



Universität für Bodenkultur Wien

Wirtschaftlichkeit der Überschusseinspeisung von elektrischem Strom aus Photovoltaikanlagen auf landwirtschaftlichen Betrieben

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades Diplom-Ingenieur
im Rahmen des Studiums „Agrar- und Ernährungswirtschaft“

Eingereicht von: Michael KOLLNIG, Bakk.techn.
Matrikelnummer: 0841036
Email: michael.kollnig@gmx.at

Betreuer:
Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Michael EDER
Univ.Prof. Dr. Jochen KANTELHARDT
Institut für Agrar- und Forstökonomie
Department für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften

Wien, Juli 2013



Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	IV
Abstract	V
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	VIII
1. Einleitung und Problemstellung	1
2. Photovoltaik	4
2.1. Technische Grundlagen	4
2.1.1. Die Solarzelle	4
2.1.2. Das Solarmodul	5
2.1.3. Die Photovoltaikanlage	6
2.1.4. Sonneneinstrahlung und Wirkungsgrad	7
2.2. Anwendungsmöglichkeiten	8
2.3. Voraussetzungen für Photovoltaik in Österreich	9
2.3.1. Markt für elektrischen Strom	9
2.3.2. Gesetzliche Rahmenbedingungen	10
2.3.3. Förderungen und Einspeisetarif	12
2.4. Photovoltaik in der Landwirtschaft	13
2.4.1. Strombedarf und –verbrauch	13
2.4.2. Eigenstromnutzung bei Überschusseinspeisung	14
3. Modellannahmen und Methoden	16
3.1. Modellannahmen zum Stromverbrauch der Beispielsbetriebe	16
3.1.1. Milchviehbetrieb mit Melkstand	17
3.1.2. Milchviehbetrieb mit Melkroboter	19
3.1.3. Ferkelzuchtbetrieb	21
3.1.4. Schweinemastbetrieb.....	23
3.1.5. Landwirtschaftlicher Haushalt	25

3.2. Modellannahmen für die Photovoltaikanlage	25
3.2.1. Anlagenbezogene Daten	26
3.2.2. Überschusseinspeisung	27
3.2.3. Investition, Betriebskosten und Strompreise.....	28
3.3. Vollständiger Finanzplan (VOFI)	32
3.3.1. Elemente und Konzepte des VOFI	32
3.3.2. Aufbau und Erstellung des VOFI	33
3.3.3. Modellannahmen zu Investition und Finanzierung.....	35
3.4. Kennzahlen zur Wirtschaftlichkeit	36
3.5. Sensibilitätsanalyse	36
4. Ergebnisse	38
4.1. Lastganganalyse	38
4.1.1. Milchviehbetrieb mit Melkstand.....	38
4.1.2. Milchviehbetrieb mit Melkroboter	40
4.1.3. Ferkelzuchtbetrieb	42
4.1.4. Schweinemastbetrieb.....	44
4.2. Eigenverbrauch und Überschusseinspeisung	46
4.2.1. Milchviehbetrieb mit Melkstand.....	47
4.2.2. Milchviehbetrieb mit Melkroboter	48
4.2.3. Ferkelzuchtbetrieb	50
4.2.4. Schweinemastbetrieb.....	52
4.3. Vollständiger Finanzplan und Wirtschaftlichkeit	54
4.3.1. Milchviehbetrieb mit Melkstand.....	55
4.3.2. Milchviehbetrieb mit Melkroboter	58
4.3.3. Ferkelzuchtbetrieb	61
4.3.4. Schweinemastbetrieb.....	63
4.4. Sensibilitätsanalyse	66
4.4.1. Anlagengröße	66
4.4.2. Marktpreissteigerung	67

4.4.3. Zinssatz Geldanlage	70
4.4.4. Eigenverbrauch.....	70
5. Diskussion	72
6. Schlussfolgerungen	75
7. Literatur	76
8. Anhang	79

Kurzfassung

Das Ziel der vorliegenden Masterarbeit war die Erarbeitung eines Modells für die Investition in eine Photovoltaikanlage mit Überschusseinspeisung auf landwirtschaftlichen Betrieben. Dazu wurden ein Milchviehbetrieb mit Melkstand, ein Milchviehbetrieb mit Melkroboter, ein Ferkelzuchtbetrieb und ein Schweinemastbetrieb als Beispielsbetriebe herangezogen, da diese jeweils spezielle Gegebenheiten im Bezug auf die tages- bzw. jahreszeitliche Verteilung des Stromverbrauchs aufweisen. Diese Lastgänge in Kombination mit der Stromerzeugung einer Photovoltaikanlage machten ein modellhaftes Errechnen des Eigenverbrauchsanteils und des Autarkiegrades möglich. Die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit erfolgte mit der Methode des Vollständigen Finanzplans (VOFI) und mittels Sensibilitätsanalysen. Der Anteil des direkt vor Ort verbrauchten Sonnenstroms stellt jene Einflussgröße dar, die entscheidend für die Wirtschaftlichkeit einer solchen Investition ist, da der eigenverbrauchte Strom mit einem höheren Strompreis vergütet wird, wie der in das Netz eingespeiste Überschussstrom. Allgemein weisen alle Beispielsbetriebe bei kleinen Anlagengrößen und höherer Grundlast im Stromverbrauch die größte Eigenkapitalverzinsung auf, da es auch schon mit kleineren Anlagen möglich ist, einen wesentlichen Teil der Grundlast während der Tagesmitte abzudecken. Eine Wirtschaftlichkeit der Investition in eine Photovoltaikanlage mit Überschusseinspeisung auf einem landwirtschaftlichen Betrieb ist bei entsprechendem Eigenverbrauch auch ohne öffentliche Mittel gegeben.

Abstract

The aim of this masterthesis was to develop a model for investing in a photovoltaic system with excess supply on farms. A dairy farm with conventional milking, a dairy farm with an automatic milking system, a farm with breeding of sucking pigs and a farm with fattening pigs were used as sample farms. Each of them have special circumstances in relation to the day or seasonal distribution of electricity consumption. These load profiles in combination with the generation of a photovoltaic system made a modeled calculating of the consumption share and the degree of self-sufficiency possible. The assessment of the economy was carried out with the method Full Financial Plan (VOFI) and by means of sensitivity analyzes. The proportion of locally consumed sun-electricity represents those influencing factor that is critical for the economic viability of such an investment since the locally consumed electricity is compensated with a higher price as the excess electricity feed into the grid. Generally all sample farms with smaller plant sizes and higher base-load power consumption have the greatest return on equity. It is already possible to cover a substantial part of the base-load during the middle of the day with smaller plants. An economic investment in a photovoltaic system with excess supply on a farm is also given with appropriate consumption without public funds.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung von Ertragsdaten der Photovoltaikanlage für 1 kW installierte Leistung	27
Abbildung 2: Schematische Darstellung der Ermittlung von eigenverbrauchter und eingespeister Strommenge	28
Abbildung 3: Investitionssumme Photovoltaikanlage und Preis Wechselrichter	30
Abbildung 4: Entwicklung des Marktpreises für elektrischen Strom in den Jahren 2003 bis 2012	31
Abbildung 5: Aufteilung des Jahresstromverbrauchs für den Milchviehbetrieb mit Melkstand	39
Abbildung 6: Lastgang des Milchviehbetriebs mit Melkstand für einen mittleren Tag pro Monat	40
Abbildung 7: Aufteilung des Jahresstromverbrauchs für den Milchviehbetrieb mit Melkroboter	41
Abbildung 8: Lastgang des Milchviehbetriebs mit Melkroboter für einen mittleren Tag pro Monat	42
Abbildung 9: Aufteilung des Jahresstromverbrauchs für den Ferkelzuchtbetrieb	43
Abbildung 10: Lastgang des Ferkelzuchtbetriebs für einen mittleren Tag pro Monat	44
Abbildung 11: Aufteilung des Jahresstromverbrauchs für den Schweinemastbetrieb	45
Abbildung 12: Lastgang des Schweinemastbetriebs für einen mittleren Tag pro Monat	46
Abbildung 13: Gegenüberstellung der Erzeugung einer 20 kW _{peak} Photovoltaikanlage mit dem Lastgang des Milchviehbetriebs mit Melkstand für die Monate Jänner und Juli	48
Abbildung 14: Gegenüberstellung der Erzeugung einer 20 kW _{peak} Photovoltaikanlage mit dem Lastgang des Milchviehbetriebs mit Melkroboter für die Monate Jänner und Juli ..	50
Abbildung 15: Gegenüberstellung der Erzeugung einer 20 kW _{peak} Photovoltaikanlage mit dem Lastgang des Ferkelzuchtbetriebs für die Monate Jänner und Juli	52
Abbildung 16: Gegenüberstellung der Erzeugung einer 20 kW _{peak} Photovoltaikanlage mit dem Lastgang des Schweinemastbetriebs für die Monate Jänner und Juli	54
Abbildung 17: Gegenüberstellung der Opportunitätskosten des Eigenkapitals mit dem Bestandssaldo im Betrachtungszeitraum für den Milchviehbetrieb mit Melkstand bei einer Anlagengröße von 20 kW _{peak}	57

