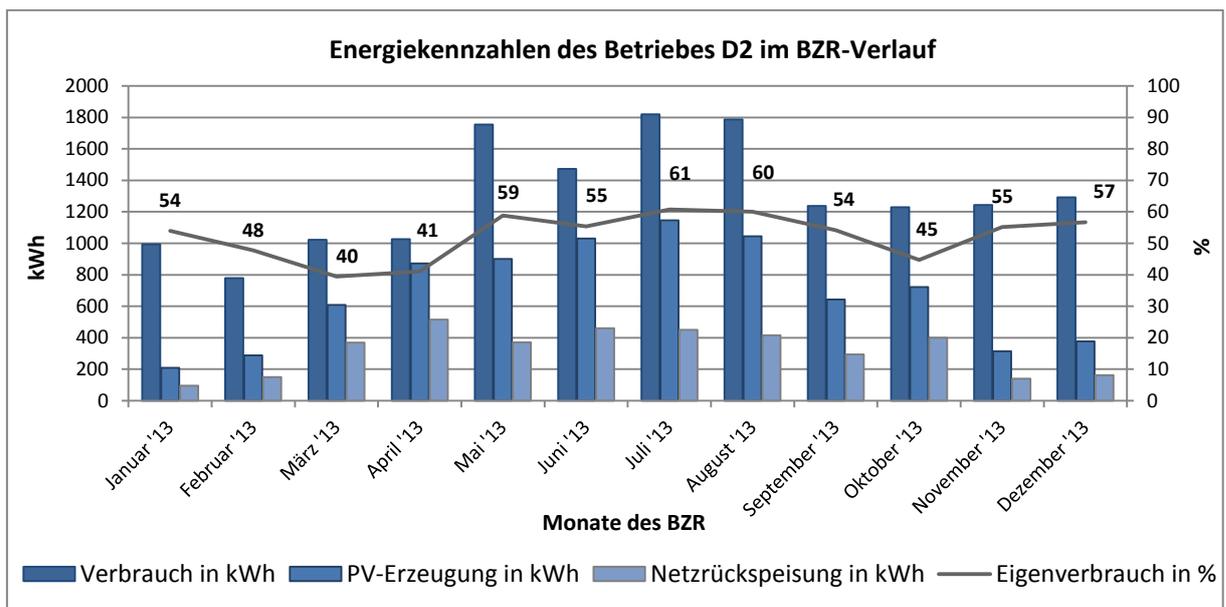


Abbildung 5.15: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes D2 im BZR-Verlauf

5.7.3 Betrieb D3^C

Der Vollerwerbsbetrieb D3 betreibt Direktvermarktung von Fleischprodukten, Obst und Obstprodukten, Öl und Schnaps. Für die Fleischproduktion werden jährlich zwischen 75 und 95 Schweine gemästet. Die Fleischverarbeitung wird in einem 14-Tageszyklus durchgeführt und erstreckt sich über zwei bis drei Tage. Abgesehen von der Fleischveredelung werden sämtliche Produktveredelungsschritte in externen Betrieben durchgeführt. Von August bis Dezember werden zudem etwa 60 Puten gezüchtet. Veredelungsschritte werden diesbezüglich nicht durchgeführt.

Tabelle 5.31: Eckdaten Betrieb D3

Betriebsstandort:	Bezirk Deutschlandsberg
Hauptproduktionszweig:	Direktvermarktung
Nebenproduktionszweige:	Schweine- u. Geflügelmast, Obst- u.
Jahresproduktion:	veredeltes Fleisch von 75-95 Schweine, 60
Haushaltsgröße:	4 Personen
Betrachtungszeitraum (BZR):	01.10.2012 – 30.09.2013
Gesamtstromverbrauch im BZR in kWh:	59.323
Stromverbrauch LW im BZR in kWh:	54.648 bis 55.323
Photovoltaikanlage:	15 kWp, 15° Süd-Ost, 40° Neigung
Stromerzeugung im BZR in kWh:	15.648
∅ Eigenverbrauch EV im BZR in %:	87,1
∅ Eigendeckung ED im BZR in %:	23,0
Eigendeckungspotential EDP im BZR in %:	26,4
Energieintensität (elektr.):	---

Tabelle 5.32: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb D3

Prozess	Intervall	Verbraucher	Anschlussleistung in kW
Fleischveredelung	2 WZ	Räucherkammer	20,0
		Fettschmelze	6,0
		Fleischwolf	6,0
		Fleischsäge	1,1
		Wurstfüller	1,5
	3x p.W.	Kombidämpfer	10,0
	täglich	Vakuumierer	0,8
bei Bed.	Reiferaum	1,5	
Verkauf	dauerhaft	Beleuchtung	0,2
		Kühltheke	0,9
	saisonal	Klimaanlage	1,5
Kühlung	dauerhaft	Kühlhalle	4,0
		Kühlraum	1,0
		Tiefkühlraum	8,0
Stallbelüftung	dauerhaft	konventionelle Ventilatoren (2 Stück)	k.A.
Fütterung	1x p.T.	Futtermischmotor	2,2
		Fördermotor Futterzufuhr	1,8
		Fördermotor Futterausbringung	1,8
Stall- und Maschinenreinigung	1x p.W.	Hochdruckreiniger	9,2

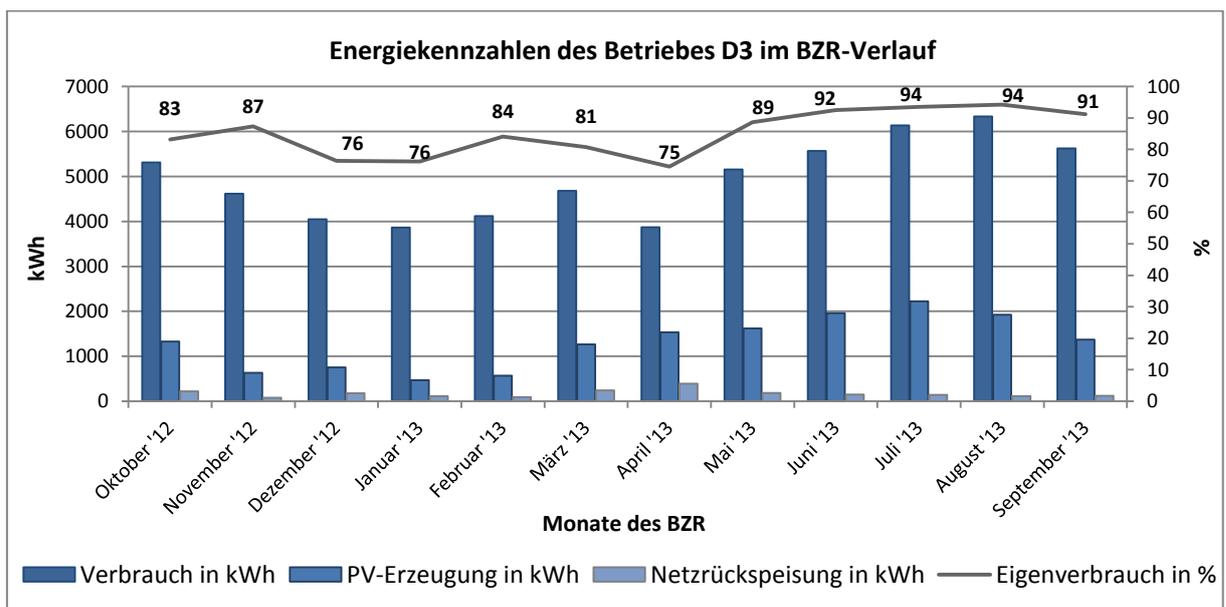


Abbildung 5.16: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes D3 im BZR-Verlauf

5.7.4 Betrieb D4^G

Der Betrieb D4 stellt sich als vielseitiger Direktvermarkter dar mit einem Anteil von 50 % direkt vertriebener Produkte. Die Eierproduktion wird sowohl direkt vermarktet als auch im Betrieb für die Produktion von Nudeln und Mehlspeisen verwendet. Von der gewonnenen Milch geht der Großteil in die Kälberaufzucht, ein kleiner Anteil wird direkt verkauft. Die primären Einnahmequellen der Direktvermarktung stellen Brot, Mehlspeisen und Nudeln sowie Schweinefleisch und Fleischprodukte dar. Die Mastkälber werden nicht direkt vermarktet. Die Vielzahl an nötigen Arbeitsschritten für die jeweils begrenzten Produktionsmengen hat einen niedrigen Automatisierungsgrad zur Folge.

An drei Tagen der Woche besteht ab 03:30 eine ausgeprägte Lastspitze über fünf Stunden. In dieser Zeit ist die Backstube in Betrieb. Neben dem Hauptprodukt Bauernbrot werden nach Bedarf Germmehlspeisen und unterschiedliche Strudel zubereitet und Nudeln erzeugt. Diese Produkte werden mit dem „mobilen Bauernladen“ direkt an die Kunden geliefert.

HH und landwirtschaftlicher Betrieb scheinen in den Smart-Meter Daten vereint auf. Im Rahmen des Projektes wurde eine 5 kWp Anlage installiert. Getrennt davon wird eine 20 kWp PV-Anlage betrieben, welche zu einem geförderten Einspeisetarif ihre gesamte Erzeugung einspeist.

Tabelle 5.33: Eckdaten Betrieb D4

Betriebsstandort:	Bezirk Murtal
Hauptproduktionszweig:	Direktvermarktung
Nebenproduktionszweige:	Eierproduktion, Rinderzucht, Forst
Jahresproduktion:	u.a. 90.000 Eier
Haushaltsgröße:	5 Personen
Betrachtungszeitraum (BZR):	01.09.2012 – 31.08.2013
Gesamtstromverbrauch im BZR in kWh:	23.626
Stromverbrauch LW im BZR in kWh:	17.762 bis 19.126
Photovoltaikanlage:	5 kWp, 0° Süd, 30° Neigung
Stromerzeugung im BZR in kWh:	5.323
Ø Eigenverbrauch EV im BZR in %:	62,0
Ø Eigendeckung ED im BZR in %:	14,0
Eigendeckungspotential EDP im BZR in %:	22,5
Energieintensität (elektr.):	---

Tabelle 5.34: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb D4

Prozess	Intervall	Verbraucher	Anschlussleistung in kW
Backstube	3x p.W.	Zwei Brotbacköfen je 6,6 kW	13,2
		Teigknetmaschine	1,5
		Backrohr	2,5
		Elektroherd	5,8
Kühlraum	dauerhaft	Kühlaggregat	1,67
Rinderstall	2x p.T.	Pumpe	1,0

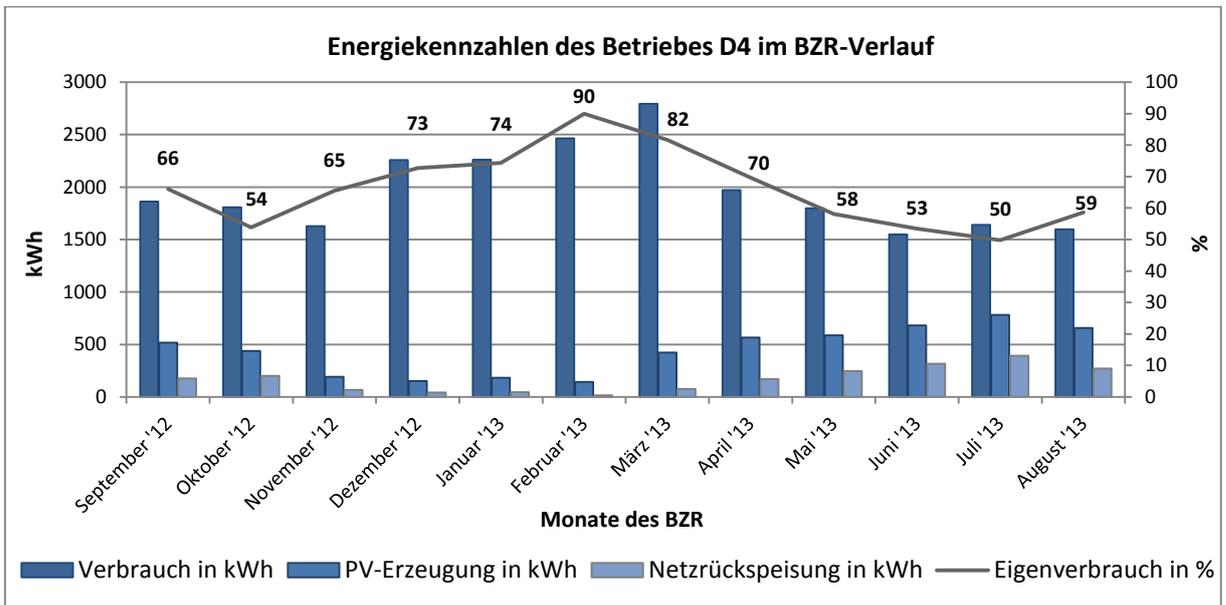


Abbildung 5.17: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes D4 im BZR-Verlauf

Tabelle 5.35: Gegenüberstellung der D-Betriebe hinsichtlich energetischer Kennzahlen

Betrieb	D1	D2	D3	D4
Gesamtstromverbr. im BZR in kWh:	22.941	15.518	59.323	23.626
Stromverbr. LW im BZR in kWh:	16.405-17.991	15.518	54.648-55.323	17.762-19.126
Photovoltaikanlage:	10 kWp	8 kWp	15 kWp	5 kWp
Stromerzeugung im BZR in kWh:	10.669	8.193	15.648	5.323
Ø Eigenverbrauch im BZR in %:	58,8	53,1	87,1	62,0
Ø Eigendeckung im BZR in %:	27,4	27,9	23,0	14,0
Eigendeckungspot. im BZR in %:	46,5	52,8	26,4	22,5

5.8 Urlaub am Bauernhof^G

5.8.1 Betrieb U1^G

Der Betrieb U1 bietet Urlaub am Bauernhof an, auf dem Mutterschafe und Lämmer gehalten werden sowie Pferde untergebracht sind. Zusätzlich wird selbst produziertes Heu vermarktet. Am Smart-Meter sind das Wohnhaus sowie der Beherbergungsbetrieb angeschlossen. Die LW wird durch einen separaten Zähler erfasst und kann somit in der Analyse nicht mitberücksichtigt werden. Die Bereitstellung von Raumwärme und Heizwasser erfolgt durch einen Anschluss an das Fernwärmenetz.

Im HH leben sechs Personen. Der Beherbergungsbetrieb umfasst 24 Betten, aufgeteilt auf vier Appartements und sechs Zimmer. Die Appartements weisen ca. 55 m² Fläche auf, während je drei Zimmer mit 18 m² und 28 m² vermietet werden. Der Verbrauch von elektrischer Energie je Zimmer resultiert hauptsächlich aus der anteiligen Leistungsaufnahme der Heiz- und Brauchwasserpumpen, Kühlschrank, Beleuchtung und Unterhaltungselektronik. Die Appartements verfügen zusätzlich um eine voll eingerichtete Küche. Die Zimmer werden mit Frühstück angeboten, Halb- oder Vollpension ist nicht verfügbar. Dementsprechend ist die Wirtschaftsküche vergleichbar einer Haushaltsküche ausgestattet, welche nicht die umfangreiche Ausstattung einer Gastro-Küche benötigt. Hohe Betriebsstunden erreichen auch die zwei Waschmaschinen und der Wäschetrockner, welche an gut belegten Tagen mehrmals täglich eingesetzt werden.

Die Hauptauslastung im Betrieb ergibt sich in den Wochen der Schulferien zu Weihnachten und im Sommer, wobei zusätzlich im Februar die Woche der Wiener Semesterferien relevant ist. Im Juni und September sind die Wochenenden gut gebucht. Abseits dieser Zeiten wird das Haus für Seminare und diverse Feiern gebucht, wodurch auch weitere Nächtigungen generiert werden. Für die Durchführung der Veranstaltungen steht der hauseigene Seminarraum zur Verfügung. Diese Verteilung der Buchungslage spiegelt sich im Stromverbrauch wieder. Von den 40 verbrauchsstärksten Tagen lagen alle an einem Ferientag oder innerhalb eines langen Wochenendes.

Der EV beträgt 83 % im BZR. Nur in den vier Monaten März bis Juni liegt der EV unter 80 %, wobei mit 75 % für April der niedrigste Wert ausgewiesen wird.

Tabelle 5.36: Eckdaten Betrieb U1

Betriebsstandort:	Bezirk Weiz
Hauptproduktionszweig:	Urlaub am Bauernhof
Nebenproduktionszweige:	Lammzucht, Reitstall, Heuproduktion
Jahresproduktion:	2500 Nächtigungen
Haushaltsgröße:	6 Personen
Betrachtungszeitraum (BZR):	01.09.2012 – 31.08.2013
Gesamtstromverbrauch im BZR in kWh:	21.593
Stromverbrauch Betrieb im BZR in kWh:	15.057 bis 16.643
Photovoltaikanlage:	5,25 kWp, 18° Süd-Ost, 17° Neigung
Stromerzeugung im BZR in kWh:	5.742
∅ Eigenverbrauch EV im BZR in %:	82,7
∅ Eigendeckung ED im BZR in %:	22,1
Eigendeckungspotential EDP im BZR in %:	26,6
Energieintensität (elektr.) in kWh/Nächtigung:	2,4 (Winter) / 1,4 (Sommer)

Tabelle 5.37: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb U1

Prozess	Intervall	Verbraucher	Anschlussleistung in kW
Kühlung	dauerhaft	Kühlraum	k.A.
Beleuchtung je Appartement	bei Bed.	Zwei Halogen Spots je 20 W	0,92
		Sechs Halogen Spots je 35 W	
		Zwei Halogen Spots je 40 W	
		Ein Deckenfluter 230 W und 40 W	
		Vier Glühlampen je 25 W	
		Zwei Glühlampen je 60 W	
		Eine Glühlampe je 100 W	
Beleuchtung je Gästezimmer	bei Bed.	Zwei Halogen Spots je 20 W	0,365
		Zwei Halogen Spots je 40 W	
		Zwei Halogen Spots je 35 W	
		Drei Glühlampen je 25 W	
		Eine Glühlampe je 40 W	
		Eine Glühlampe je 60 W	
Beleuchtung je Gästezimmer-groß	bei Bed.	Zwei Halogen Spots je 20 W	0,41
		Zwei Halogen Spots je 35 W	
		Zwei Halogen Spots je 40 W	
		Eine Glühlampe je 40 W	
		Drei Glühlampen je 60 W	
Beleuchtung Seminarraum	bei Bed.	Acht Glühlampen als Deckenlicht je 60 W	0,90
		Sieben Glühlampen als indirekte Bel. je 60 W	
Beleuchtung Eingangsbereich und Stiegenhaus	bei Bed.	Zwölf Glühlampen je 60 W	0,96
		Zwei Leuchtstoffröhren je 60 W	
		Vier Halogen Spots je 30 W	

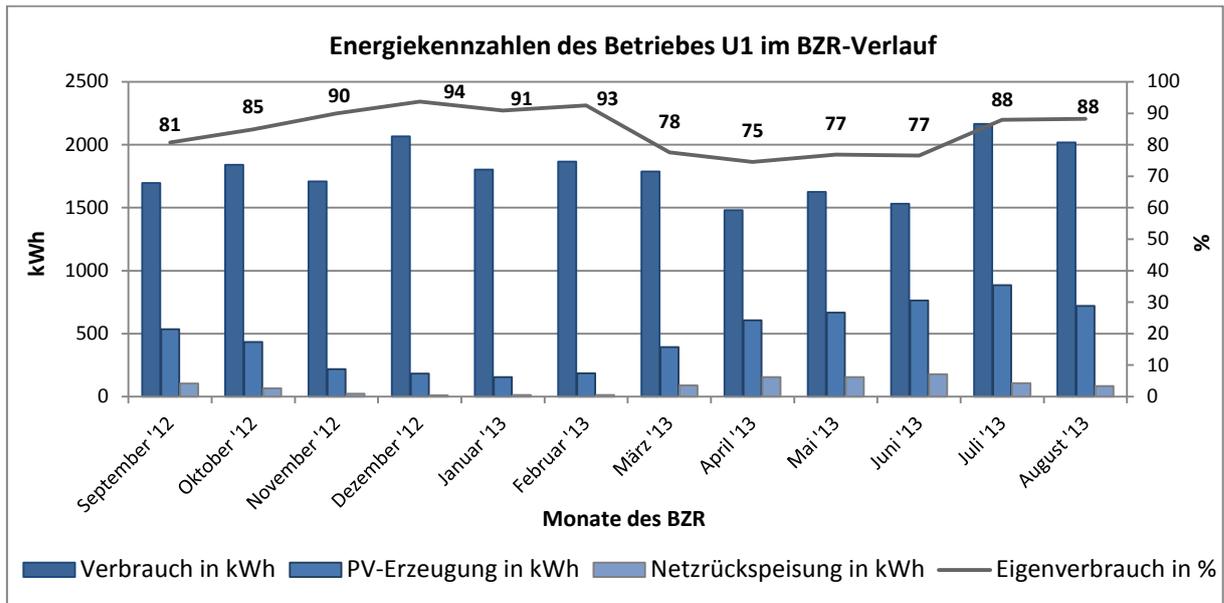


Abbildung 5.18: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes U1 im BZR-Verlauf

5.9 Obstbau^G

5.9.1 Betrieb O1^G

Der Obstbaubetrieb O1 produziert am steirischen Standort zum Großteil Äpfel. Darüber hinaus werden noch Pfirsiche, Birnen, Kirschen und Zwetschken kultiviert. Aus dem geernteten Obst werden im Betrieb Säfte und Schnaps hergestellt, welche die Hauptprodukte darstellen. Direkter Obstverkauf, Marmelade sowie Dörrobst stellen die weiteren verkauften Produkte dar. Die Vermarktung der Produkte erfolgt zu 90 % über den Hofladen. Der vom Smart-Meter erfasste Teil des Betriebes beinhaltet die Obstpresse, die Obstlagerräume, den Hofladen mit Verkostungsraum sowie den HH. Für die Schnapsbrennerei und die Hackgutfeuerungen ist ein separater Zähler vorhanden. Der Fokus der Betriebsanalyse liegt auf dem Bereich, für welchen Smart-Meter Daten verfügbar sind.

Die Beleuchtung in den Verkaufsräumen wurde zu zwei Dritteln bereits auf LED umgestellt. Die Betriebszeiten der Kühlaggregate sind über Zeitschaltuhren auf die Tagesstunden begrenzt. Durch die Beleuchtungsumstellung konnte die Energieeffizienz bereits gesteigert werden, während sich die Zeitschaltung der Kühlräume erhöhend auf den EV auswirkt. Der EV-Anteil im BZR liegt bei 84,8 %. Die größten Erzeugungsüberschüsse ergeben sich in den Monaten April und Mai. Der EV ist von März (62 %) bis Mai (73 %) unter der 80 % Marke, was aufgrund der bis dahin ausverkauften Ernte und dadurch leerstehenden Kühlhallen sowie einem saisonbedingten Stillstand der Obstpresse der Fall ist.

Tabelle 5.38: Eckdaten Betrieb O1

Betriebsstandort:	Bezirk Weiz
Hauptproduktionszweig:	Obstbau
Nebenproduktionszweige:	Direktvermarktung
Jahresproduktion:	gesamt 15 ha Obstkulturen
Haushaltsgröße:	5 Personen ⁹
Betrachtungszeitraum (BZR):	01.09.2012 – 31.08.2013
Gesamtstromverbrauch im BZR in kWh:	33.647
Stromverbrauch LW im BZR in kWh:	27.783 bis 29.147
Photovoltaikanlage:	12 kWp, 7° Süd-Ost, 20° Neigung
Stromerzeugung im BZR in kWh:	11.464
∅ Eigenverbrauch EV im BZR in %:	84,8
∅ Eigendeckung ED im BZR in %:	29,0
Eigendeckungspotential im BZR in %:	34,1
Energieintensität (elektr.):	---

Tabelle 5.39: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb O1

Prozess	Intervall	Verbraucher	Anschlussleistung in kW
Kühlung	dauerhaft	Kühlräume	k.A.
		Kühltheken	k.A.
Obst Pressen	saisonal	Antrieb Mühle	6,5
		Antrieb Transport	4
		Monopumpe	7,5
		Ölpumpe	1,5
		Tauchpumpe	1,1
Beleuchtung Verkaufsräum	10h p.T.	36 Leuchtmittel LED	0,28
Zwei Leuchtmittel Energiesparlampe			
Beleuchtung Verkostungsraum	bei Bed.	Vier Leuchtmittel LED	0,25
		23 Leuchtmittel Energiesparlampe	

⁹ Drei Personen im Haushalt zuzüglich zwei weiteren Personen im Mittel: während der Erntezeit wohnen zusätzlich mindestens 10 Erntehelfer am Betrieb

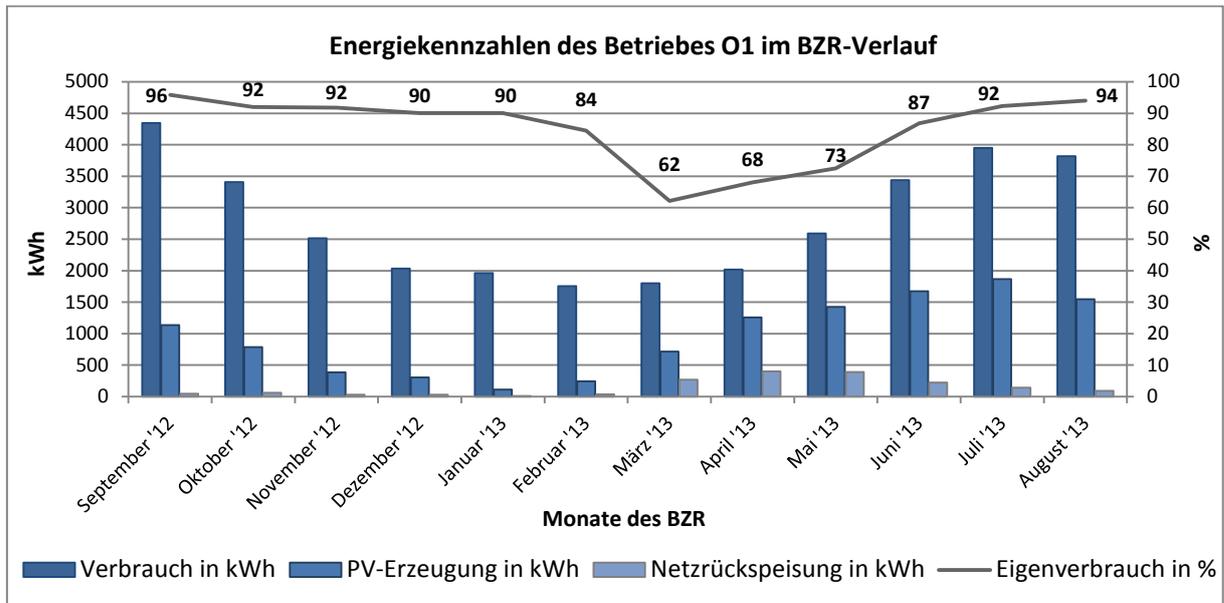


Abbildung 5.19: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes O1 im BZR-Verlauf

5.9.2 Betrieb O2^G

Die Produktion des Betriebs O2 ist auf Äpfel spezialisiert, welche zur Gänze weiterverkauft werden. Im Betrieb erfolgen keine weiteren Veredelungsschritte. Die Jahresproduktion von bis zu 900.000 kg wird nach erfolgter Ernte in Kühlzellen mit kontrollierter Atmosphäre, sogenannten Controlled Atmosphere (CA) Zellen, eingelagert. Insgesamt sind fünf dieser Zellen verfügbar. Nach dem Abkühlen und dem Herstellen der kontrollierten Atmosphäre wird eine Zelle verschlossen. Im Laufe der folgenden Monate werden nach Bedarf die Zellen geöffnet, wobei stets der Inhalt einer gesamten Zelle verkauft wird. Im Juni wird die letzte Zelle geöffnet. Von diesem Zeitpunkt bis zum Einsetzen der Ernte tritt kein Stromverbrauch durch Obstlagerung auf.

Dadurch ergibt sich im Monatsvergleich eine stark unterschiedliche Charakteristik im Stromverbrauch. In den Monaten Oktober und November wird ein Stromverbrauch größer 10.000 kWh pro Monat verursacht, da das Obst von der herrschenden Umgebungstemperatur auf 1 °C abgekühlt werden muss. Der Verbrauch sinkt über die Monate, in den Monaten Juli und August beträgt er jeweils weniger als 2.000 kWh. Der EV-Anteil beträgt im November 97 % und sinkt im Juli auf 26 % und im August auf 24 %. In diesen beiden Monaten ist das EDP an 56 Tagen größer als 100 %. Es werden dabei 4.602 kWh eingespeist, was einem Anteil von 46 % am Jahresüberschuss entspricht.

Vom Smart-Meter erfasst werden der Betrieb, der 5-Personen HH und das Personalhaus. Das Personalhaus wird von den Erntehelfern bewohnt, welche im Rahmen der Ernte ab Anfang September für rund 50 Tage im Betrieb tätig sind. Heizung und Warmwasseraufbereitung erfolgen über eine Hackschnitzelanlage, welche von einer thermischen Solaranlage unterstützt wird.

Tabelle 5.40: Eckdaten Betrieb O2

Betriebsstandort:	Bezirk Weiz
Hauptproduktionszweig:	Obstbau
Nebenproduktionszweige:	---
Jahresproduktion:	900.000 kg
Haushaltsgröße:	8 Personen*
Betrachtungszeitraum (BZR):	01.11.2012 – 31.10.2013
Gesamtstromverbrauch im BZR in kWh:	67.279
Stromverbrauch LW im BZR in kWh:	59.523 bis 61.758
Photovoltaikanlage:	20 kWp, 3° Süd-Ost, 31° Neigung
Stromerzeugung im BZR in kWh:	22.168
Ø Eigenverbrauch EV im BZR in %:	55,0
Ø Eigendeckung ED im BZR in %:	18,1
Eigendeckungspotential EDP im BZR in %:	32,9
Energieintensität (elektr.) in kWh/t Apfel:	66,1 bis 68,6

*Fünf Personen im Haushalt, zuzüglich Erntehelfer gemittelt auf ein Jahr

Tabelle 5.41: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb O2

Prozess	Intervall	Verbraucher	Anschlussleistung in kW
Kühlung	dauerhaft	Zwei Kühlaggregate je 8,7 kW	17,4
		Zwei Kühlaggregate je 10,9 kW	21,9
		Vierzehn Ventilatoren je 0,32 kW	4,48
CA-Atmosphäre	5-12x p.T	CO2 Absorber	k.A.

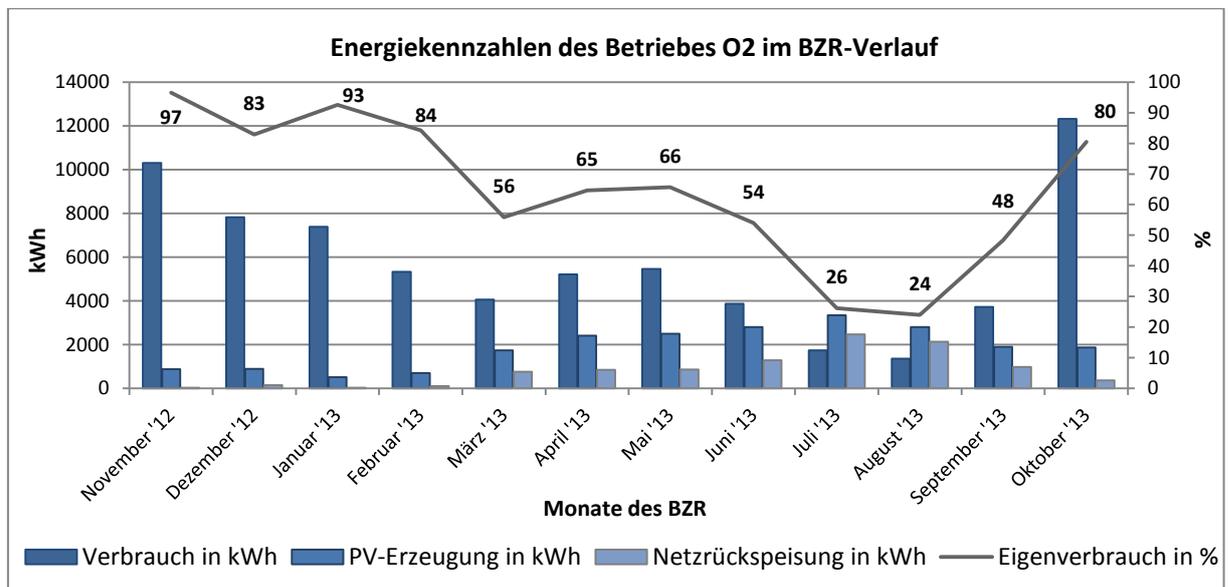


Abbildung 5.20: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes O2 im BZR-Verlauf

Tabelle 5.42: Gegenüberstellung der O-Betriebe hinsichtlich energetischer Kennzahlen

Betrieb	O1	O2
Gesamtstromverbrauch im BZR in kWh:	33.647	67.279
Stromverbrauch LW im BZR in kWh:	27.783 – 29.147	59.523 – 61.758
Photovoltaikanlage:	12 kWp	20 kWp
Stromerzeugung im BZR in kWh:	11.464	22.168
∅ Eigenverbrauch im BZR in %:	84,8	55,0
∅ Eigendeckung im BZR in %:	29,0	18,1
Eigendeckungspotential im BZR in %:	34,1	32,9

5.10 Gemüsebau^C

5.10.1 Betrieb GB1^C

Der Betrieb GB1 wird als Vollerwerb geführt und verfügt über 5 ha Sonderkulturfläche auf denen zweimal im Jahr Salat angepflanzt wird. Die Jahresproduktion beträgt 700.000 Salatköpfe. Der Bedarf an elektrischer Energie in der Salatproduktion ist auf den von Mai bis November andauernden Erntezeitraum begrenzt und resultiert aus der Reinigung und Kühlung der Salate und der Landmaschinen- und Salatkistenreinigung. Zur Reinigung der Salatköpfe und -kisten wird eine elektrisch betriebene Waschanlage eingesetzt. Im Anschluss an die Reinigung werden die Salate auf 4-6 °C gekühlt. Der Kühlraum ist in der Erntephase täglich im Einsatz und unterliegt in seiner Auslastung saisonalen Schwankungen. Die Kühlraumgröße kann daher zweistufig variiert werden.

Als Nebenproduktionszweig wird auf einer Fläche von 14 ha Getreide angebaut. Die Weiterverarbeitung des Getreides ist in externe Betriebe ausgelagert. Folglich werden in diesem Produktionszweig keine elektrischen Maschinen im Betrieb GB1 eingesetzt. Die Betriebsanalyse wird daher auf den Hauptproduktionszweig eingegrenzt. Der Jahresstromverbrauch des Betriebes wird zusätzlich zum Haushaltsverbrauch auch um den auf den Swimmingpool zurückzuführenden Energieverbrauch bereinigt. Die tägliche Einsatzdauer der 1,2 kW starken Umwälzpumpe beträgt zehn Stunden, woraus ein Jahresenergieverbrauch von 4.380 kWh resultiert.

Tabelle 5.43: Eckdaten Betrieb GB1

Betriebsstandort:	Bezirk Graz-Umgebung
Hauptproduktionszweig:	Gemüsebau
Nebenproduktionszweige:	Ackerbau (Mais, Getreide und Kürbis)
Jahresproduktion:	700.000
Haushaltsgröße:	6 Personen
Betrachtungszeitraum (BZR):	01.10.2012 – 30.09.2013
Gesamtstromverbrauch im BZR in kWh:	24.049
Stromverbrauch LW im BZR in kWh:	13.133 bis 14.719
Photovoltaikanlage:	8,25 kWp, 0° Süd, 22° Neigung
Stromerzeugung im BZR in kWh:	8.661
∅ Eigenverbrauch EV im BZR in %:	75,4
∅ Eigendeckung ED im BZR in %:	27,2
Eigendeckungspotential EDP im BZR in %:	36,0
Energieintensität (elektr.) in kWh/100 Salatköpfe:	1,9 bis 2,1

Tabelle 5.44: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb GB1

Prozess	Intervall	Verbraucher	Anschlussleistung in kW
Salat- und Salatkistenreinigung	täglich	Kettenantrieb Waschanlage	0,6
		Brunnenpumpe	1,9
		Hochdruckreiniger I ¹⁰	5,8
Kühlung	täglich	Kühlraum	5,0
Landmaschinenreinigung	1x p.W.	Hochdruckreiniger II	6,5

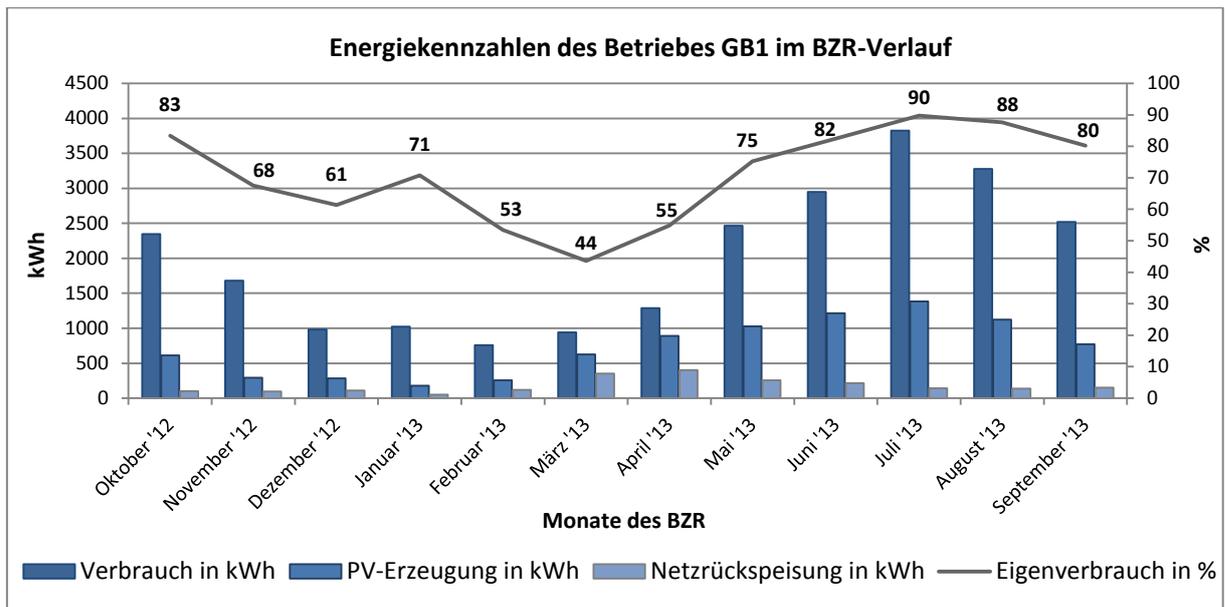


Abbildung 5.21: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes GB1 im BZR-Verlauf

¹⁰ Hochdruckreiniger I ist nur bei der Kistenreinigung aktiv

5.11 Weinbau^C

5.11.1 Betrieb W1^C

Der Betrieb W1 verfügt über acht Gästezimmer und eine Buschenschänke. Die im Betrieb produzierten Weine werden ausschließlich in der Buschenschänke und über die eigene Internetseite verkauft. Die Produktionszweige Weinbau, Direktvermarktung und Urlaub auf dem Bauernhof sind somit ineinandergreifend und werden dem Betrieb als Hauptproduktionszweige zugeordnet (s. Tabelle 5.1). Ein Teil der Gästezimmer und die Schenke sind im 2006 errichteten Hauptgebäude untergebracht. Die restlichen Gästezimmer sind im Nebengebäude untergebracht. Die Zimmer sind mit TV, Kühlschrank und Fön ausgestattet. Leistungswerte diese Geräte konnten im Zuge der Vor-Ort Analyse nicht ermittelt werden, da sämtliche Zimmer zu diesem Zeitpunkt vermietet waren. Der Lastgang des Betriebes ist stark durch das Verhalten der Übernachtungsgäste geprägt.

Tabelle 5.45: Eckdaten Betrieb W1

Betriebsstandort:	Bezirk Leibnitz
Hauptproduktionszweig:	Weinbau, Urlaub auf dem Bauernhof und Direktvermarktung
Nebenproduktionszweige:	---
Jahresproduktion:	15.500 Liter Wein, 1464 Zimmervermietungen
Haushaltsgröße:	5 Personen
Betrachtungszeitraum (BZR):	01.10.2012 – 30.09.2013
Gesamtstromverbrauch im BZR in kWh:	32.996
Stromverbrauch LW im BZR in kWh:	27.132 bis 28.496
Photovoltaikanlage:	9,75 kWp, 34° Süd-Ost, 45° Neigung
Stromerzeugung im BZR in kWh:	10.502
∅ Eigenverbrauch EV im BZR in %:	74,3
∅ Eigendeckung ED im BZR in %:	23,6
Eigendeckungspotential EDP im BZR in %:	31,8
Energieintensität (elektr.):	---

Tabelle 5.46: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb W1

Prozess	Intervall	Verbraucher	Anschlussleistung in kW
Beleuchtung	täglich	Leuchtstoffröhre 58 W (83 Stück)	4,8
		Leuchtstoffröhre 18 W (9 Stück)	0,16
Kühlung	dauerhaft	Eiswasserkühlung für Wein	k.A.
		Kühltische (3 Stück)	0,9
		Gefriertruhen (4 Stück)	0,5
		Kühlschränke (4 Stück)	0,4
Traubenverarbeitung	1x p.J.	Weinpresse	3,5
Brot backen	2x p.W.	Brotbackofen	5,0

Leistungswerte der Kühleinrichtungen und des Brotbackofens konnten im Zuge der Vor-Ort Analyse aufgrund der Unzugänglichkeit der Typenschilder nicht erfasst werden. Die in Tabelle 5.46 angeführten Leistungswerte der Kühlgeräte basieren auf Durchschnittswerten vergleichbarer Geräte. Der Leistungswert des Brotbackofens wurde über einen Vergleich mit Brotbacköfen anderer Betriebe geschätzt.

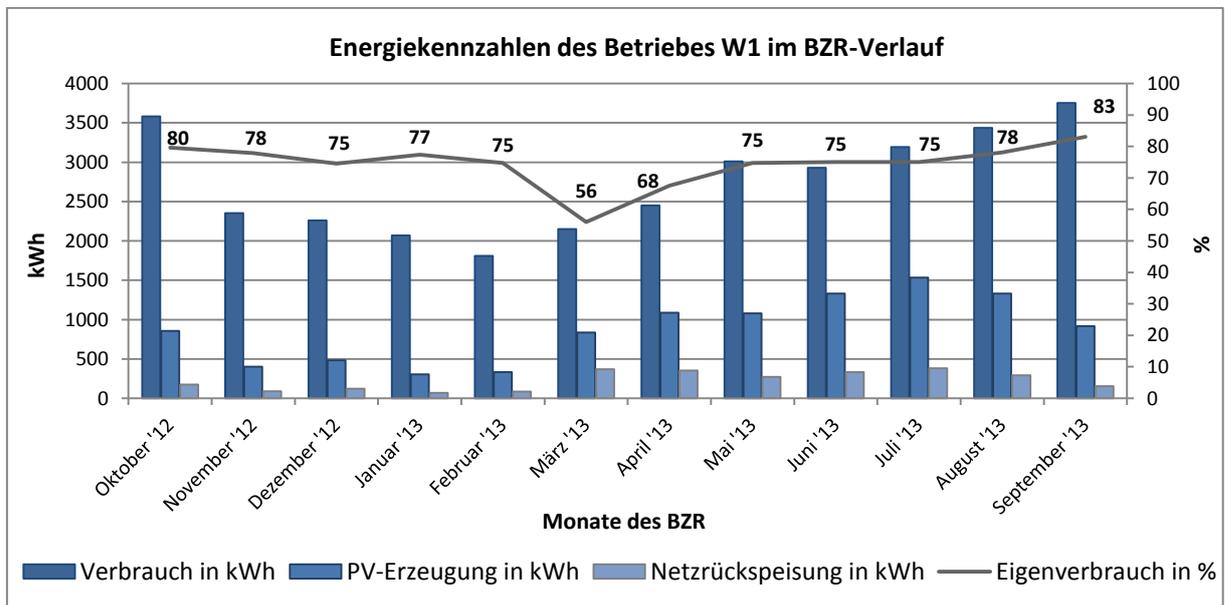


Abbildung 5.22: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes W1 im BZR-Verlauf

6 Betriebsanalyse: Entwicklung individueller und spartenbezogener Maßnahmen

Dieser Abschnitt beinhaltet für jeden der 19 Betriebe eine detaillierte Analyse, wobei für jeden einzelnen Betrieb sinnvolle Maßnahmen entwickelt werden. Wenn für eine Sparte mehr als ein Betrieb analysiert wurde, sind die Ergebnisse am Ende der jeweiligen Sparte gesammelt dargestellt.

6.1 Ferkelzucht^C

6.1.1 Betrieb F1^C

Belüftung:

Im Betrieb F1 wird eine dezentrale Lösung zur Stallbelüftung eingesetzt. In den neun Stallabteilen sind Einzelabsaugungen installiert, wobei die Drehzahlregelung anhand der Temperatur im jeweiligen Stallabteil erfolgt. Mit Ausnahme von einem Stallabteil, in dem ein EC-Lüfter eingesetzt wird, sind alle weiteren Stallabteile mit konventionellen Ventilatoren und Phasenanschnittsteuerungen ausgestattet. Die Ventilatoren sind in Rohren mit beidseitig stumpfem Ende montiert. Aufgrund des kontinuierlichen Betriebes und einer Gesamtleistung von 3,2 kW im Volllastbetrieb ist die Stallbelüftung einer der energieintensivsten Prozesse im Betrieb.

Der Lastgang des Betriebes weist aufgrund der temperaturgeführten Belüftung eine Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur auf, wobei die im Abschnitt 5.2.1 für den Volllastbetrieb ermittelte Leistungsaufnahme von rund 3,6 kW an Sommertagen¹¹ nicht erreicht wird, sondern erst beim Erreichen einer Umgebungstemperatur von etwa 27 °C (s. Abbildung 6.1). Aus dieser Erkenntnis lässt sich ableiten, dass die Belüftung überwiegend im Teillastbereich betrieben wird. Zur Steigerung der Energieeffizienz wird die Nachrüstung von Frequenzumrichtern bzw. der Austausch der konventionellen Ventilatoren gegen Ventilatoren mit EC-Antrieben empfohlen. Aufgrund der Einzelabsaugung ist für jedes Stallabteil ein eigener FU notwendig. Die Anschaffungskosten eines geeigneten FU betragen netto 619 € [34]. Die Anschaffungskosten von Ventilatoren mit einphasigem EC-Antrieb betragen je nach Baugröße zwischen netto 580 € und 768 € (s. Abschnitt 10.2). Die Anschaffungskosten dieser Ventilatoren sind also je nach Baugröße geringer oder höher als die Anschaffungskosten eines Frequenzumrichters. Da die Ventilatoren kontinuierlich betrieben werden und die Leistungsaufnahme beim Einsatz von Ventilatoren mit EC-Antrieben geringer als beim FU-Einsatz ist, sollte im Betrieb F1 auch bei gegebenenfalls höheren Anschaffungskosten die Umrüstung auf die EC-Technologie forciert werden. Durch den Einsatz derartiger Ventilatoren sind in Abhängigkeit vom sich einstellenden

¹¹ Definition Sommertag [88]: Temperaturmaximum ≥ 25 °C

Betriebspunkt Energieeinsparungen von bis zu 36 % gegenüber der Phasenanschnittsteuerung möglich (s. Abbildung 5.1).

Während der Vor-Ort-Besichtigung wurde mit Bezug auf Tabelle 5.3 eine suboptimale Form der Abluftkanäle festgestellt. Als Effizienzmaßnahme empfiehlt sich eine strömungstechnische Optimierung der Kanäle durch Installation von Anstromdüsen und Diffusoren. Gegenüber der gegenwärtigen Ausführung nach Variante C gemäß Tabelle 5.3 wird die spezifische Leistungsaufnahme durch Anstromdüsen und Diffusoren nach Variante E ausgehend von Variante C um 26 % von 46,8 Wh auf 34,6 Wh pro 1.000 m³ geförderter Luft reduziert.

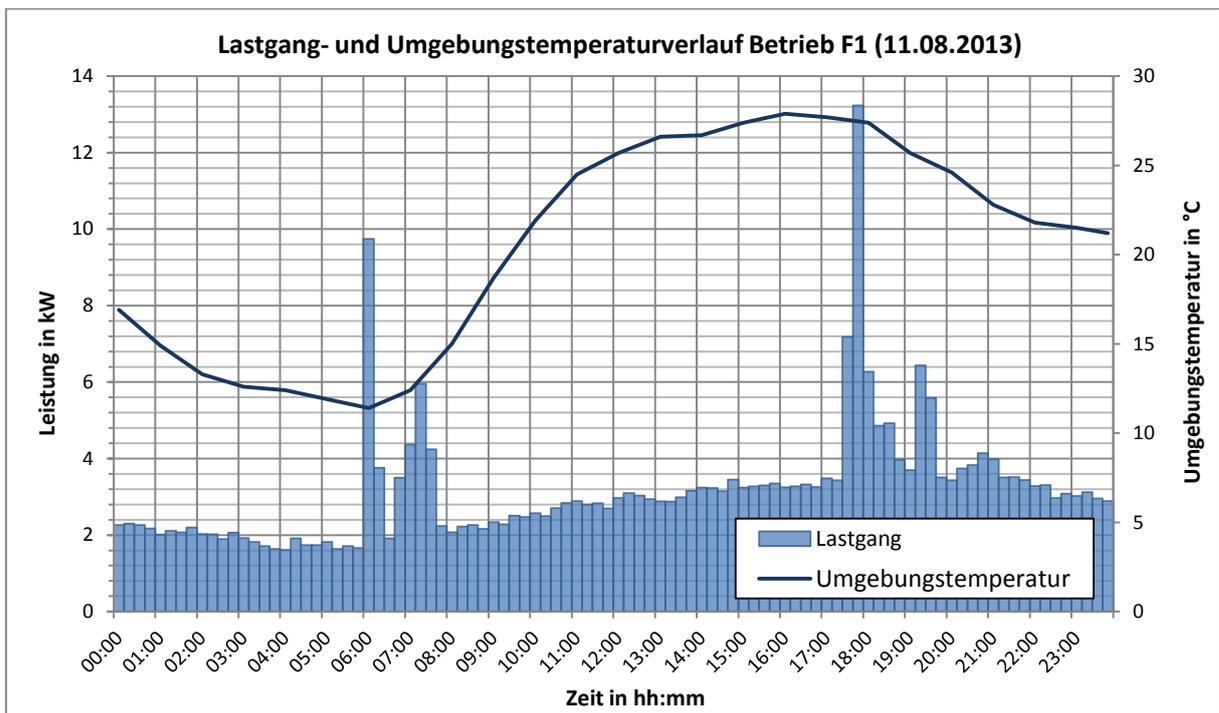


Abbildung 6.1: Temperaturabhängiger Lastgang von Betrieb F1 (Quelle Wetterdaten: [32]; eigene Darstellung)

Fütterung:

Die vollautomatisierte Fütterung im Mast- und Zuchtbereich findet zweimal täglich statt. Aufgrund der hohen Leistungen der eingesetzten Maschinen trägt die Fütterungsanlage trotz der kurzen täglichen Einsatzzeit einen großen Teil zum Gesamtstromverbrauch des Betriebes bei.

Momentan sind im Fütterungscomputer 06:00 Uhr und 17:30 Uhr als Startzeitpunkte hinterlegt. Zur Erhöhung der EV-Quote wird die Reduzierung der Futtermenge zu den gegenwärtigen Fütterungszeitpunkten und in weiterer Folge eine zusätzliche Fütterung zur Mittagszeit bzw. je eine zusätzliche Fütterung um 10:00 Uhr und 14:00 Uhr empfohlen. In Abbildung 6.2 ist der angepasste Fütterungsprozess bei einer zusätzlichen Fütterung um 12:00 Uhr dargestellt. Für den dargestellten Tag konnte eine hypothetische Steigerung der EV-Quote um 6,6 % auf 79,0 % errechnet werden. Dies entspricht einer zusätzlichen

Nutzung von 2,7 kWh PV-Energie und bei 11,15 Cent Preisdifferenz je eigenverbraucher kWh einer Ersparnis von rund 0,3 € pro Tag.

Der Fütterungszyklus im Zuchtbereich wird durch diese Maßnahme nicht beeinflusst. Für den Landwirt entsteht somit kein Mehraufwand durch eine zusätzliche Handfütterung.