<i>Abbildung 18: Gegenüberstellung der Opportunitätskosten des Eigenkapitals mit dem Bestandssaldo im Betrachtungszeitraum für den Milchviehbetrieb mit Melkroboter bei einer Anlagengröße von $20 \text{ kW}_{\text{peak}}$</i>	<i>60</i>
<i>Abbildung 19: Gegenüberstellung der Opportunitätskosten des Eigenkapitals mit dem Bestandssaldo im Betrachtungszeitraum für den Ferkelzuchtbetrieb bei einer Anlagengröße von $20 \text{ kW}_{\text{peak}}$</i>	<i>62</i>
<i>Abbildung 20: Gegenüberstellung der Opportunitätskosten des Eigenkapitals mit dem Bestandssaldo im Betrachtungszeitraum für den Schweinemastbetrieb bei einer Anlagengröße von $20 \text{ kW}_{\text{peak}}$</i>	<i>65</i>
<i>Abbildung 21: Variation der Anlagengröße und der Marktpreissteigerung für den Milchviehbetrieb mit Melkstand.....</i>	<i>68</i>
<i>Abbildung 22: Variation der Anlagengröße und der Marktpreissteigerung für den Milchviehbetrieb mit Melkroboter</i>	<i>69</i>
<i>Abbildung 23: Variation der Anlagengröße und der Marktpreissteigerung für den Ferkelzuchtbetrieb</i>	<i>69</i>
<i>Abbildung 24: Variation der Anlagengröße und der Marktpreissteigerung für den Schweinemastbetrieb.....</i>	<i>70</i>

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Ermittlung des Marktpreises von elektrischem Strom für das 1. Quartal 2013</i>	<i>10</i>
<i>Tabelle 2: Charakteristik Milchviehbetrieb mit Melkstand</i>	<i>18</i>
<i>Tabelle 3: Charakteristik Milchviehbetrieb mit Melkroboter.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabelle 4: Charakteristik Ferkelzuchtbetrieb.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabelle 5: Charakteristik Schweinemastbetrieb</i>	<i>24</i>
<i>Tabelle 6: Standardisierte VOFI-Tabelle.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabelle 7: Jährlicher Strombedarf und Einsatzhäufigkeit der einzelnen Verbraucher für den Milchviehbetrieb mit Melkstand.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabelle 8: Jährlicher Strombedarf und Einsatzhäufigkeit der einzelnen Verbraucher für den Milchviehbetrieb mit Melkroboter</i>	<i>41</i>
<i>Tabelle 9: Jährlicher Strombedarf und Einsatzhäufigkeit der einzelnen Verbraucher für den Ferkelzuchtbetrieb</i>	<i>43</i>
<i>Tabelle 10: Jährlicher Strombedarf und Einsatzhäufigkeit der einzelnen Verbraucher für den Schweinemastbetrieb.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabelle 11: Entwicklung von eigenverbraucher und eingespeister Strommenge sowie des Eigenverbrauchs und der Autarkie bei unterschiedlichen Anlagengrößen für den Milchviehbetrieb mit Melkstand bei einem Strombedarf von 27070 kWh pro Jahr</i>	<i>47</i>
<i>Tabelle 12: Entwicklung von eigenverbraucher und eingespeister Strommenge sowie des Eigenverbrauchs und der Autarkie bei unterschiedlichen Anlagengrößen für den Milchviehbetrieb mit Melkroboter bei einem Strombedarf von 32827 kWh pro Jahr.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabelle 13: Entwicklung von eigenverbraucher und eingespeister Strommenge sowie des Eigenverbrauchs und der Autarkie bei unterschiedlichen Anlagengrößen für den Ferkelzuchtbetrieb bei einem Strombedarf von 38255 kWh pro Jahr.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabelle 14: Entwicklung von eigenverbraucher und eingespeister Strommenge sowie des Eigenverbrauchs und der Autarkie bei unterschiedlichen Anlagengrößen für den Schweinemastbetrieb bei einem Strombedarf von 32390 kWh pro Jahr.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabelle 15: Vollständiger Finanzplan für den Milchviehbetrieb mit Melkstand mit Investition in eine Photovoltaikanlage mit einer Nennleistung von 20 kW_{peak}.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabelle 16: Kennzahlen zur Wirtschaftlichkeit für die Investition in eine Photovoltaikanlage für den Milchviehbetrieb mit Melkstand.....</i>	<i>58</i>

<i>Tabelle 17: Vollständiger Finanzplan für den Milchviehbetrieb mit Melkroboter mit Investition in eine Photovoltaikanlage mit einer Nennleistung von 20 kW_{peak}</i>	<i>59</i>
<i>Tabelle 18: Kennzahlen zur Wirtschaftlichkeit für die Investition in eine Photovoltaikanlage für den Milchviehbetrieb mit Melkroboter</i>	<i>60</i>
<i>Tabelle 19: Vollständiger Finanzplan für den Ferkelzuchtbetrieb mit Investition in eine Photovoltaikanlage mit einer Nennleistung von 20 kW_{peak}.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabelle 20: Kennzahlen zur Wirtschaftlichkeit für die Investition in eine Photovoltaikanlage für den Ferkelzuchtbetrieb</i>	<i>63</i>
<i>Tabelle 21: Vollständiger Finanzplan für den Schweinemastbetrieb mit Investition in eine Photovoltaikanlage mit einer Nennleistung von 20 kW_{peak}.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabelle 22: Kennzahlen zur Wirtschaftlichkeit für die Investition in eine Photovoltaikanlage für den Schweinemastbetrieb.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabelle 23: Anlagengröße für die rechnerische Erzeugung des jährlichen Gesamtstrombedarfs der Beispielsbetriebe und die dazugehörigen Werte der Eigenkapitalrentabilität und des Eigenverbrauchs.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabelle 24: Erforderlicher Eigenverbrauchsanteil für eine Eigenkapitalverzinsung von 3 % in Abhängigkeit der Anlagengröße</i>	<i>71</i>
<i>Tabelle 25: Stromverbrauch des Haushalts für durchschnittliche Tage pro Monat.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabelle 26: Stromerzeugung der Photovoltaikanlage pro installiertem Kilowatt für durchschnittliche Tage pro Monat.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabelle 27: Investitionskosten pro installiertem Kilowatt in Abhängigkeit von der Anlagengröße</i>	<i>80</i>
<i>Tabelle 28: Stromverbrauch des Milchviehbetriebs mit Melkstand für durchschnittliche Tage pro Monat.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabelle 29: Stromverbrauch des Milchviehbetriebs mit Melkroboter für durchschnittliche Tage pro Monat.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabelle 30: Stromverbrauch des Ferkelzuchtbetriebs für durchschnittliche Tage pro Monat</i>	<i>82</i>
<i>Tabelle 31: Stromverbrauch des Schweinemastbetriebs für durchschnittliche Tage pro Monat</i>	<i>82</i>

1. Einleitung und Problemstellung

Durch die fortschreitende Spezialisierung und der durch den Strukturwandel bedingten Vergrößerung der landwirtschaftlichen Betriebseinheiten, bei gleichzeitiger Intensivierung der Nutztierhaltung, steigt der Strombedarf in der Landwirtschaft ständig an. Dies erfordert Bemühungen für einen effizienten Einsatz dieses Energieträgers (Jauschnegg, 1999, 1). Elektrischer Strom wird für viele Produktionsabläufe am landwirtschaftlichen Betrieb benötigt und stellt somit eine Kostenbelastung dar. Zudem ist davon auszugehen, dass das Niveau des Strompreises für den Endverbraucher zukünftig weiter ansteigen wird (Weyerstrass et al., s.a., 22). Im täglichen Rhythmus des landwirtschaftlichen Betriebes kommt es – oftmals nur sehr kurzfristig – zu Lastspitzen im Stromverbrauch, die beispielsweise in der Milchviehhaltung nur bedingt durch intelligentes Lastmanagement vermeidbar sind.

Im Jahr 2011 entfielen in Österreich 1,35 % des Energetischen Endverbrauchs an elektrischem Strom auf den Sektor Landwirtschaft (vgl. Statistik Austria, 2013). Dieser relativ gesehen kleine Prozentsatz lässt nur in geringem Ausmaß auf die Kostenbelastung des einzelnen landwirtschaftlichen Betriebes schließen, wobei vermutet wird, dass der reale Anteil höher liegt, da in der Statistik kleinere landwirtschaftliche Betriebe bei den privaten Haushalten aufscheinen. In Zeiten steigender Energiepreise erscheint eine genauere Betrachtung der damit verbundenen wirtschaftlichen Auswirkungen jedoch als gerechtfertigt. Darüber hinaus leistet Energieeffizienz einen aktiven Beitrag zur Reduktion von Emissionen und bringt durch weniger Stromverbrauch auch finanzielle Einsparungen mit sich (Braunstein et al., 2008, 8).

Neben der Optimierung des Stromverbrauchs besteht unter Anderem die Möglichkeit, den Strom mittels einer Photovoltaikanlage am Betrieb selbst zu erzeugen. Durch das Vorhandensein von in der Regel genügend Dachflächen und die geringe zeitliche Mehrbelastung, stellt die Investition in eine Photovoltaikanlage eine interessante Option für Landwirte dar (Heißenhuber und Berenz, 2005, 2). Vor allem die Möglichkeit der Überschusseinspeisung in Verbindung mit einem intelligenten Energiemanagement kann Kosteneinsparungen beim Betriebsmittel Elektrischer Strom mit sich bringen (Loibnegger, 2012, s.p.).

Vor allem sinkende Preise für die Herstellung von Photovoltaikanlagen und eine entsprechende Förderpolitik haben in den letzten Jahren eine dynamische Entwicklung in diesem Bereich induziert. So hat sich die Erzeugung von elektrischem Strom mittels Photovoltaik in Österreich in den Jahren 2008 bis 2011 um den Faktor 5,8 erhöht (vgl. Statistik Austria, 2013). Die kumulierte Gesamtleistung aller Photovoltaikanlagen in Österreich betrug rund 187,2 MW_{peak} im Jahr 2011, wodurch rund 174,1 GWh Strom erzeugt

wurden (Photovoltaik Austria, 2012, 13). Der Anteil des mittels Photovoltaikanlagen erzeugten Stroms am Energetischen Endverbrauch betrug im Jahr 2011 rund 0,3 % (vgl. Statistik Austria, 2013).

Fundamental für die Analyse des Stromverbrauchs und der Energieeffizienz eines landwirtschaftlichen Betriebes ist die Betrachtung des Lastgangs. In einem Belastungsdiagramm können die Belastungsschwankungen auf einem landwirtschaftlichen Betrieb innerhalb eines definierten Zeitraums dargestellt werden (Braunstein et al., 2008, 14). Hierbei existieren neben jahreszeitlichen Unterschieden auch Unterschiede zwischen den verschiedenen Betriebstypen. Die Kombination dieser betriebstypenspezifischen Lastgänge mit der Stromerzeugung einer auf dem Betrieb installierten Photovoltaikanlage stellt den Mittelpunkt der Betrachtungen in der vorliegenden Arbeit dar. Engpässe bei der Vergabe von Förderungen für Photovoltaikanlagen und die sich ändernden gesetzlichen Rahmenbedingungen in diesem Bereich bringen Unsicherheiten für potentielle Anlagenbetreiber mit sich. Die Möglichkeit der Überschusseinspeisung sieht vor, dass der von der betriebseigenen Photovoltaikanlage erzeugte Strom zunächst am Betrieb verbraucht und nur der ungenutzte Strom in das öffentliche Netz eingespeist wird. Aufgrund der – ohne gefördertem Einspeisetarif – niedrigeren Vergütung des eingespeisten Stroms kann angenommen werden, dass ein möglichst hoher sowie zeitnah zur Erzeugung gelegener Eigenstromverbrauch die Wirtschaftlichkeit der Investition erhöht.

Das Ziel der Arbeit liegt in der Erarbeitung eines Modells für die Investition in eine Photovoltaikanlage unter Berücksichtigung des Eigenverbrauchs an elektrischem Strom. Dabei sollen verschiedene Betriebstypen miteinander verglichen und wesentliche Unterschiede im Bezug auf die Wirtschaftlichkeit der Überschusseinspeisung zwischen diesen Betriebstypen herausgearbeitet werden. Bei den Betriebstypen handelt es sich um solche, die jeweils spezielle Gegebenheiten im Bezug auf den Tagesgang des Stromverbrauchs aufweisen. Die im Folgenden angeführten Forschungsfragen sollen das Ziel der Arbeit weiter konkretisieren.

Forschungsfragen:

- Welche Einflussgrößen sind entscheidend für die Wirtschaftlichkeit der Überschusseinspeisung von elektrischem Strom aus einer Photovoltaikanlage auf einem landwirtschaftlichen Betrieb?
- Wo liegen die Unterschiede zwischen den in der Arbeit betrachteten landwirtschaftlichen Betriebstypen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit und der Realisierbarkeit einer effizienten Überschusseinspeisung von elektrischem Strom aus Photovoltaikanlagen?

Nach einer kurzen Einführung in die Funktionsweise und des technischen Standes von Photovoltaikanlagen werden die Anwendungsmöglichkeiten und Rahmenbedingungen für Photovoltaik in Österreich und in weiterer Folge speziell in der Landwirtschaft nach dem derzeitigen Stand des Wissens erörtert. Das Kapitel Modellannahmen und Methoden beschreibt zunächst die betrachteten landwirtschaftlichen Betriebstypen und darauf folgend werden die Erarbeitung des Modells sowie die zur Bestimmung der Wirtschaftlichkeit herangezogenen Methoden erläutert. Im vierten Kapitel werden die Ergebnisse der einzelnen Betriebstypen (Szenarien) abgebildet und im darauf folgenden Kapitel diskutiert. Im abschließenden Kapitel sechs sollen Schlussfolgerungen gezogen sowie der Blick in die Zukunft im Bezug auf dieses Thema bereitet und offen gebliebene Fragen aufgezeigt werden.

2. Photovoltaik

Dieses Kapitel beschreibt die wesentlichen technischen Grundlagen der Photovoltaik sowie deren Anwendungsmöglichkeiten. Auch der Markt für elektrischen Strom in Österreich und die gesetzlichen Rahmenbedingungen im Bereich der Solarstromerzeugung werden thematisiert. Dabei wird auf die für die vorliegende Arbeit relevanten Aspekte etwas näher eingegangen. Am Ende des Kapitels wird gesondert ein Überblick über den Stand und die Bedeutung der Photovoltaik in der Landwirtschaft gegeben.

2.1. Technische Grundlagen

Die Erzeugung von elektrischem Strom mittels einer Photovoltaikanlage wird der direkten Sonnenenergienutzung zugeteilt. Unter einer indirekten Nutzung der Sonnenenergie versteht man die Nutzung der verschiedenen Folgeerscheinungen der Sonneneinstrahlung wie Wind, Wasserkraft und die in Biomasse gespeicherte Sonne. Diese Energieträger lassen sich stets auf die Energieeinstrahlung der Sonne zurückführen. Innerhalb der direkten Sonnenenergienutzung wird weiters in aktive und passive Nutzung unterschieden. Die passive Nutzung macht sich die Sonneneinstrahlung auf Objekte zu Nutze, um beispielsweise den Heizwärmebedarf teilweise oder vollständig zu decken (z.B. Passivhaus). Pflanzenbau in Gewächshäusern sowie die Trocknung von Objekten im Freien stellen ebenso direkte passive Nutzung der Solarenergie dar. Photovoltaik zählt folglich wie auch die Solarthermie zur aktiven Nutzung, da die Sonnenenergie durch technische Systeme in nutzbare Energie umgewandelt wird. Kennzeichen der direkten aktiven Sonnenenergienutzung ist die Verwendung von Kollektoren oder Solarzellen (Seltmann, 2005, 16f). Die weiteren Ausführungen in dieser Arbeit beschränken sich auf die aktive Nutzung von Sonnenenergie mittels Solarzellen.

2.1.1. Die Solarzelle

Die Eigenschaft von bestimmten Materialien (Halbleitern), direkt aus dem Sonnenlicht Elektrizität zu erzeugen, beruht auf dem photovoltaischen Effekt, der erstmals von Alexandre Edmont Becquerel im Jahr 1839 entdeckt wurde. Der Begriff Photovoltaik setzt sich aus dem griechischen Wort für Licht („Photos“) und der Einheit für die elektrische Spannung („Volt“) zusammen (Seltmann, 2005, 18). 1954 wurde die erste Silizium-Solarzelle mit einem Wirkungsgrad von 6 % entwickelt. Die praktische Anwendung der Photovoltaik begann 1958, indem sie zur Stromversorgung von Satelliten im Weltraum eingesetzt wurde (Knobloch und Goetzberger, 1994, 2).

Der photovoltaische Effekt tritt in Festkörpern auf und ermöglicht die Umwandlung der solaren Strahlungsenergie in elektrische Energie. Es entsteht eine elektrische Spannung als Folge der Absorption der ionisierenden Strahlung. Durch eine Trennung von positiven und

negativen Ladungsträgern entsteht eine Potentialbarriere im unbelichteten, gegenüber dem belichteten Teil des Festkörpers, die zu elektrischer Leistung führt (Knobloch und Goetzberger, 1994, 1). Dieser Effekt wird als innerer Photoeffekt bezeichnet, da durch Einstrahlung von Licht in Halbleitern Elektronen in das Leitungsband gehoben und elektrisch nachgewiesen werden können, wohingegen beim äußeren Photoeffekt Elektronen durch Licht aus einer Oberfläche herausgelöst werden (Eichler, 2007, 242). Elektronen halten sich in Festkörpern innerhalb von Energiebändern auf, die aufgrund von dazwischen liegenden, so genannten verbotenen Zonen (Energierücken), nicht in Berührung kommen. Halbleiter besitzen dabei ein mit Elektronen gefülltes Valenzband, welches durch eine Energierücke vom leeren Leitungsband getrennt ist (Hering et al., 2009, 515). Das am häufigsten in der Photovoltaiktechnik eingesetzte Halbleitermaterial ist Silizium. Als Element der IV. Gruppe des Periodensystems besitzt Silizium vier Valenzelektronen. Durch Elektronenpaarbildung bildet sich ein stabiles Kristallgitter (Trnka, 2011, 15). Bei Energiezufuhr wird das Kristallgitter in Schwingung versetzt, wodurch sich Elektronen aus dem Kristall lösen. Diese Elektronen gelangen vom voll besetzten Valenzband über die Energierücke zum Leitungsband. Dadurch entstehen Löcher am Valenzband, die sich durch Aufnahme von benachbarten Elektronen ebenfalls bewegen können. Mit einer gezielten Verunreinigung, der so genannten Dotierung, können die technischen Eigenschaften des Halbleiters verändert werden. Durch den Einbau eines Elements aus der V. Gruppe des Periodensystems (fünf Valenzelektronen) kann das fünfte – nur sehr schwach gebundene – Elektron bereits durch geringe Energiezufuhr abgespalten bzw. ionisiert werden. Dies wird als n-Dotierung bezeichnet. Bei der p-Dotierung wird ein Element aus der III. Gruppe des Periodensystems als Störstelle hinzugefügt und es entsteht zusätzlich ein Loch, das ein Elektron aus dem Valenzband aufnehmen kann und somit die Leitfähigkeit des Halbleiters erhöht (Wesselak und Schabbach, 2009, 128ff).