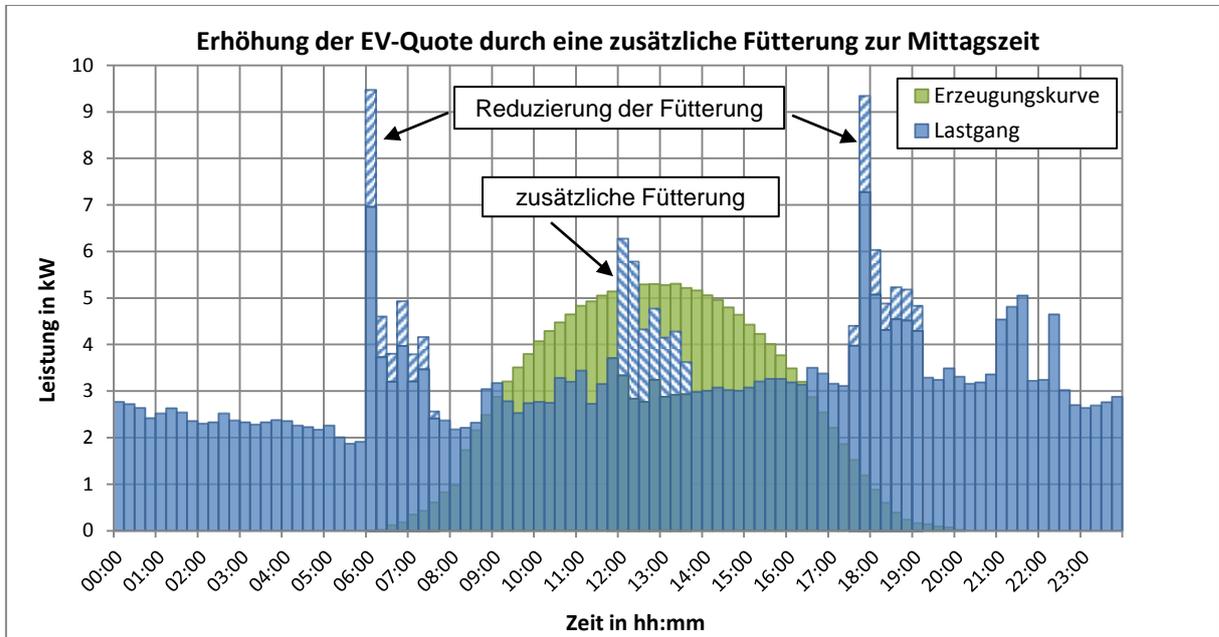


Abbildung 6.2: EV-Erhöhung durch angepassten Fütterungsprozess im Betrieb F1

Ferkelnestheizung:

Die Ferkelbuchten sind auf drei räumlich identische Abteile aufgeteilt. In einem Abteil werden Warmwasserbodenheizungen und bei Bedarf zusätzlich Elektroinfrarotstrahler zur Ferkelnestbeheizung eingesetzt. In den anderen beiden Abteilen werden ausschließlich Elektroinfrarotstrahler eingesetzt. Durch die hohe Anzahl jährlicher Betriebsstunden und aufgrund der Gesamtleistung von 1,9 kW sind die Infrarotstrahler der Ferkelnestheizung einer der größten Stromverbraucher im Betrieb. Die Ferkelnester verfügen über keine Wärmeisolation.

Als Effizienzmaßnahme wird der Einsatz von Wärmeplatten in allen Abteilen empfohlen. Abhängig vom Installationsaufwand sind elektrische Bodenplatten oder Warmwasserbodenplatten zu wählen. Die Elektroinfrarotstrahler sind in weiterer Folge lediglich im Bedarfsfall als unterstützendes Heizelement einzusetzen. Zudem wird die Installation einer Wärmeisolation empfohlen. Die durch diese Maßnahme erzielbare Energieeinsparung ist aus Abbildung 6.8 im Abschnitt 6.1.4 ersichtlich.

Futtereinlagerung und Futtermühle:

Die Einlagerung der einzelnen Futterkomponenten in die Futtermittelsilos erfolgt einmal jährlich über eine Dauer von 15 Stunden und wird mit elektrisch angetriebenen Förderschnecken durchgeführt. Zudem wird im 14-Tage-Zyklus mit der elektrischen

Hammermühle Futtermittel gemahlen. Diese Prozesse sind über mehrere Tage verschiebbar und sollten daher vorausschauend geplant werden, um durch Ausnutzung des überschüssigen PV-Stromes eine Steigerung der EV-Quote zu erzielen.

Stallreinigung:

Der Zuchtstall wird im Abstand von sechs Wochen gereinigt. Die Mastställe werden zweimal pro Jahr gereinigt. Während der Reinigung wird der 7,0 kW Hochdruckreiniger jeweils über eine Dauer von einer Stunde eingesetzt. Die Verschiebung der Stallreinigung über mehrere Tage hinweg ist aufgrund des Zuchtzyklus nicht möglich. An den Tagen der Reinigung sollte jedoch der Parallelbetrieb mit anderen Großverbrauchern vermieden werden und nach Möglichkeit der PV-Überschuss in Zeiträumen mit hoher PV-Erzeugung genutzt werden um die EV-Quote zu erhöhen.

6.1.2 Betrieb F2^C

Belüftung:

Die dezentral gestaltete Stallbelüftung ist in Form von Einzel- sowie Doppelabsaugungen in Gruppenschaltung ausgeführt. Insgesamt sind im betrachteten Teil des Betriebes zehn Ventilatoren im Einsatz, wovon zwei über Frequenzumrichter und acht über Phasenanschnittsteuerungen betrieben werden. Die werkseitig mit Anstromdüsen ausgestatteten Lüfter sind in Rohren mit abluftseitig stumpfem Abschluss montiert. An einigen Abluftrohren ist zudem ein keilförmiger Regenschutz angebracht (s. Abbildung 6.3). Die Belüftung trägt den größten Anteil zum jährlichen Stromverbrauch des Betriebes bei. Dies ist durch den kontinuierlichen Betrieb und der Gesamtleistung von 4,1 kW im Vollastbetrieb begründet.

Der Lastgang des Betriebes ist durch die starke Temperaturabhängigkeit der Belüftungsanlage geprägt, wobei die im Abschnitt 5.2.2 ermittelte Maximalleistung der Ventilatoren ab einer Umgebungstemperatur von ca. 26 °C erreicht wird (s. Abbildung 6.4). Mit durchschnittlich rund 69 Sommertagen pro Jahr¹² wird am Betriebsstandort der höchste Wert in der Steiermark erreicht, dennoch lässt sich aus diesen Erkenntnissen ableiten, dass die Ventilatoren größtenteils im Teillastbereich betrieben werden. Zur Steigerung der Energieeffizienz wird die Nachrüstung von Frequenzumrichtern bzw. der Austausch der konventionellen Ventilatoren gegen Ventilatoren mit EC-Antrieb empfohlen. Die Anschaffungskosten eines FU betragen netto 619 € [34], Ventilatoren mit einphasigem EC-Antrieb kosten je nach Baugröße zwischen netto 580 € und 768 € (s. Abschnitt 10.2), wobei über einen FU mehrere gruppengeschaltete Ventilatoren geregelt werden können. In Stallabteilen mit Doppelabsaugung kann somit die Regelung beider Ventilatoren mit nur

¹² Wert stammt von einer 10 km entfernten und annähernd auf gleicher Seehöhe liegenden Wettermessstation [85]

einem FU durchgeführt werden. Die Leistungsaufnahme bei FU-Regelung liegt jedoch über der Leistungsaufnahme vergleichbarer EC-Ventilatoren (s. Abbildung 5.1). Aufgrund der zumindest um 87 % geringeren Anschaffungskosten gegenüber dem Einsatz von zwei Ventilatoren mit EC-Technologie sollte hinsichtlich der resultierenden Amortisationsdauer in den Stallabteilen mit Doppelabsaugung dennoch die FU-Regelung bevorzugt werden. In den Stallabteilen mit Einzelabsaugung sollte auf Ventilatoren mit EC-Antrieben umgerüstet werden.

Zudem empfiehlt sich die strömungstechnische Optimierung der Belüftungskanäle durch Installation von Diffusoren. Gegenüber der Ausführung ohne Regenschutzvorrichtung wird gemäß Tabelle 5.3 die spezifische Leistungsaufnahme um rund 19 % von 42,6 Wh auf 34,6 Wh pro 1.000 m³ geförderter Luft reduziert. Da die Regenschutzvorrichtung einen zusätzlichen strömungstechnischen Widerstand darstellt, ist durch den Austausch gegen einen Diffusor ebenfalls eine Reduzierung der spezifischen Leistungsaufnahme zu erwarten. Ein exakter Wert kann aufgrund der individuellen Form der Regenschutzvorrichtung nicht angegeben werden. Ein Regenschutz kann durch Einbau eines sogenannten Regenhutes oder auch einen 90°-Bogen und horizontale Ausblasung hergestellt werden. In beiden Fällen sind im Vorfeld der Umsetzung die Auswirkungen auf den Luftstrom und die bodennahe Emission der Abgase zu berücksichtigen.



Abbildung 6.3: Regenschutzhauben (links) an Abluftrohren des Betriebes F2

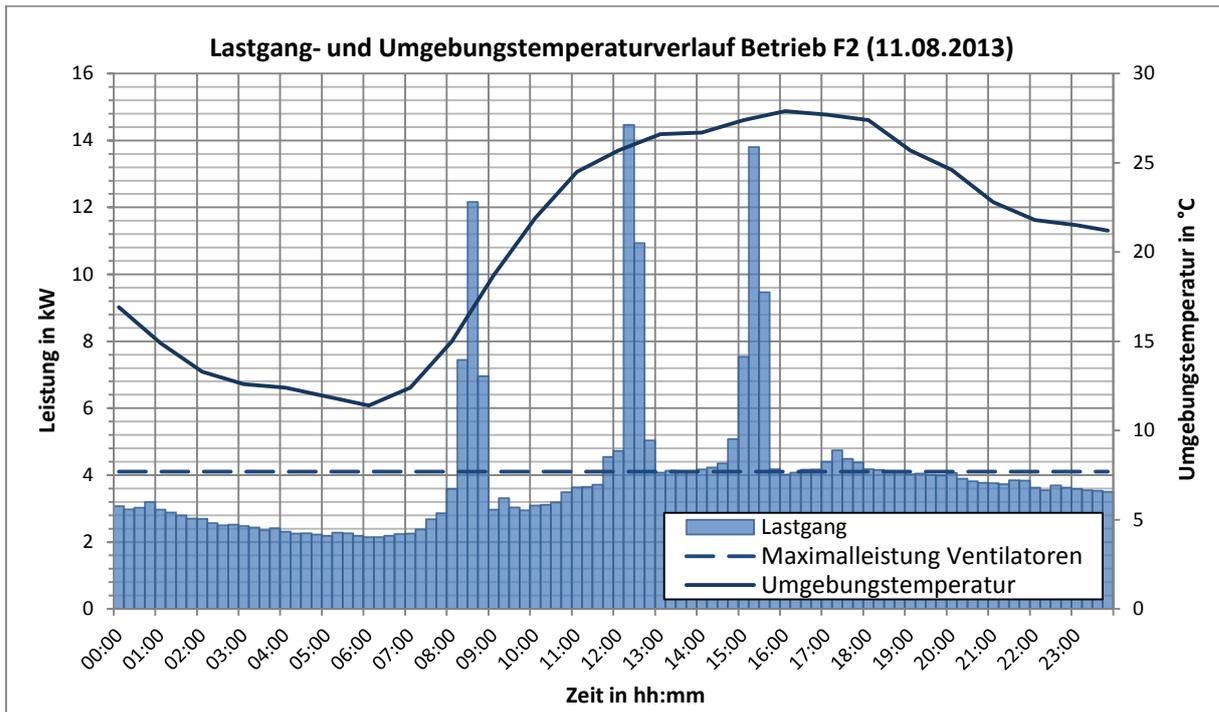


Abbildung 6.4: Temperaturabhängiger Lastgang von Betrieb F2 (Quelle Wetterdaten: [32]; eigene Darstellung)

Fütterung:

Die vollautomatisierte Fütterung im Mastbereich findet dreimal täglich statt, wobei parallel zur ersten Fütterung die Stallabteile durch den Landwirt überprüft werden. Die tägliche Einsatzdauer der Fütterungsanlage ist sehr gering. Dennoch tragen die leistungsstarken Maschinen einen beträchtlichen Anteil zum Gesamtstromverbrauch des Betriebes bei.

Zur Erhöhung der EV-Quote wurde im Zuge des Vor-Ort-Besuchs die Verschiebung der ersten Fütterung vorgeschlagen. Mit der Verschiebung des Fütterungsprozesses geht auch die Verschiebung der Stallkontrolle einher, was jedoch aufgrund der Berufstätigkeit des Landwirtes nicht möglich ist. Mit Hilfe von Abbildung 6.5 wird dennoch das Potential dieser Maßnahme erläutert. Durch die Verschiebung des ersten Fütterungsprozesses wird im dargestellten Fall der EV um über eine kWh erhöht, woraus – basierend auf der Differenz zwischen Strompreis (0,1715 €/kWh) und Einspeisevergütung (0,06 €/kWh) – eine Einsparung von 11,15 Cent pro Tag resultiert. Dies entspricht einer jährlichen Einsparung von rund 41 €. Die Maßnahme führt zu einer Steigerung der EV-Quote von 75 % auf 77 %.

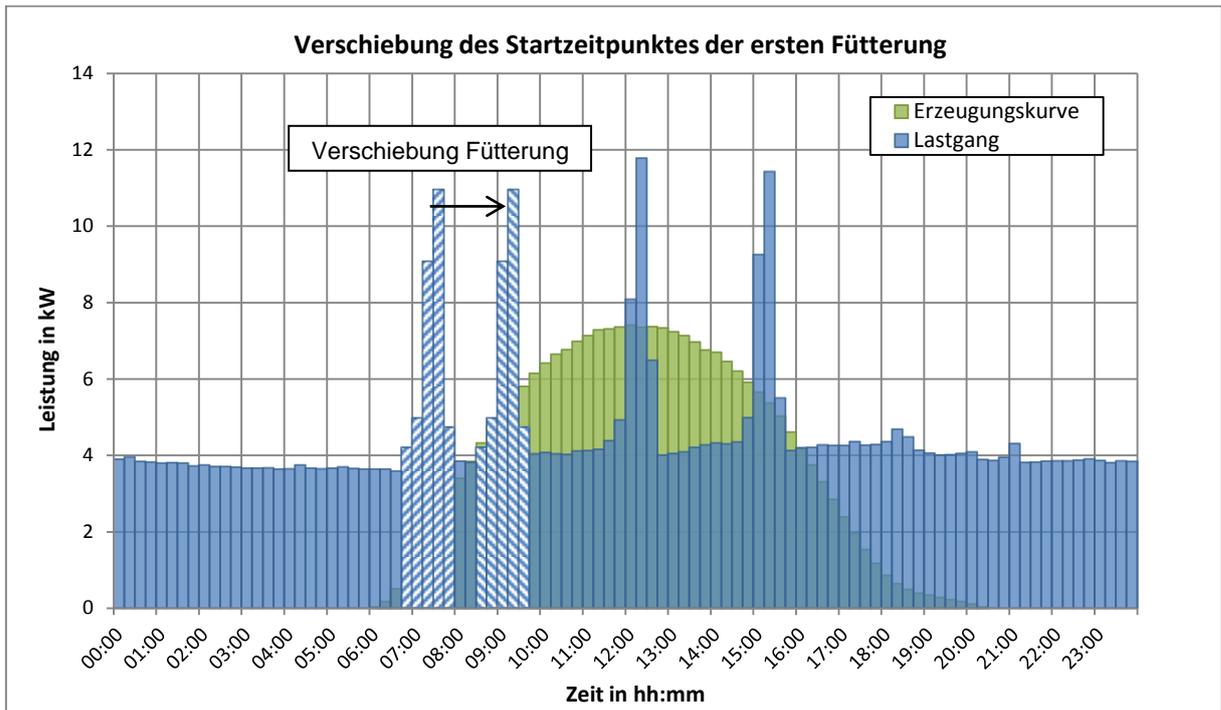


Abbildung 6.5: EV-Erhöhung durch Verschiebung der ersten Fütterung im Betrieb F2

Ferkelnestheizung:

Die nicht isolierten Ferkelnester werden ausschließlich mit Elektroinfrarotstrahlern beheizt. Diese werden jeweils in den ersten drei Wochen des vierwöchigen Zuchtzyklus eingesetzt. Zudem werden die Infrarotstrahler an überdurchschnittlich warmen Tagen lediglich in der Nacht verwendet. Mit der nachfolgenden Aufstellung soll der Anteil der Infrarotstrahler am Gesamtstromverbrauch abgeschätzt werden. Es wird davon ausgegangen, dass die Infrarotstrahler an den Sommertagen lediglich zwölf Stunden pro Tag eingesetzt werden.

Tabelle 6.1: Ermittlung des Stromverbrauchs der Ferkelnestheizung im Betrieb F2

Gesamtleistung der Elektroinfrarotstrahler in kW:	2,25
Betriebsstunden ohne Bereinigung der Sommertage in h/a:	6.552
Sommertage¹³ am Betriebsstandort in d/a:	69
zu bereinigende Betriebsstunden für Sommertage in h/a:	828
bereinigte Betriebsstunden in h/a:	5.724
Stromverbrauch der Elektroinfrarotstrahler in kWh/a:	12.879
Gesamtstromverbrauch des Betriebes im BZR in kWh/a:	34.137
Anteil der Elektroinfrarotstrahler am Gesamtstromverbrauch in %:	37,7

¹³ Definition Sommertag [88]: Temperaturmaximum ≥ 25 °C

Der ermittelte Stromverbrauch der Elektroinfrarotstrahler liegt 7 % über dem in der Fachliteratur mit 12.000 kWh/a angeführtem Richtwert [35]. Mit 37,7 % ist die Ferkelnestbeheizung neben der Stallbelüftung der größte Verbraucher im Betrieb.

Als Effizienzmaßnahme wird der Austausch der Infrarotstrahler gegen elektrisch beheizte Bodenplatten oder Warmwasserbodenplatten empfohlen. Beide Varianten können mit geringem Installationsaufwand umgesetzt werden. Für die elektrischen Heizplatten können die vorhandenen Steckdosen der Elektroinfrarotstrahler genutzt werden. Die Warmwasserbodenplatten können über einen vorhandenen Warmwasserpuffer versorgt werden, der in unmittelbarer Nähe installiert ist und über die Scheitholzheizung sowie die thermische Solaranlage versorgt wird. Die Elektroinfrarotstrahler sind in weiterer Folge lediglich im Bedarfsfall als unterstützende Wärmequelle einzusetzen. Als weitere Effizienzmaßnahme wird die thermische Isolierung der Ferkelnester empfohlen.

Stallreinigung und Mahlvorgang:

Während der im Dreiwochenzyklus durchgeführten Reinigung der unbesetzten Stallabteile wird der Hochdruckreiniger jeweils drei Stunden eingesetzt. Außerdem wird monatlich 30 Minuten lang Futtermittel gemahlen. Zur Steigerung der EV-Quote und zur Vermeidung hoher Lastspitzen wird empfohlen, diese Prozesse in den Zeitfenstern zwischen den Fütterungsprozessen durchzuführen.

6.1.3 Betrieb F3^C

Belüftung:

In den zwangsbelüfteten Stallabteilen werden unterschiedliche Lüftungskonzepte eingesetzt. Im Zuchtbereich kommt eine frequenzgesteuerte Zentrallüftungsanlage mit rechteckförmiger Abluftdüse zum Einsatz. Der eingesetzte dreiphasige Ventilator vom Typ FE071-6D weist mit 33,6 Wh pro 1.000 m³ geförderter Luft eine äußerst geringe spezifische Leistungsaufnahme auf (s. Abbildung 10.25). Ebenso positiv ist der Einsatz des Frequenzumrichters zu bewerten. Aus elektrotechnischer Sicht ist die zentrale Lüftungsanlage nach dem aktuellen Stand der Technik ausgeführt.

Aus strömungstechnischer Sicht wird die Installation eines rechteckigen Diffusors empfohlen. Die Angaben in Tabelle 5.3 sind ausschließlich für rotationssymmetrische Abluftkanäle gültig. In welchem Ausmaß durch die Nachrüstung des Diffusors die spezifische Leistungsaufnahme gesenkt wird kann daher nicht exakt angegeben werden.

Der zwangsbelüftete Aufzuchtstall verfügt über einen konventionellen Ventilator und wird über einen Stufentransformator geregelt. Der Ventilator ist in einem Rohr mit beidseitig stumpfem Ende montiert. Zur Steigerung der Energieeffizienz wird der Austausch des konventionellen Ventilators gegen einen Ventilator mit EC-Antrieb empfohlen, wodurch eine um bis zu 36 % geringere Leistungsaufnahme erzielt werden kann. Die Anschaffungskosten

derartige Ventilatoren betragen abhängig von der Baugröße zwischen netto 580 € und 768 € (s. Abschnitt 10.2). Als weitere Effizienzmaßnahme empfiehlt sich die strömungstechnische Optimierung des Luftkanals durch Installation einer Anstromdüse und eines Diffusors. Gegenüber der gegenwärtigen Ausführung wird gemäß Tabelle 5.3 die spezifische Leistungsaufnahme um 26 % von 46,8 Wh auf 34,6 Wh pro 1.000 m³ geförderter Luft reduziert. Die restlichen Stallungen des Betriebes sind als Offenställe ausgeführt und erfordern somit keine Belüftungsanlage. Dies führt in weiterer Folge zu einem geringeren Anteil der Belüftungsanlage am Gesamtstromverbrauch als dies bei den anderen Ferkelzuchtbetrieben der Fall ist.

Fütterung:

Die beiden Fütterungsanlagen werden manuell gestartet. Zudem wird einmal pro Tag die Silofräse aktiviert um das Futter für den Mastbereich aus dem Futtersilo zu fördern. Der zeitliche Ablauf des gesamten Fütterungsprozesses ist somit stark vom Verhalten des Landwirts geprägt. Um die EV-Quote zu erhöhen wird empfohlen, die Fütterungsprozesse im möglichen Rahmen an die PV-Erzeugung anzupassen. Zudem sollte der zeitliche Parallelbetrieb der beiden Fütterungsanlagen vermieden werden. Durch eine zeitliche Aneinanderreihung kann der PV-Überschuss reduziert und somit die EV-Quote erhöht werden. Ebenso sollte die leistungsstarke Silofräse nicht parallel mit den Fütterungsanlagen betrieben werden. Stattdessen empfiehlt sich die Aktivierung der Silofräse an Zeitpunkten mit hohem PV-Überschuss. Das zur Handfütterung verwendete Futter wird im Voraus in einer elektrischen Futtermühle gemahlen. Dieser Vorgang kann ebenfalls zur Steigerung der EV-Quote herangezogen werden, indem die Mühle in Zeiträumen mit PV-Überschuss betrieben wird. Ungeachtet der kurzen Einsatzzeiten sind die beiden Fütterungsanlagen die Ursache für einen großen Teil des betrieblichen Gesamtstromverbrauchs.

Ferkelnestheizung:

Zur Ferkelnestbeheizung werden Warmwasserbodenplatten eingesetzt, die in der ersten Lebenswoche der Ferkel durch Elektroinfrarotstrahler unterstützt werden. Die Ferkelnester verfügen über keine Isolierung. Als Effizienzmaßnahme wird daher die thermische Isolierung der Ferkelnester empfohlen.

Stallreinigung:

Im Abstand von vier Wochen werden die unbesetzten Stallabteile mit dem Hochdruckreiniger gesäubert. Der auf mehrere Tage verteilte Reinigungsprozess führt in Summe zu einer Einsatzdauer des Hochdruckreinigers von zwei bis maximal drei Stunden. Die Verschiebung der Stallreinigung über mehrere Tage hinweg ist aufgrund des Zuchtzyklus nicht möglich. An den Tagen der Reinigung sollte jedoch der Parallelbetrieb mit anderen Großverbrauchern

vermieden werden und nach Möglichkeit der PV-Überschuss genutzt werden um die EV-Quote zu erhöhen.

Ferkelaufzuchtcontainer:

Die vier im Betrieb eingesetzten Ferkelaufzuchtcontainer sind jeweils mit einem Ventilator, einer Wand- und Bodenheizung und einer Beleuchtung ausgestattet. Da die Ferkel sehr temperaturempfindlich sind, können hinsichtlich des Heiz- und Belüftungsverhaltens keine Lastmanagementmaßnahmen vorgenommen werden.

6.1.4 Zusammenfassung Ferkelzucht^C

Die in dieser Arbeit analysierten Betriebe sind keine reinen Ferkelzuchtbetriebe, vielmehr handelt es sich um Mischbetriebe aus Ferkelzucht und Schweinemast. Folglich sind bei der Analyse derartiger Betriebe die Großverbraucher beider Sparten zu betrachten.

Als Großverbraucher wurden hauptsächlich Prozesse identifiziert, die eine hohe Anzahl an jährlichen Betriebsstunden aufweisen. Im Zuchtbereich sind dies die Ferkelnestheizung in Form von Elektroinfrarotstrahlern und die Stallbelüftung. Im Mastbereich ist hauptsächlich die Stallbelüftung für den Stromverbrauch verantwortlich. Gegenüber der Stallbelüftung und der Ferkelnestbeheizung weist der Fütterungsprozess eine geringere Anzahl an jährlichen Betriebsstunden auf. Dennoch zählt dieser aufgrund der hohen Leistungen der eingesetzten Maschinen zu den energieintensiven Prozessen in beiden Betriebssparten.

Im Gegensatz zum Fütterungsprozess sind Prozesse wie Reinigung und Entmistung in beiden Betriebssparten aufgrund der sehr geringen Anzahl an Betriebsstunden nur für einen geringen Anteil des Gesamtstromverbrauchs verantwortlich. Diese Ergebnisse werden durch die Fachliteratur [36] bestätigt (s. Abbildung 6.6 und Abbildung 6.7).

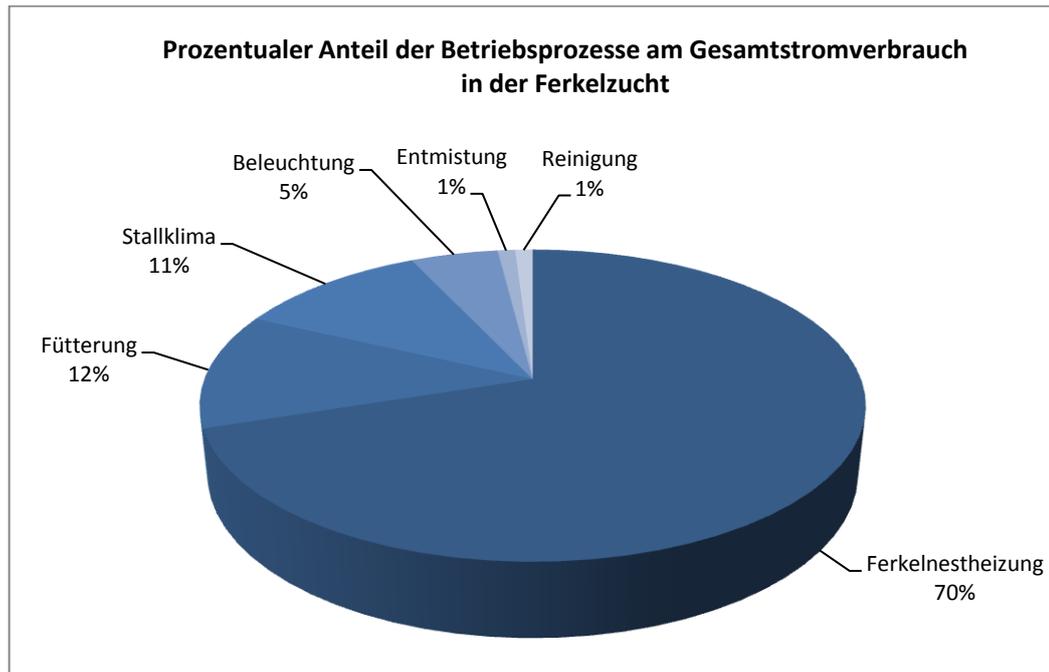


Abbildung 6.6: Aufgliederung des Stromverbrauchs in der Ferkelzucht (Quelle: [36], eigene Darstellung)

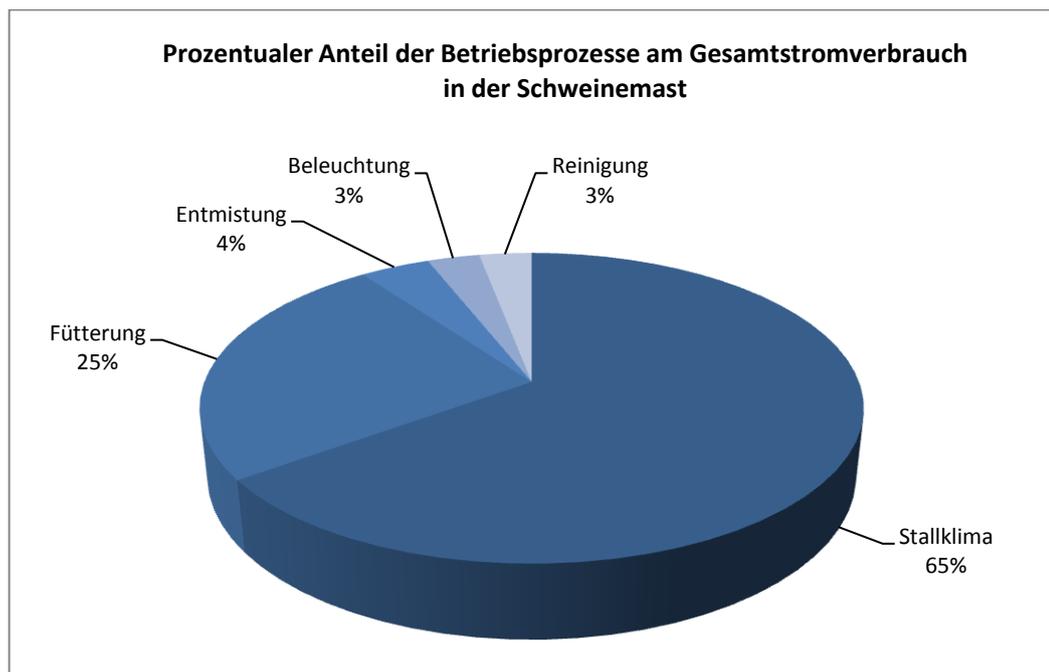


Abbildung 6.7: Aufgliederung des Stromverbrauchs in der Schweinemast (Quelle: [36], eigene Darstellung)

Für zwei der drei Ferkelzuchtbetriebe konnte aus den Lastgangdaten ermittelt werden, dass die Belüftungsanlage hauptsächlich im Teillastbereich betrieben wird. Als Regelungsvariante kommen zumeist im Teillastbereich ineffiziente Phasenanschnittsteuerungen zum Einsatz. Abhängig von der Ausführung der Belüftungsanlage empfiehlt sich der Einsatz von Frequenzumrichtern bzw. Ventilatoren mit EC-Technologie wodurch der Stromverbrauch der Belüftungsanlage im Teillastbereich um bis zu 30 % bei Frequenzumrichtern und um bis zu

36 % bei Ventilatoren mit EC-Antrieben gesenkt werden kann. Als Orientierung für die Auswahl der wirtschaftlicheren Variante dienen die unter Quelle [34] sowie im Abschnitt 10.2 angeführten Preise für FU und Ventilatoren mit EC-Technologie. Als weitere Maßnahme zur Optimierung der Belüftungsanlage ist die strömungstechnische Verbesserung der Abluftkanäle nach Tabelle 5.3 vorzunehmen. In diesem Bereich konnten Defizite bei allen analysierten Ferkelzuchtbetrieben festgestellt werden.

Laut Abbildung 6.6 ist die Ferkelneustheizung aufgrund der zumeist eingesetzten Elektroinfrarotstrahler mit 70 % der energieintensivste Prozess im Bereich der Ferkelzucht. Durch den Einsatz von Bodenheizplatten kann der Stromverbrauch der Ferkelneustheizung stark reduziert werden. In den meisten landwirtschaftlichen Betrieben werden zur Warmwassererzeugung Brennstoffe aus dem betriebseigenen Forst in Kombination mit einer thermischen Solaranlage eingesetzt, wodurch kostengünstig und in ausreichendem Maße WW für Wärmeplatten zur Verfügung steht.

Abhängig vom entstehenden Aufwand ist die Installation von Elektro- oder Warmwasserbodenplatten zu empfehlen. Gegenüber Elektroinfrarotstrahlern kann dadurch je Wurf eine Energieeinsparung von bis zu 64,3 % bei elektrischen Bodenplatten und 35,7 % bei Warmwasserbodenplatten erzielt werden (s. Abbildung 6.8).

Auf die Installation einer Ferkelneustisolation wird aufgrund des dadurch steigenden Reinigungsaufwands oftmals verzichtet. Jedoch kann durch diese Maßnahme der jährliche Energiebedarf um 900 kWh auf 300 kWh je Ferkelneust gesenkt werden [37].

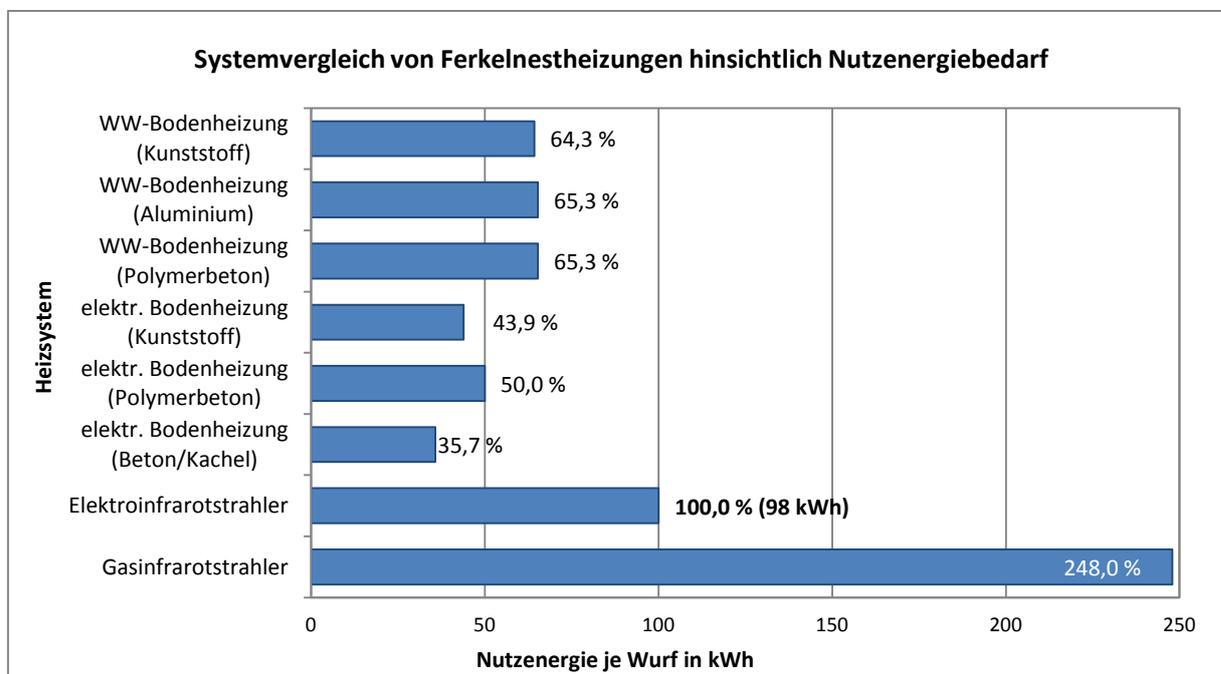


Abbildung 6.8: Vergleich von Ferkelneustheizsystemen hinsichtlich Nutzenergie je Wurf (Quelle: [38], eigene Darstellung)

Hinsichtlich des Fütterungsprozesses können keine Energieeffizienzmaßnahmen aufgeführt werden. Hier können lediglich Lastmanagementmaßnahmen zur Steigerung der EV-Quote

angeraten werden. Insbesondere bei Betrieben mit vollautomatisierten Fütterungsanlagen kann die EV-Quote durch Anpassung der Fütterungszeitpunkte an die PV-Erzeugung mit geringem Aufwand um mehrere Prozentpunkte erhöht werden.

Bei halbautomatischen Fütterungsanlagen ist der Fütterungsprozess und in weiterer Folge der Einfluss auf die EV-Quote stark von der Verhaltensweise des Landwirts abhängig. Durch eine vorausschauende Gestaltung des Fütterungsprozesses kann auch hier die EV-Quote verbessert werden.

Für die Reinigung und Entmistung sowie für Futtermahlvorgänge können ebenfalls keine Energieeffizienzmaßnahmen angeführt werden. Soweit dies der betriebliche Ablauf zulässt, sollten diese Prozesse jedoch in Zeiträumen mit PV-Überschuss durchgeführt werden um auf diese Weise die EV-Quote zu erhöhen.

Abschließend sei angemerkt, dass Skaleneffekte im Bereich der Ferkelzucht und Schweinemast einen wesentlichen Einfluss auf den Energieverbrauch haben. Obwohl im Betrieb F2 eine Nassfütterungsanlage und ausschließlich elektrische Infrarotstrahler zur Ferkelnestheizung zum Einsatz kommen, ist die Energieintensität geringer als im Betrieb F1, in dem mit einer Kombination von elektrischen Infrarotstrahlern und Warmwasserplatten zur Ferkelnestheizung sowie einer Trockenfütterungsanlage jeweils die effizientere Technologie eingesetzt wird.

6.2 Schweinemast^C

6.2.1 Betrieb S1^C

Belüftung:

Zur Stallbelüftung werden in jedem Stallabteil zwei konventionelle Lüfter eingesetzt, welche stets gemeinsam betrieben werden. Dabei erfolgt die Drehzahlregelung in Abhängigkeit der Temperatur des Stallabteils. Die Lüfter sind in Rohren mit beidseitig stumpfem Ende montiert. Der Leistungsteil der Lüftersteuerung ist als Phasenanschnittsteuerung realisiert. Zur Reduzierung der Strömungswiderstände im Abluftkanal wird dieser in regelmäßigen Abständen von Ablagerungen befreit.

Als Effizienzmaßnahme wird der Einsatz von Frequenzumrichtern anstelle der Phasenanschnittsteuerung empfohlen. Da nur im Teillastbereich eine Effizienzsteigerung durch den Frequenzumrichter-Einsatz erzielt wird, sollte das exakte Betriebsverhalten der Belüftungsanlage im Vorfeld analysiert werden (s. Abbildung 5.1). Basierend auf einer Analyse der Lastgangmesswerte kann der Zeitbereich in denen Grundlastwerte auftreten, die auf einen Volllastbetrieb der Lüfter hinweisen, auf weniger als 1,5 % des BZR eingegrenzt werden und somit ein überwiegender Teillastbetrieb der Belüftungsanlage angenommen werden.

Als weitere Effizienzmaßnahme empfiehlt sich eine Optimierung der Abluftkanäle bezüglich des Strömungsverhaltens. Der maximale VS wird bei Einsatz einer Anströmdüse am Lufteinlass und eines Diffusors am Luftauslass erzielt. Diese Variante erzielt senkt die spezifische Leistungsaufnahme um 26 % von 46,8 Wh auf 34,6 Wh pro 1.000 m³ geförderter Luft reduziert (s. Tabelle 5.3, Vergleich Variante C und Variante E).

Fütterung:

Die vollautomatisierte Fütterung findet täglich viermal statt. Die Startzeitpunkte der einzelnen Fütterungen können über den Fütterungscomputer frei eingestellt werden. Als Lastmanagementmaßnahme zur EV-Erhöhung wurde der Startzeitpunkt der zweiten Fütterung um eine Stunde nach hinten verschoben (s. Abbildung 6.9). Die Umsetzung dieser Maßnahme erfolgte am 10.08.2013 im Rahmen des Vor-Ort-Besuches. Von Beginn des Betrachtungszeitraums bis zum Zeitpunkt der Umsetzung dieser Maßnahme konnte basierend auf den vorhandenen Smart-Meter Messwerten eine hypothetische Steigerung des EV von 11.324,4 kWh auf 11.450 kWh errechnet werden, bei 11,15 Cent Preisdifferenz je kWh ergibt sich eine Ersparnis von 14,12 € pro Jahr. Dies entspricht einer Steigerung der EV-Quote von 86 % auf 87 % in diesem Zeitraum.

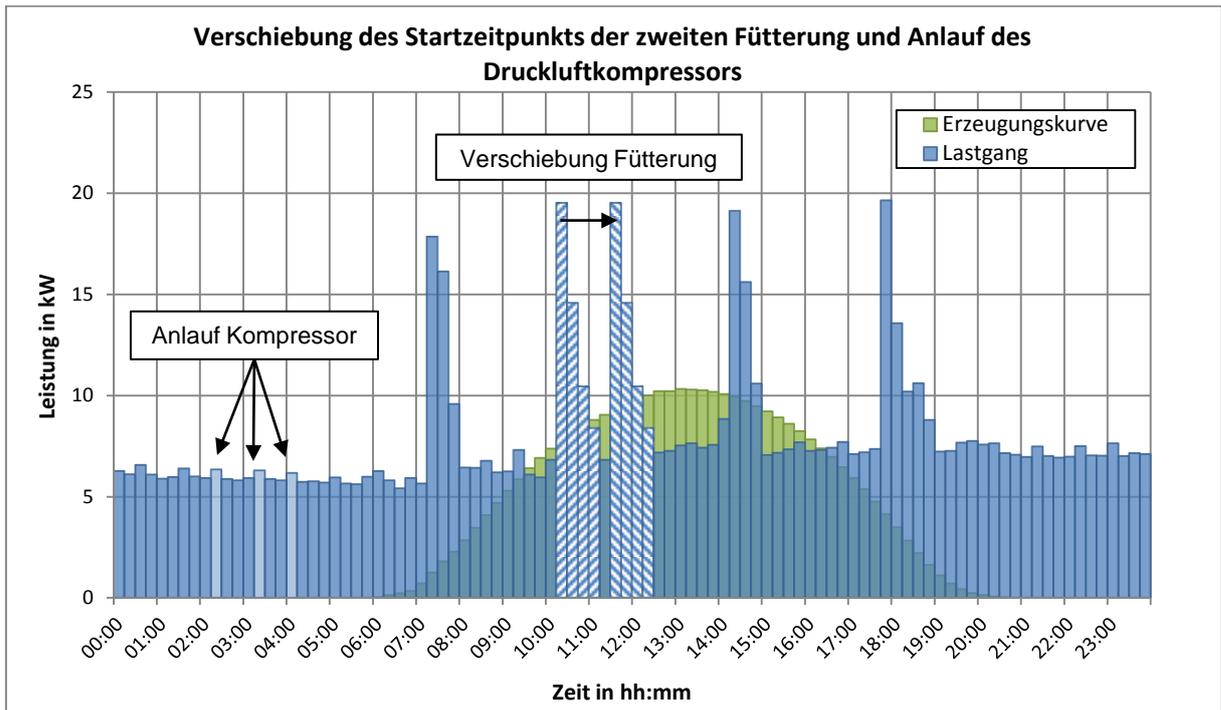


Abbildung 6.9: EV-Erhözung durch Verschiebung der Fütterung um eine Stunde

Druckluftanlage:

Die als Öffner ausgeführten Ausgabeventile der Fütterungsanlage werden pneumatisch betätigt. Die hierfür benötigte Druckluft wird von einem zentralen Druckluftkompressor mit einer Anschlussleistung von 1,1 kW bereitgestellt. Aufgrund von Leckagen im Druckluftsystem läuft der Kompressor im 45-Minutentakt an (s. Abbildung 6.9).

Als Effizienzmaßnahme wird die Behebung der Leckagen im Druckluftsystem empfohlen. Aus den vorhandenen Smart-Meter Messwerten ist der zyklische Anlauf des Druckluftkompressors ersichtlich. Für den Zeitraum von 01.09.2012 bis 31.08.2013 wurde ein dadurch verursachter Stromverbrauch von 1.071,5 kWh ermittelt. Dies entspricht einem Anteil von 1,9% des Gesamtstromverbrauchs im betrachteten Zeitraum.

Trocknungsanlage:

Die Trocknungsanlage wird saisonal im Herbst nach der Futtermittelernte mehrere Tage im Dauerbetrieb eingesetzt, wobei die Einsatzdauer je nach Trocknungsmenge und Feuchtigkeitsanteil variiert. Als Brennstoff wird Heizöl eingesetzt. Laut Landwirt beträgt der zusätzliche elektrische Energieverbrauch abhängig von der Einsatzdauer zwischen 5.000 und 10.000 kWh pro Jahr. Im Jahr 2013 ging die Anlage wegen der trockenheitsbedingten Ernteauffälle nicht in Betrieb.

Optimierungspotentiale könnten in einer elektrischen Vorheizung der zugeführten Trocknungsluft gefunden werden. Um mit dieser Maßnahme einen Nutzen hinsichtlich EV-Maximierung zu erzielen, ist die Inbetriebnahme bei vorhandener Überschusseinspeisung

vorzunehmen. Um einen Strombezug aus dem Netz zu vermeiden, sollten ein Eigenverbrauchsregler eingesetzt werden, welche das Vorheizelement ausschließlich aus Erzeugungsüberschüssen speist (s. Abschnitt 3.3). Aufgrund des Dauerbetriebes über mehrere Tage sind keine Lastmanagementmaßnahmen während des laufenden Betriebs möglich.

Da für die Trocknungsanlage keine Smart Meter Daten verfügbar sind und die Anlage im Jahr 2013 nicht in Betrieb war konnten aufgrund der fehlenden Datenbasis keine Optimierungen durchgeführt werden.

6.3 Milchwirtschaft^C

6.3.1 Betrieb M1^C

Milchgewinnung:

- **Vakuumversorgung:**

Der Melkvorgang erfolgt in einem Melkstand, der von einer konventionellen VP versorgt wird. Nach den Angaben des Landwirts ist die VP eine Stunde je Melkvorgang aktiv, woraus eine jährliche Einsatzdauer von 730 Stunden resultiert. In Verbindung mit der Anschlussleistung von 2,6 kW ist die VP einer der Großverbraucher im Betrieb.

Grundsätzlich ist die Frequenzsteuerung der VP aufgrund der um durchschnittlich 40 % geringeren Stromaufnahme empfehlenswert [39]. Durch den Einsatz eines Frequenzumrichters kann im Betrieb M1 bei einem Strompreis von 0,1715 €/kWh eine jährliche Stromkostensparnis von rund 110 € erzielt werden, woraus sich eine statische Amortisationsdauer von 6,0 Jahren ergibt (s. Tabelle 6.2). Die Installation eines Frequenzumrichters wird empfohlen. Die durchgeführte Berechnung basiert auf den Eckdaten der gegenwärtigen VP des Betriebes und ist unabhängig von der Anschaffung eines neuen Vakuumaggregats. Aufgrund des Maschinenalters der VP (Baujahr 2000) sollte auch die Anschaffung einer neuen VP in Betracht gezogen werden, wobei das Augenmerk auf die Energieeffizienz der VP zu legen ist.

Tabelle 6.2: Kostenvergleich für Vakuumpumpe mit und ohne FU im Betrieb M1

Variante	VP ohne FU	VP mit FU
Anschlussleistung des VP-Motors in kW:	2,6	
tägliche Einsatzdauer in h:	2,0	
Anschaffungskosten FU in €:	---	511
Anschaffungskosten Drucksensor in €:	---	155
Jahresstromverbrauch der VP in kWh/a:	1.606	964
jährliche Stromkosten in €/a:	275,4	165,3
jährliche Stromkosteneinsparung in €/a:	---	110,1
Amortisationsdauer (ohne Folgekosten) in a:	---	6,0

Preise: [40], [41]; je exklusive Installation; Auswahl FU anhand Abbildung 10.28; Strompreis: 0,1715 €/kWh

- **Reinigung der Melkanlage:**

Zur Reinigung der Melkanlage wird eine Zirkulationsreinigungsanlage verwendet. Die Abwärme des Kälteaggregats der Milchkühlung wird über einen Wärmetauscher dem Reinigungsautomaten zum Vorwärmen des Reinigungswassers zugeführt. Auf diese Weise wird das Reinigungswasser im Verlauf des Melkvorgangs auf etwa 60 °C vorgewärmt. Die verbleibende Abwärme wird mittels Rohrwärmetauscher einem 80 l Warmwasserspeicher zugeführt. Im Zuge des Reinigungsprozesses wird das Reinigungswasser im Durchlauferhitzer des Reinigungsautomaten auf 80 °C erhitzt, woraus die charakteristische

Lastspitze der Milchviehbetriebe resultiert. Die Reinigung der Melkanlage findet aus hygienischen Gründen direkt im Anschluss an den Melkvorgang statt. Dadurch ist es nicht möglich den Aufheizprozess auf Zeitpunkte mit PV-Überschuss zu verschieben.

- **Milchkühlung:**

Im Betrieb M1 wird ein Milchlagertank mit Direktverdampferkühlung eingesetzt, wobei Kälteaggregat und Kühltank im gleichen Raum installiert sind. Bei der Direktverdampferkühlung wird die frisch gemolkene Milch direkt in den Milchlagertank geleitet und auf etwa 4 °C heruntergekühlt. Somit ist parallel zur VP ein weiterer Großverbraucher aktiv. Eine Verschiebung des Kühlprozesses würde die Milchqualität beeinträchtigen und ist demzufolge nicht praktikabel. Lediglich durch den Einsatz einer Eiswasserkühlung kann die Kälteerzeugung auf Zeitpunkte mit PV-Überschuss verschoben werden. Im Hinblick auf die Energieeffizienz ist der Einsatz dieser Kühltechnologie aufgrund des etwa 20 % höheren Energiebedarfs nicht zu empfehlen [6].

Um dennoch die Stromaufnahme der Milchkühlung zu reduzieren, wird der Einsatz eines Vorkühlers empfohlen. Durch diese Maßnahme wird die Milch vor dem Einleiten in den Kühltank um bis zu 50 % heruntergekühlt, wodurch in weiterer Folge der Energiebedarf der Milchkühlung ebenfalls halbiert wird [39]. Als Kältemedium wird Kaltwasser verwendet, das anschließend für Reinigungszwecke oder als Tränkwasser verwendet werden kann. Als weitere Effizienzmaßnahme wird die räumliche Trennung von Kühltank und -aggregat empfohlen um einen indirekten Wärmeübertrag zu vermeiden. Zudem sollten sämtliche wärmeleitenden Leitungen im Lagerraum isoliert werden.

Getreideeinlagerung und Getreidemühle:

Die Getreideeinlagerung mittels elektrisch angetriebener Förderschnecke wird ein- bis zweimal jährlich durchgeführt und nimmt jeweils zwei Stunden in Anspruch. Der ebenfalls zweistündige Mahlvorgang findet im 14-Tage-Zyklus statt. Beide Prozesse sind über mehrere Tage verschiebbar und sollten daher vorausschauend geplant werden, um durch Ausnutzung des überschüssigen PV-Stromes eine Steigerung der EV-Quote zu erzielen.

Heukran:

Zur Heueinlagerung wird ein elektrisch betriebener Heukran eingesetzt. Bei der Einlagerung variiert die Einsatzdauer in Abhängigkeit von der einzulagernden Heumenge zwischen sechs und zehn Stunden. Um die EV-Quote zu erhöhen ist die drei bis viermal jährlich stattfindende Einlagerung an Tagen mit guter PV-Erzeugung und zwischen den Melkzeitpunkten durchzuführen. Ebenso sollte bei der Heuentnahme der Fokus auf die Erhöhung des Eigenverbrauchs gelegt werden.

6.3.2 Betrieb M2^C

Milchgewinnung:

- **Vakuumversorgung:**

Die Erzeugung des Melkvakuums erfolgt über einen Motor mit einer Anschlussleistung von 3,5 kW. Der Motor wird zur Erzeugung des Vakuums und für den Spülvorgang der Melkanlage eingesetzt. Während des Melkvorgangs ist die VP nach Angaben des Landwirts 1,5 Stunden in Betrieb. Im Zuge der Reinigung ist der Motor weitere vier Minuten aktiv. Dies führt zu einer jährlichen Einsatzdauer von 1.144 Stunden und einem Energieverbrauch von rund 4.000 kWh pro Jahr, womit das Gerät zu den Großverbrauchern des Betriebes zählt.

Durch einen Frequenzumrichter kann die Stromaufnahme einer VP um durchschnittlich 40 % reduziert werden [39]. Im Betrieb M2 führt dies zu einer jährlichen Stromkostensparnis von 288 €, woraus sich eine statische Amortisationsdauer von rund 2,6 Jahren ergibt (s. Tabelle 6.3). Die Anschaffung eines Frequenzumrichters wird deshalb empfohlen.

Tabelle 6.3: Stromkostenvergleich für Vakuumpumpe mit und ohne FU im Betrieb M2

Variante	VP ohne Frequenzsteuerung	VP mit Frequenzsteuerung
Anschlussleistung des VP-Motors in kW:	3,5	
tägliche Einsatzdauer in h:	3,13	
Anschaffungskosten FU in €:	---	581
Anschaffungskosten Drucksensor in €:	---	155
Jahresstromverbrauch der VP in kWh/a:	4.000	2.400
jährliche Stromkosten in €/a:	720,0	432,0
jährliche Stromkosteneinsparung in €/a:	---	288,0
Amortisationsdauer (ohne Folgekosten) in a:	---	2,6

Preise: [40], [41]; je exklusive Installation; Auswahl FU anhand Abbildung 10.28; Strompreis: 0,1715 €/kWh

- **Reinigung der Melkanlage:**

Die Reinigung der Melkanlage erfolgt nach dem Prinzip der Kochendwasserreinigung. Im Überpunkt „Vakuumversorgung“ wurde bereits darauf hingewiesen, dass der Motor der VP ebenfalls für die Reinigung der Melkanlage eingesetzt wird. Täglich werden zweimal 100 l Reinigungswasser benötigt. Das Reinigungswasser wird über die Solaranlage auf etwa 50 °C vorgewärmt. Der Heißwasserspeicher wird täglich um etwa 06:00 Uhr und 18:00 Uhr mit vorgewärmtem Wasser aus der Solaranlage gefüllt und anschließend mittels Elektroheizstab des Heißwasserspeichers auf 95 °C erwärmt. In Abbildung 6.10 ist der Zeitraum in dem der Heißwasserspeicher gefüllt wird durch einen steilen Anstieg der Tanktemperatur ersichtlich. Der steile Anstieg der Tanktemperatur ist durch die kurze Dauer begründet, in der das auf 50 °C vorgewärmte Reinigungswasser in den Tank gefüllt wird. Die zum Aufheizen mittels Elektroheizstab benötigte Zeit ist hingegen abhängig von der elektrischen Leistung des Heizstabs, der Anfangs- und Endtemperatur des Reinigungswasser sowie von der zu erheizenden Wassermenge. Diese Einflussfaktoren

führen gegenüber dem Zeitraum in dem der Tank gefüllt wird zu einem flacheren Anstieg der Tanktemperatur. Der anschließende steile Abfall der Tanktemperatur kennzeichnet das Entleeren des Heißwasserspeichers im Zuge des Reinigungsvorgangs.

Zur Steuerung des Startzeitpunkts des Aufheizvorgangs wird eine Zeitschaltuhr eingesetzt. Nahezu zeitgleich mit dem Beginn des Aufheizvorganges beginnt der Melkvorgang. Mit kurzem zeitlichem Versatz wird zudem die Milchkühlung aktiv um die gemolkene Milch schnellstmöglich zu kühlen. Der parallele Ablauf dieser drei Prozesse führt zu den beiden Leistungsspitzen im Tageslastgang des Betriebes (s. Abbildung 6.10). Da in diesen Zeiträumen kein überschüssiger PV-Strom zur Verfügung steht, wird die benötigte Energie aus dem Netz bezogen.

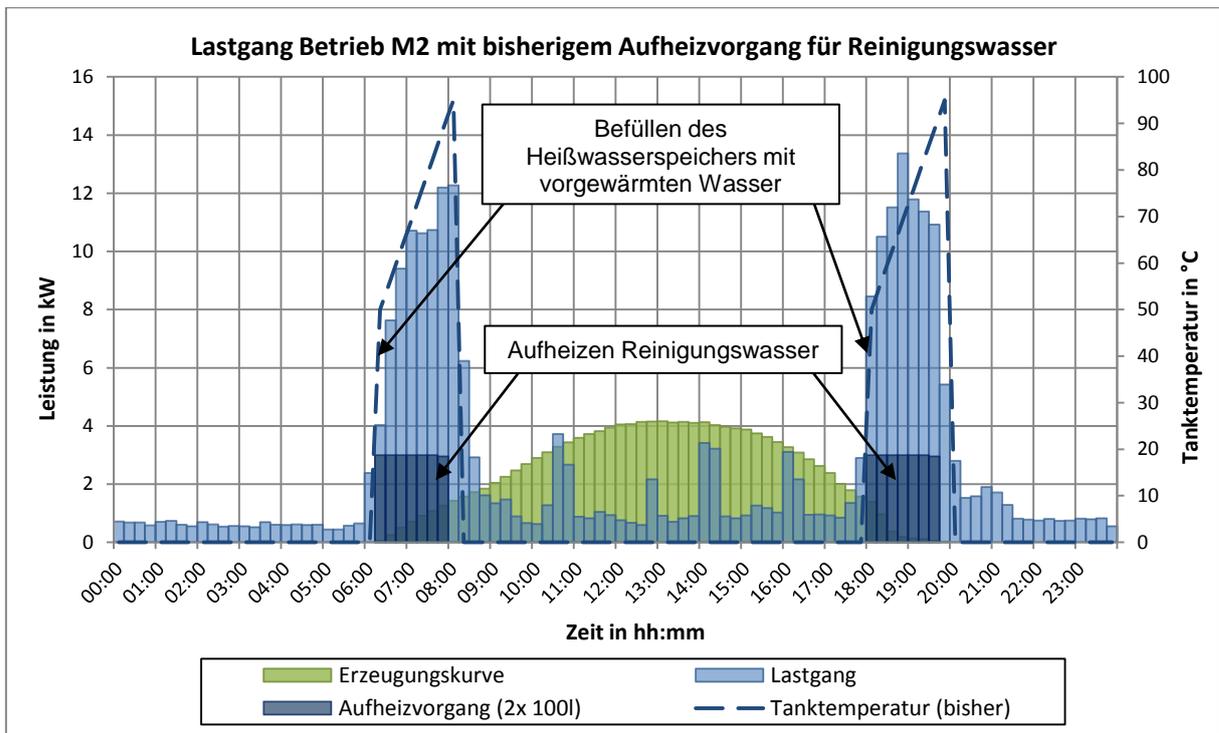


Abbildung 6.10: Heißwassererzeugung zum gegenwärtigen Zeitpunkt, gesteuert über eine Zeitschaltuhr

Um den Aufheizprozess im Tagesverlauf verschieben zu können, muss der Warmwasserspeicher über eine gute Wärmeisolation verfügen. Zudem muss gewährleistet sein, dass der Heizstab bei PV-Überschuss bis zum Erreichen der Endtemperatur mit Strom versorgt wird. Hierfür ist der Einsatz einer geeigneten Eigenverbrauchsregelung notwendig (s. Abschnitt 3.3). Um die Verfügbarkeit des Heißwassers zu gewährleisten, können in der Regelung Zeitpunkte hinterlegt werden, ab denen der Heizstab unabhängig vom PV-Überschuss versorgt wird. Diese Zeitpunkte sind identisch mit den bisherigen Schaltzeiten der Zeitschaltuhr festzulegen.

Basierend auf den vorliegenden Smart-Meter Messerwerten des Betriebes wurde für den BZR der verwertbare PV-Überschuss ermittelt. Hierbei wurden die maximale Leistungsaufnahme des Heizstabes und die rechnerisch ermittelte Aufheizdauer von 1,75 Stunden berücksichtigt. In weiterer Folge wurden die jährliche Stromkosteneinsparung

und die resultierende EV-Quote ermittelt. In diesen Schritten der Berechnung wurde unterstellt, dass keine Wärmeverluste auftreten. Zur Orientierung hinsichtlich der zu erwartenden Wärmeverluste werden diese mit der nachfolgenden Beispielrechnung veranschaulicht. Als Richtwerte für die Berechnung werden der Grenzwert des Wärmedurchgangskoeffizienten für Warmwasserspeicher nach DIN V 4753-8 und eine Umgebungstemperatur von 20°C verwendet:

$$Q_V = U \cdot V \cdot (T_W - T_U) \cdot t = 11 \frac{W}{m^3 \cdot K} \cdot 0,1 m^3 \cdot (95 - 20)^\circ C \cdot 24 \frac{h}{d} = 2,0 \frac{kWh}{d} \quad 6.1$$

Q_V	Wärmeverluste	in kWh·d ⁻¹
U	Wärmedurchgangskoeffizient	in W·m ⁻³ ·K ⁻¹ = W·m ⁻³ ·C ⁻¹
V	Wasservolumen im Speicher	in m ³
T_W	Temperatur des Warmwassers	in °C
T_U	Umgebungstemperatur	in °C

Tabelle 6.4: Stromkostensparnis und EV-Quotenerhöhung durch optimierte Heizstabregelung im Betrieb M2 (ohne Berücksichtigung von Wärmeverlusten)

Wassermenge in l:	100	200
Anfangstemperatur im Heißwasserspeicher in °C:	50	
Endtemperatur im Heißwasserspeicher in °C:	95	
Temperaturdifferenz in °C:	45	
benötigte Wärmemenge je Aufheizvorgang in kWh:	5,2	10,4
jährlich benötigte Wärmemenge in kWh/a:	1.898	3.796
verwertbarer PV-Überschuss im BZR in kWh/a:	1.093	1.652
resultierendes PV-Deckungspotenzial in %:	57,6	43,5
jährliche Stromkosteneinsparung in €/a:	121,9	184,2
resultierende EV-Quote in %:	82,3	92,7

Stromkostensparnis basiert auf Differenz von Strombezugskosten (0,1715 € / kWh) zu Einspeisevergütung (0,06 € / kWh)

Für den BZR wurde durch das Aufheizen von 200 l Reinigungswasser mit PV-Überschuss eine hypothetische Steigerung der EV-Quote um 30,9 % auf 92,7 % ermittelt. Jedoch betragen bei dieser Variante die Wärmeverluste bis zur Reinigung am Abend rund 0,17 kWh pro Stunde und in weiterer Folge bis zur Reinigung am nächsten Morgen rund 0,08 kWh pro Stunde und somit rund 2,0 kWh pro Tag. Folglich würde bei der 200 l-Variante zum Ausgleich der Wärmeverluste ein zusätzlicher Energiebedarf von rund 730 kWh pro Jahr entstehen, der zu dem in Tabelle 6.4 angegebenen Wert addiert werden muss. Von dieser Variante wird daher abgeraten.

Um dennoch überschüssige PV-Energie zur Erwärmung des Reinigungswassers einsetzen zu können wird empfohlen, lediglich das Reinigungswasser für den abendlichen Reinigungsprozess mit PV-Überschuss aufzuheizen. Zwischen abendlicher Reinigung und

der Reinigung am nächsten Morgen treten somit keine Wärmeverluste auf, da bei dieser Variante der Heißwasserspeicher in diesem Zeitraum leer ist. Zudem sind die bis zur abendlichen Reinigung auftretenden Wärmeverluste gegenüber der 200 l-Variante aufgrund der halbierten Heißwassermenge um 50% geringer. Der Verlauf der Tanktemperatur ist bei dieser Variante bis zum Ende des morgendlichen Reinigungsvorgangs identisch mit dem in Abbildung 6.10 dargestellten Temperaturverlauf. Nach Ende des ersten Reinigungsvorgangs wird jedoch bei dieser Variante der Heißwasserspeicher umgehend mit der für die abendliche Reinigung benötigten Wassermenge gefüllt. Im Tagesverlauf wird der Elektroheizstab über eine Eigenverbrauchsregelung mit überschüssiger PV-Energie versorgt. Der Verlauf der Tanktemperatur variiert daher in Abhängigkeit von der im Tagesverlauf zur Verfügung stehenden überschüssigen PV-Energie. Diese Variante ist in Abbildung 6.11 dargestellt, wobei durch frühes Erreichen der Endtemperatur 0,66 kWh an Wärmeverlusten entstehen, die im Vorfeld des Reinigungsprozesses durch einen kurzen Nachheizvorgang ausgeglichen werden. Für den BZR wurde eine hypothetische Steigerung der EV-Quote um 20,5 % auf 82,3 % berechnet.

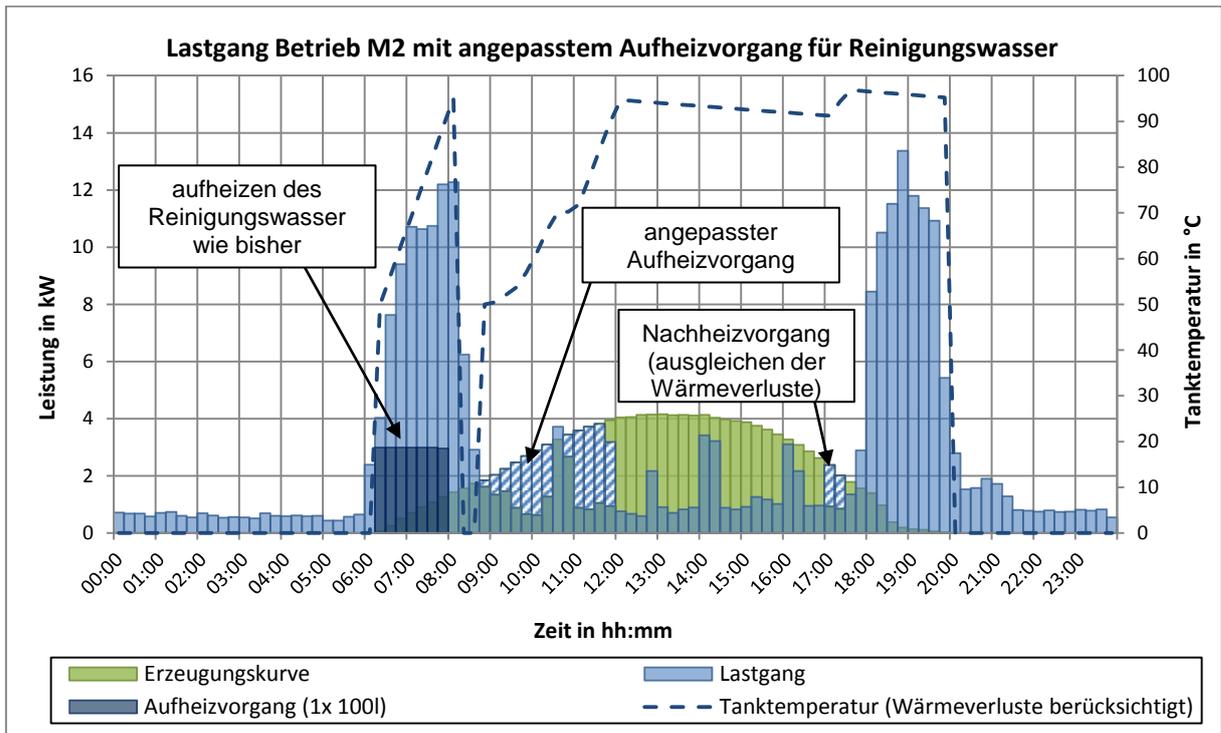


Abbildung 6.11: Verschiebung der Heißwassererzeugung auf einen Zeitpunkt mit PV-Überschuss

- **Milchkühlung:**

Im Betrieb M2 wird die frisch gemolkene Milch über einen Plattenwärmetauscher vorgekühlt und anschließend in den Milchkühltank geleitet. Parallel zum noch andauernden Melkprozess wird die bereits gemolkene Milch mittels Direktverdampferkühlung auf etwa 4 °C heruntergekühlt. Durch den Einsatz einer Eiswasserkühlung können Kühl- und Melkprozess entkoppelt werden, wovon jedoch aufgrund des etwa 20 % höheren Energiebedarfs abgeraten wird [6].

Kälteaggregat und Milchkühltank sind im gleichen Raum installiert, wodurch der Kühltank durch die Abwärme des Kälteaggregats erwärmt wird. Laut Landwirt werden im Sommer Temperaturen von bis zu 40 °C im Lagerraum erreicht. Zum Ableiten der Konvektionswärme wurde ein Luftschacht am Gebläse des Kälteaggregats angebracht. Als Effizienzmaßnahme wird eine räumliche Trennung von Aggregat und Tank empfohlen um auch den Wärmeübertrag durch Wärmestrahlung zu vermeiden.

Da bereits durch die Vorkühlung der Milch mittels Milch-Wasser-Wärmetauscher WW zur Verfügung steht und kein weiterer Bedarf für WW vorliegt wird von der Empfehlung eines Kältemittel-Wasser-Wärmetauschers im Kühlkreislauf der Milchkühlung abgesehen.

Futter- und Getreideeinlagerung, Getreidemühle und Silofräse:

Während des Vor-Ort-Besuchs konnten die Maschinendaten auf den Typenschildern einiger Maschinen aufgrund des Alters nicht mehr identifiziert werden. Auch nach intensiver Recherche konnten keine Maschinendaten ermittelt werden. Da die Maschinen manuell aktiviert werden, sollen an dieser Stelle zumindest grundlegende Empfehlungen hinsichtlich der betroffenen Prozesse angeführt werden.

Zur Einlagerung des Futters in das Futtersilo wird im Herbst etwa zwei bis drei Stunden lang ein Futterhäcksler mit Fördergebläse eingesetzt. Der Einlagerungsprozess kann nach der Ernte des Futters um einen Tag verzögert werden. Es wird daher empfohlen den Einlagerungsprozess nach Möglichkeit zu Zeitpunkten mit PV-Überschuss durchzuführen.

Das Silofutter deckt den Futterbedarf des Betriebes für etwa zwei Monate. In dieser Zeit ist die Silofräse täglich im Zuge der beiden Fütterungsprozesse zehn Minuten aktiv. Eine Verschiebung der Einsatzzeiten zur Steigerung der EV-Quote kann nicht vorgenommen werden, da dies laut Landwirt die Futtermittelqualität negativ beeinflussen würde.

Die Getreideeinlagerung wird zwei- bis dreimal im Jahr mittels elektrisch angetriebener Förderschnecke durchgeführt. Die Einsatzdauer der Förderschnecke beträgt dabei jeweils 45 Minuten. Da es sich um Trockenfutter handelt ist der Zeitpunkt der Einlagerung ohne Beeinträchtigung der Futterqualität um mehrere Tage verschiebbar und sollte daher an Zeitpunkten mit PV-Überschuss vorgenommen werden.

Das eingelagerte Getreide wird etwa im 3-Wochen-Zyklus gemahlen, wobei der Mahlvorgang 30 Minuten in Anspruch nimmt. Die geringe Einsatzdauer der Mühle ermöglicht es, durch vorausschauende Planung den Prozess vollständig unter Verwendung von überschüssigem PV-Strom durchzuführen.

6.3.3 Betrieb M3^C

Milchgewinnung:

- **Vakuumversorgung:**

Im Betrieb M3 wird zur Milchgewinnung eine Rohrmelkanlage eingesetzt die mit einer 15 Jahre alten VP betrieben wird und bei jedem Melkvorgang etwa eine Stunde im Einsatz ist. Der 1,5 kW Motor der VP hat eine elektrische Anschlussleistung von 1,92 kW und somit einen Wirkungsgrad von 0,78. Bei der jährlichen Einsatzdauer von 730 Stunden führt dies zu einem Energiebedarf von 1.402 kWh. Motoren der Wirkungsgradklasse International Efficiency 3 (IE3) weisen bei gleicher Leistung einen betriebspunktabhängigen Wirkungsgrad zwischen 84,7 % und 85,7 % auf (s. Abbildung 10.27). Durch den Einsatz einer Frequenzsteuerung kann die Stromaufnahme nochmals um etwa 40 % reduziert werden [39].

In Tabelle 6.5 sind die jährlichen Stromkosten des gegenwärtigen Motors und eines IE3-Motors jeweils mit und ohne Frequenzsteuerung aufgeführt. Bei Anschaffungskosten von rund 177 € und einer jährlichen Stromkosteneinsparung von 20 € ergibt sich für den Einsatz eines IE3-Motors ohne FU eine statische Amortisationsdauer von 8,9 Jahren. Durch Frequenzsteuerung des gegenwärtigen Motors können die Stromkosten jährlich um rund 96 € gesenkt werden, woraus sich eine statische Amortisationsdauer von 6,3 Jahren ergibt. Eine jährliche Ersparnis von rund 108 € und somit eine Amortisationsdauer von 7,2 Jahren ergibt sich bei der Anschaffung eines IE3-Motors in Kombination mit einer Frequenzsteuerung.

Aufgrund des Alters der VP wird von der Nachrüstung eines IE3-Motors abgeraten. Zur Installation eines Frequenzumrichters wird geraten. Dieser kann auch bei der Anschaffung einer neuen VP weiterverwendet werden.

Tabelle 6.5: Stromkostenvergleich verschiedener Optimierungsmaßnahmen der VP im Betrieb M3

VP-Motor:	gegenwärtiger Motor		IE3-Motor	
	ohne FU	mit FU	ohne FU	mit FU
Anschlussleistung des VP-Motors in kW:	1,92		1,76	
tägliche Einsatzdauer in h:	2,0			
Anschaffungskosten IE3-Motor in €:	---		177	
Anschaffungskosten FU in €:	---	450	---	450
Anschaffungskosten Drucksensor in €:		155	---	155
Jahresstromverbrauch der VP in kWh/a:	1.402	841	1.285	771
jährliche Stromkosten in €/a:	240,4	144,2	220,4	132,2
jährliche Stromkosteneinsparung in €/a:	---	96,2	20,0	108,2
Amortisationsdauer (ohne Folgekosten) in a:	---	6,3	8,9	7,2

Preise: [40], [41], [42]; je exklusive Installation; Auswahl FU anhand Abbildung 10.28; Strompreis: 0,1715 €/kWh

- **Reinigung der Melkanlage:**

Das Wasser zur Reinigung der Melkanlage wird nach Angaben des Landwirts im Durchlauferhitzer der Reinigungsanlage auf etwa 80 °C erhitzt. Das Wasser wird direkt aus der Wasserleitung zugeführt und im Vorfeld nicht vorgewärmt. Aus Hygienegründen muss der Reinigungsprozess im Anschluss an den Melkvorgang stattfinden, weshalb der Aufheizvorgang nicht auf Zeitpunkte mit PV-Überschuss verschoben werden kann.

Bei einer angenommenen Leitungswassertemperatur von 15 °C verbraucht der Durchlauferhitzer beim Erhitzen von einem Liter Reinigungswasser 0,076 kWh. Durch Vorwärmen des Wassers auf 60 °C durch eine Solaranlage verringert sich der elektrische Energiebedarf um 69,7 % auf 0,023 kWh pro Liter. Beim Vorwärmen auf 30 °C zumindest noch um 23,7 % auf 0,058 kWh pro Liter.

$$W_{el} = \Delta Q = m \cdot c \cdot (T_E - T_A) = 1 \text{ kg} \cdot 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (80 - 15)^\circ\text{C} = 272,4 \text{ kJ} = 0,076 \text{ kWh} \quad 6.2$$

W_{el}	elektrischer Energiebedarf	in kWh
ΔQ	Wärmeenergiebedarf	in kWh
m	Masse des zu erwärmenden Mediums	in kg
c	spezifische Wärmekapazität des Mediums	in $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
T_E	Endtemperatur des Mediums	in °C
T_A	Anfangstemperatur des Mediums	in °C

Die Rohrmelkanlage erstreckt sich nahezu über die komplette Länge des 24 m langen Stalls. Laut [43] werden vom eingesetzten Reinigungsautomaten „Circomat Aquatherm 12 kW“ bei 50 m Leitungslänge etwa 130 l Reinigungswasser während der etwa 40-minütigen Reinigung benötigt. Bei einer 24 m langen Reinigungsstrecke werden demzufolge bei einem proportional angenommenen Zusammenhang rund 62 l Reinigungswasser verbraucht. Die Reinigung gliedert sich in Vorspülen (20 % der Zeit), Reinigen (60 %) und Nachspülen (20 %), wobei das Reinigungswasser lediglich während der tatsächlichen Reinigung voll aufgeheizt wird und während des Vor- und Nachspülens kaum erwärmt wird [43]. Während der Hauptreinigung werden somit rund 37 l Reinigungswasser auf 80°C aufgeheizt. Durch Vorwärmen des Reinigungswassers auf 60°C mittels Solaranlage reduziert sich laut vorheriger Berechnung der Energiebedarf des Reinigungsautomaten um 0,053 kWh pro Liter und somit bei rund 37 l je Waschgang um ca. 2 kWh. Bei zwei Reinigungen täglich kann durch diese Maßnahme der jährliche Stromverbrauch um 1.445 kWh reduziert werden. Folglich verringern sich die anfallenden Stromkosten bei einem Strompreis von 0,1715 €/kWh um rund 248 € pro Jahr.

Die Abwärme des Kälteaggregats der Milchkühlung wird derzeit verwendet um über einen Wärmetauscher das Wasser im vorhandenen Warmwasserspeicher vorzuwärmen. Dadurch wird das Wasser nach Angaben des Landwirts auf etwa 60°C aufgewärmt. Gesteuert über

eine Zeitschaltuhr, wird der Warmwasserspeicher um 03:00 Uhr und um 10:30 Uhr über den Heizstab weiter aufgeheizt. Das aufgeheizte Wasser wird zur Reinigung der Melkgeräte verwendet. Aus dem Lastgang in Abbildung 6.12 ist ersichtlich, dass der Kühlprozess morgens um etwa 07:00 beginnt, wodurch ab diesem Zeitpunkt vom Kälteaggregat Abwärme produziert wird. Da der Warmwasserspeicher bereits in der Nacht aufgeheizt wird, kann dieser die Abwärme nicht aufnehmen. Daher wird empfohlen, die Abwärme des Kälteaggregats von 07:00 Uhr bis zum Ende der Melkanlagenreinigung zum Vorwärmen des hierfür benötigten Reinigungswassers zu verwenden. Im Anschluss daran kann die Abwärme zum Vorwärmen des Wassers im Warmwasserspeicher verwendet werden. Zudem wird empfohlen den zweiten Einschaltzeitpunkt der Zeitschaltuhr auf etwa 13:00 Uhr zu verschieben, um den Parallelbetrieb von Milchkühlung und Warmwassererzeugung zu vermeiden. Durch diese Maßnahme wird gewährleistet, dass der Warmwasserspeicher auch bei mäßiger PV-Erzeugung vorwiegend mit Strom der PV-Anlage aufgeheizt wird.

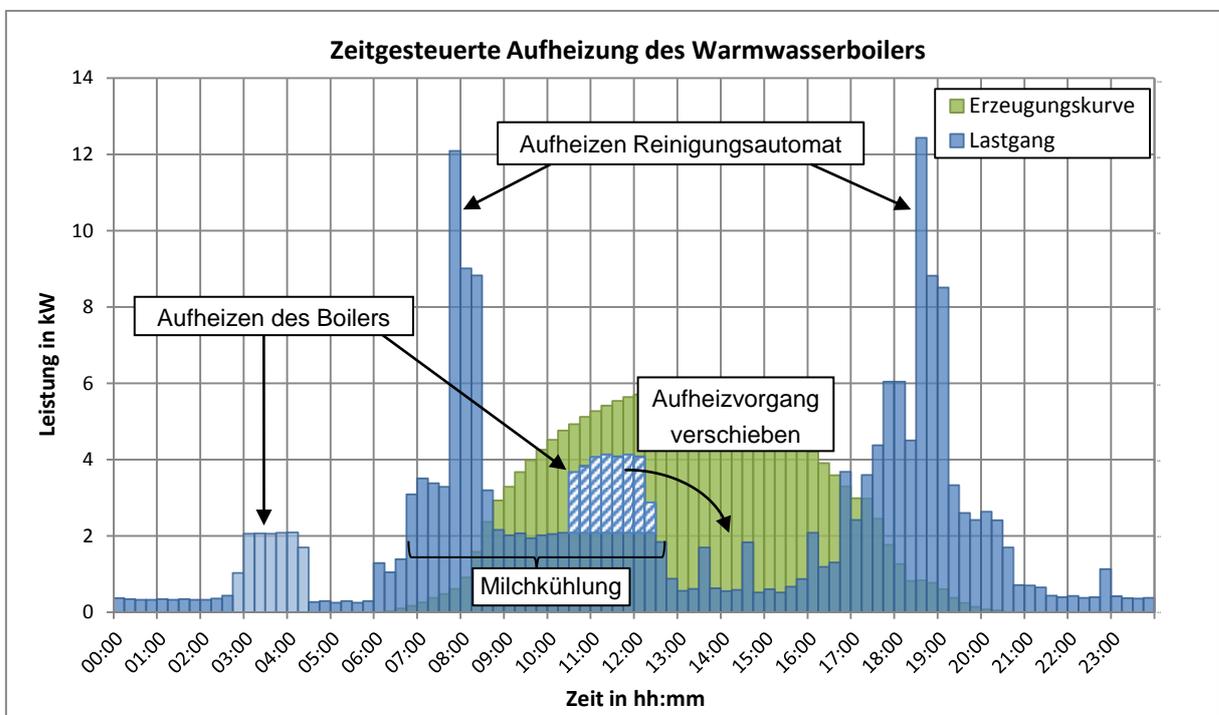


Abbildung 6.12: Darstellung des verschobenen Wasseraufheizvorgangs im Tageslastgang von Betrieb M2

- **Milchkühlung:**

Im Betrieb M3 wird die frisch gemolkene Milch in einem 1.050 l Milchkühltank mit Direktverdampferkühlung auf etwa 3 °C gekühlt. Die Entkoppelung der Kälteerzeugung vom Melkprozess ist nur durch den Einsatz einer Eiswasserkühlung möglich. Aufgrund des 20 % höheren Energiebedarfs wird jedoch von dieser Kühltechnologie abgeraten [6].

Das Kälteaggregat der Milchkühlung ist nahe dem Milchkühltank in der Ecke des Raumes installiert. Die Abwärme des Kälteaggregats wird durch die ungünstige Positionierung kaum abgeführt, wodurch ein Wärmestau in der Ecke des Raumes entsteht der in weiterer Folge

zur Erwärmung des Kühltanks führt. Um diese beiden Probleme zu beheben, sollte das Kälteaggregat im gegenüberliegenden Lagerraum installiert werden.

Zur Senkung des Energiebedarfs des Kälteaggregats kann mittels Wärmetauscher die Milch vor dem Einleiten in den Kühltank um bis zu 50 % heruntergekühlt werden [39]. Mit dieser Maßnahme wird im gleichen Ausmaß der Energiebedarf der Milchkühlung reduziert. Das als Kältemedium eingesetzte Leitungswasser kann für Reinigungszwecke oder als Tränkwasser verwendet werden.

Heutrocknung:

Die Heutrocknung im Betrieb M3 findet in Form einer Heustock-Trocknung statt. Bei dieser Trocknungsvariante wird von einem Heugebläse Trocknungsluft angesaugt und über einen Luftschacht zum Gitterrost geleitet, auf dem das Heu liegt. Über den Gitterrost strömt die Trocknungsluft durch das Heu. Mit einer Leistung von 11 kW ist das Heugebläse die leistungsstärkste elektrische Maschine im Betrieb und trägt im BZR mit rund 8.685 kWh etwa 27,5 % zum Gesamtstromverbrauch des Betriebes bei.

Im Betrieb M3 wird die Trocknungsluft nordseitig an einer verschatteten Position angesaugt, woraus aufgrund der geringen Temperatur der Trocknungsluft lange Einsatzzeiten der Trocknungsanlage resultieren. Aus dem h-x-Diagramm nach Mollier ist ersichtlich, dass Wasseraufnahmefähigkeit von Luft mit steigender Temperatur zunimmt (s. Abbildung 10.36). Um Trocknungsprozesse effizient zu gestalten, werden diese daher bei hohen Temperaturen der Trocknungsluft durchgeführt, sofern dies das Trocknungsmedium zulässt. Im Betrieb M3 kann durch Erwärmung der Trocknungsluft die Dauer des Trocknungsvorgangs und somit der Energiebedarf des Heugebläses verringert werden. Abhängig von der gewählten Art der Erwärmung der Trocknungsluft stehen den Einsparung an elektrischer Energie durch die verkürzte Einsatzdauer der Trocknungsanlage jedoch teilweise erhebliche thermische Energieeinsätze gegenüber.

Übliche Varianten zur Erwärmung der Trocknungsluft sind Luftsolarkollektoren und Öl- sowie Biomasseverbrennungsprozesse. Der Einsatz eines Luftentfeuchters führt ebenfalls zu einer Steigerung der Wasseraufnahmefähigkeit der Trocknungsluft. Auch die Kombination aus Luftentfeuchtung und -erwärmung findet Anwendung. [44]

Aus Abbildung 6.13 ist ersichtlich, dass gegenüber der Kaltbelüftung lediglich durch den zusätzlichen Einsatz von Solarkollektoren eine Reduzierung des Energiebedarfs bei der Heutrocknung erzielt wird. Zudem weisen die verschiedenen Systeme eine hohe Schwankungsbreite hinsichtlich des Energiebedarfs auf. Im Vorfeld der Umsetzung dieser Maßnahme muss daher unter Berücksichtigung der Gegebenheiten im Betrieb ein individuell angepasstes System ausgearbeitet werden. Durch die Zusammensetzung und die Einlagerungshöhe des Heus im Heustock variiert der zur Belüftung benötigte Luftdruck den das Gebläse aufbauen muss. Aus dem Lastgang des Betriebes ist ersichtlich, dass vom Heugebläse stets die gleiche Leistung aufgenommen wird und somit das Gebläse stets im gleichen Betriebspunkt betrieben wird. Dies lässt darauf schließen, dass keine

Drehzahlsteuerung in Abhängigkeit des Luftdrucks vorgenommen wird. Um den Energieverbrauch der Heutrocknungsanlage zu senken wird empfohlen eine manuelle Regelung unter Zuhilfenahme eines U-Rohres¹⁴ oder eine automatisierte Regelung der Anlage vorzunehmen [44].

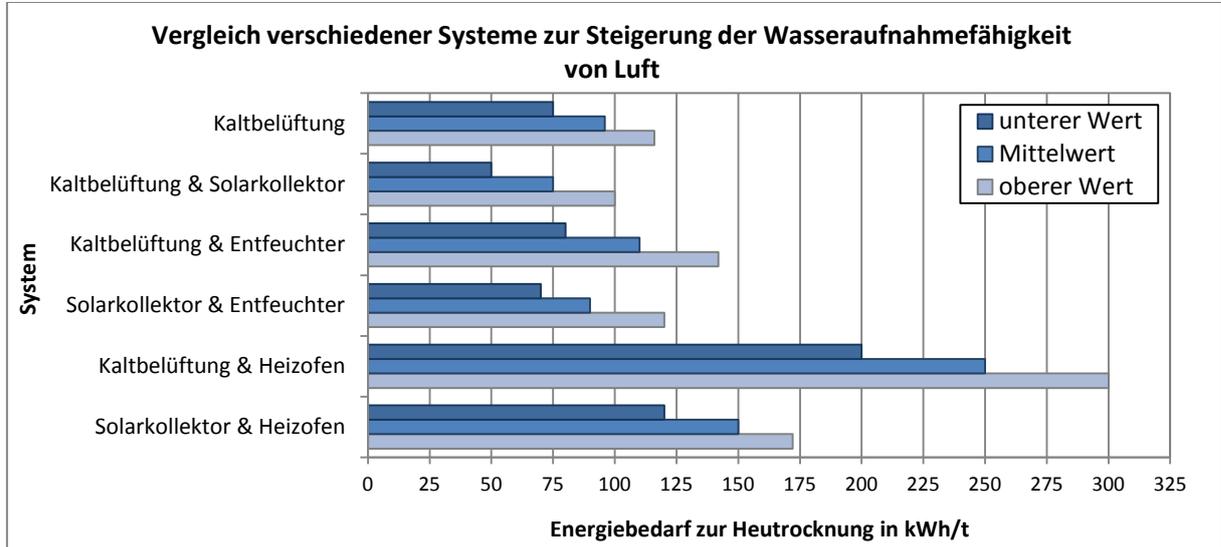


Abbildung 6.13: Vergleich verschiedener Systeme zur Heutrocknung hinsichtlich Energiebedarf je Tonne Heu (Quelle: [44]; eigene Darstellung)

Mahlvorgang:

Die 6,2 kW Futtermühle wird lediglich zweimal im Jahr je 15 Minuten lang eingesetzt. Mit Fokus auf die Steigerung der EV-Quote sollte der Mahlvorgang vorausschauend geplant werden um den Prozess vollständig unter Verwendung von überschüssigem PV-Strom durchzuführen.

¹⁴ Ein U-Rohr ist ein Messgerät mit dessen Hilfe die zwischen zwei Punkten herrschende Druckdifferenz gemessen werden kann

6.3.4 Zusammenfassung Milchwirtschaft^C

Im Bereich der Milchwirtschaft sind die dominanten Energieverbraucher im Prozess der Milchgewinnung vorzufinden. Hierzu zählen die Melkanlage inklusive Vakuumversorgung, die Milchkühlanlage und die Melkanlagenreinigung. Weitere Großverbraucher wie Futtermühlen, Silofräsen und Heutrocknungsanlagen sind dem Fütterungsprozess zugeordnet. Milchgewinnung und Fütterung verursachen 95 % des Gesamtstromverbrauchs in einem Milchwirtschaftsbetrieb (s. Abbildung 6.14).

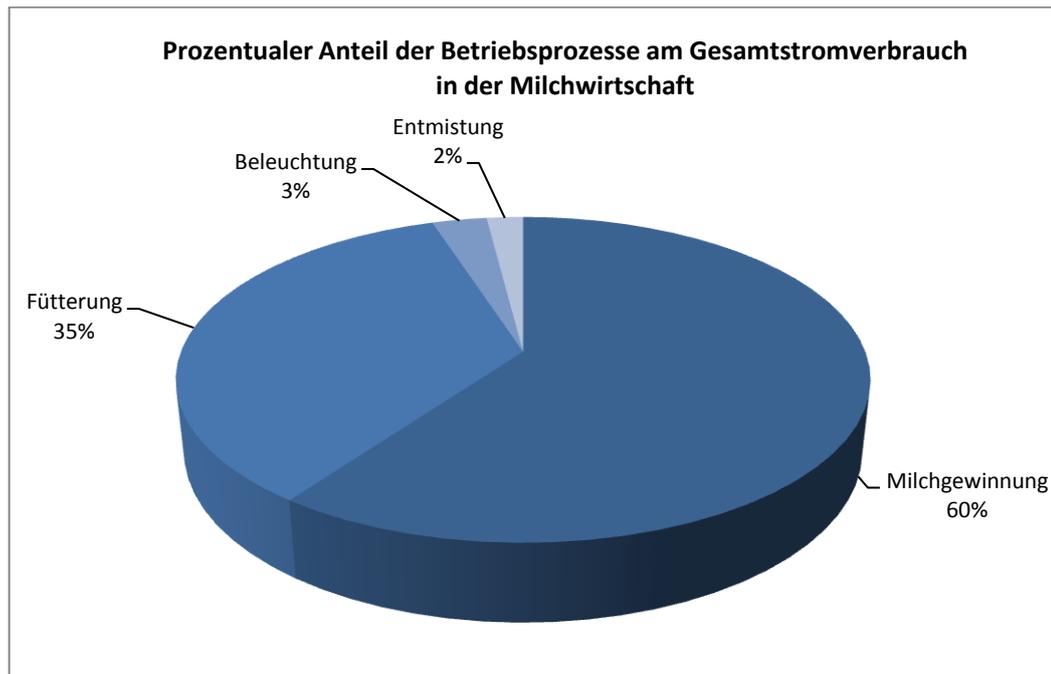


Abbildung 6.14: Aufgliederung des Stromverbrauchs in der Milchwirtschaft (Quelle: [36], eigene Darstellung)

Die Lastgänge der analysierten Milchwirtschaftsbetriebe weisen nahezu identische Verläufe auf, was auf die eingesetzte Melk- und Kühltechnik zurückzuführen ist. Der Lastgang wird jedoch durch energieintensive Prozesse in zyklischen Abständen (Mahlvorgänge) sowie saisonal (Heubelüftung) stark verändert. So weist der Betrieb M3 aufgrund der energieintensiven Heubelüftung eine Energieintensität von rund 25,0 kWh je 100 l erzeugter Milch auf, wohingegen die Betrieb M1 und M2 eine Energieintensität im Bereich von 6,4 kWh und 8,5 kWh je 100 l erzeugter Milch aufweisen.

In den Betrieben M1 und M2 wird in einem Melkstand gemolken, wohingegen im Betrieb M3 eine Rohrmelkanlage zum Einsatz kommt. Beide Varianten verursachen zu den Melkzeiten die für konventionelle Melktechnik charakteristischen Lastspitzen im Lastgang (s. Abbildung 6.15). Da die Melkvorgänge in einem Abstand von etwa zwölf Stunden durchgeführt werden müssen, liegen die Lastspitzen an den Rändern der PV-Erzeugungskurve. Der Energiebedarf während des Melkvorgangs wird daher größtenteils aus dem Netz gedeckt. Durch den Einsatz eines Melkroboters ist eine Abkehr von zwei festen Melkzeitpunkten hin zu einem kontinuierlichen Melkprozess im Tagesverlauf möglich. Die charakteristischen

Lastspitzen der konventionellen Melkanlagen werden dadurch vermieden und der Energiebedarf wird in den Erzeugungszeitraum der PV-Anlage verschoben.

Hinsichtlich der Investitionskosten ist der Melkroboter jedoch die mit Abstand teuerste Variante unter den Melkanlagen. Die hohen Investitionskosten schlagen sich in Form der Abschreibung in den jährlichen Betriebskosten nieder, bei denen der Melkroboter selbst bei Vollausslastung mit 60 Tieren etwa die doppelten Kosten eines konventionellen Melkstandes hervorruft. Da eine Laufstallhaltung Voraussetzung für den Einsatz eines Melkroboters ist, wären im Betrieb M3 weitere Investitionen für einen Stallumbau notwendig um von Anbindehaltung auf Laufstallhaltung umzustellen. [45]

Zum momentanen Zeitpunkt stellt ein Melkroboter für keinen der analysierten Betriebe eine wirtschaftliche Alternative zur konventionellen Melktechnik dar.

Zur Vakuumversorgung der Melkanlage werden in den analysierten Betrieben konventionelle und somit nicht frequenzgesteuerte VP eingesetzt. Mittels Frequenzsteuerung der VP kann deren Energieverbrauch um durchschnittlich 40 % reduziert werden [39]. Die Amortisationsdauer derartiger Steuerungen wurde in den vorangegangenen Abschnitten zwischen 2,7 Jahren im Betrieb M2 und 6,3 Jahren im Betrieb M3 ermittelt. Aus der Zusammenfassung dieser Ergebnisse in Tabelle 6.6 ist ersichtlich, dass zwischen der jährlichen Milchleistung und der Amortisationsdauer des Frequenzumrichters über die Leistung und Einsatzdauer der VP ein Zusammenhang besteht. Zur Steigerung der Energieeffizienz wird die Steuerung der VP mittels Frequenzumrichter generell empfohlen.

Tabelle 6.6: Amortisationsdauer von Frequenzumrichtern für Vakuumpumpen

Betrieb	Betrieb M1	Betrieb M2	Betrieb M3
Milchleistung des Betriebes in l/a:	180.000	251.000	125.000
Anschlussleistung des VP-Motors in kW:	2,6	3,5	1,92
tägliche Einsatzdauer in h:	2,0	3,13	2,0
Anschaffungskosten Frequenzumrichter in €:	511	581	450
Anschaffungskosten Drucksensor in €:	155		
jährliche Energieeinsparung durch FU in kWh/a:	642	1.600	561
jährliche Stromkostensparnis in €/a:	110,1	274,4	96,2
Statische Amortisationsdauer in a:	6,0	2,7	6,3

Berechnung basiert auf gegenwärtigem Strompreis: 0,1715 €/kWh

Bei der Reinigung der Melkanlagen wird grundsätzlich zwischen Kochendwasser- und Zirkulationsreinigung unterschieden. Bei der Kochendwasserreinigung wird das Reinigungswasser im Vorfeld der Reinigung auf die benötigte Temperatur erhitzt, wohingegen bei der Zirkulationsreinigung das Wasser parallel zum Reinigungsvorgang in einem Durchlauferhitzer erhitzt wird. Der Energieeinsatz ist bei beiden Verfahren in etwa identisch. Unabhängig von der eingesetzten Variante wird empfohlen, die Reinigungsanlage mit vorgewärmtem Wasser zu versorgen. Dies führt bei 10 °C Vorwärmung zu einer Energieersparnis von 11,6 Wh pro Liter Reinigungswasser. Das vorgewärmte

Reinigungswasser kann beispielsweise über eine thermische Solaranlage, eine Wärmerückgewinnungsanlage im Kühlmittelkreislauf der Milchkühlanlage oder aus nachfolgend behandelter Milchvorkühlung bereitgestellt werden. Eine Verschiebung des Aufheizvorgangs auf Zeitpunkte mit PV-Überschuss ist aufgrund von Wärmeverlusten im Warmwasserspeicher nur bedingt möglich.

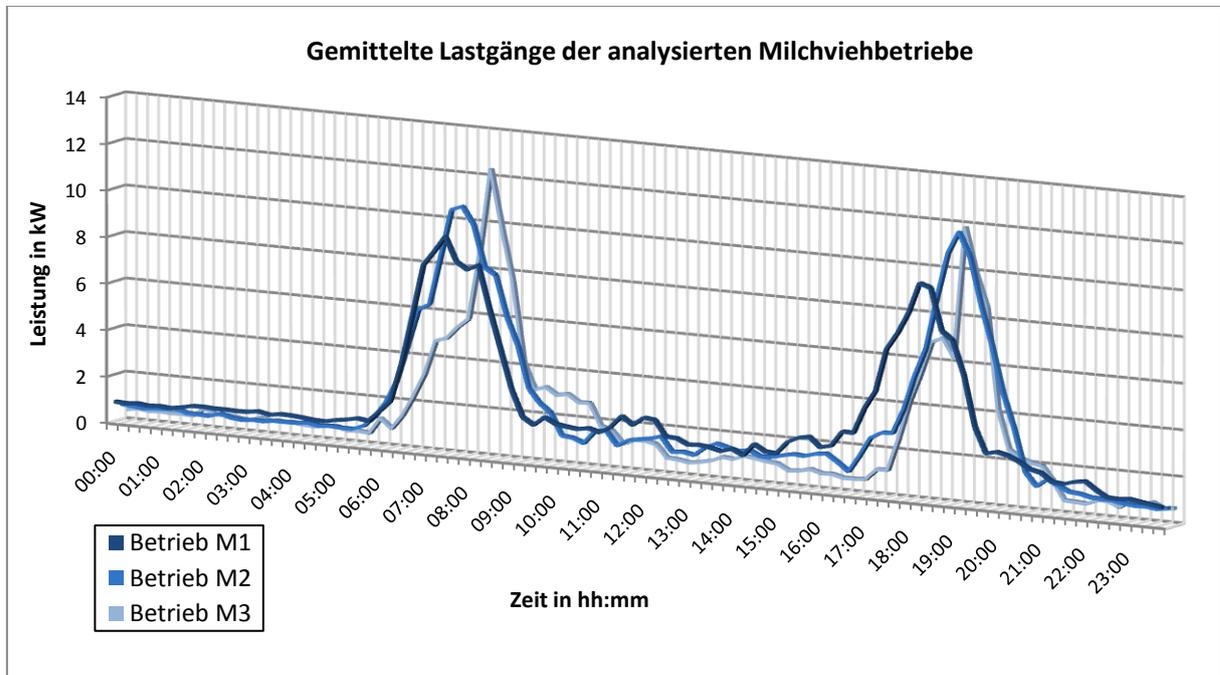


Abbildung 6.15: Lastgänge der analysierten Milchviehbetriebe (Mittelung einer Woche)

Die Milchkühlung erfolgt in den analysierten Betrieben mittels Direktverdampferkühlung. Bei dieser Variante der Milchkühlung beginnt die Kälteerzeugung nahezu zeitgleich mit dem Melkvorgang. Mittels Eiswasserkühlung können diese beiden Prozesse zeitlich entkoppelt werden und die Kälteerzeugung kann auf Zeitpunkte mit PV-Überschuss verschoben werden. Hinsichtlich der Energieeffizienz ist der Einsatz einer Eiswasserkühlung aufgrund des etwa 20 % höheren Energiebedarfs jedoch negativ zu beurteilen [6].

Lediglich in einem der analysierten Betriebe wird die Milch vor der Einleitung in den Kühltank über einen Wärmetauscher vorgekühlt. Durch diese Maßnahme reduziert sich Energiebedarf des Kälteaggregats um bis zu 50 % [39].

Beim Einsatz einer Direktverdampferkühlung entspricht dies in etwa 2 kWh pro 100 l zu kühlender Milch. Die Anschaffungskosten eines Wärmetauschers inklusive Steuerung und benötigter Ventile beträgt etwa 2.500 €. [46] Basierend auf einem Strompreis von 0,1715 €/kWh amortisiert sich der Wärmetauscher nach rund 728.860 l gekühlter Milch. Ausgehend von der Jahresmilchleistung der analysierten Betriebe resultieren statische Amortisationsdauern zwischen 2,9 Jahren und 5,8 Jahren (s. Tabelle 6.4). Zur Steigerung der Energieeffizienz wird der Einsatz eines Wärmetauschers zur Vorkühlung der Milch grundsätzlich empfohlen. Das als Kältemedium eingesetzte Leitungswasser wird im

Wärmetauscher erwärmt und kann beispielsweise für Reinigungszwecke oder als Trinkwasser für die Tiere eingesetzt werden.

Die EV-Quote der Milchviehbetriebe ist gegenüber den EV-Quoten der Betriebe anderer Sparten trotz vergleichsweise geringer installierter Leistung der PV-Anlage zumeist sehr gering. Zur Steigerung der EV-Quote in den Milchviehbetrieben wurde die Installation von Energiespeichern in Erwägung gezogen. Aufgrund der gegenwärtig noch sehr hohen Anschaffungskosten sowie mäßigem Wirkungsgrad der Energiespeicher ist dieser Ansatz zur Erhöhung der EV-Quote zum aktuellen Zeitpunkt noch als unwirtschaftlich einzustufen. Weiterführende Erläuterungen werden im Abschnitt 7.3 angeführt.

Tabelle 6.7: Amortisationsdauer von Wärmetauschern zur Milchvorkühlung in den analysierten Betrieben

Betrieb	Betrieb M1	Betrieb M2	Betrieb M3
Anschaffungskosten Wärmetauscher in €:	2.500		
Energieeinsparung der Milchkühlung in kWh/100 l:	2		
Stromkostensparnis in €/100l:	0,343		
zu kühlende Milchmenge bis zur Amortisation in l:	728.860		
Milchleistung des Betriebes in l/a:	180.000	251.000	125.000
Statische Amortisationsdauer in a:	4,0	2,9	5,8

Berechnung basiert auf gegenwärtigem Strompreis: 0,1715 €/kWh

Hinsichtlich Mahl-, Einlagerungs- und Fütterungsprozessen wurden keine Energieeffizienzmaßnahmen identifiziert. Diese Prozesse sind jedoch stark von der Verhaltensweise des Landwirts abhängig und können durch eine vorausschauende Planung zur Steigerung der EV-Quote beitragen.

Beim Einsatz einer Heubelüftungsanlage ist darauf zu achten, dass das Heugebläse in Abhängigkeit des im Heustock aufgebauten Drucks drehzahl geregelt wird. Dies kann automatisiert oder manuell mittels U-Rohr durchgeführt werden [44]. Zudem sollte zur Steigerung der Anlageneffizienz die Erwärmung oder Entfeuchtung der Trocknungsluft in Betracht gezogen. Ein individuell an die Gegebenheiten im Betrieb angepasstes System ist hierbei unumgänglich, da abhängig von der Umsetzung derartiger Systeme hohe Schwankungen hinsichtlich des resultierenden Energiebedarfs auftreten (s. Abbildung 6.13).

6.4 Eierproduktion^G

6.4.1 Betrieb E1^G

Beleuchtung:

Der größere der beiden Ställe mit einer Belegung von 10.500 Hühnern wurde im April 2012 größtenteils auf LED-Beleuchtung umgestellt. Für den Umbau wurde die Zeit des Ausstallens genutzt, dabei wurden 114 Stück LED Röhren verbaut, wodurch nach Angaben des Betriebsführers sechs Lichtschläuche (je 600 Watt) ersetzt werden konnten. Zusätzlich verbleiben noch 60 Energiesparlampen zu je 11 Watt in dieser Stallung. Jede LED Lichtröhre weist 4,5 Watt bei 1,8 Meter Länge auf, wobei die Lebensdauer mit 50.000 bis 80.000 Stunden angegeben wird [47].

Die Beleuchtungsdauer ist bei Junghühnern kürzer als bei ausgewachsenen Hühnern, sie beträgt lediglich zehn Stunden pro Tag. Binnen sechs Wochen wird nach sukzessiver Erhöhung die Leuchtdauer von 15 Stunden pro Tag erreicht. Die Stallungen sind fensterlos, wodurch die künstliche Beleuchtung keinen witterungs- oder jahreszeitbedingten Schwankungen unterliegt.

Für die Berechnung der Verbrauchsreduktion durch den Umbau auf LED wurden Perioden vor dem Umbau und nach dem Umbau mit voller 15-stündiger täglicher Leuchtdauer und moderaten Tageshöchsttemperaturen verglichen. Dadurch konnte der Einfluss einer absinkenden Lüfter-Last über die Nachtstunden, welche an heißen Tagen auftritt und die Bestimmung erschwert, ausgeschlossen werden. Für die Periode vor dem Umbau war es der Zeitraum 17. – 22.03.2013, nach dem Umbau auf LED wurde der Zeitraum 02. – 10.10.2013 herangezogen. Der Zeitpunkt 00:00 Uhr ist der Beginn der täglichen Beleuchtungsperiode. Im Lastgang wurde der Unterschied zwischen der nächtlichen Grundlast vor 24:00 und die Grundlast inklusive Beleuchtung nach 24:00 ermittelt. Im Zeitraum vor dem Umbau hat dieser Unterschied, welcher durch die Beleuchtung verursacht wurde, im Mittel 2,16 kW betragen. Nach dem Umbau sind es 0,87 kW. Aufgrund dieser Mittelung beträgt die resultierende Reduzierung der Last durch Umbau auf LED 1,29 kW je Stunde bei aktiver Beleuchtung. Die Auswirkung der LED Installation auf den Lastgang wird in Abbildung 6.16 dargestellt.