Zur Gewinnung der Energie aus der beschriebenen Struktur wird ein p- und ein n-dotierter Halbleiter in Kontakt gebracht. Dadurch entsteht der p-n-Übergang. Zwischen den beiden Bereichen findet ein Ladungsaustausch statt. Durch Beleuchtung eines Materials mit p-n-Übergang erhöht sich die Anzahl der Ladungsträger im Kristall, die Elektronen werden zum n-dotierten und die Löcher zum p-dotierten Halbleiter gezogen bzw. diffundieren durch das Material. Beim Anbringen eines elektrischen Verbrauchers schließt sich der Stromkreislauf und der Photostrom kann genutzt werden (Wesselak und Schabbach, 2009, 138).

2.1.2. Das Solarmodul

Mehrere Solarzellen werden innerhalb eines Moduls in der Regel in Serie geschaltet, um die Ausgangsspannung des Solarmoduls zu erhöhen. Auf der Modulvorderseite kommt ein spezielles Glas als Trägermaterial zum Einsatz, das einerseits Witterungseinflüssen aller Art standhalten und gleichzeitig einen hohen Transmissionsgrad aufweisen muss. Als

Trägermaterial auf der Modulrückseite fungiert Glas oder Kunststoffolie und gewährleistet elektrische Isolation sowie UV-Beständigkeit (Wesselak und Schabbach, 2009, 150).

Solarzellen und damit auch die daraus zusammengesetzten Module werden üblicherweise unterschieden in Dünnschicht- und Dickschichtzellen. Sie unterscheiden sich in der Schichtdicke des Halbleiters sowie daraus abgeleitet im Herstellungsverfahren. Für die Herstellung von Dünnschicht-Solarzellen wird amorphes (nichtkristallines) Silizium verwendet. Der Vorteil liegt in den geringeren Kosten im Vergleich zu Dickschichtzellen, da das Silizium in geringerer Reinheit und Menge benötigt wird. Nachteile ergeben sich aus einer durch die geringere Reinheit bedingten Absättigung freier Bindungen durch Wasserstoff, was zu einer stetigen, sich mit der Zeit verlangsamenden Abnahme des Wirkungsgrades von Dünnschicht-Solarzellen führt (Würfel, 1995, 125). Die Dickschicht-Solarzellen werden auch kristalline Solarzellen genannt. Dabei wird sowohl mono-, als auch polykristallines Silizium verwendet und sie funktionieren im Wesentlichen mit dem oben beschriebenen p-n-Übergang. Während sich die Herstellung von monokristallinem Silizium als vergleichsweise kostenintensiver darstellt, erreicht diese Art von Solarzelle den größten Wirkungsgrad. Polykristalline Solarmodule stellen die überwiegende Anzahl in der Verwendung dar. Da der Vorgang der Kristallisation entfällt, der Wirkungsgrad aber nur gering unter dem der monokristallinen Solarmodule liegt, ergibt sich durch die weniger kostenintensive Herstellung ein günstiges Preis-Leistungs-Verhältnis (Schmid, 1994, 21).

2.1.3. Die Photovoltaikanlage

Die Nutzung des elektrischen Stroms mittels einer Photovoltaikanlage erfolgt in drei Schritten, in denen jeweils einzelne Komponenten einer Anlage benötigt werden. Der erste Schritt stellt die Energiegewinnung dar. Einzelne Solarzellen werden dabei zu Solarmodulen verschaltet und diese wiederum verschalteten Solarmodule ergeben den Solargenerator (Seltmann, 2005, 24). Die Schaltung der Solarzellen erfolgt entweder seriell oder parallel. Bei einer seriellen Schaltung kommt es zu Addition der elektrischen Spannung, wohingegen eine parallele Schaltung zu einer Addition der Ströme führt. Solarmodule wiederum werden seriell, parallel oder in einer Kombination daraus angeordnet. Ein abgeschattetes Modul bei einer Parallelschaltung führt zur Minderung der Gesamtleistung der Anlage. Zur Regelung des Stromflusses werden weiters verschiedene Dioden eingesetzt, auf die hier nicht weiter eingegangen wird (Wesselak und Schabbach, 2009, 161ff).

Solargeneratoren erzeugen aus dem auftreffenden Sonnenlicht Gleichstrom, der im zweiten Schritt einer Stromwandlung unterliegt, um netzüblichen Wechselstrom zu erhalten (Seltmann, 2005, 24). Dazu wird ein Wechselrichter benötigt, der neben der Umwandlung der Gleichspannung in Wechselspannung auch die Aufgabe hat, den Solargenerator vom

Stromnetz zu trennen bzw. im Fehlerfall die Anlage vom öffentlichen Netz zu entkoppeln (Wesselak und Schabbach, 2009, 155ff).

Der dritte Schritt ist die Nutzung des elektrischen Stroms. Bei netzgekoppelten Anlagen wird elektrischer Strom in das öffentliche Netz eingespeist. Dabei wird der erzeugte Strom entweder vollständig ins Netz gespeist oder zunächst verbraucht und nur der Überschuss an den Stromnetzbetreiber geliefert (Seltmann, 2005, 24). Auch eine Speicherung des Solarstroms in einem Akkumulator erfolgt in diesem Schritt. Photovoltaikanlagen ohne Anschluss an das elektrische Versorgungsnetz werden Inselanlagen genannt. Sie dienen etwa der Versorgung netzferner Verbraucher, wie z.B. Almhütten oder Trinkwasserpumpen. Netzgekoppelte Photovoltaikanlagen werden entweder gebäudeintegriert oder als Freiflächenanlagen ausgeführt (Wesselak und Schabbach, 2009, 166ff).

2.1.4. Sonneneinstrahlung und Wirkungsgrad

In einem Jahr gelangen mehr als 219×10^{15} kWh Sonnenenergie auf die Erde. Dieser Wert ist 2500 mal höher als der Gesamtenergieverbrauch der Menschheit in einem Jahr (Konrad, 2008, 5). Die Verfügbarkeit der Strahlung der Sonne für die Nutzung mittels einer Photovoltaikanlage wird einerseits von der Absorption der Energie in der Atmosphäre und andererseits von Verschattung durch z.B. Bäume, Gebäude oder Berge beeinflusst. Die senkrecht auf den oberen Rand der Erdatmosphäre im Durchschnitt auftreffende Strahlungsleistung beträgt 1367 Wm^{-2} . Dieser Mittelwert wird als Solarkonstante bezeichnet, die tatsächlichen Werte schwanken jahres- und auch tageszeitlich (Kaltschmitt und Streicher, 2009, 5). Unter günstigen Bedingungen beträgt die flächenspezifische Strahlungsleistung auf der Erdoberfläche in Mitteleuropa noch ca. 1000 Wm^{-2} . Dies entspricht in etwa der Hälfte der Strahlungsintensität in der Sahara (Konrad, 2008, 5).

Laut Konrad (2008, 12) erreichen Module mit Dünnschicht-Solarzellen einen Wirkungsgrad von etwa 6 %. Monokristalline Solarzellen liegen bei ca. 15 % und polykristalline Solarzellen bei ca. 14 % Wirkungsgrad. Der Wirkungsgrad ist dabei das Verhältnis von der elektrischen Leistung am Modulausgang zur spezifischen Strahlungsleistung auf der Moduloberfläche. Daraus ergibt sich ein Flächenbedarf für ein kW_{peak} elektrische Leistung von 6 – 9 m^2 bei mono-, von 9 – 11 m^2 bei polykristallinen und von 16 – 20 m^2 bei Dünnschicht-Solarzellen.

Neigung und Ausrichtung des Solargenerators beeinträchtigen die Leistung der Photovoltaikanlage. Die größte Rolle spielt dabei die Beschattung, die schon bei kleinen Sichtbarrieren, wie sie z.B. durch Bäume, Kamine oder punktuelle Verschmutzungen erzeugt werden können, deutliche Ertragseinbußen mit sich bringt (Seltmann, 2005, 39). Die Neigung und/oder die Ausrichtung der Solarmodule kann fest oder nachgeführt erfolgen. Um im Jahresmittel die größtmögliche Energieausbeute zu erhalten, wird in der Regel eine Ausrichtung nach Süden und ein Anstellwinkel von 30° zur Horizontalen angestrebt. Ein

Mehrertrag durch nachgeführte Module unter Einbeziehung der erhöhten Herstellungskosten ist stark standortabhängig. Weiters ist die Ausrichtung bei gebäudeintegrierten Anlagen meist durch die Gebäudegeometrie vorgegeben (Wesselak und Schabbach, 2009, 150ff). Eine weitere Möglichkeit der optimalen Montage ist die unterschiedliche Ausrichtung bzw. Neigung von Teilgeneratoren einer Anlage (Seltmann, 2005, 54).