Bei einem Zyklus von 15 Monaten (65 Wochen) ergibt sich eine Verteilung von 2 Wochen Leerstand, sechs Wochen mit einer von zehn auf 15 Stunden ansteigenden Leuchtdauer und 57 Wochen mit der maximalen täglichen Leuchtdauer von 15 Stunden. Durch den getätigten Umbau auf LED Beleuchtung kann im Laufe eines Zyklus der Verbrauch an elektrischer Energie um rund 8.400 kWh reduziert werden. Beim jährlichen Energieverbrauch im Betrieb E2 ist durch diese Maßnahme ein Rückgang um durchschnittlich 6.700 kWh zu erwarten. Da die Beleuchtung bis 15:00 aktiv ist, fällt sie in die Hauptproduktionszeit der PV-Anlage, weshalb durch diese Effizienzmaßnahme der EV absinkt. Eine Verschiebung des Beleuchtungszyklus von 00:00 bis 15:00 auf beispielsweise 06:00 bis 21:00 für das in Abbildung 6.16 dargestellte Berechnungsbeispiel würde den EV nur geringfügig erhöhen, da aufgrund des bis 15:00 Uhr andauernden Beleuchtungszeitraums der Zeitraum mit

überschüssiger PV-Energie bereits abgedeckt wird. Im weiteren Verlauf des Tages wird die PV-Energie in anderen Energieverbrauchern des Betriebes umgesetzt.

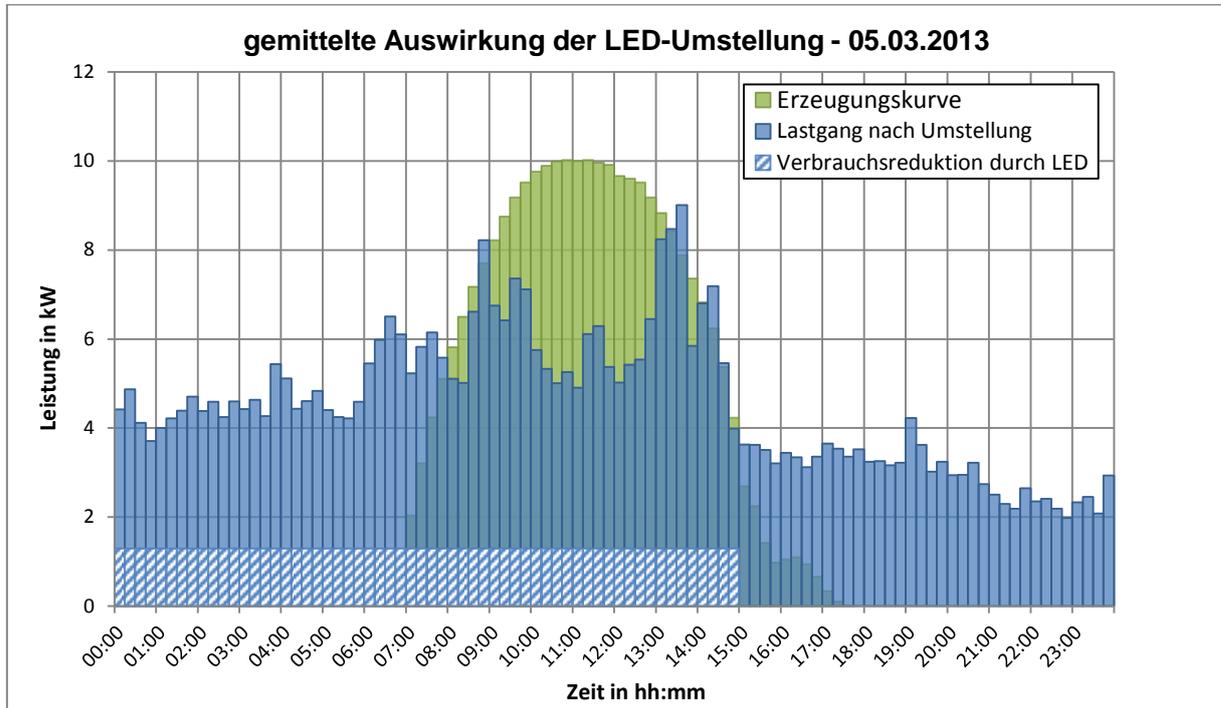


Abbildung 6.16: Einsparung durch installierte LED Beleuchtung im Betrieb E1 für Lastgang von 05.03.2013

Lüftungsanlage:

Im kleineren der beiden Ställe werden drei Ventilatoren eingesetzt. Der größere Stall verfügt über vier Ventilatoren mit insgesamt 1,84 kW und einen Giebelventilator, welcher nur bei Temperaturspitzen in der heißen Jahreszeit eingesetzt wird. Auf der Seite der Energieeffizienz ist positiv anzumerken, dass ein System mit FU-Steuerung eingesetzt wird.

Zusätzlich wird eine Sprinkleranlage verwendet. Diese wird bei Stalltemperaturen ab 30 °C, was bei einer Außentemperatur von ungefähr 32 °C auftritt, aktiv und sorgt durch die Versprühung von Wasser für einen zusätzlichen Kühleffekt.

Fütterung:

Für die Fütterung wird ausschließlich Trockenfutter verwendet. Dadurch entfallen energieintensive Mahlprozesse. Die Fütterung läuft mehrmals täglich für einige Minuten. Durch das kurzzeitige Auftreten der Last ist durch eine Verschiebung der Fütterungszeitpunkte keine signifikante EV-Steigerung zu erwarten.

6.4.2 Betrieb E2^G

Lüftung:

Die durchgehend betriebene Lüftungsanlage stellt den Prozess mit dem stärksten Energieverbrauch dar. Die verwendete Steuerung verfügt gemäß Bedienungsanleitung über eine TRIAC Regelung. Drei Lüfter mit je 0,6 kW Anschlussleistung sind vorhanden. Die von den drei Lüfterventilatoren verursachte Grundlast schwankt im Jahresverlauf. In den Wintermonaten liegt sie bei 0,5 kW. Beginnend mit Anfang April ist eine Steigerung festzustellen. Ende April beträgt die Grundlast mehr als 1 kW. Ab Mitte Juni lag die Last meist zwischen 1,2 und 1,5 kW, wobei mit dem Ausstellen am 22.08. die Grundlast für zwei Wochen wegfiel und auf nahezu Null Watt sank. Nach dem erneuten Einstellen lag die lüfterbedingte Grundlast bei 0,3 kW. Bei hohen Temperaturen schwankt die Energieaufnahme auch im Tagesverlauf. Aufgrund dieses saisonbedingten Betriebsverhaltens wird der jährliche Verbrauch der Belüftung auf 6.700 kWh geschätzt. Davon weist die Lüftungsanlage an vier Wochen eine Dauerauslastung größer 90 % der Nennleistung auf, an 8 Wochen hingegen liegt sie bei 30 % oder darunter. Werden die zwei Wochen der Ausstallung ohne aktive Lüftung abgezogen, so verbleiben 38 Wochen p.a. im Bereich von 30 % bis 90 % der maximal aufgenommenen Leistung. Durch die Verwendung einer FU-Regelung würde sich bei gleichbleibendem Luftstrom die Leistungsaufnahme um 15 % bis 30%, verglichen mit der ursprünglichen Variante, verringern (siehe Abbildung 5.1). Durch den Einsatz einer Lüftersteuerung mit FU Regelung könnten somit rund 1.100 kWh p.a., bzw. 189 € p.a. bei einem Strompreis von 17,15 Cent/kWh, eingespart werden, was im Bereich von 10 % des Gesamtverbrauchs des landwirtschaftlichen Betriebes E2 liegt.

Beleuchtung:

Hühner können ein Lichtspektrum von etwa 320 bis 700 nm wahrnehmen. Mit diesem Spektrum, welches breiter ist als jenes des menschlichen Auges, sind sie in der Lage UV-Licht wahrzunehmen. Bei Legehennen haben sich Beleuchtungsstärken von 10 bis 30 Lux und eine tägliche Beleuchtungsdauer von 14 bis 16 Stunden bewährt. Neben der Lichttemperatur ist auch ein breites Lichtspektrum ein Kriterium, welches sich positiv auf die Tiergesundheit auswirkt, welches bei der Auswahl der LED Leuchtmittel zu berücksichtigen ist. Automatische Dimmung, überwacht von einer Helligkeitsregelung, ist ebenfalls von Vorteil, um Morgen- und Abenddämmerung zu simulieren. [48]

Im Betrieb E2 sind 22 Glühlampen zu je 40 Watt für die Hühnerstallbeleuchtung im Einsatz. Diese könnten durch geeignete LED Leuchtmittel, welche ebenfalls dimmbar sind, ersetzt werden. Die tägliche Leuchtdauer beträgt 15 Stunden, wobei das Beleuchtungsprogramm um 05:00 gestartet wird. Der Stall verfügt über Fenster, weshalb die Beleuchtungsanlage in Abhängigkeit der eingestrahelten Lichtleistung geregelt wird. Dadurch wird der Strombedarf der Beleuchtung im Vergleich zum Betrieb in einem fensterlosen Stall stark gesenkt. Beim verwendeten Stalldesign hängt die Energieaufnahme der Beleuchtung stark von der Jahreszeit und dem Bewölkungsgrad ab. An bewölkten Wintertagen liegt der maximale

Verbrauch während des Großteils des Beleuchtungszyklus im Bereich von 0,68 kW (26.12.2012) und 0,71 kW (30.12.2012), wobei der Bewölkungsgrad korrelierend zur PV-Erzeugung angenommen wurde. Im Vergleich dazu beträgt der Verbrauch an einem bewölkten Sommertag maximal 0,6 kW (25.08.2013) wobei starke Schwankungen im Verlauf des Beleuchtungszyklus auftreten. An einem unbewölkten Sommertag ist ein Anlaufen der Beleuchtung im Lastgang nicht feststellbar. Aufgrund der schwankenden Leistungsaufnahme, bedingt durch variierende Sonnenlichteinstrahlung, ist eine eindeutige Bestimmung des jährlichen Energieverbrauchs der Beleuchtung nicht möglich.

Die Auswahl der eingesetzten LED-Leuchtmittel müsste den bereits erläuterten Anforderungen eines Hühnerstalls bezüglich Lichtspektrum und Lichtfarbe entsprechen und darüber hinaus dimmbar sein. Als adäquater Ersatz einer 40 Watt Glühlampe wird eine 7 Watt LED empfohlen [49]. Bezogen auf die 22 eingesetzten Leuchtmittel könnte die installierte Lampenleistung in der Stallung von 0,88 kW um 82,5 % auf 0,175 kW reduziert werden. Der Stall verfügt über Fenster, wobei die zusätzlich benötigte künstliche Beleuchtung durch eine Regelung mittels Luxmeter bestimmt wird. Aufgrund dieser Tatsache kann die jährlich resultierende Energieeinsparung in kWh nicht berechnet werden.

Reinigung:

Alle 14 Monate werden sämtliche Legehennen im Betrieb E2 ausgetauscht. Nach dem Ausstallen wird eine mehrtägige gründliche Reinigung durchgeführt, wobei der Stromverbrauch hauptsächlich aus dem Einsatz von Hochdruckreinigern resultiert. In den drei Tagen der intensiven Reinigung (29.-31.08.2013) wurden dafür rund 144 kWh verbraucht. Der Energieverbrauch ist an den Reinigungstagen um ca. 30 % erhöht gegenüber vergleichbaren Sommertagen im Normalbetrieb. Für die Periode der Intensivreinigung ergab sich bei einem um sechs Prozent niedrigeren EDP ein EV von 84 % gegenüber 65 % im Jahresschnitt.

Die Gesamtdauer des Leerstandes der Stallungen betrug 12 Tage. In diesen 12 Tagen liegt das EDP bei 93 %, da auf die Reinigung einige Tage der Trocknung folgen, in denen kaum Strom verbraucht wird. In Summe ergibt sich für die Periode des Leerstandes mit einer EV-Quote von 51 % ein niedrigerer EV als im vorhergehenden Normalbetrieb.

Aufgrund der Aufteilung in Reinigungs- und Trocknungstage und des geringen Anteils am Gesamtstromverbrauch ist der Stromverbrauch auch für Betriebe mit 12-monatigem Tauschzyklus kein Hauptentscheidungskriterium für Wahl des Zeitpunkts des Ausstallens.

Fütterung:

Für die Fütterung wird ausschließlich Trockenfutter verwendet, Misch- und Mahlvorgänge werden nicht durchgeführt. Die drei Antriebe der Fütterung laufen acht- bis zwölfmal täglich an, die Einschaltdauer beträgt jeweils zwei Minuten. Durch diese geringe Einschaltdauer

würde eine Verschiebung der Zeitpunkte nur einen marginalen Einfluss auf den Lastgangverlauf und die EV-Quote haben.

Laden des Elektrostaplers:

Als Maßnahme zur Erhöhung des Eigenverbrauchs kann die Anpassung der Ladezeiten des Elektrostaplers gesehen werden. Der jährliche Energiebedarf des Elektrostaplers liegt bei rund 220 kWh. Bei konsequenter Durchführung des 3,75 Stunden dauernden Ladezyklus zu Zeiten mit hoher Sonneneinstrahlung könnten unter Berücksichtigung der Grundlast und der Größe der PV-Anlage zumindest 70 % der benötigten elektrischen Energie von der PV-Anlage bereitgestellt werden.

Betriebserweiterung:

Momentan wird von der jungen Generation ein neues Wohnhaus errichtet, welches zukünftig über den Smart-Meter des Betriebs erfasst wird. Auch eine Betriebserweiterung auf das doppelte Volumen wird überlegt. Beide Maßnahmen hätten großen Einfluss auf den Lastgang und würden einen Anstieg des Eigenverbrauchs bewirken. Im Falle des Drei-Personenhaushalts kann gemäß Tabelle 5.2 mit einem Mehrverbrauch zwischen 3.300 kWh und 4.728 kWh gerechnet werden. Die elektrischen Verbraucher des Gewerbebetriebes sind räumlich zu weit von der LW entfernt, ein Zusammenschluss auf einen Zählpunkt wäre wegen der zu erwartenden Kabelverlegungsarbeiten unwirtschaftlich.

6.4.3 Zusammenfassung Eierproduktion^G

Nach Auskunft der Landwirte könnte in Zukunft eine durchgehende Kühlkette bei Hühnereiern gesetzlich vorgeschrieben werden. In diesem Fall würde die gekühlte Lagerung der Eier am Hof nötig werden. Wird diesbezüglich eine gesetzliche Verpflichtung beschlossen, sollten beim Design der Kühlsysteme und bei der Isolierung der Kühlräume auf höchste Energieeffizienz geachtet werden. Bei gegebenem Warmwasserbedarf sollte eine Wärmerückgewinnung eingeplant werden, siehe dazu die Analyse im Abschnitt 6.8.2 (Betrieb O2). In Verbindung mit PV-Anlagen sollte eine moderne Regelung, welche einen PV-Überschuss erkennen und einsetzen kann, die Versorgung der Kühlanlage mit überschüssiger PV-Energie ermöglichen.

Betrieb E1 verfügt über die 4,5 fache Jahresproduktion von Betrieb E2. Auch in der Haltung ergeben sich Unterschiede, da Betrieb E2 die Tiere in Freilandhaltung hält. Es zeigt sich, dass die Energieintensität in Betrieb E2 mit 13,6 kWh je 1.000 produzierten Eiern um 43 bis 51 % höher ist als in Betrieb E1. Trotz teilweiser Nutzung des Tageslichts weist Betrieb E2 somit einen höheren Verbrauch je produzierter Einheit auf, was zum einen im Größenverhältnis der Betriebe und zum anderen mit der modernen Stalltechnik von Betrieb E1 im Bereich Lüftung und Beleuchtung begründet ist.

6.5 Geflügelmast^G

6.5.1 Betrieb GM1^G

Die Stalltechnik des Betriebs GM1 stammt mit Ausnahme des 2012 angeschafften, modernen Hackgutkessels und der LED-Stallbeleuchtung größtenteils aus dem Jahre 1978. Der Einsatz moderner Stalltechnik birgt das größte Optimierungspotential könnte vor allem im Design des Belüftungs- und Heizungssystems Verbesserungen bringen.

Belüftung und Stallheizung:

Das Heizungs- und Lüftungssystem erfordert aufgrund der gegenseitigen Wechselwirkungen eine gemeinsame Betrachtung. Die Wärme des Heizungssystems wird vom Hackgutbrenner bereitgestellt, die Verteilung der Wärme erfolgt über zwei Lüfter mit 50 cm Rotordurchmesser, welche über eine 3-phasige Versorgung verfügen. Das Lüftungssystem hat die Hauptaufgabe, die Luftqualität durch Luftaustausch zu gewährleisten, wofür zehn Ventilatoren mit einem Durchmesser von 45 cm im Einsatz sind. Die Aktivierung des Lüftungssystems führt zu einem Wärmeverlust, abhängig von der Temperatur der zugeführten Frischluft, welcher durch das Heizungssystem wieder ausgeglichen werden muss. Die Steuerung beider Systeme erfolgt separat per Handbedienung durch den Landwirt.

Die Stalltemperatur beträgt bei Jungtieren 35°C. Bis zum Ende der Mastperiode verringert sie sich auf 24 °C, wobei eine maximale Spreizung von ± 2 °C vorgesehen ist. An heißen Sommertagen kann die Heizung außer Betrieb gesetzt werden, ebenso an Tagen ohne Belegung bei bereits ausgetrocknetem Stall. Übliche Heizsysteme für Geflügelställe sind Gaskanonen oder Dunkelstrahler [8]. Das für die Heizung in Betrieb GM1 verwendete Hackgut stellt einen lokalen und nachhaltigen Brennstoff dar. Verbesserungspotential besteht in der Aufnahme elektrischer Leistung der eingesetzten Ventilatoren, dieser ließe sich durch den Einsatz einer FU-Regelung oder von EC-Antrieben reduzieren.

Der vorgesehene Luftumsatz wird vom Lüftungssystem bewerkstelligt, dazu werden die Ventilatoren nach Bedarf per Hand geschaltet. Die Steuerung verfügt über vier Stufen, zusätzlich kann über einen mechanischen Schieber das Luftvolumen vom Landwirt begrenzt werden. Ab dem vierten Tag der Belegung befinden sich die Ventilatoren im Dauerbetrieb. Die Belüftung dient zwei Zwecken. Das ganze Jahr sorgt der Austausch des Luftvolumens für die notwendige Luftqualität, während an heißen Sommertagen die Lüfter auch zum Kühlen eingesetzt werden. Das Alter der eingesetzten Lüfter liegt zwischen einem halben Jahr und 30 Jahren. Eine automatische Regelung für das Lüftungssystem ist vorhanden. Sie wurde aber vom Landwirt außer Betrieb gesetzt, da keine Temperaturkontrolle inkludiert war und sie nicht mit dem Heizsystem gekoppelt war.

Auch die verwendeten Lüftungsauslässe lassen großes Optimierungspotential vermuten, da sie mit quadratischem Querschnitt kein optimales Strömungsprofil aufweisen, siehe Abbildung 6.17. Durch die Betrachtung der Summe aller Einflussfaktoren liegen im

Heizungs- und Lüftungssystem die größten Potentiale für eine Verbesserung der Energieeffizienz des Betriebes GM1.



Abbildung 6.17: Lüftungsauslassdesign in Betrieb GM1

Beleuchtung:

Die Beleuchtung ist 24 Stunden am Tag aktiv. Lediglich an hellen Sommertagen kann sie bei Sonneneinstrahlung abgestellt werden, was manuell bewerkstelligt wird.

Verwendet werden 40 LED Leuchtmittel zu je 8 Watt für E27 Fassungen. Diese sind im gesamten BZR im Einsatz und haben herkömmliche Glühlampen zu je 40 Watt ersetzt. Trotz einer angegebenen Haltbarkeit von 25.000 Betriebsstunden mussten bereits zahlreiche Leuchtmittel ersetzt werden. Aus diesem Grund wurde der Helligkeitsregler vom Landwirt außer Betrieb genommen, obwohl die LED Leuchtmittel für Dimm-Betrieb geeignet sind. Ob diese Maßnahme eine Verbesserung bringt oder die Lampenausfälle andere Ursachen, beispielsweise Übertemperatur oder Fertigungsfehler, haben war mit Stand Dezember 2013 noch nicht feststellbar.

Der Dauerbetrieb lässt keine Verschiebepotentiale für Lastmanagementmaßnahmen offen. Durch den Einsatz von LED Leuchtmitteln wurde eine sehr effektive effizienzsteigernde Maßnahme gesetzt. Die installierte Leistung der gesamten Stallbeleuchtung konnte um 80 % reduziert werden, wobei seit geraumer Zeit kein gedimmter Betrieb mehr stattfindet.

Fütterung:

Die Aktivierung der Fütterung erfolgt manuell zur Mittagszeit, bei Bedarf auch ein zweites Mal bei leerem Futterbehälter. Über eine Förderkette wird Futtermittel vom Silo in den Stall gefördert, wobei der Futterbehälter im Stall eine maximale Kapazität von 1.800 kg aufweist.

Bei Jungtieren ist der Kettenantrieb 15 Minuten pro Tag aktiv. Bei ausgewachsenen Masthühnern reicht die Futtermittelmenge im Stall nur für 16 Stunden, daher muss die Fütterung ein zweites Mal aktiviert werden. Der Landwirt achtet bereits darauf, dass die Aktivierung um die Tagesmitte erfolgt.

Trocknungsanlage:

Die Trocknungsanlage verfügt über einen separaten Energiezähler. Aus diesem Grund sind keine Smart-Meter Daten verfügbar, weshalb die Anlage nicht näher analysiert wird. Die Trocknung der Futtermittelernte wird ab Anfang Oktober für rund 40 Tage im Dauerbetrieb durchgeführt. Bei Verzicht auf den separaten Zähler könnte für diesen Zeitraum der PV-Überschuss zu einem sehr hohen Teil am Betrieb genutzt werden. Im BZR hat der PV-Überschuss während der Trocknungsperiode insgesamt 160 kWh betragen. Eine Ausnutzung dieses Überschusses würde den EV um 1,4 % von 78,0 % auf 79,4 % erhöhen. Der zur Verfügung stehende Überschuss ist stark abhängig von der witterungsabhängigen Höhe der PV-Erzeugung und von der Belegung des Stallgebäudes. Für eine Kalkulation der Auswirkungen einer Zusammenlegung der Zähler wäre auch zu beachten, dass für die Trocknungsanlage ein vergünstigter Stromtarif verrechnet wird.

Elektroheizstab für 300 l Boiler:

Das WW für den HH wird im Zeitraum von Ende April bis Ende September mit Strom bereit. Dazu wird der Inhalt eines 300 l Speichers auf 60 °C erwärmt. Der große Vorteil liegt darin, dass dadurch die Wasserleitung vom Heizhaus zum Haus abgesperrt werden kann, wodurch der 200 m lange Transportweg des Warmwassers durch die Ringleitung entfällt. Darüber hinaus ist in der sommerlichen Hitzeperiode die Stallheizung außer Betrieb. Eine Zeitschaltuhr, welche von 11:00 bis 17:00 eingestellt ist, steuert die Aufheizzeit des WW-Speichers. Nach Aktivierung um 11:00 ist der Aufheizvorgang je nach Bedarf nach rund zwei Stunden abgeschlossen.

Der Heizstab könnte mit einem Eigenverbrauchsregler betrieben werden. Dieser könnte eingesetzt werden, um den durch die Zeitschaltuhr verursachten partiellen Netzbezug zu minimieren. Ein Aufheizvorgang des abgekühlten WW-Speichers von 15 °C auf 60 °C verbraucht 15,7 kWh elektrische Energie, etwaige Verluste noch nicht berücksichtigt. Im BZR wäre für die fünf Betriebsmonate des Elektroheizstabs ein PV-Überschuss von gesamt 1550 kWh zur Verfügung gestanden, um den teilweisen Netzbezug während des Aufheizvorgangs zu verringern. Eine Berechnung des exakten Ausmaßes der Netzbezugsverminderung ist aufgrund der Datenlage nicht möglich. Als weiteres Einsatzgebiet für den Eigenverbrauchsregler in Betrieb GM1 bietet sich die Poolpumpe an, deren Betriebszeit an Zeiten mit PV-Überschussproduktion angepasst werden könnte.

6.6 Direktvermarktung

6.6.1 Betrieb D1^G

Getreidereinigung:

Die Getreidereinigung, welche auch im Lohnverfahren durchgeführt wird, ist der Prozess mit dem höchsten Stromverbrauch. So werden für die Reinigung von 1.000 kg Dinkel 12,1 kWh elektrische Energie benötigt. Die Lastspitze liegt bei 21 kW, die Dauerleistung während der gesamten Prozessdauer liegt höher als die maximale PV-Leistung von 8 kWp. Da der Prozess an vielen Tagen mehrmals täglich für unterschiedliche Mengen Dinkel abläuft, sollte darauf geachtet werden, die größte Charge um die Mittagszeit zu verarbeiten. Der Unterschied im EV zwischen Betriebstagen und Tagen mit nicht aktiver Anlage beträgt bis zu 62 % absolut. Der Vergleich von zwei Tagen mit hoher PV-Produktion zeigt, dass am Donnerstag, dem 08.08.2013, bei aktiver Getreidereinigungsanlage ein EV von 91 % erreicht wurde, während es am Sonntag dem 11.08.2013 nur 29 % waren. Da der Verbrauch nicht kontinuierlich verläuft ist das Ziel von 80 % EV-Anteil im Jahresdurchschnitt sehr schwer zu erreichen.

Die ganze Anlage ist im Laufe der Jahre gewachsen, wodurch sich kein durchgehendes Konzept beim Design der Anlage erkennen lässt. Insgesamt wurden 21 Antriebe aufgenommen, welche in Summe eine Gesamtleistung von 39,9 kW aufweisen. Die Leistungsspitze im Viertelstundenintervall beträgt 28 kW. Die leistungsstärksten Antriebe sind die Hammermühle mit 8,4 kW, der Rüttler (6 kW), die Zentrifuge (5,1 kW) und der Tisch-Antrieb mit 4,6 kW. In größerer Stückzahl sind sieben Elevatoren und fünf Förderschnecken vorhanden. Ein einziger Antrieb ist bereits FU-geregelt. Es herrscht mit Sicherheit großes Optimierungspotential. Zur Nutzung dieses Einsparpotentials sind eine detaillierte Analyse der Anlage und ein Umbau nötig, bei dem von hohen Kosten ausgegangen werden muss. Ein Umbau in diesem Ausmaß ist kurz- und mittelfristig nicht geplant.

Die Variante der Verschiebung des Betriebes auf die Mittagszeit zur Erhöhung der EV-Quote wird für einen Tag mit aktiver Getreidereinigung durchgeführt. In Abbildung 6.18 zeigt die konkrete Betrachtung des Getreidereinigungsvorganges am 08.06.2013, welcher an diesem Tag 3,5 Stunden gedauert hat. Die Verschiebung der Startzeit von 07:30 auf 12:00 lässt den Eigenverbrauch an diesem Tag von 61 % auf 78 % steigen, was einem Mehrverbrauch der eigenen PV-Energie von 10,5 kWh bedeutet. Es ergibt sich ein großes Potential zu Erhöhung des EV-Anteils an Tagen mit aktiver Getreidereinigungsanlage, allerdings muss von den am Prozess beteiligten Personen diese Lastverschiebungsmaßnahme bewusst durchgeführt werden. Grundlegend dafür ist die Bereitschaft, die Anlage in der Zeit um die Tagesmitte in Betrieb zu setzen. Bei Durchführung im Lohnverfahren muss die zeitlich passende Zulieferung des Getreides administriert werden.

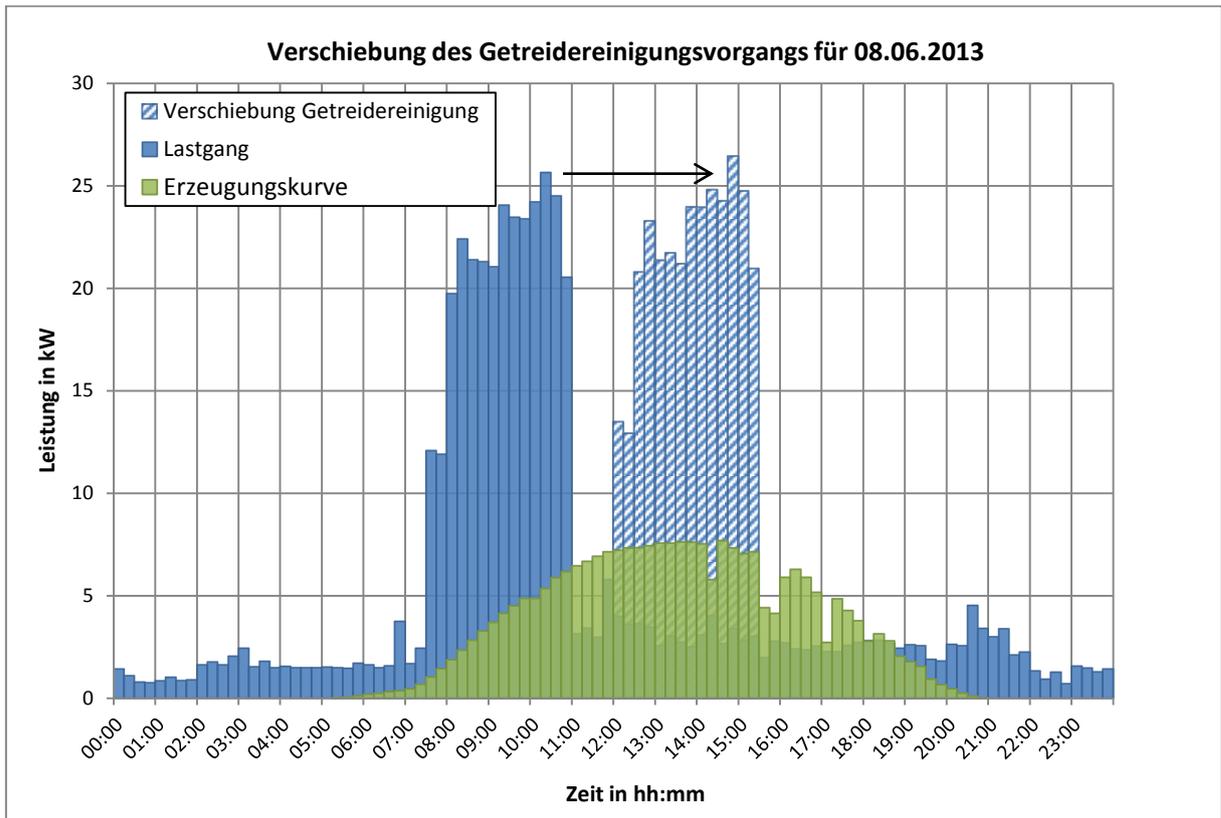


Abbildung 6.18: Betrieb D1-Verschiebung der Betriebszeiten der Getreidereinigungsanlage

Brotbackstube:

In der Brotbackstube wird Brot und Gebäck („Weckerln“) produziert. Der übliche Ablauf sieht vor, dass Abends Brot gebacken wird und am darauf folgenden Morgen das Gebäck. Für den Brotbackvorgang steht ein Brotbackofen mit 9,9 kW Anschlussleistung zur Verfügung, die Gebäckmaschine weist 9,3 kW auf. Die Teigbereitung erfolgt mit Knetmaschinen zu 1,1 kW und 1,5 kW Leistung.

Da der Betrieb die Zeiten der Vermarktung seiner Produkte selbst bestimmen kann, sollte eine Verschiebung des Brotbackens in Zeiten mit hoher PV-Produktion möglich sein.

Erweiterung der PV-Anlage:

Der Kunde überlegt, eine zweite PV-Anlage zu installieren. Für diese wäre eine Ost-West Ausrichtung erstrebenswert, da sich das Erzeugungsprofil mit dem über den ganzen Arbeitstag verteilten Lastspitzen besser decken würde. Im Rahmen der Betriebsbesichtigung wurde auch Augenmerk auf die Dachflächen gelegt. Eine ausreichend große Dachfläche auf einem Wirtschaftsgebäude mit 80 ° Südostausrichtung steht zur Verfügung.

6.6.2 Betrieb D2^G

Aufgrund der Vielzahl an durchgeführten Prozessen ergibt sich ein sehr uneinheitliches Bild in den Lastgängen. Hauptprodukte sind Rindfleisch und das selbst gebraute Bier, wobei ein Großteil der Produkte über die betriebseigene Gastwirtschaft vermarktet wird.

Beginnend bei der Mutterkuhhaltung werden die Jungrinder großgezogen, nach der Schlachtung erfolgen alle Produktionsschritte der Fleischverarbeitung im Betrieb. Neben den Maschinen für die Fleischverarbeitung wie Fleischwolf, Wurstfüller und Ausbrennpfanne sind auch ein Kühl- und ein Reiferaum im Einsatz. Nach Bedarf wird das Fleisch ausgeliefert oder in der Gaststätte weiterverarbeitet.

Aus Äpfeln wird Most produziert, wozu eine Presse im Einsatz ist. Eine Kornmühle erzeugt das Mehl für das selbst gebackene Brot. Die betriebseigene Trocknungsanlage war im Jahr 2013 aufgrund der trockenen Witterungsverhältnisse nur wenige Stunden in Betrieb.

Als wichtige Prozesse werden sowohl der Betrieb der Gaststube als auch das Bierbrauen im Detail analysiert.

Betrieb Gastwirtschaft:

Die Gaststätte war im BZR laut Angaben des Betreibers an 89 Tagen geöffnet. Die Öffnungszeiten verteilen sich auf einige Wochen in den Monaten Jänner, Februar, Juli, August und November sowie den ganzen Mai. An geöffneten Tagen liegt der Verbrauch mit durchschnittlich 49,8 kWh pro Tag um 23,9 % höher als an den restlichen Tagen. Dieser Mehrverbrauch spiegelt aber nur den direkten Elektrizitätseinsatz für die Gastwirtschaft während der geöffneten Tage wieder, da Tätigkeiten wie beispielsweise das Bierbrauen im Vorfeld durchgeführt werden.

Die größten Energieverbraucher sind der Kombidämpfer sowie die Brotbacköfen. Diese werden zusätzlich zu den 89 Öffnungstagen auch für bestellte Jausenkörbe und Aufschnittplatten benötigt. Auch die Kühlzelle in der Küche ist dauerhaft im Einsatz. Hinzu kommen im Gastronomiebetrieb Verbräuche für den Gläserespüler, diverse Küchengeräte, den Schankkühlraum, die Gastrokaffeemaschine sowie durch die Beleuchtung des Schankbereichs und der beiden Gaststuben.

Kühlung:

Die Kälteproduktion für Kühl- und Reiferaum erfolgt mit dem gleichen Kälteaggregat. Zusätzlich ist ein Kühlaggregat für die Getränkekühlung in der Brauerei vorhanden. In der Gastküche ist ebenfalls eine Kühlzelle in Betrieb, hinzu kommt die Getränkekühlanlage an der Theke. Fünf Gefriertruhen werden mit dem Haushaltsstromzähler erfasst und scheinen somit in den Smart-Meter Daten nicht auf. Die von den Kühlgeräten verursachte Grundlast beträgt 0,8 bis 1,3 kW in Abhängigkeit von Befüllungsgrad und Umschlaghäufigkeit. Durch

den saisonalen Betrieb der Gaststätte ist zu prüfen, ob der Bierkühlraum und die Schankkühlung in den nicht genutzten Zeiträumen außer Betrieb gehen könnten.

Bier brauen:

In der Kleinbrauerei werden in einem Produktionszyklus 225 l Bier gebraut. Der Brauvorgang startet mit drei Heizzyklen, wobei auf jeden Aufheizvorgang eine Abkühlphase, das sogenannte Rasten, folgt. Nach dem dritten Rasten wird das Kochen des Hopfens durchgeführt, welches den verbrauchsintensivsten Teil des Prozesses darstellt. Nach einer erneuten Ruhephase wird das fertige Bier abgepumpt. Die Gesamtdauer des Vorgangs beträgt 7,5 bis 8 Stunden. Ein Brauvorgang benötigt 32,5 kWh elektrische Energie, woraus ein Energieaufwand von 0,14 kWh je Liter gebrauten Bier resultiert. Für die Jahresproduktion von 50 Hektoliter fallen demnach 722 kWh Energieverbrauch an, was einem Anteil von 4,7 % am Gesamtverbrauch entspricht. Nach dem Brauen wird das Bier gekühlt gelagert.

Abbildung 6.19 zeigt einen Tageslastgang mit zwei Brauzyklen, wobei der erste Zyklus um 07:00 Uhr startet, der zweite um 17:30 Uhr. Das Abpumpen des zweiten Brauvorganges erfolgte nach 24:00 und ist deshalb im Lastgang nicht mehr abgebildet. Die Aufteilung der beiden Brauzyklen auf zwei Tage würde einen hohen EV an beiden Tagen bewirken.

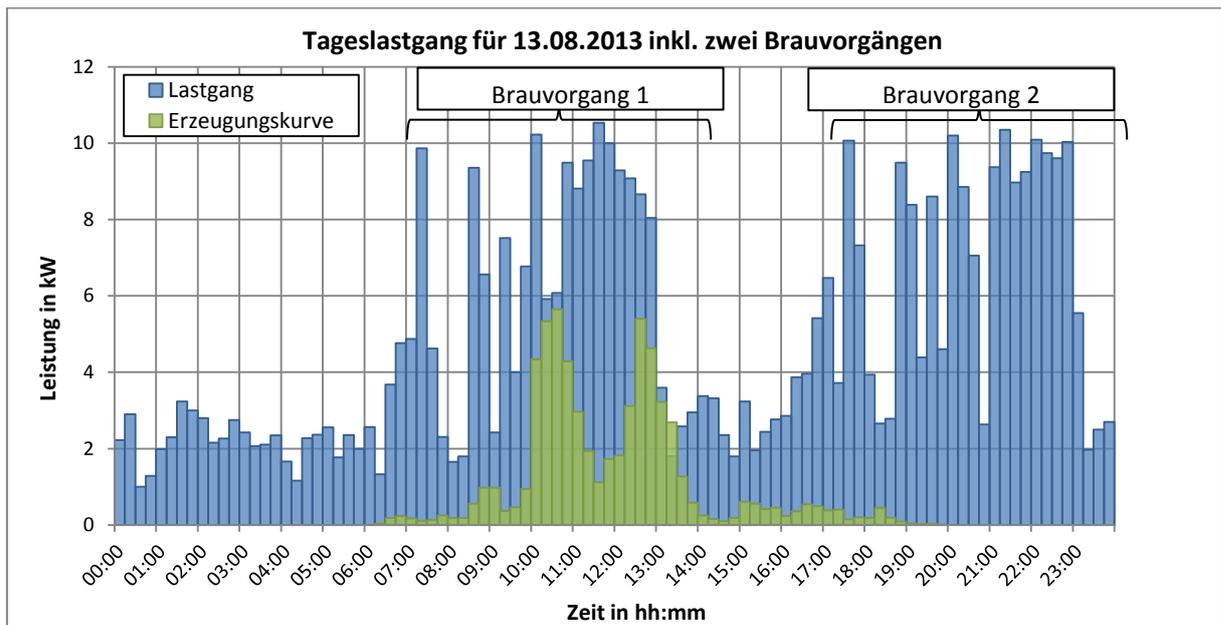


Abbildung 6.19: Betrieb D2: Tageslastgang für 13.08.2013 mit zwei Brauvorgängen

Vor allem der 1,5 bis 2 Stunden dauernde Kochvorgang des Hopfens verursacht eine durchgehende Last zwischen sechs und neun kW, welche in der Zeit der Produktionsspitze der PV Anlage liegen sollte. Um den optimalen Startzeitpunkt des Brauens zu bestimmen, wird der erzeugungsstärkste Tag des BZR (08.04.2013) mit einem hypothetischen Lastgang in Verbindung gesetzt. Der hypothetische Lastgang beinhaltet die Überlagerung von fünf Bierbrauzyklen und die ebenfalls überlagerte gemittelte Grundlast dieser Tage. In der Überlagerung der Brauvorgänge sind die einzelnen Heizphasen weniger gut unterscheidbar als bei der Betrachtung eines isolierten Brauzyklus. Die Begründung liegt darin, dass die

manuelle Aktivierung des Brauzyklus zu leichten Verschiebungen führen kann und sich die Einsatzintensität der übrigen Verbraucher an den betrachteten Brautagen unterschieden hat. Wie in Abbildung 6.20 zu sehen ist, übersteigt dabei die Kombination aus Grundlast und Brauerei das Maximum der Erzeugung der 8 kWp PV-Anlage, wodurch sich ein sehr hoher EV ergibt. Der optimale Startzeitpunkt des Brauprozesses, um den höchsten EV zu erzielen, liegt um 08:45 Uhr. Der Eigenverbrauchsanteil würde in diesem Fall am erzeugungsstärksten Tag ca. 89 % betragen.

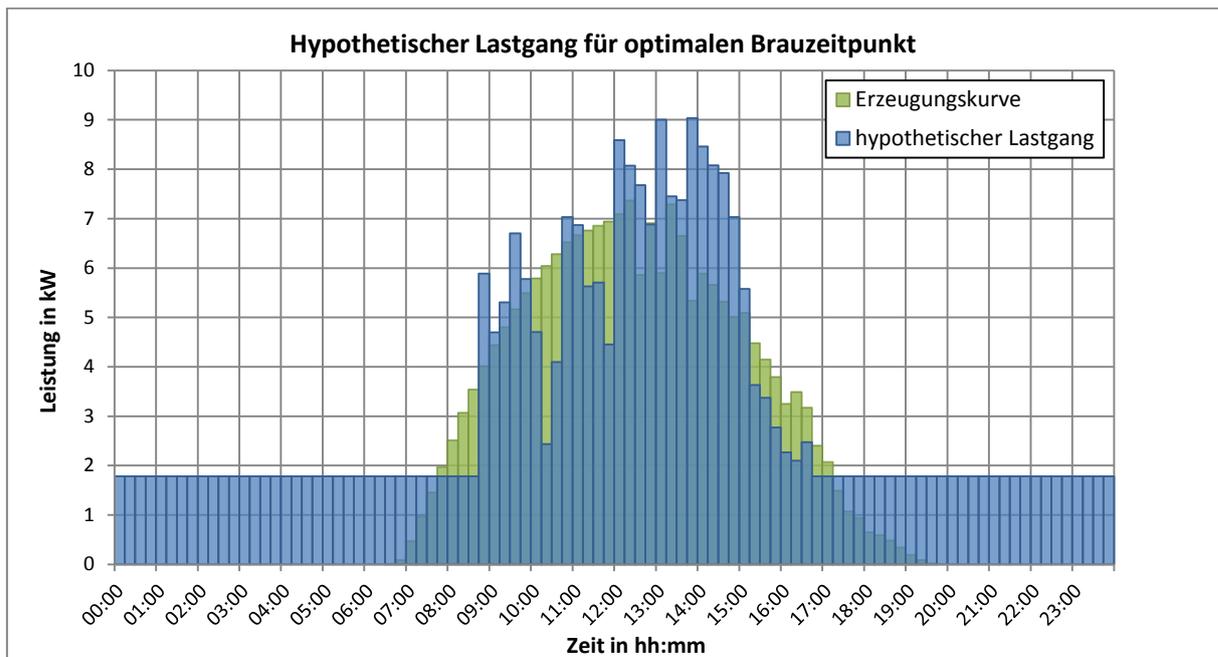


Abbildung 6.20: Optimaler Startzeitpunkt des Brauvorganges für maximalen Eigenverbrauch in Betrieb D2

Außenklimastall:

Für die Rinderhaltung wurde ein Außenklimastall neu errichtet und Ende 2013 in Betrieb genommen. Es gibt weder Stallheizung noch Lüftung und keine Melkanlage da Mutterkuhhaltung betrieben wird. Die Elektroheizung beschränkt sich auf den acht Quadratmeter großen Technikraum und wird nur bei Bedarf aktiviert. Durch den Stall ist daher nur ein sehr geringer Energieverbrauch zu erwarten. Als einziger Großverbraucher steht ein 12 kW GÜllerührwerk inklusive Regelung zu Buche. Vor der GÜlleentnahme erfolgt der Einsatz zwischen einer und vier Stunden [6]. Zusätzlich dient das Rührwerk dazu, die Bildung von Schwimmschichten zu verhindern und wird je nach GÜlleaufkommen und Temperatur nach Bedarf eingesetzt. Im Dezember 2013 waren noch keine realen Betriebsdaten des Rührwerks verfügbar. Der Betrieb des Rührwerks sollte zu Zeiten hoher PV-Produktion stattfinden. Um dieses Ziel zu erreichen sollte die Regelung des Rührwerks die PV-Erzeugung berücksichtigen oder die Ansteuerung über einen PV-Überschuss erkennenden Eigenverbrauchsregler erfolgen.

6.6.3 Betrieb D3^C

Fleischveredelung:

- **Räucherammer:**

Im Betrieb D3 werden zur Konservierung und Aromatisierung einige der Fleisch- und Wursterzeugnisse geräuchert. Während des Räucherprozesses werden mehrere Phasen durchlaufen, bei denen verschiedene Temperaturen in der Räucherammer vorherrschen. Bei der im Betrieb vorhandenen Räucherammer erfolgt die Wärmeerzeugung mit einer Elektroheizung. In unmittelbarer Nähe zur Räucherammer befindet sich der Fleischkühlraum. Durch die Installation eines Kühlmittel-Luft-Wärmetauschers in der Frischluftansaugung der Räucherammer kann die Abwärme des Kälteaggregats zur Vorwärmung der angesaugten Frischluft genutzt werden und somit der Energieverbrauch der Elektroheizung reduziert werden.

Laut Hersteller der Räucherammer führt dies zu keinerlei Beeinträchtigung der Produktqualität. Jedoch muss in der Regelungssoftware der Räucherammer eine Anpassung hinsichtlich der erhöhten Frischlufttemperatur vorgenommen werden. [50]

- **Fettschmelze:**

In der Fettschmelze wird Schmalz durch das Ausbraten von Schweinespeck erzeugt. Der Aufheizvorgang wird hierbei mit einem 6 kW Elektroheizstab durchgeführt. Dieser erwärmt das im doppelwandigen Schmelzkessel befindliche Wärmemedium. Aufgrund eines Defekts musste der Heizstab bereits vor mehreren Jahren erneuert werden. Hierbei wurde ein Heizstab verbaut, dessen Länge die Einbautiefe des Schmelzkessels überschreitet. Ein Teil des Heizwiderstandes befindet sich daher außerhalb des Kesselgehäuses, wodurch die in diesem Teil des Heizstabs aufgebrauchte Heizenergie an die Umgebung abgegeben wird. Der außerhalb des Kessels liegende Teil wird auf etwa ein Zehntel der Gesamtlänge des Heizstabes geschätzt. Bei einer Anschlussleistung von 6 kW und einem zehnstündigen Einsatz im 2-Wochen-Zyklus führt dies bei der Annahme eines proportionalen Zusammenhanges zwischen Energieverbrauch und Länge des Heizstabes zu Energieverlusten von jährlich rund 160 kWh. Bei einem Strompreis von 0,1715 € je kWh resultieren daraus Stromkosten von 26,8 €. Zur Vermeidung dieser Verluste sollte ein Heizstab eingebaut werden, der die Einbautiefe des Kessels nicht überschreitet.

Kühlhalle:

In der Kühlhalle werden vakuumverpackte Fleischprodukte, Obst und Most gekühlt. Die Auslastung der Kühlhalle unterliegt starken saisonalen Schwankungen. Um auch bei geringer Auslastung eine energieeffiziente Kühlung zu ermöglichen, sollte eine temporär einsetzbare Trennwand – beispielsweise in Form einer Faltschleierwand – installiert werden.

Der Großteil des Energieverbrauchs im Betrieb D3 ist auf die Kühl- und Fleischveredelungsprozesse zurückzuführen. Hinsichtlich der Veredelung können keine Lastmanagementmaßnahmen durchgeführt werden, da eine zeitnahe Verarbeitung des Rohfleisches zu gewährleisten ist. Im Bereich der Kühlprozesse kann durch Regelung der Kälteaggregate in Abhängigkeit des Energieüberschusses aus PV-Erzeugung eine Steigerung EV-Quote erzielt werden. Zur Wahrung der Produktqualität müssen die Temperaturintervalle in den Kühl- und Gefrierräumen eingehalten werden, wodurch diese Lastmanagementmaßnahme zeitlich stark eingeschränkt ist. In Kombination mit der gegenwärtigen EV-Quote von 87,1 % wird die durch diese Maßnahme erzielbare Steigerung der EV-Quote im unteren einstelligen Prozentbereich eingeschätzt. Im Betrieb D3 ist diese Maßnahme daher als unwirtschaftlich einzustufen.

6.6.4 Betrieb D4^G

Bei einer vergleichsweise geringen PV-Anlagengröße von 5 kWp kann eine Eigenverbrauchsquote von lediglich 62 % erreicht werden. Deshalb werden vier Möglichkeiten zur Steigerung des Eigenverbrauchs betrachtet. Diese sind eine gezielte Aufheizung zweier vorhandener Elektroboiler mit PV-Strom, eine Verschiebung der Betriebszeiten der Backstube, die Anwendung einer Batterielösung sowie die Nutzung eines Elektrofahrzeuges für die Auslieferdienste. Dabei verursacht die Anschaffung eines Eigenverbrauchsreglers für die Aufheizung des WW-Speichers geringe Investitionskosten, verglichen mit den für die Batterielösung beziehungsweise das Elektrofahrzeug anfallenden Investitionskosten. Für die Verschiebung der Betriebszeiten der Backstube fallen keine direkten Kosten an.

Aufheizen der WW-Speicher:

Im Betrieb sind zwei WW-Speicher vorhanden, welche über je einen elektrischen Heizstab beheizt werden. Der kleinere WW-Speicher fasst 50 l und wird zu Reinigungszwecken im Melkprozess herangezogen, der 120 l WW-Speicher wird zur Warmwasserbereitstellung im Bereich der Direktvermarktung verwendet. Beide sind von einer handelsüblichen Isolierung umgeben und werden täglich eingesetzt. Da das Nachheizen derzeit bedarfsgerecht erfolgt, und der Einsatzschwerpunkt in den Morgen- und Abendstunden liegt, kann beim derzeitigen Status von einem verschwindend geringen Anteil PV-Strom für die Warmwasserbereitung ausgegangen werden.

Für die Berechnung wird von einem Aufheizen von 40 °C auf 75 °C, veranlasst von einem Eigenverbrauchsregler, ausgegangen. Die Berechnung (analog zu Abschnitt 6.3.2) mit der spezifischen Wärmekapazität c von Wasser von 4,18 kJ/kgK und den Smart-Meter Daten von Betrieb D4 führt zum Ergebnis in Tabelle 6.8: Für den kleineren WW-Speicher ergibt sich ein verwertbarer PV-Überschuss von jährlich 520 kWh, was zu jährlichen Energiekosteneinsparungen von 58 € führt. Im Vergleich dazu weist der größere WW-Speicher die 2,8-fache Energiekosteneinsparung von 162,5 € bei 2,4-fachem Wasserinhalt

auf, wobei der verwertbare PV-Überschuss 1.457 kWh beträgt. Als interessantes Detail ist zu werten, dass der Einbau des Reglers in den größeren WW-Speicher auch zu einem größeren PV-Deckungspotential des Heizstabverbrauchs führt, was in der Verteilung des PV-Überschusses im Verlauf des BZR begründet liegt.

Der Preis für Eigenverbrauchsregler beträgt netto 783 € zzgl. Installationskosten, wobei die Installationskosten rund 400 € betragen. Als Gesamtpreis für Regler inklusive MwSt., Thyristoreinheit und Installation werden 1.350 € angenommen. Dadurch ergibt sich eine statische Amortisationsdauer von 23,3 Jahren beim 50 l WW-Speicher und 8,0 Jahre beim 120 l WW-Speicher. Je größer der Warmwasserbedarf in den Abendstunden gegenüber den Morgenstunden ist, desto eher wird eine unerwünschte Abkühlung des Speicherinhaltes vermieden. Nach Auskunft des Betriebsführers ist der Warmwasserbedarf in der Direktvermarktung zeitlich variabel, während er im Melkprozess zu gleichen Teilen morgens und abends anfällt, was die Rentabilität der Investition beim 50 l WW-Speicher weiter einschränkt. Somit ist dem Einsatz des Eigenverbrauchsreglers im 120 l WW-Speicher der Vorzug zu geben, da statische Amortisationsdauer kürzer ist, die Einsatzzeiten flexibler gestaltet werden können was zu geringeren Wärmeverlusten führt und auch ein größeres PV-Deckungspotential des Aufheizvorgangs aus eigener Erzeugung erreicht werden kann.

Tabelle 6.8: Kostenvergleich von Eigenverbrauchsregler zur Warmwasserbereitung für zwei WW-Speichergößen

Wassermenge in l:	50	120
Anfangstemperatur im Heißwasserspeicher in °C:	40	
Endtemperatur im Heißwasserspeicher in °C:	75	
Temperaturdifferenz in °C:	35	
benötigte Wärmemenge je Aufheizvorgang in kWh:	2,03	4,87
jährlich benötigte Wärmemenge in kWh/a:	741	1.778
verwertbarer PV-Überschuss im BZR in kWh/a:	520	1.457
resultierendes PV-Deckungspotenzial in %:	70,2	81,9
jährliche Stromkosteneinsparung in €/a:	58,0	162,5
resultierende EV-Quote in %:	71,7	89,4

Stromkostensparnis basiert auf Differenz von Strombezugskosten (0,1715 € / kWh) zur Einspeisevergütung (0,06 € / kWh)

Backstube:

In der Backstube wird nach erfolgter Teigzubereitung der Backvorgang mithilfe zweier Backöfen mit je 9,9 kW Anschlussleistung an drei Tagen pro Woche durchgeführt. Der Vorgang startet um 03:30 und dauert insgesamt fünf Stunden. Je nach Bedarf werden in diesem Zeitraum auch andere Produkte, beispielsweise Germmehlspeisen, hergestellt. Die hergestellten Produkte werden in weiterer Folge direkt an die Kunden ausgeliefert. Grundsätzlich sind diese Zeiten nicht fixiert und wären somit verschiebbar.

Die Steigerungsmöglichkeit für den EV wird exemplarisch für zwei Wochen (Kalenderwochen 28 und 29) errechnet. An jenen sechs Tagen der zwei betrachteten Wochen, in denen sich die Backstube in Betrieb befindet, beträgt der durchschnittliche EV 50,2 %. Zur Bestimmung

der Grundlast, verursacht durch die übrigen landwirtschaftlichen Prozesse und den HH, wurde der Verbrauch aus den verbleibenden acht Tagen gemittelt. Dabei ist vor allem der Melkvorgang, welcher um 07:00 und um 17:30 startet, von Bedeutung. Den Verlauf des Lastgangs mit Aufteilung in Grundlast und Backprozess zeigt Abbildung 6.21, wobei die Verschiebung des Betriebs der Backstube durch die schraffierten Balken dargestellt wird. Die Verschiebung erfolgt dabei von 03:30 bis 08:45 auf die Zeit von 10:15 bis 15:30. Dadurch kann der EV für die Tage, an denen die Backstube in den zwei betrachteten Wochen in Betrieb ist, von 50,2 % auf 90,9 % gesteigert werden. Für die Betrachtung wurden zwei Wochen mit starker PV-Erzeugung ausgewählt. Für ertragsschwächere Wochen kann an den Backtagen von einem Eigenverbrauchsanteil ausgegangen werden, welcher über den errechneten 90,9 % liegt.

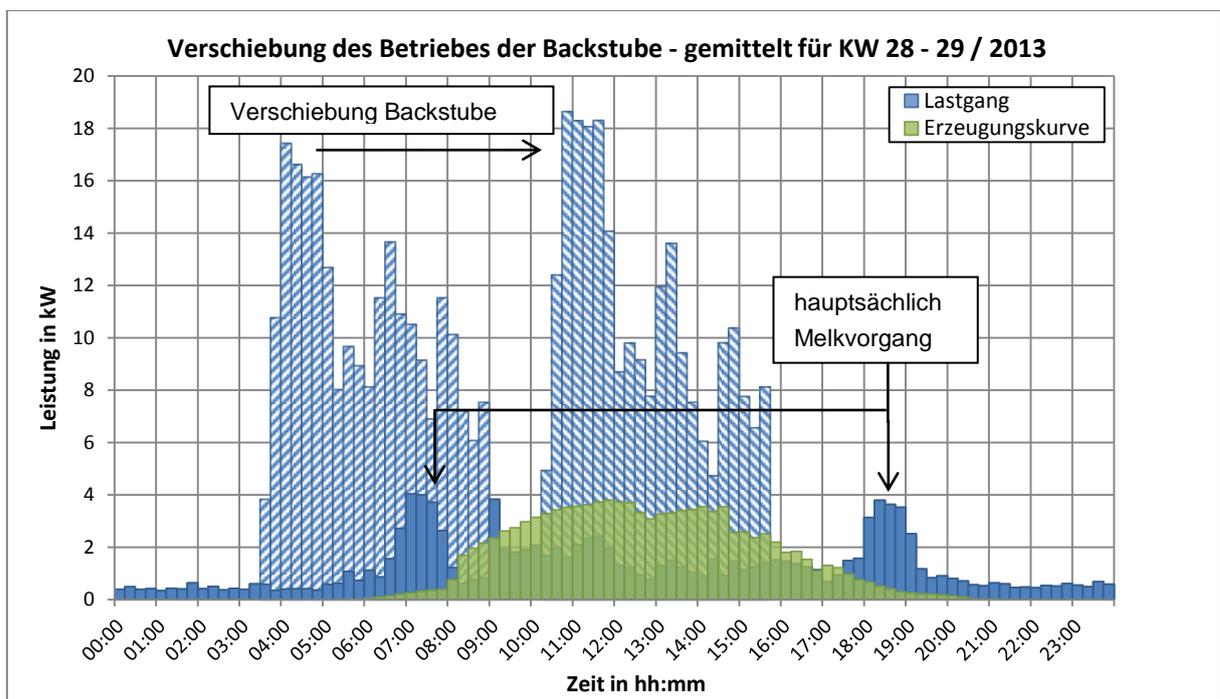


Abbildung 6.21: Betrieb D4-Verschiebung der Betriebszeiten der Backstube

Batterielösung:

Bei der Konfiguration des Batteriesystems gilt es einige Aspekte zu beachten. Die Auswahl zwischen einphasigem und dreiphasigem System soll den Netzanschluss der elektrischen Großverbraucher des Betriebes berücksichtigen. Da die Brotbacköfen dreiphasige Verbraucher sind, wird ein drehstromtaugliches System gewählt. Für die Auslegung der Speicherkapazität sind sowohl die tägliche Überschusseinspeisung als auch die maximale ED einzubeziehen. Im BZR liegt die Eigendeckungsquote lediglich an fünf von 365 Tagen über 100 % (Maximalwert von 131,7 %), weshalb der maximale PV-Tagesüberschuss als Obergrenze der Batteriekapazität herangezogen wird.

Drehstromtaugliche Systemlösungen sind u.a. mit Kapazitäten von 41 kWh und 20,5 kWh verfügbar. Der Preis zzgl. Mehrwertsteuer beträgt 47.400 € für das 41 kWh bzw. 27.400 € für das 20,5 kWh-System. [51] Dabei sind im Lieferumfang die Batterie, der Wechselrichter und

das Batteriemanagementsystem sowie die Steuerschränke inkludiert, nicht jedoch die Montagekosten. [52] Die betrachteten Batteriesysteme weisen eine Nettospeicherkapazität bzw. depth of discharge von 70 % auf. Daraus resultiert eine nutzbare Kapazität von 14,3 kWh bzw. 28,7 kWh bei den beiden zur Auswahl stehenden Batteriesystemen. Der Wirkungsgrad des Gesamtsystems beträgt 85 %. [53]

Der Tagesüberschuss der PV Anlage beträgt maximal 22,1 kWh, weshalb die Batterie mit 20,5 kWh Speicherkapazität gewählt wird. An 31 Tagen im BZR liegt der ins Netz gespeiste Tagesüberschuss über der maximal nutzbaren Batteriekapazität von 14,3 kWh. Daraus ergibt sich im BZR eine verbleibende Überschusseinspeisung von PV-Strom im Umfang von 65,9 kWh, gegenüber einem realen gegenwärtigen Überschuss von 2.023,5 kWh. Der EV könnte durch die gewählte Batterielösung von 62,0 % auf 98,8 % gesteigert werden.

Bei der wirtschaftlichen Betrachtung sind die Investitionskosten für das Batteriesystem den jährlichen Einsparungen beim Strombezug aus dem Netz gegenüberzustellen. Der Bruttopreis des Speichersystems inklusive Montage und Inbetriebnahme beträgt 34.387 € [52]. Die Einspeisung ins Netz zu 0,06 €/kWh verringert sich um 1.957 kWh. Somit ergeben sich beim Wirkungsgrad von 85 % für die real nutzbaren 1.664 kWh eine Einsparung im Strombezug von 168 € pro Jahr. Gesamte Investitionskosten von 34.387 € gegenüber einer jährlichen Einsparung von 168 € zeigen, dass die Batteriespeicherung von überschüssiger PV-Energie beim gegenwärtigen Preisniveau von Speichersystemen nicht wirtschaftlich ist.

Lieferwagen mit Elektroantrieb:

Für die Auslieferung der direkt produzierten Produkte werden jährlich 8.000 km zurückgelegt. Der folgende Vergleich wurde für einen Lieferbus vom Typ Renault Kangoo gerechnet, wobei die Versionen mit Elektroantrieb und 90 PS-Dieselantrieb verglichen werden. Da auch Einkaufsfahrten getätigt werden, kann von einer jährlichen Laufleistung von 10.000 km ausgegangen werden.

Verglichen wird der elektrische Renault Kangoo Z.E. mit 44 kW Motorleistung zum Bruttopreis inkl. USt von 24.360€ exkl. der monatlichen Batteriemiete [54] mit dem Dieselmodell „dci 90“ um 16.740 € brutto inklusive Umsatzsteuer [55]. Beide Fahrzeuge weisen ein identes Nutzvolumen auf. Das Dieselfahrzeug weist um 7.620€ geringere Investitionskosten auf.

Zur Bestimmung des Wirkungsgrades sind unterschiedliche Ansätze in Verwendung, unter anderem der Tank-to-Wheel sowie der Well-to-Wheel Ansatz. Der Well-to-Wheel Wirkungsgrad beinhaltet bei einem Elektroantrieb auch die Stromerzeugung, welche in diesem Fall größtenteils mit PV erfolgt. Bei der Tank-to-Wheel Betrachtung eines Elektroautos wird gemessen, welcher Prozentsatz der abgegebenen Batterieleistung als mechanische Leistung auf die Räder übertragen werden kann. Diese ist stark von der Außentemperatur, welche Einfluss auf Batteriekapazität und -verluste hat, sowie von der Fahrweise, bedingt durch die bremskraftabhängige Rekuperation der Bremsenergie, abhängig [56]. Beispielsweise liegt der Tank-to-Wheel Wirkungsgrad eines Citroen C-Zero

mit einer Batterieladung von 18,3 kWh gemäß Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) bei einer Außentemperatur von plus 22 °C bei 56 %, bei minus 5 °C bei 22 % [56].

Die Batterie des elektrisch betriebenen Renault Kangoo Z.E verfügt über einen Energieinhalt von 22 kWh [54]. Der Wirkungsgrad des Batterie-Ladevorgangs ist nicht bekannt und wird bei dieser Betrachtung vernachlässigt. Entsprechend den Herstellerangaben verbraucht die elektrisch betriebene Version 15,5 kWh/100 km gemäß NEFZ [54]. Bei 0,06 €/kWh entgangener Einspeisevergütung ergeben sich Kosten von 0,93 €/100 km sofern die Ladeenergie ausschließlich von der eigenen PV-Anlage bereitgestellt wird. Die jährlich im Zuge des Selbstvermarktungsbetriebs zurückgelegten 10.000 km würden gesamt mit 1.550 kWh zu Buche schlagen, die mit dem PV-Überschuss von 2.023 kWh bereitzustellen wären. Für eine detaillierte Rechnung wären noch die Erzeugungscharakteristik der PV-Anlage und die Ladedauer der Batterie, welche von 0 % auf 100 % Ladung mit sechs bis neun Stunden angegeben wird - sowie von 20 % auf 80 % Ladung mit 4,5 Stunden, zu berücksichtigen. Nicht berücksichtigt sind in dieser Berechnung etwaige Förderungen und Steuervergünstigungen, welche den Anschaffungspreis reduzieren sowie die Kosten für Instandhaltung und Versicherung.

Die laufenden Kosten pro Jahr für die entgangene Einspeisevergütung und die monatliche Batteriemiete von 73 € p.M. bei 10.000 km Fahrleistung [54] belaufen sich auf 969 €. Dem stehen Treibstoffkosten für die dieselbetriebene Variante bei Mix-Normverbrauch von 5 l/100km [55] bei 1,3 € je Liter Diesel von 650 € p.a. gegenüber, woraus ersichtlich ist, dass der Elektroantrieb bei einer Fahrleistung von 10.000 km höhere Betriebskosten als der Dieselantrieb verursacht. Für den Betrieb D4 stellt das Elektroauto beim derzeitigen Stand der technischen Entwicklung und der Preisstruktur keine Alternative dar. Eine Aufladung, welche nicht zur Gänze aus der elektrischen Energie der PV-Anlage bereitgestellt werden könnte, würde durch den zusätzlich nötigen Netzbezug zusätzliche Kosten verursachen.

Abschließend erfolgt eine theoretische Betrachtung für eine Fahrleistung von 30.000 km p.a., entsprechende Fahrleistung und PV-Überschusseinspeisung vorausgesetzt. Für den E-Antrieb belaufen sich die laufenden Kosten inklusive Batteriemiete von 126 € p.M. [54] auf jährlich 1.791 € bei ausschließlicher Aufladung durch überschüssigen PV-Strom, verglichen mit den Treibstoffkosten von 1.950 € p.a. für das Dieselfahrzeug. Die jährliche Kostenersparnis von 159 € steht eine Mehrinvestition für das Elektrofahrzeug im Vergleich zum dieselbetriebenen Fahrzeug von 7.620 € gegenüber. Bei statischer Betrachtung würde die jährliche Betriebskostenersparnis erst nach 48 Jahren die höhere Anfangsinvestition aufwiegen. Partieller Netzbezug der Ladeenergie würde wie im obigen Berechnungsbeispiel eine negative Auswirkung auf die Amortisationsdauer haben. Eine übersichtliche Darstellung der Ergebnisse liefert Tabelle 6.9. Die Gewährung einer Anschaffungsförderung würde die Amortisationsdauer senken. So wurde im Jahr 2012 Unternehmen die Anschaffung eines mehrspurigen Elektrofahrzeugs vom Lebensministerium mit 5.000 € gefördert, sofern es mit Ökostrom betrieben wird [57]. Für das konkrete Beispiel würde sich dadurch die statische Amortisationsdauer bei einer jährlichen Laufleistung von 30.000 Kilometer um 65 % auf

16,5 Jahre reduzieren. Dieses Beispiel zeigt die Relevanz von Förderungen bezüglich der Wirtschaftlichkeit von Elektrofahrzeugen bei der derzeitigen Preissituation.

Tabelle 6.9: Kostenvergleich für Diesel- und Elektrofahrzeug bei unterschiedlicher jährlicher Laufleistung

Art der Antriebs	Diesel	Elektro10 ¹⁵	Elektro30 ¹⁶
Anschaffungsmehrkosten ggü. Dieselfahrzeug in €:	---	7.620	7.620
Batteriemiete pro Monat in €:	---	73	126
Energiekosten ¹⁷ in €/100km:	6,50	0,93	0,93
Betriebskostendifferenz ggü. Dieselfz. pro Jahr in €:	---	+319	-159
Statische Amortisationsdauer in a:	---	Inf.	48

6.6.5 Zusammenfassung Direktvermarktung

In den vier Direktvermarktungsbetrieben werden sieben Nebenproduktionszweige ausgeübt, woraus eine beträchtliche Variation der einzelnen Betriebsausstattungen resultiert. Die Lastgänge der Direktvermarktungsbetriebe weisen daher starke Unterschiede auf. Als gemeinsame Elemente der analysierten Direktvermarktungsbetriebe können lediglich die Verkaufs- und Kühlräume identifiziert werden. Der Automatisierungsgrad und die Produktionsmengen in den Nebenproduktionszweigen sind gering im Vergleich zu spezialisierten Betrieben. Aufgrund der genannten Unterschiede können keine Kernpunkte für eine gezielte Zusammenfassung der Direktvermarktungsbetriebe gefunden werden. An dieser Stelle sei auf die Analyse der Betriebe D1 bis D4 sowie die Analysen der entsprechend spezialisierten Betriebe verwiesen.

Die speziell bei Direktvermarktungsbetrieben auftretenden Prozesse wurden in den Abschnitten 6.6.1 bis 6.6.4 analysiert. Aufgrund des geringen Automatisierungsgrades konnten einige Lastmanagementmaßnahmen aufgezeigt werden, deren Umsetzung einen an die PV-Erzeugung angepassten Betriebsablauf voraussetzt. Dies beinhaltet auch ein bewusstes Handeln des Landwirtes.

¹⁵ bei Laufleistung 10.000 km p.a.

¹⁶ bei Laufleistung 30.000 km p.a.

¹⁷ Energiekosten bei Aufladung ausschließlich mit überschüssiger PV-Erzeugung

6.7 Urlaub am Bauernhof^G

6.7.1 Betrieb U1^G

Zur betriebsübergreifenden Vergleichbarkeit wird die Energieintensität einer Nächtigung errechnet. Von den verbrauchsstärksten Tagen liegen nur drei der 30 stärksten Tage im Sommerhalbjahr. Unter Berücksichtigung dieses saisonalen Unterschiedes ergeben sich 2,4 kWh/Nächtigung im Winterhalbjahr (Oktober bis inklusive März) und 1,4 kWh/Nächtigung im Sommerhalbjahr. Die Hauptgründe für diese Unterschiede dürften in den Bereichen Heizung/WW und Beleuchtung liegen. Heizenergie und WW wird über Fernwärme bereitgestellt. Hier verbleiben die im Haus installierten Heizungs- und Brachwasserpumpen als Verbraucher.

LED Beleuchtung für Zimmer und Appartements:

Die Kategorie Beleuchtung stellt im Beherbergungsbetrieb mit 7,9 kW Gesamtleistung aller Leuchtmittel eine der energieverbrauchsintensivsten dar. Sowohl in den Zimmern und Appartements als auch im gemeinschaftlich genutzten Bereich sind ausschließlich konventionelle Glühlampen und Halogenspots verbaut, wie auch in Tabelle 5.37 angeführt ist.

Je Zimmerkategorie und je Appartement ist das genaue Nutzerverhalten der Zimmergäste nicht bekannt. Daher wird für die am häufigsten eingesetzten Leuchtmittel die Amortisationsdauer für die Umstellung auf LED in Stunden angegeben. Weiters wird die Energieeinsparungsmöglichkeit durch durchgehende Umrüstung auf LED mit dem realen Lastgang einer voll ausgelasteten Woche simuliert.

Mit 1. September 2012 ist Stufe Vier der Verordnung 244/2009 der EU Kommission in Kraft getreten. Durch die für diese Stufe definierten technischen Parameter kommt sie einem Verbot für Glühlampen mit einer elektrischen Leistungsaufnahme von 25 W oder höher gleich. [58] Aus diesem Grund werden für den Vergleich Halogen-Glühlampen statt konventioneller Glühlampen als Alternative mit hoher Leistungsaufnahme herangezogen. Als Vergleichsparameter dient der Lichtstrom, welcher aufgrund der stark unterschiedlichen Watt-Angaben der einzelnen Technologien als aussagekräftiger gilt. Da ein genaues Nutzungsprofil der Zimmer nicht vorliegt, erfolgt die Angabe der Amortisationsdauer der Leuchtmittel in Betriebsstunden. Für die Berechnung der Gesamtkosten wurden 40.000 Betriebsstunden herangezogen, um die Vergleichbarkeit mit den in Abschnitt 6.10.1 berechneten Leuchtmitteln zu gewährleisten.

Für den Vergleich der E27-Type wurden zwei LED-Modelle mit der Halogenlampe verglichen (s. Tabelle 6.10). Dabei fällt auf, dass für das günstigere der beiden LED-Modelle sowohl eine längere Lebensdauer als auch ein höherer Lichtstrom angegeben ist. Diese Herstellerangaben zu überprüfen ist nicht möglich, aus diesem Grund sollten als Entscheidungshilfe für die Anschaffung aktuelle Testberichte herangezogen werden. Das günstigere LED-Leuchtmittel weist im Vergleich zum Halogenleuchtmittel eine

Amortisationsdauer von 1.684 Betriebsstunden auf, die Amortisationsdauer beträgt 2.236 Stunden für das teurere LED-Modell. Bezüglich der Ersparnis über die Lebensdauer weist das günstigere Modell mit 232,90 € eine nahezu doppelt so hohe Ersparnis auf als die Vergleichslampe mit 124,08 €.

Tabelle 6.10: Gegenüberstellung von LED- und Halogenleuchtmitteln für Fassungsart E27

Leuchtmittel in der Fassungsart E-27	Halogen	LED1	LED2
Lichtstrom in lm:	700	840	810
Leistung in W:	46	10	10
Anschaffungskosten in €:	1,60	11,99	17,00
Lebensdauer in h:	2.000	35.000	20.000
Benötigte Leuchtmittel für 40.000 Betriebsstunden:	20	2	2
Energieverbrauch bei 40.000 Betriebsstunden in kWh:	1840	400	400
Gesamtkosten nach 40.000 Betriebsstunden in €:	347,56	92,58	102,60
Amortisationsdauer LED (Betriebsstunden) in h:	---	1.684	2.236
Ersparnis bei LED (Lebensdauer) in €:	---	232,90	124,08

Halogen siehe [59], LED1 siehe [60], LED2 siehe [61], Strompreis: 0,1715 €/kWh

Für die eingesetzten Niedervolt-Spots zeigt sich eine geringere Ersparnis durch die Umrüstung auf LED, sie liegt bei 91,90 € bzw. 81,60 € (s. Tabelle 6.11). Wieder zeigen sich starke Unterschiede in der Amortisationsdauer, diese ist für das teurere Modell des renommierten Herstellers mit 3.179 Betriebsstunden um 91 % höher als beim günstigeren Modell.

Tabelle 6.11: Gegenüberstellung von LED- und Halogenleuchtmitteln für Fassungsart GU5.3

Leuchtmittel in der Fassungsart GU5.3	Halogen	LED1	LED2
Lichtstrom in lm:	---	320	210
Leistung in W:	20	4	5
Anschaffungskosten in €:	2,33	6,99	13,00
Lebensdauer in h:	2.000	25.000	25.000
Benötigte Leuchtmittel für 40.000 Betriebsstunden:	20	2	2
Energieverbr. nach 40.000 Betriebsstunden in kWh:	800	200	200
Gesamtkosten nach 40.000 Betriebsstunden in €:	183,80	48,28	60,30
Amortisationsdauer LED (Betriebsstunden) in h:	---	1.702	3.244
Ersparnis bei LED (Lebensdauer) in €:	---	91,90	81,60

Halogen siehe [62], LED1 siehe [60], LED2 siehe [63], Strompreis: 0,1715 €/kWh

Für die Berechnung der Verbrauchsreduktion bedingt durch die Umstellung auf LED-Beleuchtung wurde eine Woche mit einer Auslastung der Betten von 100 % ausgewählt. Diese Vollausslastung war nach Auskunft der Betreiber in der Woche rund um Neujahr gegeben, woraufhin das Zeitintervall von 30.12.2012 bis 05.01.2013 analysiert wurde. In diesem Zeitraum fanden zusätzlich zur Vollausslastung der Betten auch an sechs von sieben Abenden Feiern statt. Der gemittelte Tageslastgang für diesen Zeitraum ist in Abbildung 6.22 dargestellt. Deutlich ersichtlich ist auch, dass 100 % EV im betrachteten Zeitraum erzielt

wurde, was sowohl aus der geringen jahreszeitbedingten PV-Erzeugung als auch aus dem hohen betrieblichen Stromverbrauch resultiert.

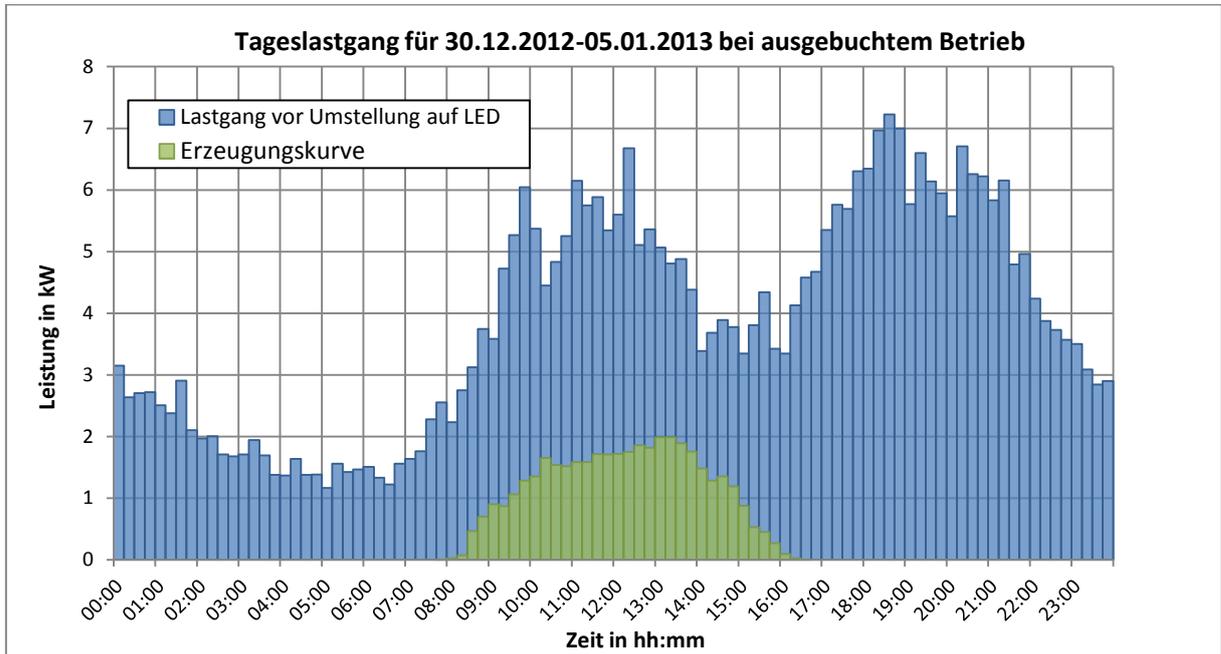


Abbildung 6.22: Gemittelter Tageslastgang für 30.12.2012-05.01.2013 bei ausgebuchtem Betrieb U1

Unter Berücksichtigung der winterlichen Lichtverhältnisse wurden für die Beleuchtung für Zimmer und Apartments sieben Betriebsstunden pro Tag angenommen, sowie zwölf Stunden für den allgemein zugänglichen Teil bestehend aus Aufenthaltsräumen, Rezeption und Stiegenhaus. Die Nutzung der Beleuchtung des Seminarraums liegt an sechs Tagen der betrachteten Woche bei zehn Stunden. Der Gleichzeitigkeitsfaktor (GZF) wird je Zimmer mit 0,7 abends und 0,15 morgens und je Appartement mit 0,4 abends und 0,15 morgens geschätzt. Für den allgemein zugänglichen Teil und den Seminarraum wird der GZF mit 0,6 angenommen.

Als Ergebnis zeigt der Lastgang in Abbildung 6.23 die durch konsequente Umrüstung auf LED-Leuchtmittel erzielte Reduktion des Verbrauchs. Es errechnet sich ein um durchschnittlich 26,6 kWh pro Tag verringerter Energieverbrauch für die Gegebenheiten im betrachteten Zeitraum unter Vollausslastung der Betten und Veranstaltungen an sechs von sieben Tagen.

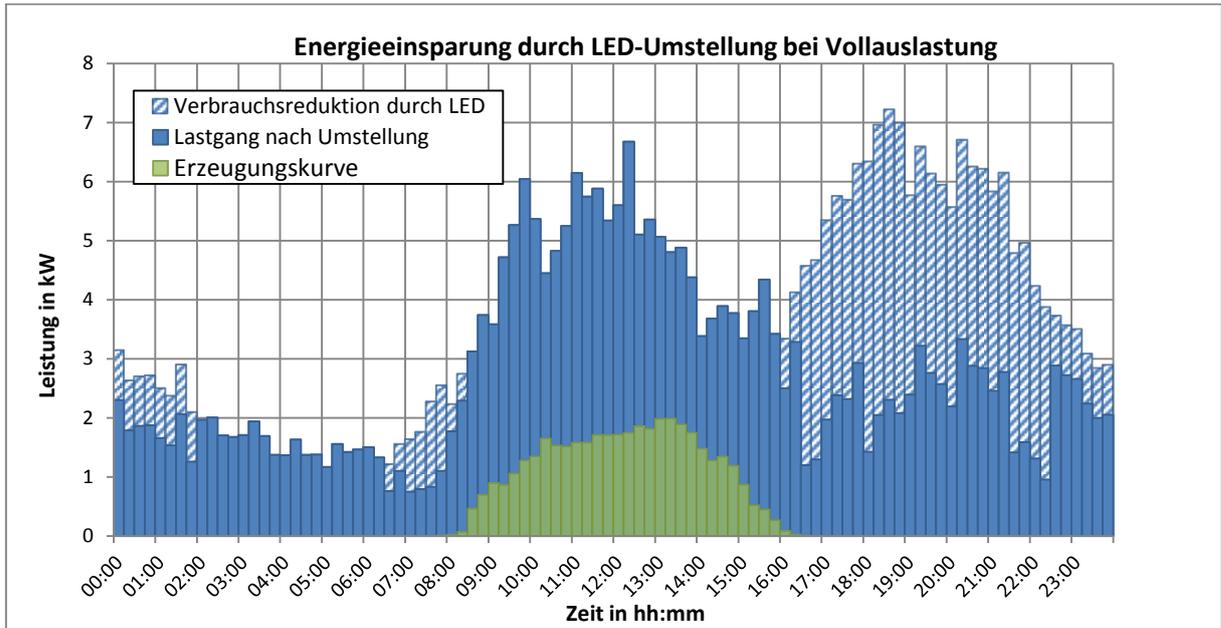


Abbildung 6.23: Lastgangverlauf bei Umstellung auf LED für voll belegten Betrieb U1

Effizienzsteigernde Maßnahmen:

- **Standby-Schaltung für Zimmer und Apartments:**

Standby-Schaltung: Diese könnte für die Kombination aus Fernsehgerät und Satellitenreceiver im einfachsten Fall aus einer schaltbaren Steckdosenleiste bestehen. Momentan werden diese Elektrogeräte bei nicht gebuchten Räumen nicht vom Netz getrennt. Im Fall eines Leerstandes könnte durch das Reinigungspersonal die Videoanlage je Zimmer spannungsfrei geschaltet werden. Der Standby Verbrauch des in den Ferienwohnungen verbauten Fernsehgeräts beträgt 0,3 Watt [64], für den Satellitenreceiver wird ein Geräte-typischer Durchschnittswert von 5 Watt [65] angenommen, welcher aus der fundierten Datenbank des EU-Projektes „SELINA“ entnommen wurde. Der Bedarf liegt bei einer Einheit je Zimmer und Apartment und somit insgesamt bei zehn Einheiten. Bei jährlich 175 Tagen Leerstand würden sich bei konsequenter Anwendung der Standby-Schaltung eine Energieeinsparung von insgesamt 223 kWh p.a. bzw. 38,2 € p.a., bei Energiebezug ausschließlich aus dem Netz, ergeben. Eine effizientere Maßnahme würde ein Hotelcard-Schalter darstellen, welcher zu einem Nettopreis von 48,30 € exklusive Installation [66] verfügbar ist. Diese in Hotels übliche Art der Installation trennt beim Abziehen des Zimmerschlüssels alle Verbraucher mit Ausnahme des Kühlschranks vom Netz, wodurch Standby Verluste minimiert werden.

- **Kochmöglichkeit:**

In den Apartments könnten Induktionskochfelder statt der momentan benutzten Kochplatten eingesetzt werden. Aufgrund der wenigen Betriebsstunden verglichen mit einem täglich genutzten Elektroherd im Wohnbereich würden sich sehr lange Amortisationsdauern ergeben.

- **Warmwassererzeugung:**

Mit einer Umwandlung des überschüssigen PV-Stromes in Wärme könnte der Wärmebezug vom Fernheizwerk reduziert werden. Die Fixkosten des Wärmebezugs würden sich dadurch aber nicht verringern. Nachteilig wirkt sich auch aus, dass derzeit im Beherbergungsbetrieb keine Infrastruktur für die Speicherung einer dem Verbrauch angemessenen Menge Warmwassers in Form von Pufferspeichern oder WW-Speichern vorhanden ist.

Es zeigt sich, dass in den Unterkünften durch gezielte Maßnahmen und den Einsatz moderner Geräte eine Energieverbrauchsreduktion erzielt werden könnte, ohne den Komfort für den Kunden zu verringern.

Maßnahmen des DSM:

Im HH des Betriebes sind zwei Waschmaschinen und ein Wäschetrockner im Einsatz, welche bei belegten Zimmern mehrmals täglich im Einsatz sind. Durch bewusste Nutzung oder Einsatz eines Eigenverbrauchsreglers könnte der EV-Anteil gesteigert werden.

Zusammenlegung auf einen einzigen Smart-Meter:

Der landwirtschaftliche Bereich des Betriebes wird über einen separaten Zähler abgerechnet, welcher nicht mit dem Smart Meter der PV-Anlage gekoppelt ist. Ein Standbein der LW stellt die Heuproduktion dar, welche beginnend mit der ersten Mahd im April für einen hohen Stromverbrauch in Zeiten mit aktiver Heubelüftung sorgt. Da im BZR in den Monaten April, Mai und Juni die geringste EV-Quote erreicht wurde, könnte sich durch die Zusammenlegung auf einen Energiezähler eine deutliche Steigerung des EV-Anteils erreichen lassen.

6.8 Obstbau^G

6.8.1 Betrieb O1^G

Überschüssiger PV-Strom fällt hauptsächlich in den Monaten März bis Juni an. Saisonal bedingt ist der Großteil der Ernte in diesen Monaten bereits verarbeitet, wodurch hauptsächlich der Hofladen, die Kühlung sowie der HH für den Verbrauch sorgen.

Kühlung:

Eine weitere Optimierung der Laufzeit der Kühlanlagen durch späteres Einschalten oder noch stärkere Reduzierung der Betriebsstunden über die installierte Zeitschaltuhr wären möglich. Direkt nach dem Einschalten um 07:30 beginnen die Kühlanlagen, den nächtlichen Temperaturanstieg in Kühlräumen auszugleichen. Somit entsteht durch die leistungsstarken Kompressoren eine Verbrauchsspitze. Zu beachten ist dabei, dass die aus dem Lastgang ableitbare Leistungsaufnahme der zeitgesteuerten Kühlanlagen mit maximal 6,4 kW deutlich unter der Leistung der 12 kWp PV-Anlage liegt. Da die höchste Kühllast ab der Ernte eintritt, wenn die EV-Quote ohnehin um die 90 % liegt, lässt sich durch die Verschiebung der Kühlzeiten im Vergleich zur Stauchung der Betriebsdauer weniger EV-Zuwachs erzielen. Bei der Reduzierung der Betriebszeiten müsste das Erreichen der geforderten Kühltemperatur in der Umstellungsphase überwacht werden, um die Qualität des gelagerten Obstes nicht zu beeinträchtigen.

Umstellung der verbliebenen konventionellen Leuchtmittel auf LED:

Im Verkauf- und Verkostungsbereich sind noch einige Leuchtmittel vorhanden, welche noch nicht auf LED umgestellt sind. Da der Verkaufsraum an 6 Tagen der Woche für je 10 Stunden beleuchtet ist, erweist sich eine Umstellung dort als besonders sinnvoll. Die Leistung der Lampen, welche nicht LED-Leuchtmittel sind, beträgt in Summe derzeit nur noch 0,235 kW. Leuchtmittel mit hohen Betriebsstunden, welche auf LED umgestellt werden sollten, sind die zwei 58 Watt Leuchtstoffröhren im Wirtschaftsraum.

Verbrauch in Personalwohnungen:

Die Personalwohnungen sind während der Erntezeit voll bewohnt. Die elektrischen Verbraucher, wie E-Herd, Kühlschrank oder Waschmaschine werden in diesen Zeiten stark ausgelastet. Die verwendeten Geräte weisen teilweise schon viele Betriebsjahre auf. Als Effizienzmaßnahme kann bei Ersatzinvestitionen in Weißware und Kochplatten auf effiziente Geräte geachtet werden.

Für die Steigerung des Eigenverbrauchs sollte das Personal angewiesen werden, die täglichen Waschgänge der Waschmaschinen über Zeitvorwahl auf die Mittagszeit zu legen. Da nicht alle verwendeten Waschmaschinen diese Zeitvorwahlfunktion aufweisen, ist eine

eigene Vorgangsweise nötig: Für die ältesten der verwendeten Waschmaschinen, welche noch über keine Elektronik verfügen, ist das Waschprogramm zu wählen und die Maschine zu starten. Anschließend wäre die Maschine durch Ziehen des Netzsteckers vom Netz zu trennen und anschließend mit der eingestellten Zeitschaltuhr wieder einzustecken.

Zusammenlegung der Abrechnung des Betriebes auf einen einzigen Smart-Meter:

Der Jahresverbrauch von rund 25.000 kWh elektrischer Energie für die Schnapsbrennerei und die Biomassefeuerungen laufen derzeit über einen separaten Zähler. Das Volumen, welches drei Viertel des Verbrauches von LW und HH entspricht, kann derzeit trotz des großen Potentials nicht mit elektrischer Energie der PV-Anlage in einer EV-erhöhenden Form versorgt werden. Die Schnapsbrennerei ist ab dem Einsetzen der Ernte bis März, in Jahren mit großem Bedarf auch bis April, in Betrieb. Das Heizwerk verfügt über eine maximale Wärmeleistung von 300 kW und liefert WW an mehrere Gebäude, entsprechend starke Pumpen sind hierfür ganzjährig im Einsatz. Der Betrieb erfolgt ganzjährig. Mit einer Änderung der Vereinbarung der täglichen Zeiten der Warmwasserlieferung könnte die EV-Quote bei Vereinheitlichung auf ein Smart Meter von derzeit 85 % weiter erhöht werden. Die Durchführung dieser Maßnahme hätte keine Investitionskosten zur Folge, abzuklären ist aber die Umsetzbarkeit aufgrund der vorhandenen Aufteilung des Betriebes auf einen landwirtschaftlichen und einen gewerblichen Teil. Für den Fall der Umsetzung dieser Maßnahme plant der Betriebsführer den Ausbau der PV-Anlage.

6.8.2 Betrieb O2^G

Wärmerückgewinnung aus Kühlaggregaten:

Die Berechnung zur Wärmerückgewinnung wurde für die größere der beiden Kälteanlagen mit zwei Kältekompressoren zu je 11,8 kW Kälteleistung durchgeführt. Bei dieser Anlage ist das Kühlmittel R404a im Einsatz. Die Dimensionierung wird für zwei Varianten durchgeführt.

Bei Variante 1 wird die Abwärme (Vollkondensation oder Verflüssigung) der Kälteanlage genutzt. Bei einlaufseitig 30 °C Bemessungstemperatur des Wärmetauschers können unter Vollast 36,3 kWh Wärmemenge je Stunde gewonnen werden. Dadurch ist ein Durchfluss von 3129 l/h bei einer Wasseraustrittstemperatur von 40 °C möglich. [67]

In der Variante 2 wird nur die Enthitzungsenergie der Verflüssigungsleistung genutzt. Dadurch können 7,6 kWh Wärmemenge je Stunde genutzt werden, um nach Erreichen der einlaufseitigen Berechnungstemperatur von 40 °C des Wärmetauschers 435 l Wasser pro Stunde auf 55 °C zu erwärmen. [67]

Warmwassererzeugung:

Durch die Spezialisierung des Betriebs O2 exklusiv auf die Apfelproduktion und-einlagerung und damit saisonal bedingten Lastverlauf ist eine Fokussierung der EV-steigernden

Maßnahmen auf die Monate März bis September nötig. Eine Einbringung der Überschusserzeugung in das Heizungs- bzw. Warmwassersystem wäre denkbar. Allerdings steht diese Maßnahme in Konkurrenz zur Hackschnitzelheizung und zur bereits vorhandenen thermischen Solaranlage. Die Hackschnitzel werden aus dem betriebseigenen Wald gewonnen. Die solarthermische Anlage unterstützt das Heizungssystem. In den Monaten Juni bis August kann die Hackschnitzelfeuerung darüber hinaus außer Betrieb genommen werden. Aus diesen Gründen wird eine Investition in einen Eigenverbrauchsregler mit Heizstab zur Nutzung des PV-Überschusses nicht in Erwägung gezogen.

6.8.3 Zusammenfassung Obstbau

Wird im landwirtschaftlichen Betrieb ausschließlich auf Apfelproduktion gesetzt, ergibt sich ein saisonaler Lastgangverlauf mit dem höchsten Stromverbrauch ab dem Einlagern der Ernte im Herbst, welcher in den darauffolgenden Monaten kontinuierlich abnimmt und nach dem Öffnen des letzten CA-Lagers stark absinkt. Somit ergibt sich der geringste betriebliche Stromverbrauch in den Monaten der stärksten PV-Erzeugung. Für eine Maximierung des Eigenverbrauchs sollte der saisonale Stromverbrauch in der Planung der PV-Anlage berücksichtigt werden, um eine Überdimensionierung zu vermeiden.

Betrieb O1 erzielt rund 90 % seines Umsatzes aus Direktvermarktung, daher hätte er auch in der Sparte D eingereicht werden können. Da der Fokus der Produkte mit Saft, Schnaps, Marmelade und Dörrobst eindeutig auf der Ernte aus dem Obstbau beruht wurde diese Umgruppierung nicht vorgenommen. Betrieb O1 verfügt im Vergleich zu Betrieb O2 über zwei Vorteile, welche sich positiv auf den EV auswirken. Bei O1 werden einerseits mehrere Obstsorten kultiviert, was eine längere Auslastung der Kühlanlagen bewirkt, andererseits werden Veredelungsschritte wie Marmeladen- und Saftproduktion sowie die anschließende Vermarktung im Betrieb durchgeführt. Daraus resultiert der EV von 84,8 % für Betrieb O1, welcher deutlich höher liegt als in Betrieb O2 mit 55,0 %.

6.9 Gemüsebau^C

6.9.1 Betrieb GB1^C

Landmaschinen- und Salatkistenreinigung:

Die Reinigung der Landmaschinen wird wöchentlich unter Einsatz eines 6,5 kW Hochdruckreinigers durchgeführt. Die Reinigungsdauer beträgt etwa 1,5 h, woraus bei durchgängigem Einsatz des Hochdruckreinigers ein jährlicher Energieverbrauch von 508 kWh resultiert. Der Reinigungsprozess kann über mehrere Tage verschoben werden und sollte daher vorausschauend durchgeführt werden um unter Ausnutzung von Überschüssen aus der PV-Erzeugung eine Steigerung der EV-Quote zu erzielen. Da der Hochdruckreiniger auch in Zeitpunkten mit maximaler PV-Erzeugung nahezu die gesamte Energie der 8,25 kWp PV-Anlage verbraucht, sollte der Parallelbetrieb mit anderen Großverbrauchern im Hinblick auf die Steigerung der EV-Quote vermieden werden.

Die Reinigung der Salatkisten wird im Anschluss an die Einlagerung der Salatköpfe und somit parallel zur Kälteerzeugung im Kühlraum durchgeführt. Die elektrische Gesamtleistung der im Kühl- und Reinigungsprozess eingesetzten Verbraucher übersteigt die Erzeugungsleistung der PV-Anlage, weshalb auch in Zeitpunkten mit maximaler Erzeugung Energie aus dem Netz bezogen wird. Zur Steigerung der EV-Quote sollte eine zeitliche Entkopplung dieser beiden Prozesse vorgenommen werden. Eine Verschiebung des Kühlprozesses ist ohne Beeinträchtigung der Produktqualität nicht möglich. Folglich kann die Entkopplung der Prozesse nur durch Verschiebung des Reinigungsprozesses erzielt werden.

Kälteerzeugung:

Nach der Einlagerung der Salatköpfe wird der Kühlraum auf 4 °C heruntergekühlt. Über eine Temperaturregelung werden die im Tagesverlauf auftretenden Isolationsverluste ausgeglichen, um so die Kühlraumtemperatur im Intervall von 4 °C bis 6 °C zu halten. Die Einlagerung der Salatköpfe findet am späten Vormittag statt, wodurch der Energieverbrauch der daran anschließenden Kälteerzeugung bei vorhandener PV-Erzeugung mittels PV-Energie gedeckt wird. Der Ausgleich der Isolationsverluste hingegen erfolgt zyklisch und im gesamten Tagesverlauf, wodurch die hierfür benötigte Energie größtenteils aus dem Netz bezogen wird.

Durch den Einsatz eines Kältespeichers kann die für den Ausgleich der Isolationsverluste benötigte Kälte in Zeitpunkten mit PV-Überschuss erzeugt und bei Bedarf wieder aus dem Kältespeicher entnommen werden. Die ausschließliche Verwendung von überschüssiger PV-Energie zur Kälteerzeugung kann mittels dafür ausgelegter Regelungen gewährleistet werden. Berechnungen hinsichtlich des Kältespeichers können im Rahmen dieser Arbeit aufgrund der Komplexität dieser Thematik nicht durchgeführt werden.

6.10 Weinbau^C

6.10.1 Betrieb W1^C

Beleuchtung:

Im Hauptgebäude erfolgt die Beleuchtung hauptsächlich mittels Leuchtstofflampen und in Form indirekter Beleuchtung. Die exakte Anzahl der Lampen konnte im Zuge der Vor-Ort Analyse nicht ermittelt werden, da sämtliche Zimmer vermietet waren. Vom Landwirt wurde die Anzahl der 58 W Leuchtstofflampen mit zumindest 83 Stück und die Anzahl der 18 W Leuchtstofflampen mit zumindest 9 Stück beziffert.

Durch den Austausch der Leuchtstoffröhren gegen LED-Röhren kann der durch die Beleuchtung verursachte Energieverbrauch stark gesenkt werden. Aufgrund der gegenwärtig noch sehr hohen Anschaffungskosten der LED-Röhren amortisieren sich diese erst nach 20.106 bzw. 36.730 Betriebsstunden (s. Tabelle 6.12). Eine absolute Amortisationsdauer kann aufgrund fehlender Informationen hinsichtlich der Einsatzzeiten der Beleuchtung nicht angeführt werden. Der Einsatz der LED-Röhren führt auf die Lebensdauer der LED-Röhren bezogen zu einer Ersparnis von 3,6 € bzw. 90,7 € gegenüber dem Einsatz von Leuchtstoffröhren.

In der Berechnung sind die anfallenden Kosten für die Ersatzbeschaffung der Leuchtstoffröhren inkludiert. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass der Lichtstrom der 1.500 mm langen LED-Röhre um 2.320 Lumen (lm) bzw. 44,6% geringer als bei der vergleichbaren Leuchtstoffröhre ist. Bei der 590 mm langen Röhre ist der Lichtstrom der LED-Röhre um 315 lm bzw. 23,3% geringer.

Die Umrüstung auf LED-Röhren verursacht Kosten in der Höhe von 8.186 € und führt, auf die Lebensdauer der LED-Röhren bezogen, zu einer Ersparnis in der Höhe von 7.561 €. Der Unterschied hinsichtlich des Energieverbrauchs liegt bei 88.660 kWh. Zur Steigerung der Energieeffizienz wird der Umstieg auf die LED-Technologie trotz hoher Anschaffungskosten empfohlen.

Im Nebengebäude wurde bereits von Glühlampen auf LED-Leuchtmittel umgestellt.

Tabelle 6.12: Gegenüberstellung von Leuchtstoffröhre und LED-Röhre

	Leuchtstoffröhre		LED-Röhre	
	590	1.500	590	1.500
Länge der Röhre in mm:	590	1.500	590	1.500
Leistung in W:	18	58	11,5	32
Anschaffungskosten in €:	1,65	2,0	45,9	93,65
Lebensdauer in h:	18.000		40.000	
Benötigte Leuchtmittel für 40.000 Betriebsstunden:	3		1	
Energieverbr. bei 40.000 Betriebsstunden in kWh:	720	2.320	460	1.280
Amortisationsdauer LED (Betriebsstunden) in h:	---	---	36.730	20.106
Gesamtkosten nach 40.000 Betriebsstunden in €:	128,4	403,9	124,8	313,2
Ersparnis bei LED (Lebensdauer) in €:	---	---	3,6	90,7

Preise: [61]; Strompreis: 0,1715 €/kWh

Gästezimmer:

Jedes der acht Gästezimmer verfügt über ein TV-Gerät. Im Standby-Betrieb beträgt die Leistungsaufnahme von Geräten dieser Größe durchschnittlich 2,0 W bis 2,5 W [68]. In Zeiträumen in denen die Zimmer nicht vermietet sind, sollten die Geräte vom Netz getrennt werden. Dies kann beispielsweise mittels schaltbarer Steckdosenleiste einfach durchgeführt werden. Um den Standby-Verbrauch auch zu vermeiden wenn die Zimmer zwar vermietet jedoch die Gäste nicht anwesend sind, sollte der Einsatz von Hotelcard-Schaltern in Betracht gezogen werden. Hierbei wird beim Verlassen des Zimmers die Karte aus dem Schalter gezogen und die bei Leerstand nicht benötigten Verbraucher werden vom Netz getrennt. Exklusive Installation sind derartige Schalter ab netto 48,30 € verfügbar [66].

Bei einer geschätzten Dauer von acht Stunden in denen die Übernachtungsgäste nicht im Zimmer sind, wären die acht TV-Geräte durch den Einsatz von Hotelcard-Schaltern in Summe 11.712 Stunden des Betrachtungszeitraums vom Netz getrennt. Dies führt bei einer Standby-Leistung von 2,0 W pro TV-Gerät zu einer gesamten Energieeinsparung von 23,4 kWh bzw. 29,3 kWh bei 2,5 W Standby-Leistung je TV-Gerät.

Laut Landwirt liegt die Auslastung der Zimmer während der Urlaubssaison bei 75 %. Dies entspricht 1.464 Übernachtungen von maximal 1.952 möglichen Übernachtungen und somit 488 nicht gebuchten Übernachtungen im BZR. Ausgehend von einem 24-stündigem Leerstand der nicht gebuchten Zimmer beträgt die insgesamt mittels Hotelcard-Schalter erzielbare Energieeinsparung für die acht TV-Geräte im BZR ebenfalls 23,4 kWh bei 2,0 W Standby-Leistung bzw. 29,3 kWh bei 2,5 W Standby-Leistung.

Die außerhalb der Urlaubssaison anfallenden Standby-Verbräuche werden nicht als mögliches Einsparpotential gewertet, da diese ebenso durch Deaktivierung der Sicherung im Sicherungskasten vermieden werden können.

Insgesamt ergibt sich für den BZR durch den Einsatz von Hotelcard-Schaltern eine Energieeinsparung zwischen 46,8 kWh und 58,6 kWh pro TV-Gerät. Bei einem Strompreis von 0,1715 € je kWh entspricht dies einer jährlichen Einsparung von maximal 10,05 €. Dieser Einsparung stehen Investitionskosten von netto 386,40 € zuzüglich Installationskosten gegenüber. Für den Betrieb W1 wird die Installation derartiger Schalter somit als unwirtschaftlich bewertet. Bei Berücksichtigung nicht abgeschalteter Beleuchtung könnten durch die Installation dieser Schalter höhere Einsparungen erzielt werden. Die erzielbare Einsparung ist jedoch ausschließlich vom Verhalten der Übernachtungsgäste abhängig und kann aus den verfügbaren Daten nicht ermittelt werden.

Weinkühlung:

Die Lagerung des nicht abgefüllten Weines erfolgt in Großbehältern und unter kontinuierlicher Kühlung mittels Eiswasser, das durch die an den Behältern angebrachten Rohrleitungen gepumpt wird. Charakteristikum einer Eiswasserkühlung ist die von der Kälteerzeugung losgelöste Kühlung des Kühlmediums. Diese Eigenschaft kann genutzt werden um einen höheren EV an PV-Energie zu erzielen. Zur effektiven Umsetzung dieser Maßnahme muss die Regelung des Kälteaggregats derart erweitert werden, dass ausschließlich überschüssige PV-Energie zur Kälteerzeugung genutzt wird. Diese Anforderung kann durch den Einsatz eines Eigenverbrauchsreglers erfüllt werden (s. Abschnitt 3.3). Da keine technischen Daten der im Betrieb eingesetzten Eiswasserkühlung ermittelt werden konnten, ist es nicht möglich die Amortisationsdauer der genannten Regelung und die realisierbare Steigerung der EV-Quote zu berechnen.

Brotbackofen:

Der Brotbackofen wird abhängig von der Auslastung der Gästezimmer eingesetzt. Durchschnittlich kann laut Landwirt während der von April bis November andauernden Urlaubssaison eine Einsatzdauer von wöchentlich zweimal 50 Minuten angenommen werden. Daraus resultiert der Energiebedarf des Backofens zu 293 kWh je Urlaubssaison, woraus sich der Beitrag von einem Prozent zum Gesamtstromverbrauch des Betriebes ergibt. Ohne Beeinträchtigung der Produktqualität durch verlängerte Lagerungszeiten ist der Einsatz des Brotbackofens zeitlich nur begrenzt verschiebbar. Jedoch sollte der Backvorgang etwa zwischen 10:00 Uhr und 14:00 Uhr durchgeführt werden, da in diesem Zeitraum der Energiebedarf in den Gästezimmern sehr gering ist und dadurch zumindest bei ausreichend gegebener PV-Erzeugung überschüssige PV-Energie verfügbar ist.

Ferienhaus:

Der Betrieb W1 wird gegenwärtig um ein Ferienhaus erweitert. Neben Beleuchtung, Unterhaltungselektronik und Kühlschrank wird das Ferienhaus mit einem Whirlpool und einem elektrisch beheizten Warmwasserpuffer ausgestattet. Eine weitere Erhöhung der EV-Quote ist durch diese Verbraucher zu erwarten. Da deren Anschlusswerte und Einsatzzeiten gegenwärtig nicht bekannt sind, kann keine Aussage hinsichtlich des zusätzlichen Eigenverbrauchs an PV-Energie getroffen werden.

7 Optimierungspotential bei PV-Anlagen mit Fokus auf die Eigenverbrauchsmaximierung^G

Dieser Abschnitt geht auf Parameter ein, welche Einfluss auf die PV-Erzeugung haben könnten und im Zusammenhang mit der Forderung nach maximalem EV betrachtet werden. Augenmerk wird dabei auf die Ausrichtung der Anlage und auf das betriebsspezifische Anlagendesign gelegt sowie auf die geeignete Auswahl des Wechselrichters.