2.2. Anwendungsmöglichkeiten

Wie schon erwähnt, kann grundsätzlich zwischen Inselsystemen und netzgekoppelten Anlagen unterschieden werden. Dabei sind Inselsysteme an kein übergeordnetes Versorgungssystem gebunden und somit autark im Bezug auf die Versorgung mit elektrischer Energie, wofür üblicherweise Energiespeicher in Form von Akkumulatoren benötigt werden, um den unregelmäßigen Energieertrag bedarfsgerecht zur Verfügung zu stellen (Trnka, 2011, 23). Bei netzgekoppelten Photovoltaikanlagen wird in der Regel auf Batteriespeicher verzichtet. Stattdessen dient das öffentliche Stromnetz als Speicher und gewährleistet eine permanente Versorgung mit elektrischer Energie (Kaltschmitt und Streicher, 2009, 174).

Bei den schon kurz angesprochenen gebäudeintegrierten Photovoltaikanlagen übernimmt die Anlage die Funktion eines Bauteils an einem Gebäude. Neben In-Dach, fassadenintegrierten und freistehenden Anlagen, sind Auf-Dach Anlagen, aufgrund der Möglichkeit der Montage einer Anlage auf einem bereits bestehenden Gebäude die am häufigsten errichteten Photovoltaikanlagen in Österreich (Konrad, 2008, 40). Große Anlagen (Solarkraftwerke) werden meist als Freiflächenanlagen ausgeführt, da eine optimale Ausrichtung leichter möglich und die Fläche weniger begrenzt ist (Trnka, 2011, 25). Die Größe der Anlage wird von der zur Verfügung stehenden Fläche, der gewünschten Leistung und den Investitionskosten bestimmt. Der Mehrertrag von nachgeführten Anlagen liegt zwischen 20 % und 40 % im Vergleich zu fest montierten Anlagen, wobei zu diesen Zahlen noch keine Ergebnisse aus Langzeitstudien vorliegen (Konrad, 2008, 75).

Zur Einspeisung des Solarstroms in das öffentliche Netz bestehen grundsätzlich zwei Möglichkeiten. Bei der so genannten Volleinspeisung wird der erzeugte Strom vollständig an den Netzbetreiber verkauft und der Bezug von elektrischer Energie aus dem Netz ist von der Photovoltaikanlage getrennt. Für die Einspeisung ist daher ein separater Einspeisezähler nötig und ebenso erfolgt die Verrechnung des zugekauften unabhängig von der Vergütung des eingespeisten Stroms (Seltmann, 2005, 89). Die zweite Möglichkeit stellt die Überschuss- bzw. Teileinspeisung dar. Dabei wird nur der nicht unmittelbar verbrauchte elektrische Strom in das öffentliche Netz eingespeist (Verbund, 2011, 2). Bei der Überschusseinspeisung vermindert der Eigenverbrauch von elektrischem Strom die vom Netzbetreiber bezogene Strommenge, die Photovoltaikanlage ist also mit dem öffentlichen

Stromnetz verbunden. Der Eigenstromverbrauch hat dabei zeitgleich mit der Stromerzeugung der Photovoltaikanlage zu erfolgen. Die Wahl der Einspeiseart hängt von der Höhe der Einspeisevergütung ab. Ist der Einspeisetarif nicht öffentlich gefördert, so ist der Bezugspreis für Strom aus dem Netz im Allgemeinen höher als die Einspeisevergütung (Seltmann, 2005, 88f). Im Folgenden beschränken sich die Betrachtungen in dieser Arbeit auf die Möglichkeit der Überschusseinspeisung.

2.3. Voraussetzungen für Photovoltaik in Österreich

Neben dem Markt für elektrischen Strom und den gesetzlichen Rahmenbedingungen beeinflusst auch die Vergabe von Förderungen die Entwicklung der Photovoltaiktechnik in Österreich. Photovoltaik erzeugt elektrischen Strom aus Sonnenenergie und zählt daher laut der Definition durch die Europäische Union in der RL 2009/28/EG, ABI 2009 L 140/16 zu Energie aus erneuerbaren Quellen. Solche Quellen sind Wind, Sonne, aero-, geo- und hydrothermische Energie, Meeresenergie, Wasserkraft, Biomasse, Deponiegas, Klärgas und Biogas. Laut dieser Richtlinie hat auch jeder Mitgliedsstaat dafür zu sorgen, dass der Anteil von Energie aus erneuerbaren Quellen bis 2020 mindestens 20 % des Bruttoendenergieverbrauchs der Europäischen Union beträgt. Für Österreich ist als nationales Gesamtziel ein Mindestanteil von 34 % aus erneuerbaren Quellen am Endenergieverbrauch für das Jahr 2020 vorgeschrieben.

2.3.1. Markt für elektrischen Strom

Für die Beurteilung der energetischen Situation einer Region werden in erster Linie die beiden Aggregate Bruttoinlandsverbrauch sowie Energetischer Endverbrauch herangezogen. Der Bruttoinlandsverbrauch entspricht jener Energiemenge, die in einem bestimmten Zeitraum insgesamt zur Deckung des Inlandsbedarfs notwendig war. Der Energetische Endverbrauch bezieht weiters die Verluste der Umwandlung, den nichtenergetischen Verbrauch und den Verbrauch des Sektors Energie ein. Damit ist der Energetische Endverbrauch jene Energiemenge, die dem Verbraucher unmittelbar für die Umsetzung in Nutzenergie zur Verfügung steht (Statistik Austria, 2013, s.p.).

Im Jahr 2011 betrug der Energetische Endverbrauch von elektrischer Energie in Österreich 60,45 TWh. Den größten Anteil daran haben die privaten Haushalte mit rund 28 %, gefolgt von den öffentlichen und privaten Dienstleistungen mit rund 21 % (vgl. Statistik Austria, 2013). Auf den Gesamtverbrauch des Bereiches Industrie entfallen etwa 46 %. Der Sektor Landwirtschaft nimmt einen Anteil von 1,35 % des Energetischen Endverbrauchs ein, wobei vermutet wird, dass der reale Anteil höher liegt, da in der Statistik kleinere landwirtschaftliche Betriebe bei den privaten Haushalten aufscheinen (Braunstein et al., 2008, 8). Die Deckung des österreichischen Strombedarfs erfolgte im Jahr 2011 zum größten Teil (ca. 55 %) mittels

Wasserkraft. Der Anteil des mittels Photovoltaikanlagen erzeugten Stroms am Energetischen Endverbrauch betrug rund 0,3 %. Die Erzeugung von Strom aus Photovoltaikanlagen hat sich in den Jahren 2008 bis 2011 um den Faktor 5,8 erhöht (vgl. Statistik Austria, 2013). Die kumulierte Gesamtleistung aller Photovoltaikanlagen in Österreich betrug ca. 187,2 MW_{peak} im Jahr 2011. Daraus wurden rund 174,1 GWh Strom produziert (Photovoltaik Austria, 2012, 13).

Der durchschnittliche Marktpreis für elektrische Grundlastenergie wird in Österreich gemäß § 41 des Ökostromgesetzes (2012) durch die Energie-Control GmbH vierteljährlich festgestellt und veröffentlicht. Dabei wird am Ende jedes Quartals der arithmetische Mittelwert der von der European Energy Exchange (EEX) festgelegten Preise für die nächsten vier aufeinander folgenden Grundlast-Quartalsfutures ermittelt. In die Berechnung fließen die entsprechenden Notierungen der letzten fünf Börsenhandelstage des unmittelbar vorangegangenen Quartals ein. Der Marktpreis ist dann jeweils für ein Quartal gültig. Die Ermittlung des Marktpreises für das erste Quartal 2013 zeigt Tabelle 1. Demnach liegt der Marktpreis bei 45,24 €/MWh, das entspricht einem Preis pro Kilowattstunde von 4,524 cent (E-Control, 2013a, s.p.).

Tabelle 1: Ermittlung des Marktpreises von elektrischem Strom für das 1. Quartal 2013

Grundlast Quartalsfuture Preis in €/MWh	Datum	17.12.2012	18.12.2012	19.12.2012	20.12.2012	21.12.2012
	1. Quartal 2013	47,04	47,23	47,25	47,13	47,07
	2. Quartal 2013	41,91	41,90	41,78	41,70	41,64
	3. Quartal 2013	43,15	43,21	43,03	42,75	42,72
	4. Quartal 2014	49,06	49,15	49,13	49,04	48,87
Mittelwert über den jeweiligen Tag		45,29	45,37	45,30	45,16	45,08
Mittelwert über die fünf Tage = Marktpreis für das 1. Quartal 2013		45,24				

(Quelle: eigene Darstellung nach E-Control, 2013a, s.p.)

In Österreich wurden seit der Liberalisierung der Strommärkte, trotz relativ starker Zuwächse im Stromverbrauch, nahezu keine Großkraftwerke errichtet. Dies führt dazu, dass sowohl die Abhängigkeit von Stromimporten, als auch der Strompreis tendenziell ansteigt (Weyerstrass et al., s.a., 20). Der Strompreis für den Endverbraucher setzt sich allgemein aus drei Komponenten zusammen. Es ist als erster Bestandteil der Energiepreis, der am Markt für elektrischen Strom gehandelt wird (Marktpreis). Die zweite Komponente ist der Netztarif, der die Nutzung der Stromnetze betrifft und per Gesetz dem Grundsatz der Kostenwahrheit zu entsprechen hat. Schließlich kommen als dritter Bestandteil Steuern und Abgaben zum Tragen (BMWFJ, 2013, s.p.).

2.3.2. Gesetzliche Rahmenbedingungen

Wie schon beschrieben, zählt mittels Photovoltaikanlagen erzeugter elektrischer Strom zu Energie aus erneuerbaren Quellen. Für den Nachweis dieser Tatsache, sowie für den

etwaigen Erhalt von Förderungen und die richtige bauliche Ausführung ist das Einhalten verschiedener gesetzlicher Vorschriften notwendig. Laut § 5 Absatz 1 des Ökostromgesetzes (ÖSG) 2012 wird elektrische Energie aus erneuerbaren Energieträgern als Ökostrom bezeichnet. Weiters ist eine Ökostromanlage eine Anlage, die Ökostrom ausschließlich aus erneuerbaren Energieträgern erzeugt und als solche anerkannt ist. Die Anerkennung einer Photovoltaikanlage als Ökostromanlage erfolgt per Bescheid gemäß § 7 ÖSG 2012, durch den Landeshauptmann des Landes, in dem sich die Anlage befindet, nachdem ein entsprechender Antrag eingebracht wurde.

Grundsätzlich ist bei den gesetzlichen Regelungen für Photovoltaikanlagen eine Unterscheidung nach der Größe der installierten Leistung nötig. Für Anlagen mit einer installierten Leistung von 5 kW_{peak} bis maximal 500 kW_{peak} ist die Österreichische Abwicklungsstelle für Ökostrom AG (OeMAG) zuständig (E-Control, 2012, 6). Die in dieser Arbeit beschriebenen und behandelten Anlagen beziehen sich ausschließlich auf diese Größenklasse. Für den Netzanschluss von Photovoltaikanlagen gilt, dass gemäß § 6 Abs. 1 ÖSG (2012) jede Anlage das Recht hat, an das Netz des jeweiligen Netzbetreibers angeschlossen zu werden. Dafür ist ein Netzzugangsvertrag mit dem lokalen Netzbetreiber erforderlich, dem ein Antrag auf einen eigenen Zählpunkt innerhalb des Netzes voraus geht (E-Control, 2012, 8).

Nach den Elektrizitätsgesetzen der einzelnen Bundesländer besteht eine grundsätzliche Bewilligungspflicht für Photovoltaikanlagen. Da die Grenze für Anzeige- bzw. Bewilligungspflicht in den Bundesländern unterschiedlich hoch liegt, wird hier beispielhaft das Tiroler Elektrizitätsgesetz (TEG) 2012 angeführt. Maßgeblich für die Bewilligungspflicht ist die Größe der Engpassleistung, welche nach § 5 Abs. 1 Z 12 ÖSG (2012) jene Leistung darstellt, die durch den leistungsschwächsten Teil begrenzte, höchstmögliche elektrische Dauerleistung der gesamten Anlage mit allen Maschinensätzen erreicht wird. Anlagen bis zu einer Engpassleistung von 25 kW unterliegen nach dem Tiroler Elektrizitätsgesetz weder einer Anzeige-, noch einer Bewilligungspflicht. Eine Anzeigepflicht bei der Bezirksverwaltungsbehörde besteht gemäß § 7 TEG (2012) für Anlagen mit einer Engpassleistung von mehr als 25 kW bis höchstens 250 kW. Die Bewilligungspflicht gilt nach § 6 TEG (2012) für Photovoltaikanlagen mit einer Engpassleistung über 250 kW. Weiters sind baurechtliche Vorschriften zu beachten, die wiederum in den Bauordnungen der einzelnen Bundesländer zu finden sind. Auch hier wird die Tiroler Bauordnung (TBO) als Beispiel herangezogen. Dabei ist die Größe der Anlage in Quadratmetern maßgeblich. Photovoltaikanlagen mit einer Größe bis zu 20 m² bedürfen grundsätzlich keiner Genehmigung durch die Baubehörde, wenn diese gemäß § 21 Abs. 3 lit. e TBO (2011) in die Dach- oder Wandfläche integriert oder mit maximal 30 cm Abstand davon errichtet werden. Für Anlagen mit einer Größe über 20 m² gilt die Anzeige- bzw. Bewilligungspflicht wiederum

nach dem Tiroler Elektrizitätsgesetz. Weiters können in bestimmten Einzelfällen Bewilligungen naturschutzrechtlicher Art ebenso erforderlich sein, wie Bewilligungen nach dem Forstgesetz (z.B. Rodung).

2.3.3. Förderungen und Einspeisetarif

Liegen alle im Kapitel 2.3.2. beschriebenen Bescheide bzw. Bewilligungen vor, ist es möglich, einen Förderantrag bei der Ökostromabwicklungsstelle (OeMAG) einzureichen. Netzgekoppelte Photovoltaikanlagen mit einer installierten Leistung größer $5 \text{ kW}_{\text{peak}}$ werden im Rahmen der verfügbaren Fördermittel mit einem erhöhten laufenden Einspeisetarif gefördert. Die Zuerkennung einer Förderung erfolgt nach dem „First Come – First Serve“ – Prinzip (E-Control, 2012, 7). Durch eine Deckelung ist die Fördersumme ebenso begrenzt, wie das für die Einreichung realistische Zeitfenster, weshalb das Fördersystem für potentielle Fördernehmer derzeit schwer kalkulier- und durchschaubar ist (Photovoltaik Austria, 2012, 97). Nach dem Abschluss eines Vertrages mit der OeMAG, besteht eine Kontrahierungspflicht (Abnahmepflicht) zu festgelegten Einspeisetarifen seitens der OeMAG, die nach § 16 Abs. 1 Z 2 ÖSG (2012) auf die Dauer von 13 Jahren festgelegt ist. Abgesehen von der Kontrahierungspflicht für geförderten Strom, besteht darüber hinaus laut § 13 ÖSG (2012) eine Kontrahierungspflicht zu Marktpreisen auf unbestimmte Zeit. Gemäß § 20 Abs. 3 ÖSG (2012) wird bei der Festlegung der erhöhten Einspeisetarife zwischen Anlagen auf Freiflächen und solchen auf Gebäuden unterschieden. Photovoltaikanlagen mit einer installierten Leistung von mehr als $500 \text{ kW}_{\text{peak}}$ werden nach diesem Gesetz nicht gefördert.

Die Höhe des geförderten Einspeisetarifes für Ökostrom aus Photovoltaik wird aktuell im § 5 der Ökostrom-Einspeisetarifverordnung (ÖSET-VO) 2012 festgelegt und beträgt 18,12 Cent je eingespeister Kilowattstunde (gebäudeintegrierte Anlage) bzw. 16,59 Cent/kWh (Freiflächenanlage) bei Antragsstellung und Vertragsabschluss im Jahr 2013. Die Kontrahierungspflicht für geförderten Ökostrom durch die OeMAG besteht gemäß § 14 Abs. 1 ÖSG (2012) jedoch nur dann, wenn die gesamte aus einer Photovoltaikanlage erzeugte elektrische Energie in einem mindestens zwölf Monate dauernden Zeitraum abgegeben wird. Eingespeister elektrischer Strom von auf Überschusseinspeisung ausgelegten Photovoltaikanlagen kann unabhängig von der staatlichen Ökostromabwicklungsstelle an die jeweiligen Energieversorgungsunternehmen verkauft werden. Die Bedingungen dabei variieren und können verhandelt werden. Nur die OeMAG ist gesetzlich dazu verpflichtet, den Strom zu Marktpreisen abzunehmen (Photovoltaik Austria, 2013, s.p.).

2.4. Photovoltaik in der Landwirtschaft

Im folgenden Teilkapitel soll ein Überblick über den Stand des Wissens zum Thema Photovoltaik in der Landwirtschaft gegeben werden. Dieser Überblick skizziert die Ausgangsposition für den methodischen Teil der vorliegenden Arbeit.

Anhaltender und steigender Wettbewerbsdruck in der Landwirtschaft und die günstigen Rahmenbedingungen im Sektor der erneuerbaren Energien führen zu Überlegungen über die Einführung eines neuen Betriebszweiges in landwirtschaftlichen Betrieben. Neben der Voraussetzung von entsprechendem Interesse an neuen Technologien gilt es, die Beanspruchung der Produktionsfaktoren durch den Betriebszweig Energieerzeugung näher zu betrachten. Dem sind die Faktoransprüche des vorhandenen Betriebstyps gegenüberzustellen. Eine Photovoltaikanlage stellt – Gebäudeintegration vorausgesetzt – an den Produktionsfaktor Boden keine, an den Faktor Arbeit nur sehr geringe und an den Faktor Kapital jedoch sehr hohe Ansprüche. Sofern das erforderliche Kapital also bereitgestellt werden kann und geeignete Dachflächen zur Verfügung stehen, lässt sich eine Photovoltaikanlage vergleichsweise einfach in den landwirtschaftlichen Betrieb integrieren (Heißenhuber und Berenz, 2005, 1f). Über die eines eigenen Betriebszweigs hinaus, kann eine Photovoltaikanlage mit Überschusseinspeisung und intelligentem Eigenstromverbrauch für den landwirtschaftlichen Betrieb insgesamt die Bedeutung einer Kostenreduktion beim Betriebsmittel Strom erlangen (Loibnegger, 2012, s.p).