7.1 Anlagenausrichtung^G

Die jährliche Energieproduktion einer PV-Anlage verringert sich bei einer von 0° Süd abweichenden Ausrichtung. Abgesehen von der Anlagenausrichtung ist für die Durchführung eines Vergleichs eine idente Ausführung und Verschattungsfreiheit der PV-Anlage vorauszusetzen. Im Gegensatz zu volleinspeisenden Anlagen ist für die betrachteten Betriebe die Maximierung des Eigenverbrauchs und somit in vielen Fällen die Streckung der Erzeugungskurve auf möglichst viele Stunden im Tagesverlauf sinnvoll, da über den Tag verteilt auftretende Prozesse mit einer höheren Wahrscheinlichkeit in den Bereich der zeitlich längeren PV-Erzeugung fallen. Eine Möglichkeit dazu stellt die gleichmäßige Aufteilung einer PV-Anlage auf beide Seiten eines Ost-West-orientierten Daches dar. Die dadurch reduzierte Mittagsspitze wirkt sich auch netzentlastend aus [69].

Aus den 19 analysierten Betrieben wurden zwei aussagekräftige Erzeugungsprofile für einen auf realen Messwerten basierenden Vergleich ihrer PV-Erzeugungscharakteristik ausgewählt. Es wird die annähernd Ost/West-ausgerichtete Anlage des Betriebes M2 mit der exakt nach Süden ausgerichteten Anlage von Betrieb D4 verglichen. Tabelle 7.1 zeigt die Daten dieser beiden PV-Anlagen.

Tabelle 7.1: Gegenüberstellung der PV-Anlagen der Betriebe M2 und D4

	Azimut in °	Leistung in kWp	Elevation in °
Betrieb M2 – Anlagenteil 1:	51	3	20
Betrieb M2 – Anlagenteil 2:	39	2,5	40
Betrieb M2 – Gesamtanlage:	---	5,5	---
Betrieb D4 – Gesamtanlage:	0	5	30

Für den Betrieb M2 stellt sich eine höhere PV-Erzeugung am Vormittag ein, was auf die Ost-Ausrichtung des größeren Anlagenteils zurückzuführen ist. Es zeigt sich, dass die Kombination aus beiden Teilanlagen wiederum eine Glockenkurve ergibt (s. Abbildung 7.1), welche dem Erzeugungsprofil einer exakt nach Süden ausgerichteten Anlage ähnelt.

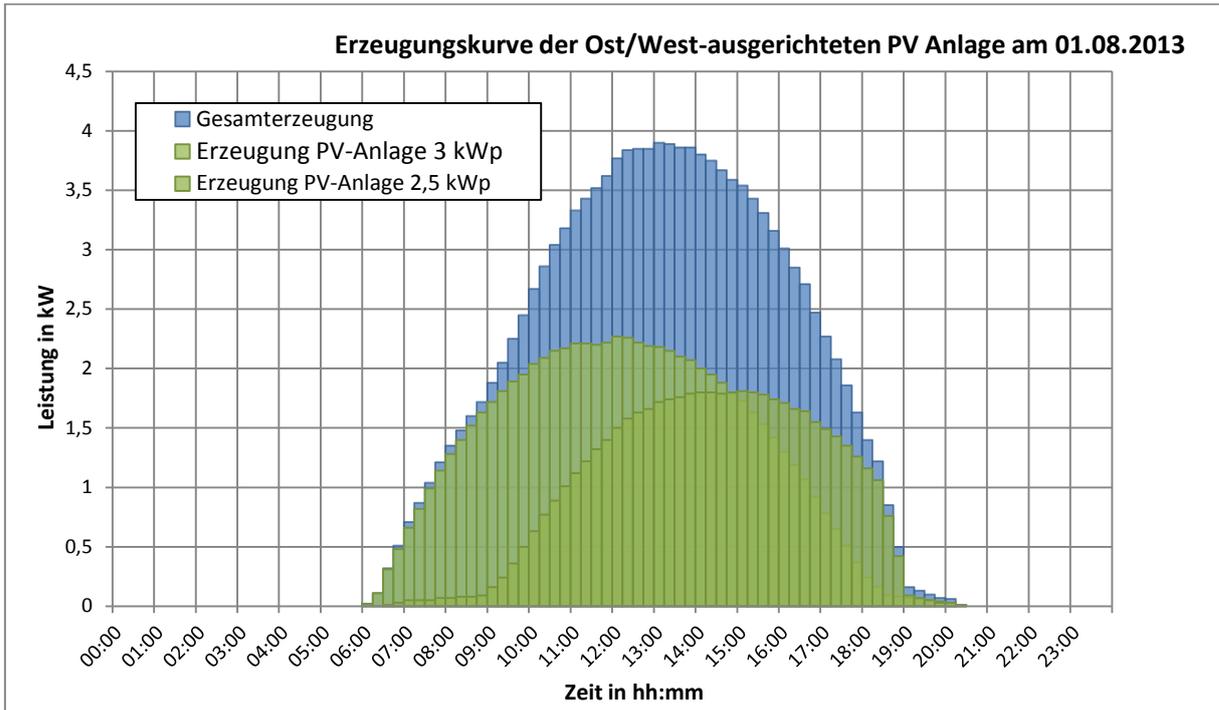


Abbildung 7.1: Erzeugungskurve der PV-Anlage von Betrieb M2

In Abbildung 7.2 werden die exakt nach Süden ausgerichtete Anlage von Betrieb D4 mit der Erzeugung der Ost/West-ausgerichteten Anlage von Betrieb M2 verglichen. Dabei wurden die Werte der 5 kWp Anlage von D4 auf 5,5 kWp hochskaliert. Eine direkte Vergleichbarkeit der Tagesmaximalleistung kann trotz derselben verbauten Module nicht gegeben werden, da zusätzlich zur Ausrichtung auch Neigungswinkel und geographische Position der Standorte voneinander abweichen. Grundsätzlich ist davon aber der Effekt der Ost/West-Ausrichtung auf die Erzeugungsdauer davon nicht beeinträchtigt.

Für den betrachteten Tag ergibt sich mit 31,9 kWh eine um 1,2 % höhere PV-Erzeugung der Ost/West ausgerichteten Anlage gegenüber der exakt nach Süden ausgerichteten Anlage. Begründet ist dies durch die Verschattung der Anlage D4 am frühen Vormittag durch das östlich des Montageorts gelegene Stallgebäude. Am Nachmittag ist keine Verlängerung der Erzeugungskurve an der Ost/West Anlage erkennbar. Dies ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die Ausrichtung der Anlage zurückzuführen. Die Ausrichtung des entsprechenden Anlagenteils im Betrieb M2 beträgt lediglich 39 ° Südwest und entspricht somit nicht dem Idealfall eines exakt 90 ° nach Westen ausgerichteten Anlagenteils.

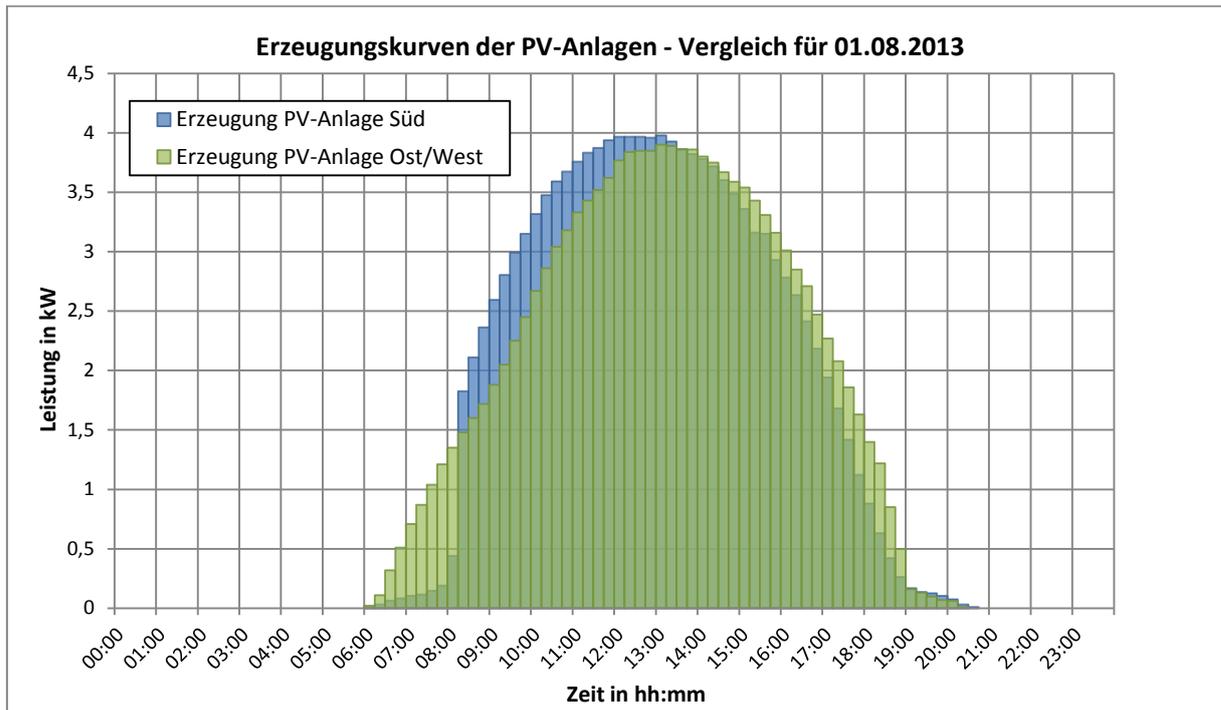


Abbildung 7.2: Vergleich der PV-Erzeugungskurven der Betriebe M2 und D4

Bei der Installation von unterschiedlich ausgerichteten Teilen einer PV-Anlagen ist die Verwendung von zwei Wechselrichtern, oder zumindest die Verwendung eines Wechselrichters mit mehreren Maximum Power Point (MPP)-Trackern üblich. Ein WR mit MPP hat den Vorteil, dass auf den jeweiligen Punkt der maximalen Leistung in Abhängigkeit von Temperatur und Einstrahlungsstärke geregelt werden kann. Die Forderung eines maximalen Produkts aus Strom und Spannung wird durch die Nachbildung eines optimalen Lastwiderstands erreicht, wofür als übliche Verschaltung die Gleichspannungswandler als Hochsetzsteller betrieben werden [70]. Mit diesem Prinzip werden die Einflüsse minimiert, welche durch Schwankungen des Modulzustands bezüglich Strahlung und Temperatur im Tagesverlauf auftreten. Durch die Verwendung mehrerer MPP-Tracker wird die aufgeteilte Verschaltung der Module auf mehrere Zweige von in Serie geschalteten PV-Modulen möglich, was bei unterschiedlichen Neigungen, Ausrichtungen und auch Verschattungen vorteilhaft ist im Vergleich zum Betrieb auf einem Zweig. Die Verwendung von zwei Wechselrichtern würde höhere Installationskosten im Vergleich zur Verwendung eines einzelnen Wechselrichters nach sich ziehen, auch wenn die Gesamt-Wechselrichterleistung dadurch nicht ansteigt.

Eine Untersuchung hat gezeigt, dass die Verwendung lediglich eines Wechselrichters mit einem MPP-Tracker bei Ost-West-ausgerichteten Anlagen einen nur marginal geringeren Energieeintrag aufgrund von Mismatching-Verlusten liefert. Mismatching entsteht, wenn die Module, welche zu einem String verschalten sind unterschiedliche Neigungen, Ausrichtungen, aber auch fertigungsbedingte Toleranzen aufweisen. Bei der durchgeführten Messung liegt der Hauptgrund für die geringen Abweichungen in der nahezu identen MPP-Spannung auf den ost- und westausgerichteten Modulen. Diese Spannung ist

temperaturabhängig, weshalb der Modul-Temperaturkoeffizient klein sein sollte und für ausreichende Hinterlüftung der PV-Module zu sorgen ist. Für die Versuchsanlage mit kristallinen Modulen ergibt sich ein breites AC-Leistungsprofil, wie Abbildung 7.3 zeigt. [69]

Mit einem ähnlichen Profil könnte bei den analysierten Betrieben im Falle einer Ost/West-Ausrichtung gerechnet werden, da hier die gleiche Modultechnologie eingesetzt ist. Hierbei sind jedoch noch spezifische Parameter wie die Dachneigung zu berücksichtigen. Messungen zeigen, dass Ost/West-ausgerichtete Anlagen bei geringerer Dachneigung einen höheren Ertrag liefern [71].

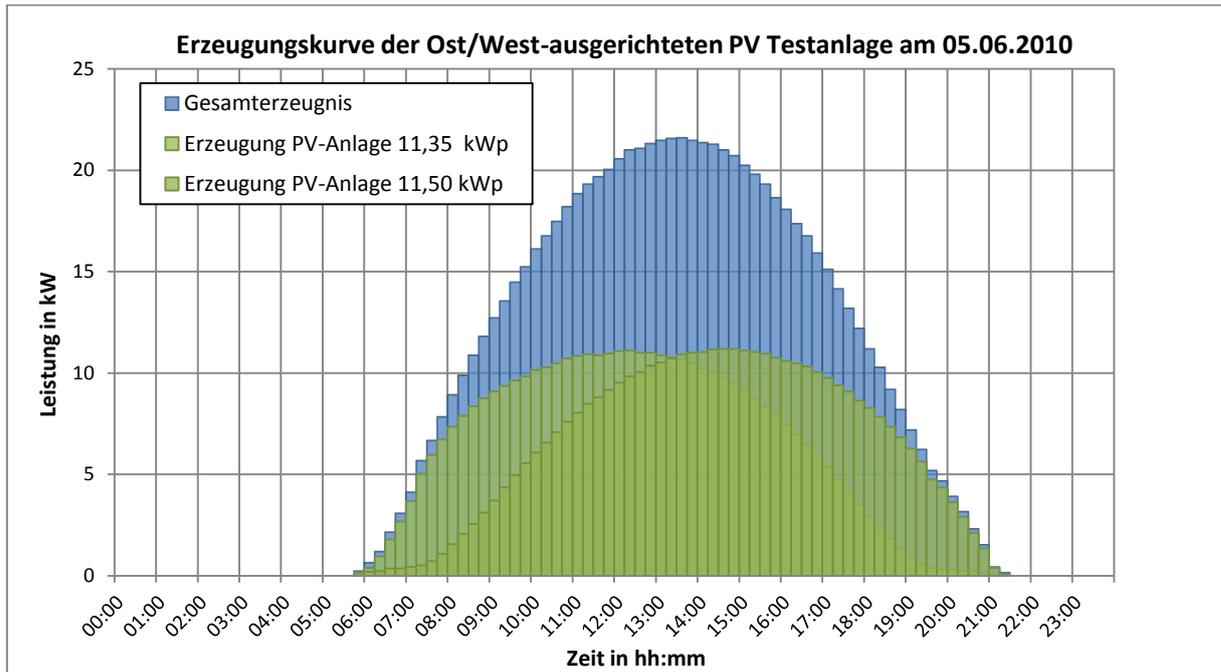


Abbildung 7.3: AC-Leistungsprofil einer Ost/West-ausgerichteten PV-Anlage (Quelle: [69])

Die Gegenüberstellung der gemessenen Erzeugungskurven der exakt 90°Ost/90°West ausgerichteten Testanlage [69] mit der 51°Ost/39°West ausgerichteten Anlage von Betrieb M2 zeigt Abbildung 7.4. Zu beachten ist dabei, dass trotz Skalierung der Anlagengröße der Maximalwert der Tageserzeugung nicht verglichen werden kann, wofür der Temperaturunterschied an den herangezogenen Tagen den Hauptauschlag gibt. Jedoch ist dieser Aspekt für den Vergleich der Verteilung der Tageserzeugung nicht relevant. Die exakt ausgerichtete 90° Ost/West ausgerichtete Testanlage zeigt vor allem in der zweiten Tageshälfte ein klar verlängertes Erzeugungsprofil im Vergleich zum lediglich 39° nach Westen orientierten Anlagenteil von Betrieb M2. Eine Erzeugung von mindestens 25 % der jeweiligen Tagesmaximalleistung ist um 1h15 länger gegeben, von mindestens 50 % um 1h30 Stunden länger, die Erzeugung von 75 % des Tagesmaximums wird für einen 00h45 längeren Zeitraum erreicht. Somit zeigt die exakt 90° Ost/West abweichende Anlage einen signifikant längeren täglichen Erzeugungszeitraum als die lediglich 51°Ost/39°West orientierte Anlage von Betrieb M2.

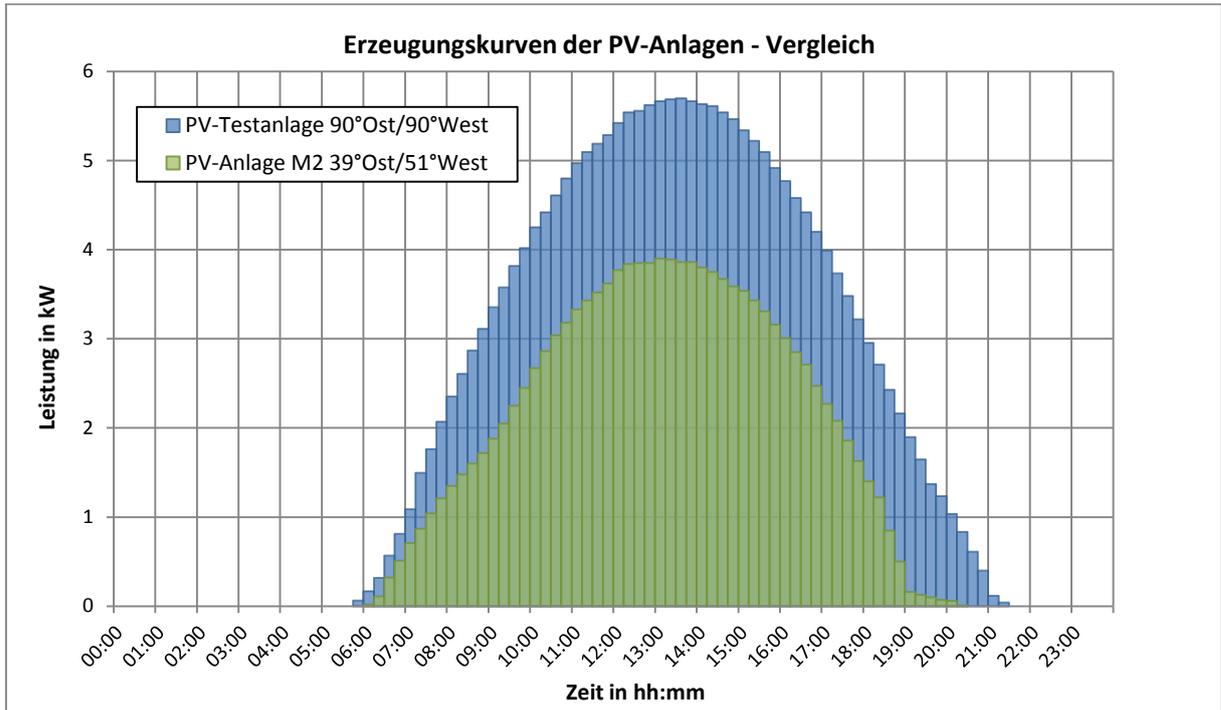


Abbildung 7.4: Vergleich M2 mit exakt Ost/West ausgerichteter Anlage (Quelle: eigene Darstellung und [69])

Tabelle 7.2 fasst die Konfiguration des Messaufbaus und die Ergebnisse zusammen. Das Resultat der Messung zeigt, dass für die kleinere Anlage mit Dünnschichtmodulen ein Minderertrag von knapp einem Prozent aufgetreten ist. Für die Anlage mit kristallinen Modulen, welche eine Südabweichung von exakt 90° aufweist, war der Minderertrag aufgrund von Mismatching-Verlusten mit $0,02\%$ kaum feststellbar. Ein Grund für die geringen Ertragsverluste ist eine bessere Auslastung eines Wechselrichters aufgrund des Erzeugungsprofils der Anlage im Vergleich zur Aufteilung auf zwei Wechselrichter. Somit kann als Ergebnis des Vergleichs abgeleitet werden, dass ein Wechselrichter ohne Multi-MPP-Tracking die kürzeste Amortisationsdauer aufweist, resultierend aus geringeren Investitionskosten und nur minimalen Ertragsverlusten. [69]

Tabelle 7.2: Vergleichsmessung an PV-Anlagen mit einem bzw. zwei Wechselrichtern für Mai-Juli

Modulart:	Kristallin		Dünnschicht	
	Ost	West	Ost	West
Anlagenteil:				
Ausrichtung in $^\circ$ (Azimutwinkel):	-90	90	-67,5	112,5
Neigung in $^\circ$:	15	15	30	30
Leistung in kWp:	11,35	11,5	1,013	1,012
Gesamtertrag mit einem WR in kWh:	398,09		361,10	
Gesamtertrag mit zwei WR in kWh:	398,18		364,60	
Minderertrag mit einem WR in %:	0,02		0,96	

7.2 Anlagengröße^G

Die Produkte, welche die Betriebe innerhalb der einzelnen Sparten herstellen ähneln sich mit Ausnahme der Direktvermarktung sehr. Allerdings gibt es innerhalb der Sparten teils erhebliche Unterschiede was den erreichbaren EV betrifft. So erreicht Betrieb O1 einen EV von 85 % bei einem ED-Potential von 34,1 %, während der Betrieb O2 mit einem ED-Potential von 32,9 % nur 55 % EV erreicht. Dieses Beispiel zeigt, dass in der Planungsphase der PV-Anlage jeder Betrieb individuell zu betrachten ist, um einen hohen EV zu erreichen. Weitere Informationen zu Anlagengrößen in den Betrieben und erreichtem EV liefert Abbildung 8.1 sowie die detaillierte Analyse der Betriebe in Abschnitt 6.

Das Augenmerk sollte auf ein Bündel von Kriterien gelegt werden. Diese umfassen unter anderem die Saisonabhängigkeit des Verbrauchs, die Höhe der Grundlast, die Verteilung des Verbrauchs innerhalb eines Tages und das Auftreten der Belastungsspitzen.

7.3 Energiespeicher^G

Batteriesysteme können im Rahmen von DSM-Maßnahmen beispielsweise bei Netzengpässen oder unter bestimmten Umständen auch zur Reduzierung von Spannungserhöhungen im Niederspannungsnetz eingesetzt werden. Aufgrund des hohen Preises sind aber die derzeit verfügbaren Systeme noch nicht wirtschaftlich. [72]

Batteriesysteme sind mit integriertem Batteriemanagementsystem für Batteriekapazitäten von 4,6 kWh bis 41 kWh verfügbar [52]. In Abschnitt 6.6.4 wurde eine drehstromtaugliche Batterielösung mit 20,5 kWh Batteriekapazität zur Maximierung der EV-Quote einer 5 kWp betrachtet. Beim gegenwärtigen Preisniveau für Speichersysteme hat sich gezeigt, dass der Einbau derzeit nicht wirtschaftlich ist. Einen wichtigen Faktor zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit von Batteriespeicherlösungen kann ein Investitionsförderprogramm darstellen. Allerdings müssen dabei auch die umwelttechnischen Aspekte von der Erzeugung bis zur Entsorgung der Speicher betrachtet werden. Als Beitrag zum Klimaziel soll die Lösung verwendet werden, die den geringsten Ausstoß von Klimagasen verursacht. In Deutschland wird seit Mai 2013 eine Speicherlösung, welche gemeinsam mit einer PV-Anlage angeschafft wird, mit maximal 600 € je installiertem kWp PV-Anlagenleistung gefördert [73].

Alternativ könnte als mobiler Energiespeicher ein Elektroauto eingesetzt werden. Bei Landwirten, welche ihren Betrieb im Haupterwerb führen und keinem außerbetrieblichen Nebenerwerb nachgehen, entfällt der tägliche Anfahrtsweg zum Arbeitsplatz. Im Regelfall sollte das Auto untertags nicht durchgehend abseits vom Hof im Einsatz sein. Das Elektrofahrzeug würde damit während des Erzeugungszeitraumes der PV-Anlage für die Aufladung der Batterie zur Verfügung stehen. Daher ist die Gruppe der Haupterwerbslandwirte als Kunden für Elektrofahrzeuge grundsätzlich gut geeignet. Für eine detaillierte Amortisationsrechnung sind einige technische und wirtschaftliche Parameter zu beachten. Auf wirtschaftlicher Seite sind es etwaige Förderungen, welche den Anschaffungspreis reduzieren. In Österreich wird auf die Anschaffung von Elektroautos keine

Normverbrauchsabgabe eingehoben [74]. Zusätzlich gewähren manche Gemeinden und Bundesländer individuelle Förderungen. Beim Vertriebsmodell mit monatlicher Batteriemiete sind die Mieten für geringe jährliche Fahrleistungen überdurchschnittlich hoch. Für den Betrieb D4 wurde in Abschnitt 6.6.4 ein Berechnungsbeispiel für die Anschaffung eines Elektroautos durchgeführt. Beim hierfür herangezogenen Fahrzeugmodell Renault Kangoo ZE zu entrichtende Batteriemiete, umgelegt auf gefahrene Kilometer bei einer Fahrleistung von 10.000 km p.a. um 74 % höher als bei einer Fahrleistung von 30.000 km p.a.. Dadurch waren die jährlichen kilometerabhängigen variablen Kosten des E-Autos bei 10.000 km p.a. um 49 % höher als bei einem vergleichbaren Dieselfahrzeug, bei einer jährlichen Fahrleistung von 30.000 km aber um 8,2 % unter jenen des Dieselfahrzeuges.

Als technische Parameter der Batterieberechnung sind alle Wirkungsgrade gemäß dem Well-to-Tank Ansatz zu berücksichtigen. Äußere Parameter wie Umgebungstemperatur und Fahrweise beeinflussen entscheidend die Reichweite eines Elektrofahrzeugs. Zur Beantwortung der Fragestellung, ob in ertragsärmeren Wintermonaten die PV-Anlage genug Überschussenergie für die Ladung der Batterie bereitstellen kann, sind die Jahresverläufe von Erzeugungs- und Verbrauchslastgang zu berücksichtigen. Ziel muss sein, die Batterie des E-Autos hauptsächlich mit PV-Strom zu laden. Serienmäßig sind Ladeboxen für bis zu 22 kW Ladeleistung verfügbar [75]. Allerdings ist zu beachten, dass Batterien mit einem bestimmten Ladezyklus aufgeladen werden müssen, damit die Kapazität der Batterie nicht vorzeitig sinkt. Es wird daher für die Aufladung der Batterien nur ein Teil der überschüssigen Energie der PV-Anlagen verwendet werden können. Dies ist der Hauptgrund, warum Standardlösungen von Ladestationen für den privaten Einsatz, wie sie von den E-Automobilherstellern angeboten werden, nicht über die Funktionalität einer PV-Eigenverbrauchsoptimierung verfügen.

8 Zusammenfassung

Von den ursprünglich 21 Betrieben wurden 19, welche die Kriterien der Datenqualität und der fortbestehenden Projektzugehörigkeit erfüllt haben einer detaillierten Analyse unterzogen. Dieser Abschnitt bringt die Ergebnisse in zusammengefasster Form. Zuerst wird ein Vergleich der charakteristischen Kennzahlen PV-Eigenverbrauch, EDP und erzielte ED sowohl betriebs- als auch spartenübergreifend durchgeführt. Anschließend wird auf derzeit nicht wirtschaftliche Maßnahmen verwiesen. Der Überblick hinsichtlich der erarbeiteten Lastmanagement- und Energieeffizienzmaßnahmen schließt die Zusammenfassung ab.

8.1 Vergleich von charakteristischen Kennzahlen^{C+G}

Abbildung 8.1 zeigt das Ergebnis des Vergleiches der charakteristischen Kennzahlen aller 19 Betriebe für den jeweiligen BZR. Dabei gibt der Balken „erzielte Eigendeckung“ an, welcher Anteil des erfassten Stromverbrauchs durch die eigene PV-Anlage gedeckt wurde. Das EDP zeigt den Anteil des Energieverbrauchs, der bei vollständigem EV durch die eigenerzeugte PV-Energie gedeckt werden kann. Als PV-Eigenverbrauch ist der Anteil der erzeugten PV-Energie zu verstehen, der im Erzeugungszeitpunkt vom Anlagenbetreiber verbraucht wird.

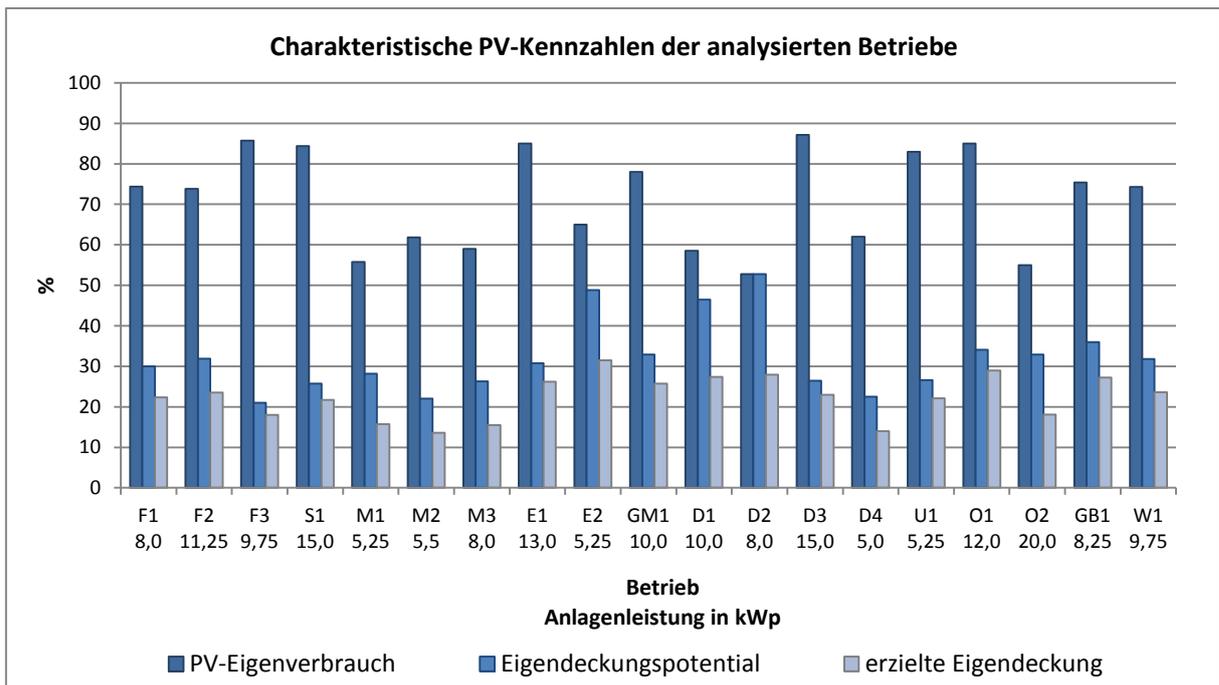


Abbildung 8.1: Gegenüberstellung der analysierten Betriebe hinsichtlich charakteristischer PV-Kennzahlen

Der Betrieb D2 mit dem höchsten EDP weist gleichzeitig den niedrigsten EV auf. Sechs der Betriebe weisen bereits einen EV höher als 80 % auf. Ihr EDP ist mit 21 % bis 34 % vergleichsweise niedrig. Die drei Betriebe mit dem höchsten EDP erreichen lediglich einen EV zwischen 53 % und 65 %. Dies zeigt, dass durch PV-Anlagen, die zu hoch dimensioniert sind und deshalb über höheres EDP verfügen, der EV nicht gesteigert werden kann. Grund dafür ist, dass nur sehr wenige Verbraucher zeitlich so verschoben werden können, dass sie

zu Zeitpunkten mit hoher PV-Erzeugung Energie verbrauchen. Zudem haben die Lastprofile von Verbrauchern bestimmte Charakteristika, die nur in Ausnahmefällen veränderbar sind und somit nicht geeignet sind die Differenz zwischen PV-Erzeugung und aktuellem Gesamtverbrauch zu konsumieren. Ausnahmen bilden lediglich gesteuerte WW-Speicher sowie in kleinerem Ausmaß verschiebbare landwirtschaftliche Prozesse, wie beispielsweise einzelne Fütterungszeitpunkte.

Im spartenübergreifenden Vergleich fällt auf, dass die Milchwirtschaftsbetriebe mit PV-Eigenverbräuchen um 60 % deutlich hinter Betrieben anderer Sparten zurückliegen. Die Sparten Schweinemast (S) und Ferkelzucht (F) sind mit insgesamt vier Betrieben vertreten. Der PV-Eigenverbrauch der Betriebe dieser Sparten liegt im Bereich zwischen 73,8 % und 85,7 % und weist eine negative Korrelation zum EDP auf. In keiner der weiteren Sparten, welche mit mehr als einem Betrieb vertreten sind, lässt sich ein einheitliches Verhalten der Kennzahlen feststellen. So verfügt die Sparte Direktvermarktung neben dem größten Umfang an unterschiedlichen Prozessen auch über die größte Bandbreite des Eigenverbrauchs je Betrieb, welcher zwischen 53 % und 87 % liegt.

Auch innerhalb der einzelnen Sparten ergeben sich interessante Zusammenhänge. So unterscheidet sich der erreichte EV in den beiden obstproduzierenden Betrieben O1 und O2 stark, obwohl ihr EDP nur ein Prozent Differenz zeigt. Der Grund liegt in der Tiefe der im Betrieb durchgeführten Produktionsschritte. Betrieb O1 führt eine Vielzahl von Veredelungsschritten, wie Schnaps- und Saftproduktion im Betrieb durch, wodurch sich ein EV von 85 % ergibt. Betrieb O2 hingegen lagert das geerntete Obst bis zum Verkauf ein, ohne weitere Produktionsschritte durchzuführen. Infolge dessen entsteht der Stromverbrauch hauptsächlich durch Kühlung und fällt mit dem Verkauf der Ware bis ins Frühjahr stark ab. Im Sommer stehen die Kühllager leer, der EV liegt im BZR lediglich bei 55 %.

Bei den meisten Betrieben war in den Smart Meter Daten der Verbrauch des Haushalts inkludiert. Für den Betrieb ergibt sich dadurch die Möglichkeit, die EV durch den Haushaltsverbrauch zu steigern. Auf die Lastgangauswertung hat der Haushaltsverbrauch allerdings die Auswirkung, dass Lastgang und Verbrauch der einzelnen Verbraucher nur durch Mittelung abgeschätzt werden konnten. In den Smart Meter Daten der Betriebe E2 und F2 waren keine Haushaltsverbräuche enthalten, weshalb diese Betriebe sehr deutlich das Lastgangverhalten der jeweiligen Produktionssparte widerspiegeln.

In sechs der 19 Betriebe sind mehr als ein Energiezähler bzw. Smart Meter für die Erfassung des Verbrauchs im Einsatz. Die davon betroffenen Betriebe D2, E2, F2, GM1, O1, S1 und U1 sind quer über die Sparten verteilt. Durch die Zusammenlegung sämtlicher Zählpunkte des jeweiligen Betriebes auf ein Smart Meter würde der PV-Erzeugung der gesamte betriebliche Energieverbrauch gegenüberstehen. In weiterer Folge kann eine höhere EV-Quote erzielt werden. Die Hauptgründe für das Vorhandensein mehrerer Zähler in einem Betrieb sind ein vergünstigter saisonaler Strompreis, um beispielsweise Trocknungsanlagen zu betreiben, sowie die separate Abrechnung gewerblich geführter Sparten innerhalb eines Betriebes. Die Möglichkeit einer Zusammenlegung auf ein Smart Meter und die daraus resultierende Energiekostenentwicklung sind für den jeweiligen Fall gesondert zu prüfen.

8.2 Derzeit unwirtschaftliche Maßnahmen^{C+G}

Batteriespeicher:

Aufgrund der hohen Kosten stellen Batteriespeicher keine Lösung zur Erhöhung der EV-Quote dar. Prinzipiell würden Betriebe, in denen Belastungsspitzen außerhalb der PV-Erzeugungszeiten auftreten (z.B. Milchwirtschaftsbetriebe) oder bei kontinuierlich hoher Grundlast (z.B. Stallbelüftungssysteme) als verlässlichem Verbraucher (s. Abschnitt 7.3) von einem Speicher zur Erhöhung der EV-Quote profitieren. Weniger geeignet sind Betriebe mit einer hohen saisonabhängigen Schwankung im Energieverbrauch. Darunter fallen vor allem Obstbaubetriebe mit Energieverbrauchsspitzen im Herbst und Winter. Für Betrieb D4 wurde exemplarisch anhand der realen Gegebenheiten die Berechnung einer Speicherlösung durchgeführt (s. Abschnitt 6.6.4), dabei zeigt sich durch das installierte System eine jährliche Energiekostenreduktion in der Größenordnung von nur lediglich 0,5 % der Investitionssumme. Die Kosten überwiegen somit bei weitem den erzielbaren Nutzen.

E-Auto:

Auch der Einsatz eines E-Autos ist aus derzeitiger Sicht für einen landwirtschaftlichen Betrieb nicht wirtschaftlich. Eine Vergleichsrechnung von Elektro- und Diesel-Lieferfahrzeug wurde für einen Betrieb durchgeführt, welcher seine Waren auch direkt an Kunden ausliefert (s. Abschnitt 6.6.4). Im gerechneten Fall wäre bei einer jährlichen Laufleistung von 30.000 km die höhere Anfangsinvestition des Elektrofahrzeugs nach einem Zeitraum von 48 Jahren durch die Summe der jährlichen Betriebskosteneinsparung aufgewogen, bei 10.000 km jährlicher Laufleistung überwiegen die Betriebskosten des Elektroautos jene des Dieselfahrzeugs. Zudem müssen Batteriespeicher mit bestimmten Ladezyklen aufgeladen werden, die nur einen Teil der erzeugten Energien von PV-Anlagen nutzen können. Weitere Informationen zu technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen beinhaltet Abschnitt 7.3.

LED-Röhren:

Die Wirtschaftlichkeit der Umrüstung von Leuchtstoffröhren auf LED-Röhren ist abhängig von den Anschaffungskosten der LED-Röhren und der erzielbaren Energieeinsparung. Im Abschnitt 6.10.1 wurde für Röhren der Länge 590 mm und 1.500 mm die erzielbare Kostenersparnis über die Lebensdauer der LED-Röhren ermittelt. Bei Röhren der Länge 1.500 mm wurde eine Ersparnis von 90,7 € je umgerüsteter Röhre ermittelt. Dahingegen resultiert aus der Umrüstung der kürzere Röhre lediglich eine Ersparnis von 3,6 €. Diesen Einsparungen stehen Anschaffungskosten von 45,9 € (590 mm) bzw. 93,65 € (1.500 mm) gegenüber, weshalb ausschließlich der Austausch der 1.500 mm als wirtschaftlich zu bewerten ist. Da Leuchtstoffröhren und LED-Röhren zumeist unterschiedliche Lichtfarben aufweisen, ist insbesondere bei der Sparte Urlaub auf dem Bauernhof aufgrund eines

einheitlichen Erscheinungsbildes der Beleuchtung eine Umrüstung der gesamten Röhren innerhalb eines Raumes notwendig.

Warmwasserbereitstellung mittels Elektroheizstab:

Die Bereitstellung von WW mittels Heizstab unter Verwendung der PV-Überschussenergie ist im Vergleich zur Warmwasserbereitung mit einem Hackgutkessel unwirtschaftlich. Dies gilt auch bei Zukauf des Hackguts.

Ein Pufferspeicher eröffnet die Möglichkeit, von der PV-Anlage erzeugte überschüssige elektrische Energie über einen Heizstab in den Pufferspeicher einzubringen. Hierzu ist die Anschaffung eines Heizstabes inklusive Installation nötig. Die Erlöse reduzieren sich dabei 6 Cent/kWh für die entgangene Vergütung der Überschusseinspeisung. Rentabel wird die Umwandlung von PV-Überschussstrom in WW, wenn der Preis je kWh Wärme erzeugt aus Hackgut über der Summe der Kosten dieser beiden Faktoren liegt. Das für den Einsatz der Heizung benötigte Hackgut kam teilweise oder zur Gänze aus eigenen Forstbeständen. Selbst bei Zukauf inklusive Anlieferung des Hackgutes, was die teurere Alternative zur Erzeugung aus eigenen Holzbeständen darstellt, wurde ein Preis von 2,4 Cent/kWh Heizwert¹⁸ erhoben. [76]

Diese Gegenüberstellung zeigt, dass eine Bereitstellung von WW aus PV-Überschusserzeugung deutlich höhere Kosten verursacht als die Verwendung von Hackgut, sowohl betriebseigenen als auch zugekauft.

Nur in Sonderfällen bietet sich jedoch die Verwendung des Heizstabs trotz höherer Energiekosten an. Ursachen hierfür sind beispielsweise die räumliche Trennung von Heizsystem und Verbrauchsort oder die Notwendigkeit hoher Warmwassertemperaturen. Beispiele dazu finden sich im Bereich der Milchwirtschaft (s. Abschnitt 6.3) sowie in den Betrieben GM1 (s. Abschnitt 6.5.1) und D4 (s. Abschnitt 6.6.4).

Eiswasserkühlung anstelle Direktverdampferkühlung:

Insbesondere für den Bereich der Milchkühlung wurde als Lastmanagementmaßnahme der Einsatz einer Eiswasserkühlung geprüft (s. Abschnitt 6.3). Hierbei kann durch die Eiswasserzeugung die Kälteerzeugung vom Zeitpunkt des Kältebedarfs losgelöst werden. Da Eiswasserkühlungen einen um 20 % höheren Energiebedarf als vergleichbare Direktverdampferkühlungen aufweisen, wird der Einsatz dieser Technologie jedoch als energetisch ineffizient und unwirtschaftlich bewertet [6].

¹⁸ Voraussetzung ist die Abnahme von einem Hängerzug Hackgut, was 85 Schüttraummetern Hackgut entspricht, sowie eine Zustellung innerhalb von 20 Kilometern (km). Bei Selbstabholung des Hackgutes reduziert sich der Preis auf 2,2 Cent/kWh Heizwert. [30]

8.3 Potentiell rentable Lastmanagementmaßnahmen^{C+G}

Variation von Fütterungsprozessen:

Im Schweine- und Hühnerbereich sind zumeist teil- und vollautomatisierte Fütterungsanlagen im Einsatz. Diese ermöglichen es die Fütterungszeitpunkte im Tagesverlauf zu verschieben oder die Anzahl der Fütterungsprozesse zu verändern ohne den betrieblichen Ablauf zu beeinflussen oder einen Mehraufwand für den Landwirt zu verursachen. Die Begrenzung der Verschiebungsintervalle ist durch potentielle Beeinträchtigungen des Tierwohlbefindens gegeben, was in weiterer Folge auch die Produktqualität beeinflussen kann.

In Betrieben mit Hühnerhaltung konnten nur marginale Steigerungen der EV-Quoten ermittelt werden, wohingegen im Schweinebereich Steigerungen der EV-Quote von bis zu 6,6 % errechnet wurden.

Back- und Brauprozesse:

In einigen Haushalten der analysierten Betriebe sind Brotbacköfen im Einsatz, für die direktvermarktenden Betriebe D1, D2 und D4 stellt die Produktion von Brot und Gebäck ein wichtiges Standbein dar. Die Brotbackstube des Betriebes D4 wird näher analysiert (s. Abschnitt 6.6.4). Dabei kann durch verschieben der Betriebszeit der EV von 50,2 % auf 90,9 % gesteigert werden für Tage, an denen die Backstube in Betrieb ist. Für Betrieb D2 wurde in Abschnitt 6.6.2 die Möglichkeit zum Lastmanagement für den Bierbrauvorgang analysiert. Ergebnis dabei ist die Festlegung des optimalen Zeitraums des Brauvorganges.

Zeitsteuerung von Kühlprozessen:

Die Potentiale zur Zeitsteuerung der Kühlaggregate steigen mit verbesserter Isolation. Dieser Aspekt muss vor allem bei Neubauten von Kühlräumen und -zellen berücksichtigt werden. Die Empfindlichkeit des Kühlgutes auf Temperaturschwankungen stellt den entscheidenden Parameter in der Anwendung einer Zeitsteuerung dar. Im spartenübergreifenden Vergleich zeigt sich, dass die Zeitsteuerung für Fleischprodukte nicht verwendet wird. Auch Obst, welches in CA-Atmosphäre gelagert wird, zeigt wenig Toleranz gegenüber Temperaturschwankungen. Wie in Abschnitt 6.8.1 gezeigt wird kann für Obst in konventionellen Kühllagern eine Zeitsteuerung des Kühlprozesses vorgesehen werden.

Elektrische Warmwasserbereitung:

In einigen der analysierten Betriebe wird ein Teil der Warmwasserbereitung – insbesondere für Reinigungszwecke – mittels elektrischer Energie durchgeführt. Abhängig von der Art des eingesetzten Gerätes können die Aufheizvorgänge im Tagesverlauf verschoben werden. Grundlegende Voraussetzung für diese Lastmanagementmaßnahme ist eine gute Isolierung des Warmwasserbehälters um die bis zur Warmwasserverwendung auftretenden Wärmeverluste gering zu halten. Wird zur Warmwasserbereitung ein Durchlauferhitzer

eingesetzt, kann aufgrund der fehlenden Speichermöglichkeit keine Verschiebung des Aufheizvorganges vorgenommen werden.

Eine Verschiebung der Warmwasserbereitung über die Tagesgrenze hinaus ist selbst bei gut wärmeisolierten Speichern aufgrund der auftretenden Wärmeverluste unwirtschaftlich (s. Abschnitt 6.3.2). Bei der Realisierung dieser Maßnahme ist darauf zu achten, dass ausschließlich überschüssige PV-Energie zur Warmwassererzeugung eingesetzt wird. Hierfür können Eigenverbrauchsregler eingesetzt werden, wobei die Wirtschaftlichkeit dieser Investition betriebsspezifisch zu prüfen ist (s. Abschnitt 3.3).

8.4 Energieeffizienzmaßnahmen^{C+G}

Beleuchtung:

Mit LED Leuchtmitteln steht zum gegenwärtigen Zeitpunkt eine ausgereifte und effiziente Beleuchtungstechnologie mit für den jeweiligen Anwendungsfall geeigneten Leuchtmitteln zur Verfügung. In Betrieben mit hohem Beleuchtungsbedarf, wie beispielsweise im Geflügelbereich, können durch deren Verwendung beträchtliche Energieeinsparungen erzielt werden (s. Abschnitt 6.4.1 und Abschnitt 6.5.1). Die Wirtschaftlichkeit einer Umrüstung auf LED Leuchtmittel ist in Abhängigkeit der jeweiligen Leuchtmittelbauform zu prüfen. In den Abschnitten 6.7.1 und 6.10.1 wurden entsprechende Berechnungen für die Umrüstung von Glühlampen, Halogenspots und Leuchtstoffröhren durchgeführt, wobei lediglich die Umrüstung mit einer Leuchtstoffröhrenvariante als unwirtschaftlich einzustufen ist (s. Abschnitt 8.2).

Frequenzumrichter und Ventilatoren mit EC-Antrieben:

Im schweinehaltenden Bereich resultiert der Großteil des elektrischen Energieverbrauchs aus der kontinuierlichen Belüftung der Stallabteile. Die Belüftungsanlagen der analysierten Betriebe sind hauptsächlich in Form von Einzel- und Doppelabsaugung unter Einsatz von konventionellen Ventilatoren und Phasenanschnittsteuerungen ausgeführt. Durch den Einsatz moderner Technologien wie Frequenzumrichter oder Ventilatoren mit EC-Technologie kann die Leistungsaufnahme und damit der elektrische Energiebedarf der Belüftungsanlagen um bis zu 36 % gesenkt werden (s. Abbildung 5.1). Welche der beiden Technologien die wirtschaftlichere ist, hängt von der Ausführung der Belüftungsanlage ab. Als Faustregel bei Einzel- und Doppelabsaugungen ist jedoch festzuhalten, dass der Einsatz von Ventilatoren mit EC-Antrieb stets effizienter jedoch aufgrund der Anschaffungskosten nur bei Einzelabsaugungen wirtschaftlicher als der FU-Einsatz ist.

Im Bereich der Milchwirtschaft trägt die Vakuumversorgung der Melkanlage einen wesentlichen Teil zum betrieblichen Energieverbrauch bei. In den analysierten Betrieben sind ausschließlich konventionelle VP im Einsatz. Durch die Nachrüstung eines FU kann der Energiebedarf der VP um durchschnittlich 40 % reduziert werden [39]. Für die analysierten

Betriebe wurde die Amortisationsdauer dieser Maßnahme im Bereich von 2,7 Jahren und 6,3 Jahren ermittelt. Die Schwankung der Amortisationsdauer ist durch den Unterschied in der jährlichen Milchleistung der einzelnen Betriebe und in weiterer Folge in der Leistung und täglichen Einsatzdauer der VP begründet.

Optimierung der Luftkanalform von Belüftungsanlagen:

Durch strömungstechnische Optimierung der Luftkanäle von Belüftungsanlagen kann der auf das geförderte Luftvolumen bezogene spezifische Energiebedarf reduziert werden. Eine verallgemeinerte Aussage über das mögliche Energieeinsparungspotenzial kann nicht getroffen werden, da dieses vom am Betrieb vorherrschenden Ist-Zustand abhängt. Detaillierte Ausführungen sind im Abschnitt 6.1 angeführt. Zudem sind in Tabelle 5.3 verschiedene Luftkanalformen mit den zur Bewertung notwendigen Kennzahlen angeführt.

Wärmerückgewinnung:

Potentielle Anwendungsgebiete der Wärmerückgewinnung stellen alle Kühlanlagen dar, wobei dem Kältebedarf ein ausreichender Wärmebedarf gegenüberstehen muss. In Abschnitt 6.8.2 findet sich das Ergebnis einer Wärmetauscherberechnung.

Vorkühlung:

In einigen der analysierten Betriebssparten ist es erforderlich, die betrieblichen Erzeugnisse zu kühlen um die Produktqualität gewährleisten zu können. Insbesondere in Milchwirtschaft-, Obstbaubetrieben und fleischerzeugenden Direktvermarktungsbetrieben sind für die betrieblichen Produkte entsprechende Kühlvorrichtungen vorhanden. Durch Vorkühlung der Produkte vor der Einbringung in die Kühlvorrichtung kann die zur Kühlung benötigte Energie reduziert werden.

In der Milchwirtschaft kann dies durch Wärmetauscher unter Einsatz von Wasser als Kühlmedium realisiert werden, wodurch der Energiebedarf der Kühlung um bis zu 50 % reduziert werden kann [39]. Die Amortisationsdauer dieser Maßnahme weist einen Zusammenhang zur jährlichen Milchleistung des Betriebes auf (s. Abschnitt 6.3.4). Als Nebenprodukt dieser Maßnahmen steht vorgewärmtes Wasser zur Verfügung, das beispielsweise für Reinigungszwecke Anwendung findet.

Im Obstbau kann die Vorkühlung des Obstes durch eine nächtliche Zwischenlagerung außerhalb der Kühlzelle durchgeführt werden. Die Einlagerung in die Kühlzelle erfolgt am darauffolgenden Morgen. Diese Maßnahme ist kostenneutral, jedoch mit geringfügigem Mehraufwand verbunden. Sie wird in beiden analysierten Obstbaubetrieben eingesetzt (s. Abschnitt 6.8).

In fleischverarbeitenden Betrieben ist eine zeitnahe Kühlung der Produkte erforderlich, wodurch eine derartige Maßnahme nicht praktikabel ist.

Ferkelnestheizung:

In den analysierten Ferkelzuchtbetrieben werden zur Ferkelnestbeheizung überwiegend Elektroinfrarotstrahler eingesetzt. Der Vergleich der verschiedenen Heizungsvarianten zeigt jedoch, dass Elektroinfrarotstrahler nach Gasinfrarotstrahlern den zweithöchsten Nutzenergiebedarf aufweisen (s. Abbildung 6.8). Aus diesem Grund sollten sie gegen ein effizienteres Heizsystem ersetzt werden und falls notwendig als sekundäre Wärmequelle während der ersten Lebensstage der Ferkel eingesetzt werden.

Durch den Einsatz von Bodenheizplatten kann der Energiebedarf um bis zu 64,3 % reduziert werden. Insbesondere der Einsatz elektrischer Bodenplatten führt zu erheblichen Energieeinsparungen. [38]

Eine Umrüstung von Elektroinfrarotstrahlern auf Elektrobodenplatten ist aufgrund der ohnehin vorhandenen Elektroanschlüsse mit nur geringem Aufwand verbunden. Da der Großteil der analysierten Landwirtschaftsbetriebe mit Hackgutheizungen ausgestattet ist und zumeist Hackgut aus dem eigenen Forst eingesetzt wird, steht günstiges Warmwasser in ausreichender Menge für den Einsatz zur Ferkelnestbeheizung zur Verfügung. Daher ist es möglich, dass trotz höherem Nutzenergiebedarf der Einsatz von WW-Bodenplatten wirtschaftlicher als die Verwendung der effizienteren Elektrobodenplatten ist. Welche Variante der verfügbaren Bodenplatten für den jeweiligen Betrieb wirtschaftlicher ist, hängt somit von den anfallenden Energie- und Installationskosten ab und ist betriebsspezifisch zu prüfen.

Gegenwärtig verfügen die Ferkelnester der analysierten Betriebe über keine oder nur unzureichende Wärmeisolation. Um die Wärmeabfuhr an die Umgebung und somit den Energiebedarf der Ferkelnestheizung zu minimieren, wird als weitere Energieeffizienzmaßnahme die Isolation der Ferkelnester empfohlen. Durch diese Maßnahme kann der jährliche Energiebedarf um ca. 900 kWh auf 300 kWh je Ferkelnest gesenkt werden [37].

8.5 Ausblick^{C+G}

Eine feinere zeitliche Auflösung der Smart-Meter Messwerte könnte zu einer vereinfachten Analyse der Lastgänge hinsichtlich einzelner Betriebsprozesse führen. Bezüglich der genaueren messtechnischen Erfassung wäre eine Auftrennung von Betrieb und HH mit Zwischenzählern erstrebenswert, wobei der dafür notwendige Aufwand beträchtlich sein kann.

Für Prozesse, welche lediglich in einem Betrieb vorgefunden wurden, sollten weitere Analysen in zusätzlichen Betrieben vorgenommen werden. Dadurch könnte die Bandbreite des prozessbedingten Energieverbrauchs besser abgeschätzt werden.

Literaturverzeichnis

- [1] P. Biermayr, M. Eberl und R. Ehrig, „Innovative Energietechnologien in Österreich, Marktentwicklung 2011,“ Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, 2012.
- [2] Energie Steiermark AG, „Energie Steiermark Internetseite (Strombezugskosten),“ [Online]. Available: http://www.e-steiermark.com/e_data/strom/kunden_gmbh/Preisübersicht%20für%20Privatkunden.pdf. [Zugriff am 16 12 2013].
- [3] Energie Steiermark AG, „Energie Steiermark Internetseite (Einspeisevergütung),“ [Online]. Available: http://www.e-steiermark.com/e_data/strom/steweag-steg/Photovoltaik%20Einspeisevergütung%20s-SUN.pdf. [Zugriff am 16 12 2013].
- [4] Energie-Control Austria, „Stromkennzeichnung - Typische Werte der Umweltauswirkungen einzelner Energieträger,“ Dezember 2012. [Online]. Available: <http://www.e-control.at/de/industrie/oeko-energie/stromkennzeichnung>. [Zugriff am 22 Dezember 2013].
- [5] W. Moomaw, P. Burgherr, G. Heath, M. Lenzen, J. Nyboer und A. Verbruggen, „Annex II: Methodology. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation,“ Cambridge University Press, Cambridge, UK und New York, NY, USA, 2011.
- [6] H. Jauschnegg, „Einsatz des Betriebsmittels elektrischer Strom in der österreichischen Rinder-, Schweine- und Geflügelhaltung und Möglichkeiten einer Optimierung,“ Universität für Bodenkultur, Wien, 1999.
- [7] R. Braunstein, „Energieeffizienz und Energieeinsparpotenziale in der Landwirtschaft,“ Graz, 2007.
- [8] U. Averbeg und et.al., „Energieeffizienzverbesserung in der Landwirtschaft,“ Verband der Landwirtschaftskammern e.V., Berlin, 2009.
- [9] R. Lindner, O. Hofer, R. Fehrer, K. Brier und M. Langer, „Grüner Bericht 2012 gemäß §9 des Landwirtschaftsgesetzes,“ Lebensministerium, Wien, 2012.
- [10] M. Kaufmann, „Energieeinsparungen am schweinehaltenden Betrieb,“ LK Steiermark, Graz, 2013.
- [11] „Landwirtschaftskammer Steiermark,“ 2013. [Online]. Available: <http://stmk.lko.at/?+Zahlen+++Fakten+&id=2500%2C%2C1303192%2C>. [Zugriff am 06 09 2013].
- [12] Europäische Union, *RICHTLINIE 2009/72/EG über gemeinsame Vorschriften für den*

- Elektrizitätsbinnenmarkt und zur Aufhebung der Richtlinie 2003/54/EG*, 2009.
- [13] Republik Österreich, *Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz 2010 und Energie-Control-Gesetz*, 2010.
- [14] Energie Control Austria, *Intelligente Messgeräte-Anforderungsverordnung IMA-VO 2011*, 2011.
- [15] Deutsche EnergieAgentur GmbH, „Intelligente Zähler- Smart Metering: Ein Lösungsbaustein für ein zukunftsfähiges Energiesystem,“ Berlin, 2011.
- [16] W. Gollner, *Preis für Eigenverbrauchsregler (Telefongespräch)*, Graz, 2013.
- [17] M. Oberhofer, „Masterarbeit: Demand-Side-Management in Österreich,“ TU Graz, Institut für elektrische Anlagen, Graz, 2013.
- [18] M. Bost, B. Hirschl und A. Aretz, „Effekte von Eigenverbrauch und Netzparität bei der Photovoltaik,“ Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, Berlin, 2011.
- [19] „SolarGIS,“ 2013. [Online]. Available: http://solargis.info/doc/_pics/freemaps/1000px/ghi/SolarGIS-Solar-map-Austria-en.png. [Zugriff am 17 09 2013].
- [20] SolarGIS, „SolarGIS,“ 2013. [Online]. Available: http://solargis.info/doc/_pics/freemaps/1000px/ghi/SolarGIS-Solar-map-Austria-en.png. [Zugriff am 17 09 2013].
- [21] Bundesverband PHOTOVOLTAIC AUSTRIA, „Bundesverband PHOTOVOLTAIC AUSTRIA-Internetseite,“ 2013. [Online]. Available: <http://www.pvaustria.at/daten-fakten/technologie/pv-auslegung/>. [Zugriff am 21 09 2013].
- [22] J. L. Plummer, E. Oatman und P. Gupta, *Strategic Management and Planning for Electric Utilities*, P. Hall, Hrsg., 1985.
- [23] Charles River Associates, „Primer on Demand-Side Management, with an emphasis on price-responsive programs,“ Februar 2005. [Online]. Available: <http://siteresources.worldbank.org/INTENERGY/Resources/PrimeronDemand-SideManagement.pdf>.
- [24] V. Wesselak und T. Schabbach, *Regenerative Energietechnik*, Heidelberg: Springer-Verlag, 2009.
- [25] T. Bogner und et.al., „Outlook Lifestyle 2030,“ Klima- und Energiefonds, Austrian Energy Agency, Wien, 2012.
- [26] W. Bittermann und M. Gollner, „Modellierung des Stromverbrauchs in den privaten Haushalten Österreichs nach unterschiedlichen Verwendungszwecken,“ Statistik Austria, Wien, 2011.

- [27] M. Strasser, „Strom- und Gastagebuch 2012,“ Statistik Austria, Wien, 2013.
- [28] C. Oberascher, „Stromverbrauch im Haushalt,“ BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft, Berlin, 2013.
- [29] Guntamatic Heiztechnik GmbH, „Guntamatic Heiztechnik-Internetseite,“ [Online]. Available: <http://www.guntamatic.com/nc/hackschnitzelheizung/powerchip-20304050kw/>. [Zugriff am 16 12 2013].
- [30] A. Handel, „Energiesparende Systeme bei Lüftungsanlagen in der Landwirtschaft,“ 2008.
- [31] S. Pedersen, „Zu- und Abluftführung aus dänischer Sicht. Tagungsschrift des Förderkreis Stalklima,“ Iden, 1999.
- [32] wetter.com AG, 11 2013. [Online]. Available: <http://www.wetter.com/>.
- [33] M. Steinhuber, *Elektrische Leistungswerte von Ferkelaufzuchtcontainern (Telefongespräch)*, 2013.
- [34] Ziehl-Abegg SE, „Ziehl-Abegg Website,“ 2014. [Online]. Available: http://tmp.ziel-abeg.de/index.php?cat=c10_Frequenzumrichter.html&XTCsid=efe1b14e48c024228cf0bc150252bda2. [Zugriff am 1 Februar 2014].
- [35] C. Öhlinger, G. Dell und C. Egger, „Stromsparen in der Landwirtschaft,“ Linz, 2008.
- [36] Arbeitsgemeinschaft für Elektrizitätsanwendungen in der Landwirtschaft e.V., „AEL - Arbeitsgemeinschaft für Elektrizitätsanwendung in der Landwirtschaft e.V.,“ 2012. [Online]. Available: http://www.vbew.de/fileadmin/Daten/datei_anhaenge/V_451_Sonderdrucke/AEL_STROMTIPPS_2012_web.pdf. [Zugriff am 17 11 2012].
- [37] C. Henzen et. al., „Ressourcen- und Klimateffizienz in der Landwirtschaft: Potenzialanalyse,“ AgroCleanTech - Schweizer Bauernverband, Brugg, 2012.
- [38] H. de Baey-Ernsten et. al., 1996. [Online]. Available: http://www.ael-online.de/inhalt/fachinfo/download/mb_28.pdf.
- [39] Verband der Landwirtschaftskammern e.V., 2009. [Online]. Available: <http://www.landwirtschaftskammern.de/pdf/energieeffizienzverbesserung.pdf>. [Zugriff am 11 2013].
- [40] Elektro4000.de Hagen GbR, 11 2013. [Online]. Available: http://www.elektro4000.de/index.php?cat=1163&sort=&XTCsid=5ffee6b204c64b72f161943fc48f655e&filter_id=866.
- [41] FuehlerSysteme eNET International GmbH, 11 2013. [Online]. Available: <http://www.fuehlersysteme.de/druckmessumformer-fur-absolutdruck.html>.

- [42] Mc-Electricmotor GmbH & Co. KG, 11 2013. [Online]. Available: http://www.mc-electricmotor.de/product_info.php?cPath=&products_id=480.
- [43] Schweizerische Eidgenossenschaft, 11 2013. [Online]. Available: <http://www.agroscope.admin.ch/publikationen/einzelpublikation/index.html?pubdownload=NHZLpZeg7t,lnp6l0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2rZpnG3s2Rodeln6h1dYN6foCNn,aknp6V2tTljKbXoKimjZyUlpmlkfo>.
- [44] G. Wirtleitner, „Qualitätsheu durch energieeffiziente Technik,“ 12 2013. [Online]. Available: http://www.raumbergumpenstein.at/c/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=3723&Itemid=100103&lang=de.
- [45] M. Omelko, A. Römer und W. Schneeberger, „Einsatz eines automatischen Melksystems unter österreichischen Rahmenbedingungen,“ Wien, 2003.
- [46] A. Fübbecker, Dezember 2013. [Online]. Available: <http://www.lwk-niedersachsen.de/download.cfm/file/1082,250dd080-091f-166c-61abdeda3919644c~pdf.html>.
- [47] Hato BV, „LED Beleuchtung für Geflügelställe,“ [Online]. Available: http://www.hatobv.com/?hoofdpagina_id=91&pagina_id=91. [Zugriff am 21 11 2013].
- [48] „Deutsche Landwirtschaftskammer - Modernes Beleuchtungsklima für Geflügelställe,“ Ilox GmbH, Mai 2011. [Online]. Available: <http://www.landwirtschaftskammer.de/duesse/tierhaltung/gefluegel/berichte/pdfs/2011-05-02-gefluegeltagung-04.pdf>. [Zugriff am 28 November 2013].
- [49] LEDon lamp gmbh, „LEDon dimmbare LED Lampen E27 7W,“ 2013. [Online]. Available: <http://www.ledon-lamp.com/de/led-lampe-a60-7w-e27-dimmbar-ledon.htm>. [Zugriff am 6 12 2013].
- [50] M. Wallnöfer, *Installation eines Wärmetauschers in der Frischluftansaugung einer Räucherammer*, 2013.
- [51] Prosol Invest GmbH, *Preisliste Sonnenbatterie 2013*, St. Valentin: Prosol Invest GmbH, 2013.
- [52] P. I. GmbH, *Preisliste Sonnenbatterie 2013*, St. Valentin: Prosol Invest GmbH, 2013.
- [53] „Sonnenbatterie: Technische Daten,“ [Online]. Available: <http://www.sonnenbatterie.de/strom-energie-speicher/sonnenbatterie/groessen/>. [Zugriff am 28 11 2013].
- [54] Renault, „Preisliste Kangoo Z.E. mit Elektroantrieb, Stand 18.10.2013,“ Renault Austria, Wien, 2013.
- [55] Renault, „Preisliste Renault Kangoo Express, Stand 18.10.2013,“ Renault Austria,

- Wien, 2013.
- [56] N. Kühnl, „DEKRA untersucht Energiebilanz von Elektroauto,“ 11 08 2011. [Online]. Available: http://www.dekra.de/de/pressemitteilung?p_p_lifecycle=0&p_p_id=ArticleDisplay_WAR_ArticleDisplay&_ArticleDisplay_WAR_ArticleDisplay_articleID=7200581. [Zugriff am 30 11 2013].
- [57] B. Baumgartner, „Förderübersicht für Mobilität und Elektrofahrzeuge für Betriebe/Gemeinden/Private in der Steiermark,“ Grazer Energieagentur, Graz, 2010.
- [58] Amtsblatt der europäischen Union, „Verordnung (EG) Nr. 244/2009 der Kommission,“ Europäische Kommission, Brüssel, 2009.
- [59] www.leuchtmittelmarkt.com, „Preis für Osram Halogen Classic A Eco Pro 46W 230V E27 700lm Matt LD2000h,“ [Online]. Available: <http://www.leuchtmittelmarkt.com//themes/kategorie/detail.php?artikelid=181359&source=2>. [Zugriff am 12 11 2013].
- [60] Hofer KG, *Preis für Lifelight LED-Spot Glühbirnenform GU10 810lm LD35.000h*, 2013.
- [61] Unternehmen Leuchtmittelmarkt, 12 2013. [Online]. Available: <http://www.leuchtmittelmarkt.com/>.
- [62] www.leuchtmittelmarkt.com, „Preis für Halogenlampe Osram DECOSTAR 51 Standard 41860 SP 20W 12V GU5.3 10G,“ [Online]. Available: <http://www.leuchtmittelmarkt.com//themes/kategorie/detail.php?artikelid=179044&source=2>. [Zugriff am 12 11 2013].
- [63] www.leuchtmittelmarkt.com, „Preis für LED Spot 5 Watt Osram Parathom MR16 advanced 20 24° GU5.3,“ [Online]. Available: <http://www.leuchtmittelmarkt.com//themes/kategorie/detail.php?artikelid=193756&source=2>. [Zugriff am 12 11 2013].
- [64] [chip.de](http://www.chip.de), „Datenblatt Sony Standby-Verbrauch Sony Bravia TV,“ [Online]. Available: <http://www.chip.de/preisvergleich/195574/Datenblatt-Sony-KDL-32HX755.html>. [Zugriff am 03 27 2013].
- [65] Intelligent Energy Europe, „SELINA: Standby and Off-Mode Energy Losses in new Appliances measured in Shops,“ [Online]. Available: <http://www.selina-database.eu/Reports/Report?country=&groupBy=Class&value=PassiveStandby&year=>. [Zugriff am 26 03 2014].
- [66] H. Vertriebsgesellschaft, „Hager Hotelcard-Schalter,“ [Online]. Available: <http://www.hager.de/produktkatalog-neuheiten/schalterprogramme-und-gebaeudesteuerung/up-elektronik-einsaetze/hotelcard-schalter/80460.htm>. [Zugriff am 04 12 2013].

- [67] R. Edler, *Wärmetauscherberechnung zu Bitzer 4DC-7 2Y-40S Doppelkompressor*, Graz, 2013.
- [68] Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND), Dezember 2013. [Online]. Available: http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/pdfs/klima_und_energie/klima_tv_verbrauchsliste.pdf.
- [69] Fronius, „Ost/West-ausgerichtete PV-Anlagen mit nur einem MPP-Tracker,“ Fronius International GmbH, Wels, 2012.
- [70] C. Münch, „MPP-Tracking,“ 2013. [Online]. Available: <http://www.photovoltaik.org/wissen/mpp-tracking>. [Zugriff am 07 04 2014].
- [71] E. Zentgraf, „Untersuchungen zur Höhe des Energieertrages von Photovoltaik Modulen unter verschiedenen Neigungswinkeln und Ausrichtungen,“ Institut für Gravitationsforschung, Waldaschaff, 2009.
- [72] R. Hallinger, B. Wille-Hausmann, T. Erge, J. Sönnichsen, T. Stillahn und N. Kreifels, „Speicherstudie 2013,“ Fraunhofer ISE, Freiburg, Deutschland, 2013.
- [73] M. Forst, „Solarstrom im Keller speichern - lohnt sich das?,“ Focus, 13 07 2013. [Online]. Available: http://www.focus.de/immobilien/energiesparen/solarenergie/tid-30925/neuer-batterie-zuschuss-von-der-kfw-solarstrom-im-keller-speichern-lohnt-sich-das_aid_975675.html. [Zugriff am 30 11 2013].
- [74] Bundesministerium für Finanzen, „Normverbrauchsabgabe (NoVA),“ [Online]. Available: <https://www.bmf.gv.at/steuern/fahrzeuge/normverbrauchsabgabe.html#Steuerbefreiungen>. [Zugriff am 12 12 2013].
- [75] „Emosolar Ladeboxen für Elektroautos,“ emosolar, [Online]. Available: <http://www.emosolar.com/ladetechnik/stromtankstellen/>. [Zugriff am 01 12 2013].
- [76] F. Kien, Interviewee, *Informationen zu Preisen von Hackschnitzeln*. [Interview]. 15 11 2013.
- [77] Styriabrid GmbH, *Angebot für EC-Ventilatoren zur Stallbelüftung*, St. Veit im Vogau, 2014.
- [78] November 2013. [Online]. Available: <http://www.ziehl-abegg.com/de/download-609.html>.
- [79] ABB Ltd, 11 2013. [Online]. Available: [http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/6fa15bc246e98d45c1257a7200317ec9/\\$file/ACS150_microdrives_catalog_REVF_DE.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/6fa15bc246e98d45c1257a7200317ec9/$file/ACS150_microdrives_catalog_REVF_DE.pdf).
- [80] energie+innovation, 12 2013. [Online]. Available:

- <http://www.energieundinnovation.de/graphiken/h-x-Diagramm.jpg>.
- [81] C. Beck, Klimawandel – Auswirkungen für die europäische Wirtschaft, München: GRIN Verlag, 2008.
- [82] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, „Energieeinsparung in der Schweinehaltung - Lüftung,“ Freising-Weihenstephn, 2012.
- [83] „Statistik Austria,“ 2012. [Online]. Available: http://www.statistik.at/web_de/statistiken/land_und_forstwirtschaft/agrarstruktur_flaechen_ertraege/betriebsstruktur/022961.html. [Zugriff am 18 08 2013].
- [84] Energie-Control Austria, August 2013. [Online]. Available: <http://www.e-control.at/de/industrie/strom/smart-meter>.
- [85] Geographisches Informationssystem Steiermark, 11 2013. [Online]. Available: http://www.umwelt.steiermark.at/cms/dokumente/10703612_16178332/d62a336e/2_TEMPERATUR%202.0.pdf.
- [86] DeLaval AG, 11 2013. [Online]. Available: http://www.delaval.ch/ImageVaultFiles/id_16259/cf_5/Vakuumpumpen_DVP_und_DVP-F.PDF.
- [87] Ralf Bühning GmbH, 11 2013. [Online]. Available: <http://www.melktechnik-discount.com>.
- [88] Deutscher Wetterdienst, 11 2013. [Online]. Available: <http://www.deutscherwetterdienst.de/lexikon/index.htm?ID=K&DAT=Klimatologische-Kenntage>.
- [89] F. Kien, *Preis für Hackschnitzel 2013 (Telefongespräch)*, St. Margarethen an der Raab, 2013.
- [90] E. Schmutzer, R. Braunstein, W. Friedl und M. Ölz, „Stromsparerpotenziale in der Landwirtschaft,“ Technische Universität Graz, Graz, 2009.
- [91] F. Wosnitza und H. G. Hilgers, Energieeffizienz und Energiemanagement, Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2012.
- [92] Sonnenbatterie, „Sonnenbatterie GmbH - Internetseite,“ [Online]. Available: <http://www.sonnenbatterie.de/strom-energie-speicher/sonnenbatterie/groessen/>. [Zugriff am 28 11 2013].
- [93] „pvaustria,“ 2013. [Online]. Available: <http://www.pvaustria.at/daten-fakten/technologie/pv-auslegung/>. [Zugriff am 21 09 2013].

9 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

9.1 Abbildungen

Abbildung 2.1: Energetischer Endverbrauch in Österreich im Jahr 2010 (Quelle: [9])	14
Abbildung 3.1: Leistungsmessung im Wechselstromkreis	17
Abbildung 3.2: Tageslastgang eines Milchwirtschaftsbetriebes und Erzeugungskurve einer 5,25 kWp PV-Anlage.....	22
Abbildung 3.3: Normierte Dauerlinie der Lastgang- und Erzeugungskurve in Abbildung 3.2	23
Abbildung 3.4: Mittlere jährliche Sonneneinstrahlung für Österreich in kWh/m ² (Quelle: [20])	24
Abbildung 3.5: Prozentualer Jahresenergieertrag in Abhängigkeit von Montagewinkel und -neigung (Quelle: [21])	25
Abbildung 4.1: Bedienelemente des Auswertungsprogrammes	28
Abbildung 5.1: Leistungsaufnahme von Ventilatoren in Abhängigkeit von der Regelungsvariante (Quelle: [30]; eigene Darstellung)	34
Abbildung 5.2: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes F1 im BZR-Verlauf	38
Abbildung 5.3: Betrieb F1: Last- und Temperaturverlauf an warmen Sommertagen (Quelle Wetterdaten: [32]; eigene Darstellung).....	39
Abbildung 5.4: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes F2 im BZR-Verlauf	41
Abbildung 5.5: Betrieb F2: Last- und Temperaturverlauf an warmen Sommertagen (Quelle Wetterdaten: [32]; eigene Darstellung).....	42
Abbildung 5.6: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes F3 im BZR-Verlauf	44
Abbildung 5.7: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes S1 im BZR-Verlauf	46
Abbildung 5.8: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes M1 im BZR-Verlauf	48
Abbildung 5.9: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes M2 im BZR-Verlauf	50
Abbildung 5.10: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes M3 im BZR-Verlauf	52
Abbildung 5.11: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes E1 im BZR-Verlauf	54

Abbildung 5.12: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes E2 im BZR-Verlauf	55
Abbildung 5.13: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes GM1 im BZR-Verlauf.....	58
Abbildung 5.14: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes D1 im BZR-Verlauf.....	60
Abbildung 5.15: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes D2 im BZR-Verlauf.....	62
Abbildung 5.16: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes D3 im BZR-Verlauf.....	64
Abbildung 5.17: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes D4 im BZR-Verlauf.....	66
Abbildung 5.18: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes U1 im BZR-Verlauf.....	70
Abbildung 5.19: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes O1 im BZR-Verlauf	72
Abbildung 5.20: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes O2 im BZR-Verlauf	73
Abbildung 5.21: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes GB1 im BZR-Verlauf	76
Abbildung 5.22: Elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen des Betriebes W1 im BZR-Verlauf.....	78
Abbildung 6.1: Temperaturabhängiger Lastgang von Betrieb F1 (Quelle Wetterdaten: [32]; eigene Darstellung).....	80
Abbildung 6.2: EV-Erhöhung durch angepassten Fütterungsprozess im Betrieb F1	81
Abbildung 6.3: Regenschutzhauben (links) an Abluftrohren des Betriebes F2	83
Abbildung 6.4: Temperaturabhängiger Lastgang von Betrieb F2 (Quelle Wetterdaten: [32]; eigene Darstellung).....	84
Abbildung 6.5: EV-Erhöhung durch Verschiebung der ersten Fütterung im Betrieb F2	85
Abbildung 6.6: Aufgliederung des Stromverbrauchs in der Ferkelzucht (Quelle: [36], eigene Darstellung)	89
Abbildung 6.7: Aufgliederung des Stromverbrauchs in der Schweinemast (Quelle: [36], eigene Darstellung).....	89
Abbildung 6.8: Vergleich von Ferkelneistheizsystemen hinsichtlich Nutzenergie je Wurf (Quelle: [38], eigene Darstellung)	90
Abbildung 6.9: EV-Erhöhung durch Verschiebung der Fütterung um eine Stunde	93

Abbildung 6.10: Heißwassererzeugung zum gegenwärtigen Zeitpunkt, gesteuert über eine Zeitschaltuhr.....	98
Abbildung 6.11: Verschiebung der Heißwassererzeugung auf einen Zeitpunkt mit PV-Überschuss.....	100
Abbildung 6.12: Darstellung des verschobenen Wasseraufheizvorgangs im Tageslastgang von Betrieb M2.....	104
Abbildung 6.13: Vergleich verschiedener Systeme zur Heutrocknung hinsichtlich Energiebedarf je Tonne Heu (Quelle: [44]; eigene Darstellung)	106
Abbildung 6.14: Aufgliederung des Stromverbrauchs in der Milchwirtschaft (Quelle: [36], eigene Darstellung).....	107
Abbildung 6.15: Lastgänge der analysierten Milchviehbetriebe (Mittelung einer Woche) ...	109
Abbildung 6.16: Einsparung durch installierte LED Beleuchtung im Betrieb E1 für Lastgang von 05.03.2013.....	112
Abbildung 6.17: Lüftungsauslassdesign in Betrieb GM1	117
Abbildung 6.18: Betrieb D1-Verschiebung der Betriebszeiten der Getreidereinigungsanlage	120
Abbildung 6.19: Betrieb D2: Tageslastgang für 13.08.2013 mit zwei Brauvorgängen.....	122
Abbildung 6.20: Optimaler Startzeitpunkt des Brauvorganges für maximalen Eigenverbrauch in Betrieb D2.....	123
Abbildung 6.21: Betrieb D4-Verschiebung der Betriebszeiten der Backstube	127
Abbildung 6.22: Gemittelter Tageslastgang für 30.12.2012-05.01.2013 bei ausgebuchtem Betrieb U1.....	133
Abbildung 6.23: Lastgangverlauf bei Umstellung auf LED für voll belegten Betrieb U1	134
Abbildung 7.1: Erzeugungskurve der PV-Anlage von Betrieb M2.....	144
Abbildung 7.2: Vergleich der PV-Erzeugungskurven der Betriebe M2 und D4	145
Abbildung 7.3: AC-Leistungsprofil einer Ost/West-ausgerichteten PV-Anlage (Quelle: [69])	146
Abbildung 7.4: Vergleich M2 mit exakt Ost/West ausgerichteter Anlage (Quelle: eigene Darstellung und [69]).....	147
Abbildung 8.1: Gegenüberstellung der analysierten Betriebe hinsichtlich charakteristischer PV-Kennzahlen.....	150
Abbildung 11.1: Tageslastgang als Flächendiagramm mit sämtlichen zur Verfügung stehenden Messwerten.....	174
Abbildung 11.2: Wochenlastgang als Balkendiagramm mit Energieverbrauch und PV-Erzeugung	175

Abbildung 11.3: Monatslastgang als Liniendiagramm mit Energieverbrauch und PV- Erzeugung	175
Abbildung 11.4: Jahreslastgang als Liniendiagramm mit Energieverbrauch und PV- Erzeugung	176
Abbildung 11.5: elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen im BZR-Verlauf	176
Abbildung 11.6: Programmlaufplan des Programmes zur Erstellung der Lastgangdiagramme	177
Abbildung 11.7: Fragebogen zur individuellen Betriebserfassung (Seite 1/12).....	178
Abbildung 11.8: Fragebogen zur individuellen Betriebserfassung (Seite 2/12).....	179
Abbildung 11.9: Fragebogen zur individuellen Betriebserfassung (Seite 3/12).....	180
Abbildung 11.10: Fragebogen zur individuellen Betriebserfassung (Seite 4/12).....	181
Abbildung 11.11: Fragebogen zur individuellen Betriebserfassung (Seite 5/12).....	182
Abbildung 11.12: Fragebogen zur individuellen Betriebserfassung (Seite 6/12).....	183
Abbildung 11.13: Fragebogen zur individuellen Betriebserfassung (Seite 7/12).....	184
Abbildung 11.14: Fragebogen zur individuellen Betriebserfassung (Seite 8/12).....	185
Abbildung 11.15: Fragebogen zur individuellen Betriebserfassung (Seite 9/12).....	186
Abbildung 11.16: Fragebogen zur individuellen Betriebserfassung (Seite 10/12).....	187
Abbildung 11.17: Fragebogen zur individuellen Betriebserfassung (Seite 11/12).....	188
Abbildung 11.18: Fragebogen zur individuellen Betriebserfassung (Seite 12/12).....	189
Abbildung 11.19: Verbraucherliste zur detaillierten Erfassung der Verbraucher (Seite 1/4)	190
Abbildung 11.20: Verbraucherliste zur detaillierten Erfassung der Verbraucher (Seite 2/4)	190
Abbildung 11.21: Verbraucherliste zur detaillierten Erfassung der Verbraucher (Seite 3/4)	191
Abbildung 11.22: Verbraucherliste zur detaillierten Erfassung der Verbraucher (Seite 4/4)	191
Abbildung 11.23: Angebot hinsichtlich Anschaffungskosten von EC-Ventilatoren (Seite 1/2; Quelle: [77])	192
Abbildung 11.24: Angebot hinsichtlich Anschaffungskosten von EC-Ventilatoren (Seite 2/2; Quelle: [74])	193
Abbildung 11.25: Technische Daten Axialventilatoren mit Außenläufer-Asynchronmotor (Quelle: [78]).....	194
Abbildung 11.26: Technische Daten Axialventilatoren mit Außenläufer-EC-Antrieben (Quelle: [78])	195
Abbildung 11.27: Auszug aus dem Datenblatt für IE3 Drehstrommotoren (Quelle: [42])	195

Abbildung 11.28: Auszug aus dem Datenblatt der ACS-Frequenzumrichterserie (Quelle: [79])	196
Abbildung 11.29: Auslegung des Verdichters Bitzer 4DC-7.2Y-40S (Seite 1/3, Quelle: [67])	198
Abbildung 11.30: Auslegung des Verdichters Bitzer 4DC-7.2Y-40S (Seite 2/3, Quelle: [67])	199
Abbildung 11.31: Auslegung des Verdichters Bitzer 4DC-7.2Y-40S (Seite 3/3, Quelle: [67])	200
Abbildung 11.32: Wärmetauscherberechnung Variante 1 (Seite 1/2, Quelle: [67])	201
Abbildung 11.33: Wärmetauscherberechnung Variante 1 (Seite 2/2, Quelle: [67])	202
Abbildung 11.34: Wärmetauscherberechnung Variante 2 (Seite 1/2, Quelle: [67])	203
Abbildung 11.35: Wärmetauscherberechnung Variante 2 (Seite 2/2, Quelle: [67])	204
Abbildung 11.36: h-x Diagramm nach Mollier (Quelle: [80])	205

9.2 Tabellen

Tabelle 3.1: Methoden des Demand-Side Management (Quellen: [22], [23]; eigene Darstellung)	26
Tabelle 5.1: Haupt- und Nebenproduktionszweige der analysierten Betriebe.....	30
Tabelle 5.2: Minimale und maximale Durchschnittsstromverbräuche im Haushalt nach Personenzahl exklusive Verbräuche für Warmwasser und Heizung (Quellen: [25], [26], [27], [28]; eigene Darstellung).....	31
Tabelle 5.3: Volumenstrom in Abhängigkeit der Form des Luftkanals (Quelle: [31]; z.T. eigene Darstellung).....	35
Tabelle 5.4: Eckdaten Betrieb F1	37
Tabelle 5.5: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb F1	37
Tabelle 5.6: Eckdaten Betrieb F2.....	40
Tabelle 5.7: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb F2	40
Tabelle 5.8: Eckdaten Betrieb F3.....	43
Tabelle 5.9: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb F3	43
Tabelle 5.10: Gegenüberstellung der F-Betriebe hinsichtlich energetischer Kennzahlen	44
Tabelle 5.11: Eckdaten Betrieb S1.....	45
Tabelle 5.12: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb S1	46
Tabelle 5.13: Eckdaten Betrieb M1	47
Tabelle 5.14: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb M1	47
Tabelle 5.15: Eckdaten Betrieb M2	49
Tabelle 5.16: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb M2.....	49
Tabelle 5.17: Eckdaten Betrieb M3	51
Tabelle 5.18: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb M3.....	51
Tabelle 5.19: Gegenüberstellung der M-Betriebe hinsichtlich energetischer Kennzahlen.....	52
Tabelle 5.20: Eckdaten Betrieb E1	53
Tabelle 5.21: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb E1	54
Tabelle 5.22: Eckdaten Betrieb E2.....	55
Tabelle 5.23: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb E2	55
Tabelle 5.24: Gegenüberstellung der E-Betriebe hinsichtlich energetischer Kennzahlen	56
Tabelle 5.25: Eckdaten Betrieb GM1	57
Tabelle 5.26: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb GM1	57

Tabelle 5.27: Eckdaten Betrieb D1.....	59
Tabelle 5.28: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb D1	60
Tabelle 5.29: Eckdaten Betrieb D2.....	61
Tabelle 5.30: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb D2	62
Tabelle 5.31: Eckdaten Betrieb D3.....	63
Tabelle 5.32: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb D3	64
Tabelle 5.33: Eckdaten Betrieb D4.....	65
Tabelle 5.34: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb D4	66
Tabelle 5.35: Gegenüberstellung der D-Betriebe hinsichtlich energetischer Kennzahlen	66
Tabelle 5.36: Eckdaten Betrieb U1.....	68
Tabelle 5.37: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb U1	69
Tabelle 5.38: Eckdaten Betrieb O1	71
Tabelle 5.39: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb O1	71
Tabelle 5.40: Eckdaten Betrieb O2	73
Tabelle 5.41: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb O2.....	73
Tabelle 5.42: Gegenüberstellung der O-Betriebe hinsichtlich energetischer Kennzahlen.....	74
Tabelle 5.43: Eckdaten Betrieb GB1	75
Tabelle 5.44: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb GB1	76
Tabelle 5.45: Eckdaten Betrieb W1	77
Tabelle 5.46: Überblick energieintensiver Prozesse Betrieb W1	78
Tabelle 6.1: Ermittlung des Stromverbrauchs der Ferkelnestheizung im Betrieb F2.....	85
Tabelle 6.2: Kostenvergleich für Vakuumpumpe mit und ohne FU im Betrieb M1	95
Tabelle 6.3: Stromkostenvergleich für Vakuumpumpe mit und ohne FU im Betrieb M2	97
Tabelle 6.4: Stromkostensparnis und EV-Quotenerhöhung durch optimierte Heizstabregelung im Betrieb M2 (ohne Berücksichtigung von Wärmeverlusten).....	99
Tabelle 6.5: Stromkostenvergleich verschiedener Optimierungsmaßnahmen der VP im Betrieb M3	102
Tabelle 6.6: Amortisationsdauer von Frequenzumrichtern für Vakuumpumpen.....	108
Tabelle 6.7: Amortisationsdauer von Wärmetauschern zur Milchvorkühlung in den analysierten Betrieben	110
Tabelle 6.8: Kostenvergleich von Eigenverbrauchsregler zur Warmwasserbereitung für zwei WW-Speichergroößen	126

Tabelle 6.9: Kostenvergleich für Diesel- und Elektrofahrzeug bei unterschiedlicher jährlicher Laufleistung	130
Tabelle 6.10: Gegenüberstellung von LED- und Halogenleuchtmitteln für Fassungstyp E27	132
Tabelle 6.11: Gegenüberstellung von LED- und Halogenleuchtmitteln für Fassungstyp GU5.3	132
Tabelle 6.12: Gegenüberstellung von Leuchtstoffröhre und LED-Röhre	140
Tabelle 7.1: Gegenüberstellung der PV-Anlagen der Betriebe M2 und D4	143
Tabelle 7.2: Vergleichsmessung an PV-Anlagen mit einem bzw. zwei Wechselrichtern für Mai-Juli	147

10Anhang

10.1 Weiterführende Informationen zum Programm zur Lastgangauswertung und Beispieldiagramme^C

An dieser Stelle wird kurz auf die Arbeitsweise des entwickelten Programms zur Erstellung der Lastgangdiagramme eingegangen. Auf die Darstellung des VBA-Programmcodes wird an dieser Stelle jedoch verzichtet, da dieser zur Interpretation der Arbeit nicht zwingend erforderlich ist und mit mehr als 1.200 Programmzeilen eine unverhältnismäßig hohe Anzahl an Seiten in dieser Arbeit einnehmen würde. Um dennoch einen Einblick in die Arbeitsweise des Programmes geben zu können ist in Abbildung 10.6 der Programmlaufplan dargestellt. Auf die explizite Darstellung der Programmlaufpläne der Unterprogramme wird zur Wahrung der Übersichtlichkeit ebenfalls verzichtet. Die nachfolgend dargestellten Diagramme dienen zur Illustration der Möglichkeiten die das Programm zur Darstellung der Lastgänge bietet. Mit Ausnahme von Abbildung 10.1 wird zur Wahrung der Übersichtlichkeit in den nachfolgenden Abbildungen auf die Darstellung einiger Messwerte verzichtet, stattdessen werden ausschließlich die Datenreihen Energieverbrauch und die PV-Erzeugung dargestellt.

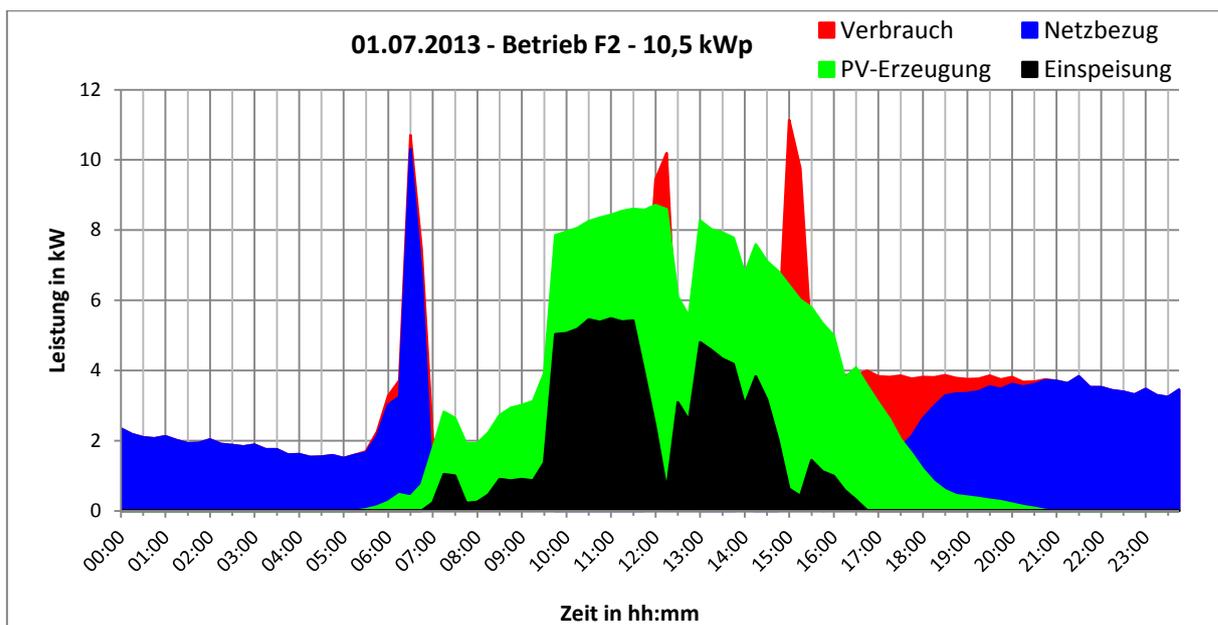


Abbildung 10.1: Tageslastgang als Flächendiagramm mit sämtlichen zur Verfügung stehenden Messwerten

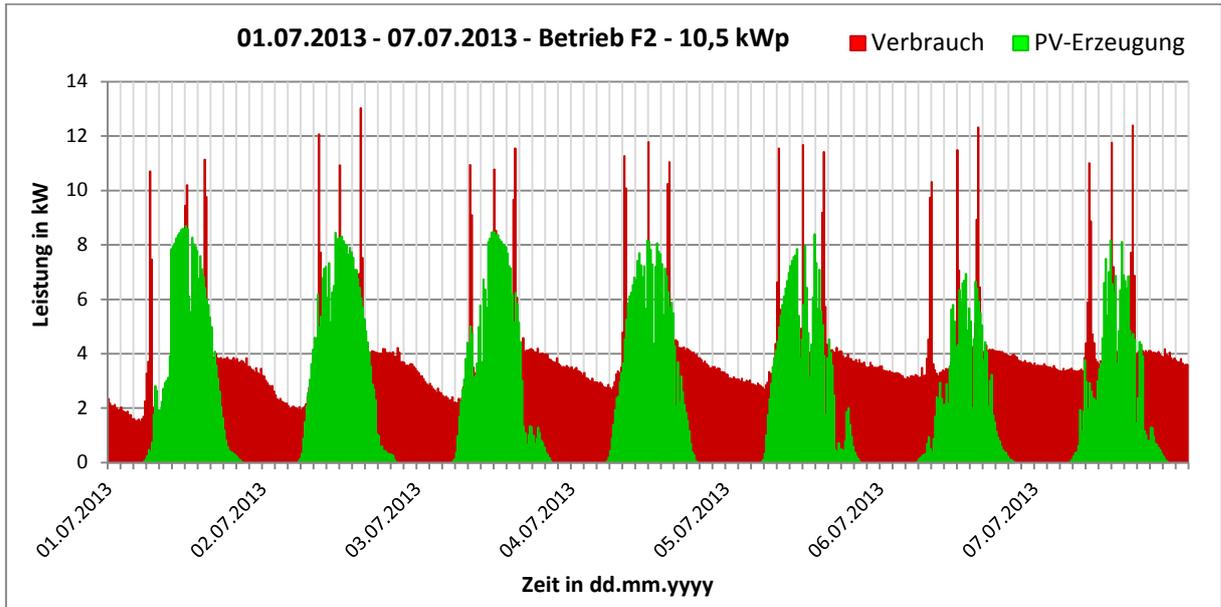


Abbildung 10.2: Wochenlastgang als Balkendiagramm mit Energieverbrauch und PV-Erzeugung

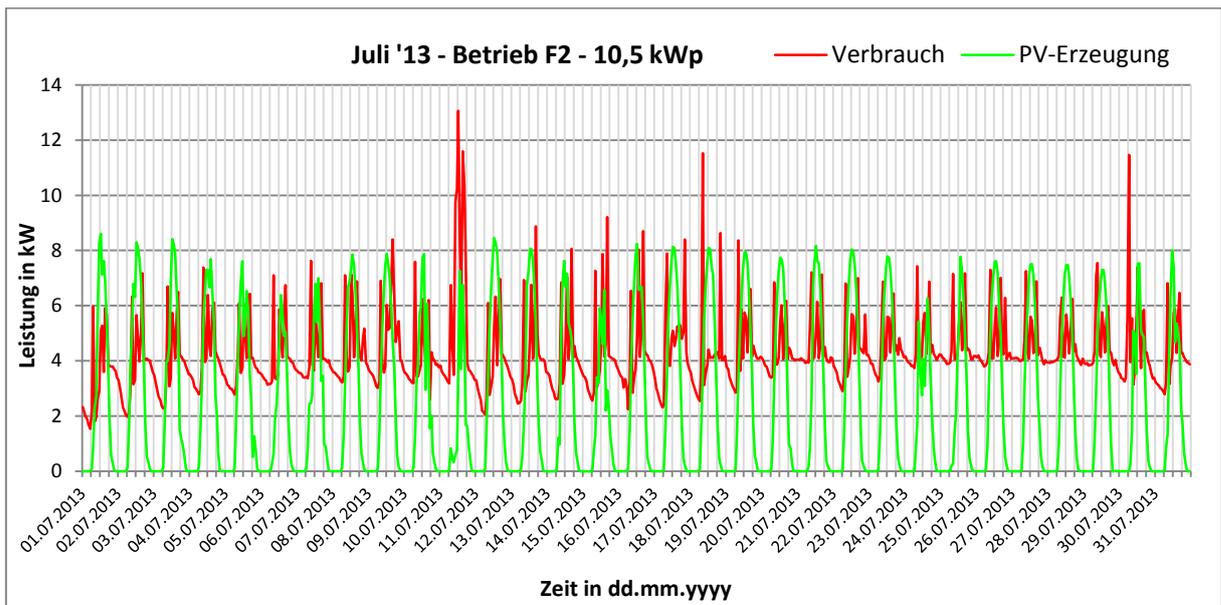


Abbildung 10.3: Monatslastgang als Liniendiagramm mit Energieverbrauch und PV-Erzeugung

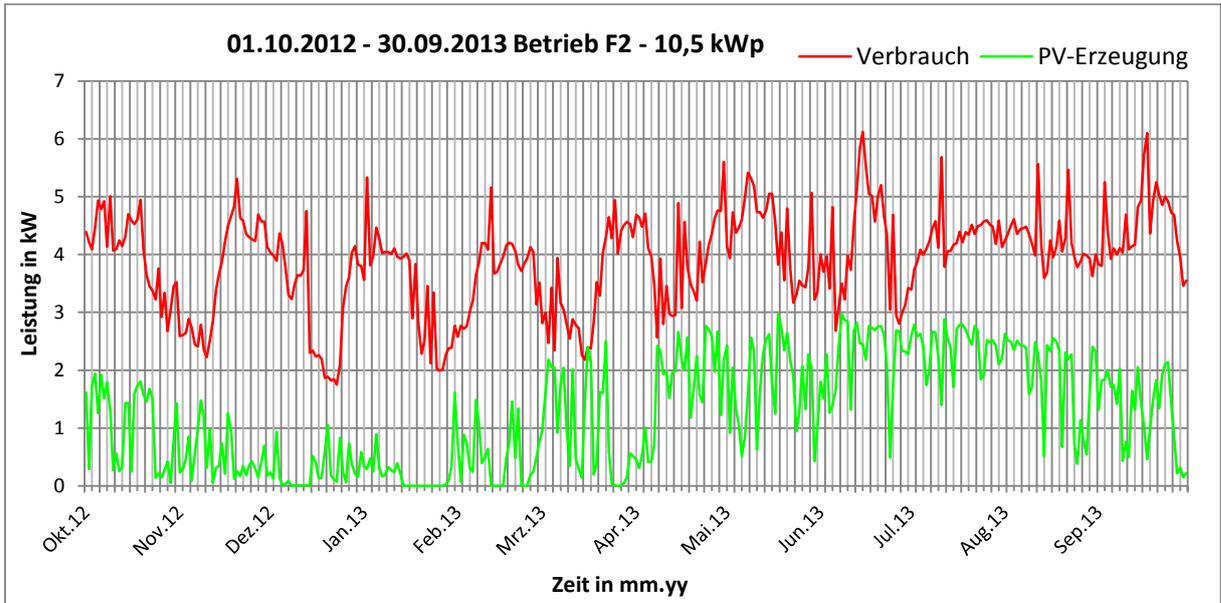


Abbildung 10.4: Jahreslastgang als Liniendiagramm mit Energieverbrauch und PV-Erzeugung

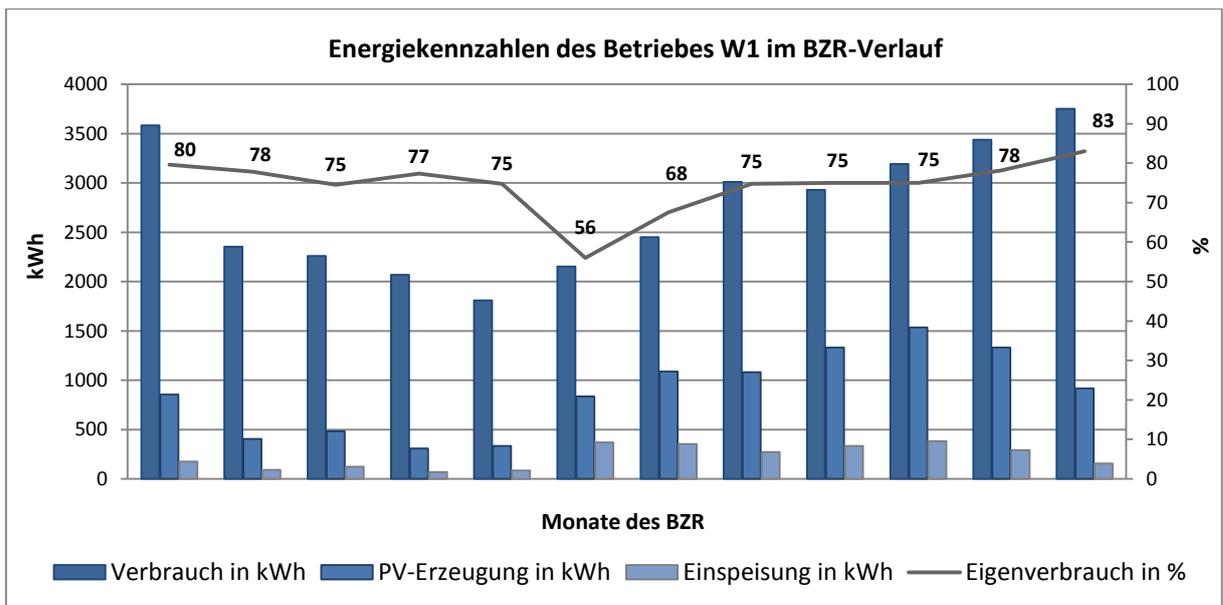


Abbildung 10.5: elektrischer Energiebedarf und spezifische PV-Kennzahlen im BZR-Verlauf

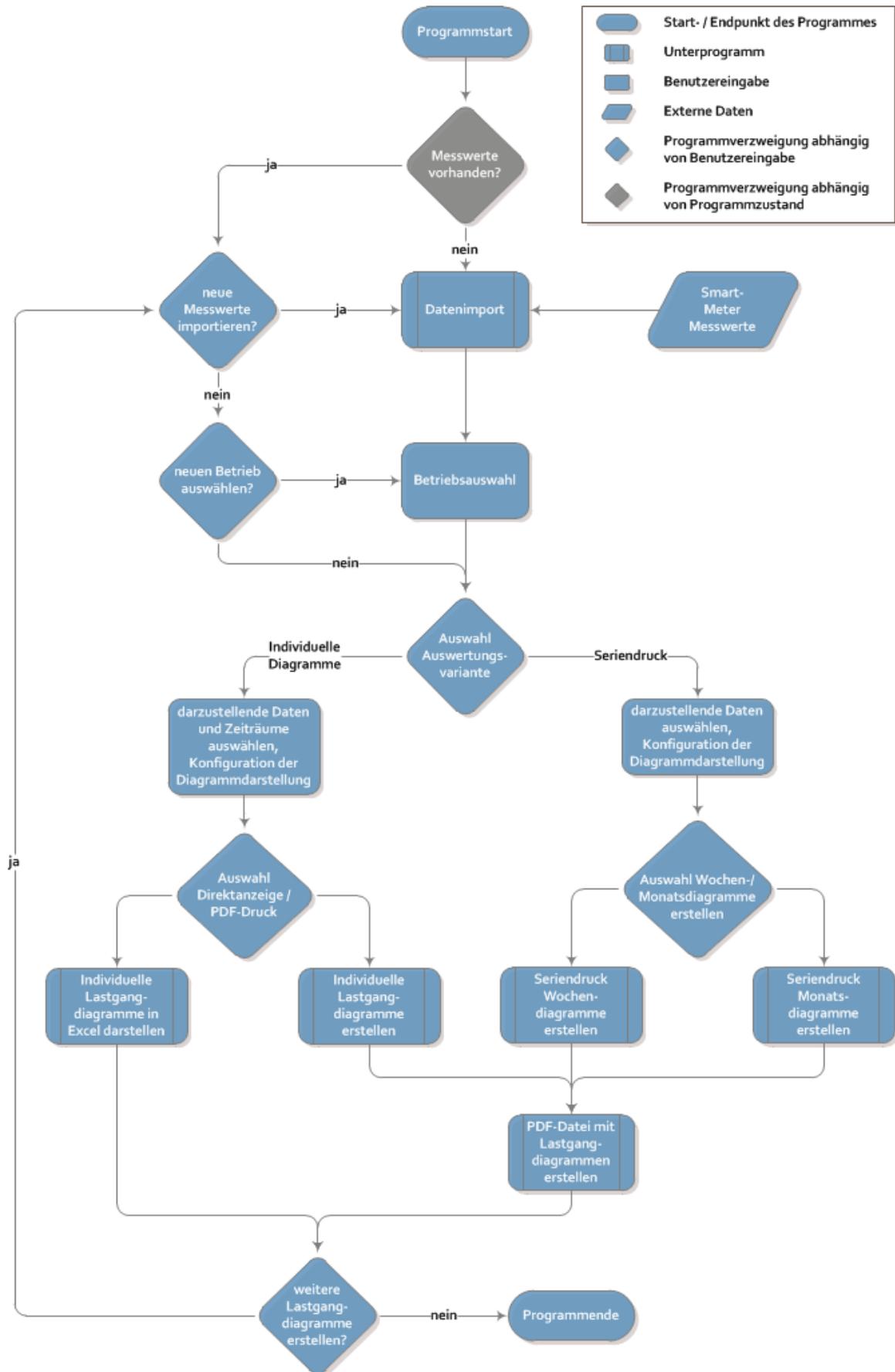


Abbildung 10.6: Programmlaufplan des Programmes zur Erstellung der Lastgangdiagramme

10.2 Fragebogen zur Betriebserfassung^G

Enthalten ist der komplette Fragebogen. Für die einzelnen Befragungen wurde eine auf die tatsächlich durchgeführten Prozesse des jeweiligen Betriebes gekürzte Version verwendet.

Fragebogen

zur individuellen Betriebserfassung

Betriebsinformationen

Kontaktinformationen

Vorname	Name
_____	_____
Straße/Haus-Nr.	