2.4.1. Strombedarf und –verbrauch

Der Verbrauch an elektrischem Strom steigt in Österreich im Sektor Landwirtschaft jährlich um 1 – 2 % an. 2011 betrug der Energetische Endverbrauch des Sektors 816 GWh, was einem Anteil von 1,35 % am österreichischen Gesamtverbrauch entspricht (vgl. Statistik Austria, 2013). Braunstein et al. (2008, 11) vermuten jedoch, dass der reale Anteil des landwirtschaftlichen Sektors höher liegt, da in der Statistik kleinere landwirtschaftliche Betriebe zu den privaten Haushalten gezählt werden. Der Strombedarf einzelner landwirtschaftlicher Betriebe unterliegt betriebszweig- und betriebstypenspezifischer Einflussfaktoren. Sowohl einzelne Betriebe, als auch Energieversorgungsunternehmen sind aus betriebswirtschaftlichen Gründen an einer Minimierung von Leistungsspitzen interessiert. Solche Spitzen sind jedoch im täglichen Rhythmus der Arbeitsabläufe unvermeidbar und stellen einen Problemfaktor dar (Jauschnegg, 1999, 1). Untersuchungen von Braunstein et al. (2008, 42) ergaben, dass Milchviehbetriebe, Schweinemastbetriebe und Ferkelzuchtbetriebe im Bezug auf den Verbrauch von elektrischem Strom am energieintensivsten sind. Der elektrische Energieverbrauch in den meisten Geflügelbetrieben ist aufgrund ihrer Dimension weitgehend optimiert. Ackerbaubetriebe weisen einen vergleichsweise geringen Stromaufwand auf. Außerdem wurde bestätigt, dass innerhalb der

Milchviehhaltung kleinere Betriebe, aufgrund einer schlechteren Auslastung der Anlagen, ineffizienter sind (Braunstein et al., 2008, 59).

Tierhaltende Betriebe sind gekennzeichnet durch eine je nach Betriebsart und –größe charakteristische Ausstattung mit verschiedenen Stromverbrauchern (Jauschnegg, 1999, 16). Für Milchviehbetriebe stellen die Abläufe rund um den Melkvorgang den größten Anteil am Stromverbrauch dar. Neben der Fütterung sind dies das Melken an sich, sowie die Kühlung der Milch. Bei Vorhandensein einer Belüftung für den Stall und/oder einer Heubelüftung ergeben sich in diesen Bereichen ebenso wesentliche Energieverbräuche. Den größten Anteil am elektrischen Energieverbrauch in einem Schweinemastbetrieb stellt die Belüftung des Stalls dar, die je nach Betrieb mehr als 70 % betragen kann. Als weitere energieintensive Verbraucher werden Fütterungsanlagen genannt. Ferkelzuchtbetriebe benötigen eine Beheizung der Ferkelnester, was zu Stromverbräuchen von nahezu 80 % Anteil am Gesamtverbrauch führt. Ebenso stellt die Stallbelüftung einen nennenswerten Stromverbrauch in solchen Betrieben dar (Braunstein et al., 2008, 42ff). Aussagen über den spezifischen Stromverbrauch des Haushalts innerhalb eines landwirtschaftlichen Betriebs lassen sich schwer treffen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass der ländliche Haushalt – im Bezug auf den Stromverbrauch pro Person – jenem des städtischen sehr ähnlich ist (Jauschnegg, 1999, 2). Der Haushalt stellt innerhalb des landwirtschaftlichen Betriebes einen nicht zu vernachlässigenden Anteil am Gesamtstromverbrauch dar. Die Anzahl der Personen in einem durchschnittlichen landwirtschaftlichen Haushalt (5,5) ist größer, als die eines durchschnittlichen österreichischen Haushalts (2,5). Mit zu berücksichtigen ist auch, dass gewisse landwirtschaftliche Prozesse in den Haushalt eingebunden sind, wodurch der Einsatz energieeffizienter Haushaltsgeräte von Bedeutung ist (Friedl et al., 2009, 5).

2.4.2. Eigenstromnutzung bei Überschusseinspeisung

Zur Optimierung des Eigenstromverbrauchs, in Kombination mit einer auf Überschusseinspeisung ausgelegten Photovoltaikanlage, ist zunächst eine Analyse der elektrischen Stromverbraucher am Betrieb nötig. Der Stromertrag einer Photovoltaikanlage unterliegt Schwankungen im Jahresverlauf. Ebenso ist der Elektroenergieverbrauch des landwirtschaftlichen Betriebes gekennzeichnet durch tages- bzw. jahreszeitliche Veränderungen je nach Betriebstyp. Das Kennen der verschiedenen Verfahrensabläufe und deren zeitliche Leistungsanspruchnahme während des Tages bzw. der Jahreszeiten ist Voraussetzung für eine sinnvolle Veränderung des Lastmanagements (Neiber und Schmid, 2013, s.p.). Für die Dimensionierung der Anlage (ohne gefördertem Einspeisetarif) ist es entscheidend, dass der Anteil des eingespeisten Stroms auf ein Minimum reduziert wird, da der Preis des zugekauften Stroms wesentlich höher liegt als die Vergütung für den eingespeisten Strom. Zur Erhöhung des Eigenstromnutzungsgrades kann es trotz der in

Summe geringeren Jahresstromerzeugung sinnvoll sein, die Photovoltaikanlage auf zwei Teile aufzuteilen und nach Osten und Westen auszurichten (Loibnegger, 2012, s.p.).

Zur Verwendung der Stromüberschüsse bestehen neben der Einspeisung prinzipiell noch weitere Möglichkeiten. Eine Direktvermarktung des Überschussstroms ist technisch möglich, führt jedoch unter den Gesichtspunkten der Genehmigung und Abrechnung zu bürokratischen Hürden. Eine weitere Option zur Nutzung der Überschüsse besteht, neben der thermischen Verwertung, beispielsweise innerhalb des Heizungssystems eines Haushaltes, in der Speicherung des Stroms in einem Akkumulator. Dadurch kann die Verwendung des erzeugten Solarstroms auf einen späteren Zeitpunkt verschoben werden. Ein wirtschaftlicher Einsatz von Speichern ist derzeit jedoch noch nicht gegeben (Quaschnig, 2012, s.p.). Ein Vorteil im Einsatz von Photovoltaik-Batteriesystemen besteht – unabhängig von den wirtschaftlichen Gegebenheiten – in einem Entlastungseffekt für den Stromnetzbetrieb aus Sicht des Energieversorgers, da Einspeisespitzen um die Mittagszeit unweigerlich reduziert werden. Die Herausforderung dabei besteht wiederum in einem intelligenten Energiemanagement, welches einzelne Betreiberinteressen mit systemischen Netzanforderungen kombiniert (Hollinger et al., 2013, 12). Im Falle eines Milchviehbetriebes trägt ein indirektes Milchkühlverfahren in Form einer Eiswasserkühlung ebenfalls zur Verringerung von Lastspitzen bei (Jauschnegg, 1999, 219). Das Eiswasser zur späteren Kühlung der Milch wird dabei beispielsweise zur Mittagszeit bereit. Dieses Verfahren stellt ebenso wie die Warmwasserbereitung eine Form der Speicherung von elektrischem Überschussstrom dar.

3. Modellannahmen und Methoden

Die Grundlagen und Annahmen für die wirtschaftliche Betrachtung der Überschusseinspeisung von elektrischem Strom aus Photovoltaikanlagen im landwirtschaftlichen Bereich werden zunächst im folgenden Kapitel näher beschrieben. Dabei erfolgt eine Eingrenzung der betrachteten landwirtschaftlichen Betriebstypen auf die Produktionsverfahren Milchvieh, Ferkelzucht und Schweinemast, wobei in der Milchviehhaltung speziell ein Vergleich zwischen einem herkömmlichen (Melkstand) und einem automatischen Melksystem (Melkroboter) durchgeführt wird. Nach einer Beschreibung und Analyse des jeweiligen Stromverbrauchs erfolgt eine Erklärung der Modellannahmen zur Photovoltaikanlage mit Überschusseinspeisung, die auf den vier betrachteten fiktiven landwirtschaftlichen Betrieben die Stromerzeugung im Gegensatz zum Stromverbrauch abbilden soll.

Ein Modell in diesem Zusammenhang ist die zur Erkenntnisgewinnung vereinfachte Abbildung realer Erscheinungen, da bei einer Modellbildung die für die Problemlösung wesentlichen Merkmale eines Ausschnitts der Realität wiedergegeben werden sollen (Schneeberger, 2011, 17). Eine Vereinfachung gegenüber der Realität ergibt sich im Wege der Abstraktion durch Vernachlässigung von weniger wichtigen realen Tatsachen im Modell. Daraus resultiert der Vorteil, dass planungsrelevante Aspekte und Zusammenhänge leichter zu durchschauen sind. Dies gilt allerdings nur dann, wenn nicht auf wesentliche Systemkomponenten vergessen wird (Domschke und Scholl, 2008, 30).

Die Beurteilung der Investition in eine Photovoltaikanlage erfolgt mittels der Methode des vollständigen Finanzplans (VOFI). Ausgewählte und nachfolgend näher erläuterte Kennzahlen sollen eine Bewertung der Wirtschaftlichkeit sowie einen Vergleich zwischen den vier Betrieben ermöglichen. Zum Abschluss wird die Methode der Sensibilitätsanalyse erläutert, um weitere Aussagen über die Planung und Vorteilhaftigkeit einer derartigen Investition ableiten zu können.