PLZ	Ort
_____	_____
Telefon	Fax
_____	_____
Mobil	Email
_____	_____
ESTAG-Kunden-Nr.	Homepage
_____	_____
Notizen	

PV - Anlage

Gesamtleistung der Anlage	Anzahl der Strings
_____	_____
Montageort (Gebäude)	Ausrichtung und Montagewinkel
_____	_____
PV-Modul (Hersteller und Typ)	

Art des PV-Moduls	Leistung / Modul [Wp]
<input type="radio"/> monokristallin <input type="radio"/> polykristallin <input type="radio"/> amorph	_____
Wechselrichter (Hersteller und Typ)	

Verschattung	
<input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein	
Falls ja, in welchem Bereich und wodurch?	

Notizen	

Abbildung 10.7: Fragebogen zur individuellen Betriebserfassung (Seite 1/12)

Landwirtschaftliche Informationen

Produktionszweige

Hauptproduktionszweige _____ weitere Produktionszweige _____

Betreiben Sie auch Direktvermarktung? ja nein

In welchem Umfang (Stück Vieh pro Jahr, bzw. Anteil Umsatz an Gesamtumsatz) _____

Notizen _____

Stallungen

Grundfläche _____ |

Baujahr _____ |

Ausführung _____ |

Jahr der letzten Generalsanierung _____ |

Notizen _____

Weitere Wirtschaftsgebäude mit Energieverbrauch

Grundfläche _____ |

Heizungsart _____ |

Baujahr _____ |

Notizen _____

Wohngebäude

Grundfläche _____ |

Heizungsart _____ |

Baujahr _____ |

Personen im Haushalt _____

Notizen _____

Abbildung 10.8: Fragebogen zur individuellen Betriebserfassung (Seite 2/12)

Viehhaltung

Anzahl Stallplätze und Produktionsmenge pro Jahr	Kommentar
Sauen	
Ferkelzucht	
Masthühner	
Legehühner	
Milchkühe	
Mastrinder	
Sonst. Rind	
Ziegen	
Schafe	
Sonstige Nutztiere	
Sonstiges Großvieh	
Notizen	

Betriebsfläche

Grünlandfläche [ha]	Sonderkulturfläche [ha]
Ackerfläche [ha]	Sonderkulturararten
Forst [ha]	Sonstiges
Notizen	

Abbildung 10.9: Fragebogen zur individuellen Betriebserfassung (Seite 3/12)

Energetechnische Informationen

Smart Meter Daten verfügbar seit _____

Für Auswertung betrachteter Zeitraum _____

Verfügen Sie über einen separaten Stromzähler für den Haushalt ja nein

Sind weitere Stromzwischenzähler im Einsatz ja nein

Falls ja, welche Bereiche werden dadurch erfasst? _____

Sind separate Gewerbestromzähler vorhanden ja nein

Welche sind die größten Stromverbraucher? (Ca. 5, Selbsteinschätzung durch Landwirt, Anschlussleistung aber selbst ablesen)

1. _____ 2. _____

3. _____ 4. _____

5. _____ 6. _____

Notizen _____

Energieverbrauch und -erzeugung

Gesamtstromverbrauch im BZR [kWh] _____

Verbrauch-Hochtarif [kWh] _____

Verbrauch-Niedertarif [kWh] _____

PV-Erzeugung [kWh] _____

Verfügen Sie über weitere Stromerzeugungsmöglichkeiten (zB Biogasanlage, ÖMAG-PV)? _____

maximale Leistung [kW] _____ Jahresproduktion [kWh] _____ regelmäßiger Betrieb ja nein

Notizen _____

Abbildung 10.10: Fragebogen zur individuellen Betriebserfassung (Seite 4/12)

Ist-Stand Eigenverbrauch

derzeitiger Eigenverbrauch, ohne Maßnahmen [kWh] _____ %

Aussergewöhnliche energieintensive Ereignisse seit Terminvereinbarung _____

Notizen _____

Selbsteinschätzung durch Landwirt

geschätztes Verhältnis Verbrauch Betrieb zu Verbrauch Haushalt _____

In welchen Bereichen schätzen Sie das Stromsarpotential am höchsten ein? (ca. 5 Bereiche, in absteigender Reihenfolge)

1. _____ 2. _____ 3. _____

4. _____ 5. _____ 6. _____

Planen Sie in naher Zukunft konkrete Massnahmen um den Stromverbrauch zu reduzieren? ja nein

Wenn ja welche? _____

In welchem Zeitraum müssten sich die Einsparmassnahmen bezahlt machen? _____

Notizen: _____

Abbildung 10.11: Fragebogen zur individuellen Betriebserfassung (Seite 5/12)

Landwirtschaftliche Prozesse

Stall

Stallheizung und Warmwasserverbrauch im Stall

Brennstoff Öl Gas Scheitholz Hackschnitzel Pellets _____

Art des Heizelements (z.B. Gebläse, Heizkörper) _____

Baujahr Heizung _____

Leistung Heizungsanlage [kW] _____

Heizenergieverbrauch p.a. _____

Regelungsvariante Thermostate Aussenfühler Innenfühler _____

Betriebsmonate - _____ durchschnittliche Betriebsstunden _____

Pufferspeicher im Wasserkreislauf ja nein Volumen [l] _____

Notizen _____

Ferkelstheizung

Heizungsart: Heizstrahler Fussbodenheizung Gasstrahler _____

Falls FB-Heizung Elektrisch Warmwasser

Falls Warmwasser:
Wie erfolgt die Warmwassererzeugung für die Ferkelstbeheizung? _____

Falls Warmwasser und Pufferspeicher (für Ferkelst):
Wird mit elektrischem Heizstab geheizt? ja nein _____

Durchschnittliche Betriebsstunden der FB-Heizung / Tag: _____ von-bis: _____ - _____

Gibt es saisonale Schwankungen? (z.B. Leerstände) _____

Notizen _____

Abbildung 10.12: Fragebogen zur individuellen Betriebserfassung (Seite 6/12)

Melken

Welche Melkanlage wird verwendet? Rohmelkanlage Melkstand Melkroboter Eimermelkanlage

Regelung der Vakuumpumpe: drehzahlgesteuert nicht drehzahlgesteuert

Mit welchem Verfahren reinigen Sie die Melkanlage? Heißwasser chemisch _____

Wie erfolgt hierfür die Warmwassererzeugung? elektrisch Verbrennung von _____

Wie groß ist der ggf. vorhandene Warmwasserspeicher [l]? _____

Wird der Warmwasserspeicher auch mit einem elektrischen Heizstab beheizt? ja nein

Wird die Abwärme der Milchkühlanlage genutzt? ja, für _____ nein

Mit welchem Verfahren wird die Milch gekühlt? Eiskühlung Direktkühlung Beides

Volumen des Milchlagertanks [l]: _____

Wird die Milch über einen Vorkühler vorgekühlt bevor sie in den Lagertank eingefüllt wird? ja nein

Welche Art von Melkstandheizung verwenden Sie: elektrische Heizung Heizkörper

Warmluftheizung Abwärme der Milchkühlung Fussbodenheizung _____ Keine

Falls elektrisch, Anschlussleistung [kW] _____ Einsatzdauer pro Tag [h] _____

Monate in denen der Melkstand beheizt wird: _____

Notizen _____

Beleuchtung

Hinweis: In der Verbraucherliste erfassen

Notizen _____

Abbildung 10.13: Fragebogen zur individuellen Betriebserfassung (Seite 7/12)

Stallbelüftung

Ist der Stall zwangsbelüftet? ja nein

Beschreiben Sie ihr Lüftungssystem im Detail (Art der Düsen etc., Fotos)

Art der Drehzahlregelung? Phasenanschnitt Trafosteuerung Frequenzumrichter keine

Wird in der Lüftungsanlage ein Wärmetauscher eingesetzt? ja nein

Notizen

Fütterung

Ausführung der Fütterungsanlage: vollautomatisch halbautomatisch mechanisch

Mahlen Sie Futtermittel selbst? ja nein

Mischen Sie Futtermittel selbst? ja nein

Wie oft wird der Mahl- und Mischvorgang durchgeführt?

In welchem Umfang besteht Lagerkapazität für im Voraus gemahlenes Trockenfutter (Tagesmengen)?

Benötigen Sie Warmwasser bei der Fütterung (z.B. um Ferkelfutter anzurühren)? ja nein

Wenn ja, wie wird dieses Wasser erhitzt und welche Menge wird täglich benötigt?

Notizen

Entmistung

Haben sie eine automatische Entmistungsanlage in Einsatz? ja nein

Notizen

Abbildung 10.14: Fragebogen zur individuellen Betriebserfassung (Seite 8/12)

Legehennenstall (Eierproduktion)

Automatisches Eiersammeln mit Eierband: ja nein

Elektrische Sortieranlage: ja nein

Elektrische Abpackanlage: ja nein

Notizen

Urlaub am Bauernhof

Anzahl Ferienwohnungen Anzahl Zimmer

Anzahl der Betten gesamt

Mit welchen elektrischen Geräten sind die Ferienwohnungen ausgestattet?

Verfügen die Einheiten über separate Stromzähler? ja nein

Hauptsaison (von-bis) und Auslastung der Unterkünfte[%] Nebensaison (von-bis) und Auslastung der Unterkünfte[%]

Gibt es Monate, in denen kein UaB-Betrieb herrscht? ja - nein

Welche anderen Betriebszweige gibt es in Ihrem landwirtschaftlichen Betrieb? (nach absteigender Priorität geordnet)

Wie wichtig ist Urlaub am Bauernhof im Vergleich zur Landwirtschaft? (ca. Verhältnis des Umsatzes)

Achten Sie auf die Energieeffizienz der in den Unterkünften eingebauten Geräten? ja nein

Planen Sie Neuanschaffungen bei den Elektrogeräten in den Unterkünften? ja nein

Falls ja, bei welchen Geräten:

Heizsystem für Wohnbereiche: Öl Gas Scheitholz Hackschnitzel Pellet

Verfügen Sie zusätzlich über eine thermische Solaranlage? ja nein

Anteil der Solaranlage an Gesamtwarmwassererzeugung %

Ist ein Warmwasserpuffer vorhanden? ja nein Volumen [l]

Verfügen ggf. vorhandene Puffer über einen zusätzlichen elektr. Heizstab? ja nein

Notizen

Abbildung 10.15: Fragebogen zur individuellen Betriebserfassung (Seite 9/12)

Direktvermarktung

Welche Produkte erzeugen Sie? (Nach absteigender Priorität geordnet)

Welche elektrischen Geräte benötigen Sie für die Veredelungsschritte?

Welche sind dabei die größten Stromverbraucher? (ca. 5, Selbsteinschätzung durch LW, Anschlussleistung ablesen)

1.

 2.

3.

 4.

5.

 6.

Verfügen sie über einen eigenen Verkaufsraum? ja nein

Falls ja, ist der Verkaufsraum klimatisiert? Klimaanlage Lüftungsanlage nein

Notizen

Abbildung 10.16: Fragebogen zur individuellen Betriebserfassung (Seite 10/12)

Obst-, Wein- und Gemüsebau

Welche Arbeitsschritte führen Sie durch, bei denen Strom verbraucht wird (Kühlung und Warmwasserbereitung ausgenommen)?

Notizen

Sonstiges

Trocknung / Heubelüftung

Verfügen sie über eine eine Trocknungsanlage? ja nein drehzahl geregelt: ja nein

Trocknungsmasse pro Jahr [m³] Fassungsvermögen Trocknungsanlage [m³]

Feuchtigkeitsgehalt zu Beginn [%] Feuchtigkeitsgehalt am Ende [%]

Dauer eines Trocknungsvorganges

Verfügen sie über eine Heubelüftung? ja nein drehzahl geregelt: ja nein

Heutrocknung pro Jahr [m³] Fassungsvermögen Trocknungsanlage [m³]

Feuchtigkeitsgehalt zu Beginn [%] Feuchtigkeitsgehalt am Ende [%]

Dauer eines Trocknungsvorganges

Notizen

Kühlung

Sind Kühlräume oder Kühllhallen vorhanden? Kühlraum Kühllhalle nein

Wieviele Gefriertruhen setzen Sie ein?

Gibt es Zeiten, in denen der Kühlraum außer Betrieb ist?

Notizen

Abbildung 10.17: Fragebogen zur individuellen Betriebserfassung (Seite 11/12)

10.4 Anschaffungskosten von EC-Ventilatoren zur Stallbelüftung^C

styriabrid GmbH
Die Vorteilsgemeinschaft

Schulstraße 14
A-8423 St. Veit am Vogau
Tel: 03453/40 600-0
Fax: 03453/40 600-99
Bearbeiter: Pronnegg Hermann
E-mail: pronnegg@styriabrid.at
Tel: 0043/ (0) 34 53 / 40 600 - 19
Tel mobil: 0043/ (0) 664/81 55 501
Vertreter: Pronnegg Hermann
Internet.: www.styriabrid.at

Datum: 21.01.2014
Kunden Nr: J 03_D

Angebot Nr: 30/0068/2014

Artikel Nr.:	Menge	Bezeichnung	Einzelpreis EUR	Gesamtpreis EUR
Lieferzeit: ab Auftragsbestätigung mind. 6-8 Wochen				
LZETAQ0040	1,000 Stk	Lüfter Ziehl-Abegg FC040-4IQ.4C.3, Ø = 40 cm, 0 - 10 V, 4400 m²/h bei 30 Pa Gegendruck, 51 dB, I_{max} = 1,15 A <small>ETAvent Axialventilatoren mit quadratischem Flansch ohne Schutzgitter, Durch den integrierten EC-Controller wird ein hoher Wirkungsgrad über den gesamten Drehzahlbereich gewährleistet. Dadurch werden sehr niedrige Betriebskosten erreicht. Es ist kein Motorschutzschalter erforderlich, da die Temperatur der Motorwicklung über die eingebaute Elektronik überwacht wird. 230 V</small>	579,96	579,96
LZETAQ0050	1,000 Stk	Lüfter Ziehl-Abegg FC050-4IQ.4C.3, Ø = 50 cm, 0 - 10 V, 7.640 m²/h bei 30 Pa Gegendruck, 57 dB, I_{max} = 2,7 A <small>ETAvent Axialventilatoren mit quadratischem Flansch ohne Schutzgitter, Durch den integrierten EC-Controller wird ein hoher Wirkungsgrad über den gesamten Drehzahlbereich gewährleistet. Dadurch werden sehr niedrige Betriebskosten erreicht. Es ist kein Motorschutzschalter erforderlich, da die Temperatur der Motorwicklung über die eingebaute Elektronik überwacht wird. 230 V</small>	704,74	704,74
LZETAQ0056	1,000 Stk	Lüfter Ziehl-Abegg FC056-4IQ.4C.A7, Ø = 56 cm, 0 - 10 V, 8.500 m²/h bei 30 Pa Gegendruck, 49 dB, I_{max} = 2,3 A <small>ETAvent Axialventilatoren mit quadratischem Flansch ohne Schutzgitter, Durch den integrierten EC-Controller wird ein hoher Wirkungsgrad über den gesamten Drehzahlbereich gewährleistet. Dadurch werden sehr niedrige Betriebskosten erreicht. Es ist kein Motorschutzschalter erforderlich, da die Temperatur der Motorwicklung über die eingebaute Elektronik überwacht wird. 230 V</small>	739,08	739,08
LZETAQ0063	1,000 Stk	Lüfter Ziehl-Abegg FFowlet-ECblue FF063-ZIG.DG.A5P1, Ø = 63 cm, 0 - 10 V, 51 dB Bauform Q, ohne Berührungsschutzgitter 0-10V <small>ETAvent Axialventilatoren mit quadratischem Flansch ohne Schutzgitter, Durch den integrierten EC-Controller wird ein hoher Wirkungsgrad über den gesamten Drehzahlbereich gewährleistet. Dadurch werden sehr niedrige Betriebskosten erreicht. Es ist kein Motorschutzschalter erforderlich, da die Temperatur der Motorwicklung über die eingebaute Elektronik überwacht wird. 230 V</small>	768,32	768,32
alternativ				

Abbildung 10.23: Angebot hinsichtlich Anschaffungskosten von EC-Ventilatoren (Seite 1/2; Quelle: [77])

styriabrid GmbH
Die Vorteilsgemeinschaft

Angebot Nr: 30/0068/2014

Artikel Nr.:	Menge	Bezeichnung	Einzelpreis EUR	Gesamtpreis EUR
LZETAR0040	1,000 Stk	Lüfter Ziehl-Abegg FC040-4IT.4C.3, Ø = 40 cm, 0 - 10 V, 4400 m ² /h bei 30 Pa Gegendruck, 51 dB, I _{max} = 1,15 A ** ALTERNATIVARTIKEL **	537,71	537,71
		ETAvent Axialventilatoren für Rohreinbau ohne Schutzgitter Durch den integrierten EC-Controller wird ein hoher Wirkungsgrad über den gesamten Drehzahlbereich gewährleistet. Dadurch werden sehr niedrige Betriebskosten erreicht. Es ist kein Motorschutzschalter erforderlich, da die Temperatur der Motorwicklung über die eingebaute Elektronik überwacht wird. 230 V		
LZETAR0050	1,000 Stk	Lüfter Ziehl-Abegg FC050-4IT.4C.3, Ø = 50 cm, 0 - 10 V, 7.640 m ² /h bei 30 Pa Gegendruck, 57 dB, I _{max} = 2,7 A ** ALTERNATIVARTIKEL **	659,86	659,86
		ETAvent Axialventilatoren für Rohreinbau ohne Schutzgitter Durch den integrierten EC-Controller wird ein hoher Wirkungsgrad über den gesamten Drehzahlbereich gewährleistet. Dadurch werden sehr niedrige Betriebskosten erreicht. Es ist kein Motorschutzschalter erforderlich, da die Temperatur der Motorwicklung über die eingebaute Elektronik überwacht wird. 230 V		
LZETAR0056	1,000 Stk	Lüfter Ziehl-Abegg FC056-4IT.4C.3, Ø = 56 cm, 0 - 10 V, 8.500 m ² /h bei 30 Pa Gegendruck, 49 dB, I _{max} = 2,3 A ** ALTERNATIVARTIKEL **	700,66	700,66
		ETAvent Axialventilatoren für Rohreinbau ohne Schutzgitter Durch den integrierten EC-Controller wird ein hoher Wirkungsgrad über den gesamten Drehzahlbereich gewährleistet. Dadurch werden sehr niedrige Betriebskosten erreicht. Es ist kein Motorschutzschalter erforderlich, da die Temperatur der Motorwicklung über die eingebaute Elektronik überwacht wird. 230 V		
LZETAR0063	1,000 Stk	Lüfter Ziehl-Abegg FFowlet-ECblue FF063-ZIT.DG.A5P1, Ø = 63 cm, 0 - 10 V, 51 dB Bauform Rohreinbau, ohne Berührungsschutzgitter ** ALTERNATIVARTIKEL **	723,18	723,18
		ETAvent Axialventilatoren für Rohreinbau ohne Schutzgitter Durch den integrierten EC-Controller wird ein hoher Wirkungsgrad über den gesamten Drehzahlbereich gewährleistet. Dadurch werden sehr niedrige Betriebskosten erreicht. Es ist kein Motorschutzschalter erforderlich, da die Temperatur der Motorwicklung über die eingebaute Elektronik überwacht wird. 230 V		

Bei Abnahme von 22 Stk kann ich ihnen noch einen Objektrabatt von 10 % gewähren.

Nettosumme:	2.792,10
+ 20 % MWSt	558,42
Gesamtbetrag EUR:	3.350,52

Zahlungskondition: Netto bei Erhalt der Rechnung

Lieferkondition: Zustellung

Ladungsgewicht: 0 kg

Abbildung 10.24: Angebot hinsichtlich Anschaffungskosten von EC-Ventilatoren (Seite 2/2; Quelle: [74])

10.5 Technische Daten von Ventilatoren zur Stallbelüftung^C

10.5.1 Axialventilatoren mit Außenläufer-Asynchronmotor^C

Typ / Type	Leistungsschildangaben Output rating information						Werte bei Betriebspunkt Values at operating point		
	P ₁ kW	U +/-10 % 50 Hz V	I _{Bemess.} / I _{rated} A ¹⁾	I _{max} A ²⁾	n min ⁻¹	C 400 V µF	p _{sF} = 0 Pa		P _{spez} Wh 1000m ³ ³⁾
							q _v m ³ /h	q _v m ³ /h	
FC035-4EQ.2C.A7	0,16	1~230	0,75	0,96	1370	8	3460	3050	51,5
FC040-4E_4C.A7	0,26	1~230	1,2	1,55	1370	6	4730	4400	53,5
FC045-4E_4F.A7	0,38	1~230	1,9	2,25	1365	7	6350	5950	56,5
FC045-4D_4C.A7	0,36	3~400	0,75	0,75	1390	-	6400	5950	53,8
FC050-4E_4I.A7	0,51	1~230	2,3	2,7	1310	8	8000	7400	59,7
FC050-4D_4F.A7	0,53	3~400	1,1	1,2	1360	-	8330	7800	59,0
FC056-6E_4F.A7	0,43	1~230	1,95	1,95	880	10	8910	7950	39,5
FC056-6D_4F.A7	0,36	3~400	0,74	0,80	890	-	9000	7970	43,7
FC063-6E_4I.A7	0,60	1~230	2,7	3,0	890	12	12500	11500	48,5
FC063-6D_4I.A7	0,58	3~400	1,4	1,4	910	-	12750	11650	45,5
FC080-6D_6K.A7	1,30	3~400	2,6	2,9	900	-	22900	21400	56,0
FC080-6E_6N.A7	1,35	1~230	6,3	7,0	830	20	23000	21200	58,1
FE071-6D_6F.A3	0,55	3~400	1,2	1,3	915	-	13600	12000	33,6
FE080-6E_6K.A3	0,73	1~230	3,5	4,1	900	16	18000	16000	45,5
FE091-6D_6F.A3	0,96	3~400	1,95	1,95	890	-	24000	21000	44,8
FE091-6E_6K.A3	0,96	1~230	4,6	4,8	830	16	23000	20000	47,3

Abbildung 10.25: Technische Daten Axialventilatoren mit Außenläufer-Asynchronmotor (Quelle: [78])

Erklärungen des Herstellers [78]:

- 1) Bemessungsstrom am Abreißpunkt der Ventilator Kennlinie
- 2) Max. Strom bei transformatorischer Drehzahlsteuerung am Abreißpunkt der Ventilator Kennlinie. Bei elektronischen Steuergeräten treten bis zu 15 % höhere Ströme auf.
- 3) Werte ohne Reglerverluste.
- 4) Schalldruckpegel unter Einbeziehung des Berührschutzgitters freiblasend in 7m Abstand druckseitig 45° zur Ventilatorachse.

10.5.2 Axialventilatoren mit Außenläufer-EC-Antrieben^C

Typ / Type	Bemessungswerte Rated data				Werte bei mittlerem q_v Values at medium q_v		Werte bei max. Drehzahl und Betriebspunkt5) Values at max. speed and operating point5)				
	P_1 kW	U			q_v m ³ /h	P _{spez} Wh/1000m ³	$p_{sF} = 0 \text{ Pa}$		$p_{sF} = 30 \text{ Pa}$		$p_{sF} = 0 \text{ Pa}$ L _{pA} ⁴⁾ dB(A)
		50/60 Hz V	I A	n min ⁻¹			q_v m ³ /h	q_v m ³ /h	P _{spez} Wh/1000m ³		
FC040-4I_4C.3	0,25	1~230	1,15	1400	2480	30,2	4730	4400	48,5 (51,6) ¹⁾	51	
FC045-4I_4C.3	0,41	1~230	1,9	1400	3340	34,9	6350	5990	57,9 (61,0) ¹⁾	53	
FC050-4I_4C.3	0,56	1~230	2,7	1380	4450	31,5	8180	7640	61,2 (63,7) ¹⁾	57	
FC056-4I_4C.3	0,47	1~230	2,3	1000	-	-	9400	8550	47,2 (49) ¹⁾	49	
FC063-4I_4F.3	0,53	1~230	2,5	900	6080	27,7	12200	11400	40,0 (41,7) ¹⁾	53	
FE071-4I_4I.3	0,89	1~230	3,8	1100	8880	26,9	16060	14780	47,7 (49,7) ¹⁾	57	
FE080-4I_4I.3Z	0,98	1~230	4,4	1050	-	-	20880	19140	47,5 (50,5) ¹⁾	-	
FE091-4I_4I.3Z	1,10	1~230	4,9	950	13210	25,0	25350	22600	46,7 (48,6) ¹⁾	58	

Abbildung 10.26: Technische Daten Axialventilatoren mit Außenläufer-EC-Antrieben (Quelle: [78])

Erklärungen des Herstellers [78]:

- 1) Werte in Klammern: inklusive EC-Controller
- 4) Schalldruckpegel unter Einbeziehung des Berührschutzgitters freiblasend in 7m Abstand druckseitig 45° zur Ventilatorachse
- 5) Werte ohne Schutzgitter

10.6 Technische Daten IE3 Elektromotoren (~3; 230/400 V; 50 Hz)^C

Type	kW	HP	min ⁻¹	M _N Nm	IE3 η			cos φ	I _N 400V	I _x /I _N	M _x /M _N	M _s /M _N	M _k /M _N	J 10 ⁻³ kgm ²	kg	
					50%	75%	100%									
1500 min ⁻¹ (4 poles)																
AMPE 90S AA	4	1.1	1.5	1445	7.3	82.3	85.2	85.8	0.70	2.6	8.5	4.6	4.5	4.9	3.7	16.4
AMPE 90L BA	4	1.5	2	1420	10.1	84.7	85.4	85.7	0.76	3.3	7.8	4.1	4.0	4.3	3.7	16.4
AMPE 90L CA	4	1.8	2.4	1420	12.1	83.8	84.9	85.3	0.70	4.3	8.0	4.1	4.0	4.3	3.7	16.4
AMPE 112M AA	4	3.7	5	1450	24.4	87.7	88.6	88.8	0.80	7.5	9.9	3.3	2.7	4.9	16.4	36
AMPE 112M BA	4	4	5.5	1445	26.4	87.9	88.5	88.8	0.82	7.9	9.3	3.1	2.4	4.6	16.4	36
AMPE 132S ZA	4	5.5	7.5	1450	36.2	90.6	91.0	91.2	0.82	10.6	9.4	3.7	3.2	4.3	36	65
AMPE 132M ZA	4	7.5	10	1465	48.9	89.8	91.2	91.5	0.68	17.5	9.7	4.4	3.7	5.1	45	79
AMPE 132M TA	4	9.2	12.4	1455	60.4	90.6	91.2	91.3	0.74	19.7	9.8	4.9	4.2	5.8	57	98
AMPE 160M ZA	4	11	15	1470	71.5	92.2	92.6	92.9	0.79	21.6	10.1	4.6	3.3	4.9	120.7	114
AMPE 160L ZA	4	15	20	1465	97.8	92.1	92.5	92.8	0.78	29.9	10.1	4.4	3.2	4.7	135	120

Abbildung 10.27: Auszug aus dem Datenblatt für IE3 Drehstrommotoren (Quelle: [42])

10.7 Technische Daten Frequenzumrichter^C

Nennwerten			Typenbezeichnung	Bau- größe
P_N kW	P_N hp	I_{2N} A		
1-phasige AC-Einspeisespannung, 200 bis 240 V				
0,37	0,5	2,4	ACS150-01X-02A4-2	R0
0,75	1	4,7	ACS150-01X-04A7-2	R1
1,1	1,5	6,7	ACS150-01X-06A7-2	R1
1,5	2	7,5	ACS150-01X-07A5-2	R2
2,2	3	9,8	ACS150-01X-09A8-2	R2
3-phasige AC-Einspeisespannung, 200 bis 240 V				
0,37	0,5	2,4	ACS150-03X-02A4-2	R0
0,55	0,75	3,5	ACS150-03X-03A5-2	R0
0,75	1	4,7	ACS150-03X-04A7-2	R1
1,1	1,5	6,7	ACS150-03X-06A7-2	R1
1,5	2	7,5	ACS150-03X-07A5-2	R1
2,2	3	9,8	ACS150-03X-09A8-2	R2
3-phasige AC-Einspeisespannung, 380 bis 480 V				
0,37	0,5	1,2	ACS150-03X-01A2-4	R0
0,55	0,75	1,9	ACS150-03X-01A9-4	R0
0,75	1	2,4	ACS150-03X-02A4-4	R1
1,1	1,5	3,3	ACS150-03X-03A3-4	R1
1,5	2	4,1	ACS150-03X-04A1-4	R1
2,2	3	5,6	ACS150-03X-05A6-4	R1
3	4	7,3	ACS150-03X-07A3-4	R1
4	5	8,8	ACS150-03X-08A8-4	R1

Abbildung 10.28: Auszug aus dem Datenblatt der ACS-Frequenzumrichterserie (Quelle: [79])

10.8 Technische Daten zur Wärmerückgewinnung in Betrieb O2^G

Dieser Bereich enthält die Daten der Wärmerückgewinnungsberechnung für den Betrieb O2 (Abschnitt 6.8.2). Konkret sind dies die Berechnung zur Auslegung des Verdichters und darauf aufbauend die Dimensionierung des Wärmetauschers für beide in Abschnitt 6.8.2 erläuterten Varianten.

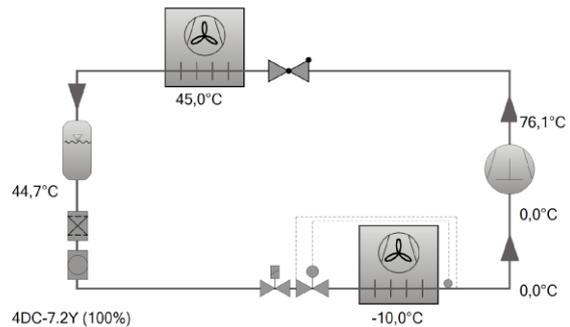
10.8.1 Verdichterauslegung^G

		
BITZER Software v6.4.0 rev1076	09/12/2013 / Alle Angaben ohne Gewähr.	1 / 3

Verdichterauslegung: Halbhermetische Hubkolbenverdichter

Vorgabewerte

Verdichtertyp	(4DC-7.2Y)
Modus	Kälte- und Klimaanlage
Kältemittel	R404A
Bezugstemperatur	Taupunkt
Verdampfung	-10,00 °C
Verflüssigung	45,0 °C
Flüss. unterk. (im Verfl.)	0 K
Sauggasüberhitzung	10,00 K
Betriebsart	Auto
Netzversorgung	400V-3-50Hz
Leistungsregler	100%
Nutzbare Überhitzung	100%



Ergebnis

Verdichter	4DC-7.2Y-40S
Leistungsstufen	100%
Kälteleistung	11,84 kW
Kälteleistung *	12,98 kW
Verdampferleist.	11,84 kW
Leist.aufnahme	6,18 kW
Strom (400V)	11,08 A
Spannungsbereich	380-420V
Verflüssigerleistung	18,02 kW
Leistungszahl	1,91
Leistungszahl *	2,10
Massenstrom	420 kg/h
Betriebsart	Standard
Druckgastemp. Ungekühlt	76,1 °C



*Verdichter-Leistungsdaten vom ASERCOM zertifiziert (siehe T.Daten/ Hinweise)
 *nach EN12900 (20°C Sauggastemp., 0K Flüssigkeitsunterkühlung)

Einsatzgrenzen 100% Octagon

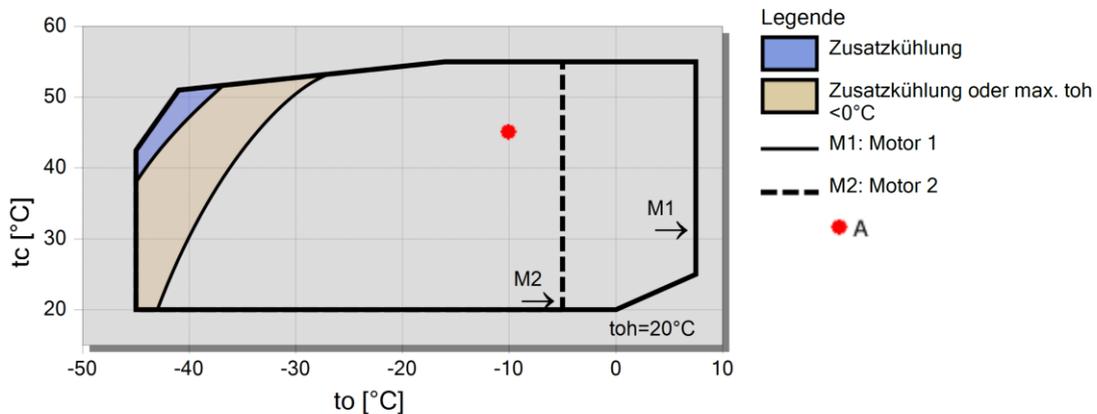
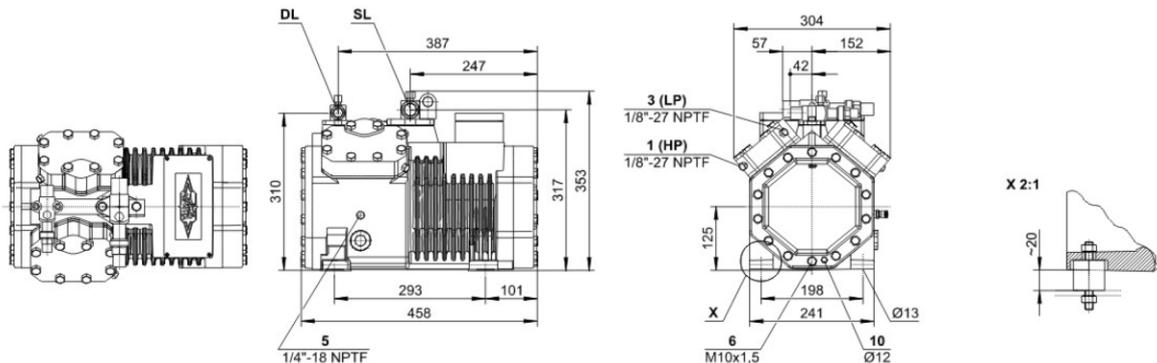


Abbildung 10.29: Auslegung des Verdichters Bitzer 4DC-7.2Y-40S (Seite 1/3, Quelle: [67])

		2 / 3
BITZER Software v6.4.0 rev1076	09/12/2013 / Alle Angaben ohne Gewähr.	

Technische Daten: (4DC-7.2Y)

Maße und Anschlüsse



Technische Daten

Technische Daten

Fördervolumen (1450/min 50Hz)	26,84 m ³ /h
Fördervolumen (1750/min 60Hz)	32,39 m ³ /h
Zylinderzahl x Bohrung x Hub	4 x 50 mm x 39,3 mm
Gewicht	88,5 kg
Max. Überdruck (ND/HD)	19 / 28 bar
Anschluss Saugleitung	28 mm - 1 1/8"
Anschluss Druckleitung	22 mm - 7/8"
Ölfüllung R134a/R407C/R404A/R507A/R407A	tc<55°C: BSE32 / tc>55°C: BSE55 (Option)
Ölfüllung R22 (R12/R502)	B5.2 (Standard)
Ölfüllung R290/R1270	SHC226E (Standard)

Motordaten

Motorspannung (weitere auf Anfrage)	380-420V Y-3-50Hz
Max. Betriebsstrom	15.9 A
Anlaufstrom (Rotor blockiert)	82.4 A
Max. Leistungsaufnahme	9,0 kW

Lieferumfang (Standard)

Motorschutz	SE-B1
Schutzklasse	IP65
Schwingungsdämpfer	Standard
Ölfüllmenge	2,00 dm ³

Verfügbare Optionen

Druckgas-Temperaturfühler	Option
Anlaufentlastung	Option
Leistungsregelung	100-50% (Option)
Zusatzlüfter	Option
Ölsumpfheizung	0..120 W PTC (Option)
Ölniveau-Überwachung	OLC-K1 (Option, not for R290/R1270)

Geräuschmessungen

Schallleistung (+5°C / 50°C)	71,0 dB(A) @ 50Hz
Schallleistung (-10°C / 45°C)	72,0 dB(A) @ 50Hz
Schallleistung (-35°C / 40°C)	(74,0) dB(A) @ 50Hz
Schalldruck in 1m (+5°C / 50°C)	63,0 dB(A) @ 50Hz
Schalldruck in 1m (-10°C / 45°C)	64,0 dB(A) @ 50Hz
Schalldruck in 1m (-35°C / 40°C)	(66,0) dB(A) @ 50Hz

Abbildung 10.30: Auslegung des Verdichters Bitzer 4DC-7.2Y-40S (Seite 2/3, Quelle: [67])

		
BITZER Software v6.4.0 rev1076	09/12/2013 / Alle Angaben ohne Gewähr.	3 / 3

Halbhermetische Hubkolbenverdichter

Motor 1 = z.B. 4TES-12 (4TCS-12.2) mit 12"PS", primär für Klimakühlung (z.B. R22, R407C) und Klimakühlung mit hohen Umgebungstemperaturen bei R134a

Motor 2 = z.B. 4TES-9 (4TCS-8.2) mit 8"PS", universaler Motor für Normal- und Tiefkühlung (z.B.: R404A, R507A, R407F, R407A) und Klimakühlung mit R134a Motor 3 = z.B. 4TES-8, primär für Normalkühlung mit R134a

Weitere Informationen über die Anwendungsbereiche sind unter "Grenzen" verfügbar.

Betriebsarten für 4VES-7 (4VCS-6.2) bis 6FE-44 (6F-40.2) und 44JE-30 (44J-26.2) bis 66FE-88 (66F-80.2) mit R407F/R407A/R22:

CIC = Kältemittel-Einspritzung bei Tiefkühlung, Motor sauggasgekühlt

ASERCOM zertifizierte Leistungsdaten:

Der Verband europäischer Hersteller von Komponenten für die Kältetechnik hat ein Zertifizierungsprogramm für Leistungsdaten von Kälteverdichtern implementiert. Der hohe Standard dieser Zertifizierung wird gewährleistet durch:

- Plausibilitätsprüfung der Daten, die von Experten durchgeführt wird.
- regelmäßige Messungen von unabhängigen Instituten.

Dieser hohe Aufwand hat zur Folge, dass nur eine begrenzte Anzahl von Verdichtern eingereicht werden kann. Deshalb sind noch nicht alle BITZER Verdichter zertifiziert.

Leistungsdaten von Verdichtern, die diesen strengen Anforderungen genügen, dürfen das Label "ASERCOM certified" tragen. In dieser Software ist das Label der entsprechenden Verdichtern links unter dem Ergebnisfeld oder im Ausdruck der Leistungsdaten platziert. Alle zertifizierten Verdichter und weitere Informationen sind auf der Homepage des ASERCOM (www.ASERCOM.org) aufgelistet.

Verflüssigungsleistung:

Die Verflüssigungsleistung kann mit oder ohne Wärmeabstrahlung berechnet werden. Diese Option kann im Menü PROGRAMM/ OPTIONEN eingestellt werden. Die Wärmeabstrahlung beträgt konstant 5% der Leistungsaufnahme. Die Verflüssigungsleistung ist in der Zeile Verflüssigungsl. (mit WA) bzw. Verflüssigungsleistung angegeben.

Angaben zur Schall-Emission:

Die Werte basieren auf 50Hz Betrieb (IP-Einheiten 60Hz) und R404A falls nicht anders angegeben.

Schalldruck: Werte gelten für Freifeld-Bedingungen mit halbkugelförmiger Schallausbreitung in 1 Meter Abstand.

Toleranz +/- 2db(A)

Grundlegende Hinweise zu den Schalldaten:

Die Daten wurden unter Laborbedingungen gemessen. Hierzu stehen die Verdichter frei auf einer massiven Fundamentplatte. Die Rohrleitungen sind so weit wie möglich schwingungsfrei angeschlossen und in der Messkammer flexibel so befestigt, dass die Übertragung von Schwingungen auf die Umgebung weitgehend ausgeschlossen ist. In einer realen Anlage können sich deutliche Unterschiede zu der Labormessung einstellen. Der vom Verdichter ausgehende Luftschall kann an den Oberflächen der Anlage reflektiert werden und dadurch den am Verdichter gemessenen Luftschallpegel erhöhen. Die Schwingungen des Verdichters werden, je nach Dämpfungsgrad der Befestigungen über die Verdichterfüße und die Rohrleitungen auch auf die Anlage übertragen und können dort andere Bauteile so weit anregen, dass sie zur Erhöhung des Luftschalls beitragen. Diese Übertragungen können sofern notwendig durch geeignete Dämpfungs- und Befestigungselemente minimiert werden.

Legende der Anschluss-Positionen aus "Maße":

- 1 Hochdruck-Anschluss (HP)
- 2 Druckgas-Temperaturfühler (HP)
- 3 Niederdruck-Anschluss (LP)
- 4 CIC-System: Sprühdüse (LP)
- 4b CIC-Fühler
- 5 Öleinfüll-Stopfen
- 6 Ölablass (Magnetschraube)
- 7 Ölfilter
- 8 Ölrückführung (Ölabscheider)
- 9 Öl- und Gasausgleich (Parallelbetrieb)
- 9a Gasausgleich (Parallelbetrieb)
- 9b Ölausgleich (Parallelbetrieb)
- 10 Ölsumpfheizung
- 11 Öldruck-Anschluss +
- 12 Öldruck-Anschluss -
- 13 Kühlwasser-Anschluss
- 16 Anschluss für Öldifferenzdruck-Schalter "Delta-P"

Abbildung 10.31: Auslegung des Verdichters Bitzer 4DC-7.2Y-40S (Seite 3/3, Quelle: [67])

10.8.2 Wärmetauscherberechnung Variante 1^G

Condenser - QUOTATION

WT-TYP : EUT-B80Hx30/1P-SC-M (2*35.1+2*1 1/4"&28U)

Art No : 14239-030

Name des Mediums Seite 1 : R404A

Name des Mediums Seite 2 : Wasser

Flow Type : Counter-Current

TECHN. VORGABEDATEN		SEITE 1	SEITE 2
Leistung	kW		36,32
Eintrittstemperatur	°C	76,00	30,00
Kondensationstemperatur	°C	45,00	
Unterkühlung	K	2,00	
Austrittstemperatur	°C	42,58	40,00
Durchfluss	kg/h	840,0	3129
Kondensationsmassenstrom	kg/h	840,0	
Max. Druckverlust	kPa	25,0	25,0
AUSLEGUNGSERGEBNISSE		SEITE 1	SEITE 2
Wärmetauscherfläche	m ²		1,68
Heat flux	kW/m ²		21,6
MTD	K		9,47
Wärmedurchgangskoeffizient	W/m ² , °C		2280
Druckverlust - total	kPa	7,18	20,5
- in den Anschlüssen	kPa	-0,153	0,492
Austrittsdruck	kPa	2040	
Kanäle-Anzahl		14	15
Gesamtplattenzahl			30
Flächenreserve	%		0
Verschmutzungsfaktor	m ² , °C/kW		0,007
Anschlussdurchmesser	mm	33,0	33,0
Empfohlener Eintrittsdurchmesser	mm	From 10,5 to 23,4	
Empfohlener Austrittsdurchmesser	mm	From 5,63 to 17,8	
Reynoldszahl			1420
Anschlußgeschwindigkeit – inlet	m/s	2,51	1,02

Datum
2013-12-09

Page
1(2)

Abbildung 10.32: Wärmetauscherberechnung Variante 1 (Seite 1/2, Quelle: [67])

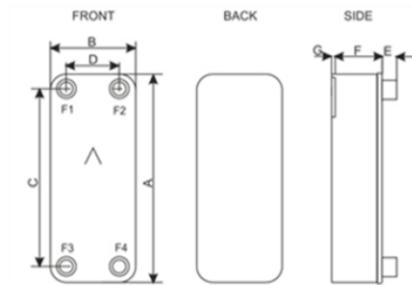
PHYSIKALISCHE KENNWERTE

		SEITE 1	SEITE 2	
Referenztemperatur	°C	44,79	35,00	
Flüssigkeit Viskosität	cP	0,0907	0,720	
	Dichte	kg/m ³	936,1	
	Spez. Wärmekapazität	kJ/kg, °C	1,853	
Wärmeleitfähigkeit	W/m, °C	0,05898	0,6233	
	Dampf Viskosität	cP	0,0128	
	Dichte	kg/m ³	108,2	
Spez. Wärmekapazität	kJ/kg, °C	1,360		
	Wärmeleitfähigkeit	W/m, °C	0,01620	
	- Latent heat	kJ/kg	113,1	
Wärmeübergangskoeff.	W/m ² , °C	3250	13100	
Minimum Wandtemperatur	°C	41,24	41,02	
Kanalgeschwindigkeit	m/s	0,679	0,258	

TOTALS

		SEITE 1	SEITE 2
Total weight (no connections)	kg	7,300	
Füllvolumen, Innenkreis	dm ³	1,6240	
Füllvolumen, Außenkreis	dm ³	1,7400	
Plate material		AISI 316	
Max operating pressure	bar	42	
Test pressure	bar	65	
Max working temperature	°C	225	
Connection data (height)	F1/F3	SOLDER 35.1	
	F2/F4	ISO-G 1 1/4" & SOLDER 28U	
Connection locations	in/out	F1/F3	F4/F2
Carbon Footprint	kg	51,3	

DIMENSIONS



A	mm	526 +/-2
B	mm	119 +/-1
C	mm	470 +/-1
D	mm	63 +/-1
E	mm	27,10 to 27,10 (opt. 45,10) +/-1
F	mm	71,20 +0,5%/-1,5%
G	mm	6 +/-1
R	mm	23

This is a schematic sketch. For correct drawings please use the order drawing function or contact your SWEPE representative.

Datum
2013-12-09

Page
2(2)

Abbildung 10.33: Wärmetauscherberechnung Variante 1 (Seite 2/2, Quelle: [67])

10.8.3 Wärmetauscherberechnung Variante 2^G

Single Phase - QUOTATION

WT-TYP : EUT-B12Hx20/1P-SC-H (2*35.1+2*1 1/4")
Art No : 11800-020

Name des Mediums Seite 1 : R404A (20,0 bar)
Name des Mediums Seite 2 : Wasser

Flow Type : Counter-Current

TECHN. VORGABEDATEN

		SEITE 1	SEITE 2
Leistung	kW	76,00	40,00
Eintrittstemperatur	°C	50,00	55,00
Austrittstemperatur	°C	840,0	434,5
Durchfluss	kg/h	30,0	30,0
Max. Druckverlust	kPa	1,75	1,01
Thermische Länge			

AUSLEGUNGSERGEBNISSE

		SEITE 1	SEITE 2
Wärmetauscherfläche	m ²	0,504	
Heat flux	kW/m ²	15,0	
MTD	K	14,83	
Wärmedurchgangskoeffizient	W/m ² , °C	1290/1100	
Druckverlust - total	kPa	25,3	0,810
- in den Anschlüssen	kPa	0,375	9,89e-3
Anschlussdurchmesser	mm	33,0	33,0
Kanäle-Anzahl		9H	10H
Gesamtplattenzahl		20	
Flächenreserve	%	18	
Verschmutzungsfaktor	m ² , °C/kW	0,137	
Reynoldszahl		32300	380
Anschlußgeschwindigkeit	m/s	2,90	0,145

Datum
2013-12-09

Page
1(2)

Abbildung 10.34: Wärmetauscherberechnung Variante 2 (Seite 1/2, Quelle: [67])

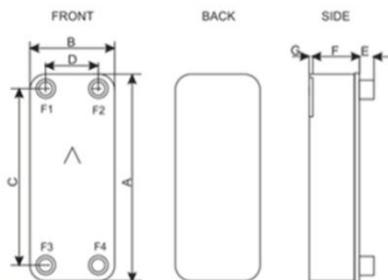
PHYSIKALISCHE KENNWERTE

		SEITE 1	SEITE 2
Referenztemperatur	°C	61,89	47,28
Viskosität	cP	0,0143	0,571
Wand-Viskosität	cP	0,0139	0,540
Dichte	kg/m ³	93,72	989,2
Spez. Wärmekapazität	kJ/kg, °C	1,257	4,180
Wärmeleitfähigkeit	W/m, °C	0,01992	0,6405
Min. Flüssigkeitstemp. an der Wand	°C	42,74	
Max. Flüssigkeitstemp. an der Wand	°C		60,18
Wärmeübergangskoeff.	W/m ² , °C	1780	5250
Minimum Wandtemperatur	°C	51,24	50,85
Kanalgeschwindigkeit	m/s	1,22	0,0550
Wandschubspannung	Pa	106	3,42

TOTALS

		SEITE 1	SEITE 2
Total weight (no connections)	kg		5,650
Füllvolumen, Innenkreis	dm ³		0,56700
Füllvolumen, Außenkreis	dm ³		0,63000
Plate material			AISI 316
Max operating pressure	bar		47
Test pressure	bar		75
Max working temperature	°C		225
Connection data (height)	F1/F3 F2/F4	SOLDER 35,1 ISO-G 1 1/4" A	
Connection locations	in/out	F1/F3	F4/F2
Carbon Footprint	kg		27

DIMENSIONS



This is a schematic sketch. For correct drawings please use the order drawing function or contact your SWEPP representative.

A	mm	287 +/-2
B	mm	117 +/-1
C	mm	234 +/-1
D	mm	63 +/-1
E	mm	27,10 to 27,10 (opt. 45,10) +/-1
F	mm	59,20 +0,5%/-1,5%
G	mm	2 +/-1
R	mm	22

Datum
2013-12-09

Page
2(2)

Abbildung 10.35: Wärmetauscherberechnung Variante 2 (Seite 2/2, Quelle: [67])

10.9 h-x Diagramm nach Mollier^C

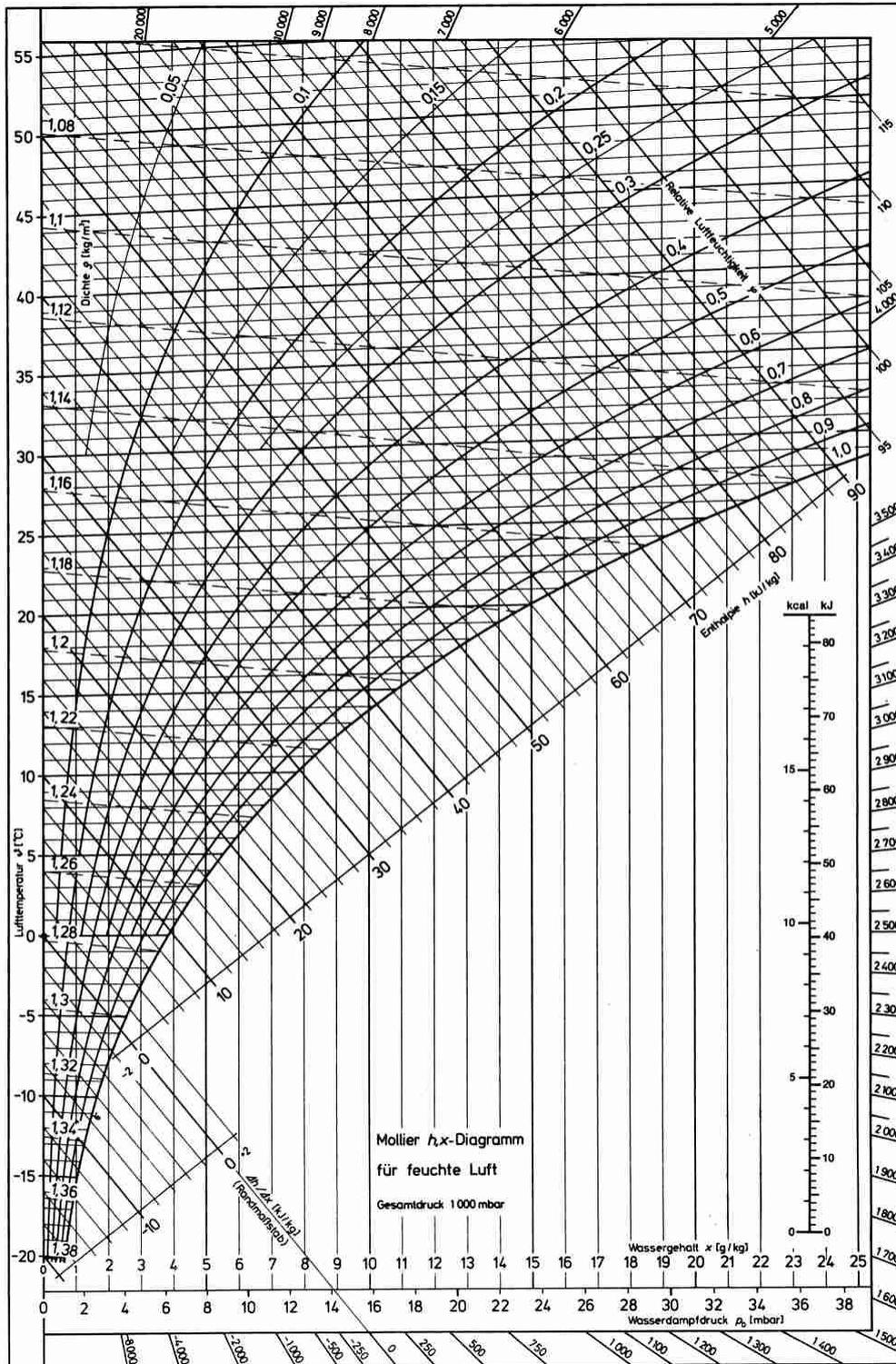


Abbildung 10.36: h-x Diagramm nach Mollier (Quelle: [80])