Für die Analyse des Eigenverbrauchs und der Wirtschaftlichkeit bei unterschiedlichen Anlagengrößen werden im Programm Microsoft Excel 2010 zehn Szenarien (Anlagengrößen) unterschieden. Dabei wird beginnend mit $10 \text{ kW}_{\text{peak}}$ Nennleistung in 10er Schritten bis $100 \text{ kW}_{\text{peak}}$ Nennleistung eine Berechnung der relevanten Größen vorgenommen.

3.1. Modellannahmen zum Stromverbrauch der Beispielsbetriebe

Nach Braunstein et al. (2008, 42) sind die landwirtschaftlichen Betriebszweige Milchvieh, Ferkelzucht und Schweinemast am energieintensivsten. Ebenso sehen Nesper et al. (2012, 1f) in bestimmten Bereichen von spezialisierten Veredelungsbetrieben (Schweineaufzucht-

und Schweinemast) sowie in milchviehhaltenden Betrieben den Hauptansatz für Energieeinsparungsmöglichkeiten, wobei neben der Energieeinsparung auch die Anpassung des Lastmanagements an Profile regenerativer Energieerzeugungssysteme als wesentlich angesehen wird. Es ist daher zweckmäßig, die vorliegende Arbeit auf die Produktionsverfahren Milchvieh, Ferkelzucht und Schweinemast zu begrenzen. Innerhalb der milchviehhaltenden Betriebe erscheint ein Vergleich zwischen einem herkömmlichen Melksystem (Melkstand) und einem automatischen Melksystem (Melkroboter), aufgrund des höheren Gesamtbedarfs an elektrischer Energie bei einem automatischen Melksystem (Omelko et al., 2003, 12), als angebracht. In der Folge werden nun vier landwirtschaftliche Produktionsverfahren beschrieben, die beispielhaft die Gegebenheiten im Bezug auf den Stromverbrauch und dessen zeitliche Verteilung aufzeigen sollen. Die benötigten Daten der einzelnen Betriebe stammen zum größten Teil aus der Literatur bzw. basieren auf eigenen Annahmen. Es handelt sich bei den vier Beispielen demnach um fiktive landwirtschaftliche Betriebe. Für die Analyse des Stromverbrauchs der Beispielsbetriebe ist die Erstellung und Betrachtung der jeweiligen Lastgänge wesentlich. In solchen Belastungsdiagrammen können die Belastungsschwankungen innerhalb eines definierten Zeitraumes dargestellt werden (Braunstein et al., 2008, 14). Dies ist wesentlich für den späteren Abgleich des Stromverbrauchs mit der Stromerzeugung der Photovoltaikanlage.

3.1.1. Milchviehbetrieb mit Melkstand

Für dieses Produktionsverfahren wird ein milchviehhaltender Betrieb unterstellt, der ganzjährig durchschnittlich 40 Kühe zu melken hat. Diese Milchkühe werden in einem Außenklima-Laufstall mit Auslauf ganzjährig gehalten. Es ist also keine Stalllüftung notwendig. Die Milchabholung erfolgt täglich. Bei der Milchleistung werden 7200 kg pro Kuh und Jahr, in Anlehnung an den österreichischen Durchschnitt von 7148 kg pro Kuh und Jahr bei 4,14 % Fett und 3,41 % Eiweiß über alle Rassen (ZuchtData, 2012, 11), angenommen. Der Melkvorgang erfolgt in einem 2 x 4 Tandem-Melkstand mit einer Melkleistung von 55 Kühen pro Stunde (KTBL, 2009, 718). Die Reinigung der Melkanlage inklusive des Milchtanks findet in Form einer Zirkulationsreinigung statt, die automatisch durchgeführt wird. Bei der Kühlung der Milch ist eine Lagertemperatur von 4 - 8 °C üblich (Jauschnegg, 1999, 24), die mit einer Direktkühlanlage durchgeführt wird. Kraftfuttergaben erfolgen mittels eines sich in dauernder Betriebsbereitschaft befindlichen Abrufautomaten. Zur Ausleuchtung des Stallinneren bzw. des Melkstandes ist eine künstliche Beleuchtung nötig. Dazu werden Leuchtstoffröhren verwendet. Schließlich wird für die Entmistung ein Flachschieber vorgesehen, welcher zweimal täglich im Einsatz ist. Eine zusammenfassende Charakterisierung dieses Beispielsbetriebes ist in Tabelle 2 ersichtlich.

Tabelle 2: Charakteristik Milchviehbetrieb mit Melkstand

Milchviehbetrieb mit Melkstand	
Unterbringung	Außenklima Laufstall, ganzjährig
Anzahl Tiere	40 Milchkühe
Milchleistung	288000 kg pro Jahr
Milchabholung	täglich
Melktechnik	2 x 4 Tandem-Melkstand
Entmistung	Flachschieber

(Quelle: eigene Annahmen)

Zur Ermittlung des Stromverbrauchs sowie dessen tages- bzw. jahreszeitliche Verteilung (Lastgang) werden nur die energieintensiven Vorgänge betrachtet. Diese sind neben Milchgewinnung, Reinigung und Kühlung auch Fütterung, Entmistung und Beleuchtung. Der Strombedarf der einzelnen Verbraucher stellt sich wie folgt dar:

Zur Milchgewinnung im Melkstand wird ein Strombedarf von 0,25 kWh pro Melkung veranschlagt (DLG, 2000, 15). Das ergibt bei 40 Kühen 80 Melkungen bzw. 20 kWh Strombedarf pro Tag, wobei angenommen wird, dass zweimal pro Tag die gesamte Herde gemolken wird und ein Melkdurchgang eine Stunde dauert. Der Zeitraum des Melkens erstreckt sich täglich von 6:00 Uhr bis 7:00 Uhr bzw. von 18:00 Uhr bis 19:00 Uhr.

Die Zirkulationsreinigungsanlage zur Reinigung der gesamten Melkanlage und des Milchtanks benötigt eine elektrische Heißwasserbereitung. Dabei wird auch die Reinigung des Melkstandes selbst mittels Hochdruckreiniger im Anschluss an jeden Melkdurchgang berücksichtigt. Der Strombedarf hierfür wird nach den Ausführungen von Jauschnegg (1999, 154ff) mit 200 kWh pro Kuh und Jahr angesetzt. Die Reinigung erfolgt unmittelbar nach dem Melkdurchgang zweimal pro Tag, also vereinfacht von 7:00 Uhr bis 8:00 Uhr bzw. von 19:00 Uhr bis 20:00 Uhr.

Laut Fübbeker (2011, 1) soll die Kühlleistung einer Milchkühlanlage so bemessen sein, dass das Gemelk innerhalb von maximal drei Stunden auf 4 °C gekühlt werden kann, um eine entsprechende Milchqualität zu sichern. Wie oben beschrieben, erfolgt die Kühlung der Milch mittels Direktkühlanlage, welche nach Jauschnegg (1999, 25) für Kühlen und Kühlhalten einen Strombedarf von 1,4 kWh pro 100 kg Milch hat. Die Kühlzeit beträgt je Melkdurchgang drei Stunden, wobei angenommen wird, dass die Kühlanlage eine halbe Stunde nach Beginn des Melkdurchganges, also um 6:30 Uhr bzw. um 18:30 Uhr zu Arbeiten beginnt und somit um 9:30 Uhr bzw. um 21:30 Uhr wieder abgeschaltet wird. Bei einer aufgrund der Annahmen jährlich zu kühlenden Milchmenge von 288000 kg entspricht der Strombedarf 4032 kWh pro Jahr bzw. 11,05 kWh pro Tag.

Zur Ausleuchtung des Stallinneren und des Melkstandes sind Leuchtstoffröhren im Einsatz, die bei einer täglichen Einschaltdauer von zwei mal zwei Stunden rund um die Melkzeiten auf 1460 Betriebsstunden pro Jahr bemessen sind. Nach den Beschreibungen von

Jauschnegg (1999, 46) wird hierbei für diese Betriebsgröße ein Stromverbrauch von 700 kWh pro Jahr geschätzt. Die Einschaltdauer erstreckt sich vereinfacht das ganze Jahr über von 6:00 Uhr bis 8:00 Uhr bzw. von 18:00 Uhr bis 20:00 Uhr.

Die Entmistung des Milchvieh-Laufstalles erfolgt zweimal täglich mittels eines Flachschiebers inklusive eines Presskanalschiebers für den Weitertransport des Mistes zur Lagerstätte, der mit einer Zeitschaltuhr ausgestattet ist. Die Betriebszeiten richten sich möglichst nach der Tageszeit, wo Stromerzeugung durch die Photovoltaikanlage zu erwarten ist. Im Beispielsbetrieb wurde daher angenommen, dass die automatische Entmistung von 8:00 Uhr bis 9:00 Uhr und von 17:00 Uhr bis 18:00 Uhr stattfindet. Der Stromverbrauch wird in Anlehnung an Jauschnegg (1999, 164) mit 15 kWh pro Kuh und Jahr veranschlagt.

Bei der Gabe bzw. Bereitung von Grundfutter wird aus Gründen der Einfachheit angenommen, dass keine Stromverbraucher im Einsatz sind. Eine Versorgung der Milchkühe mit Krafftutter wird im Beispielsbetrieb mittels eines Abrufautomaten sichergestellt. Das Krafftutter kann von den Kühen aufgrund eines vorgegebenen Fütterungsprogramms selbstständig abgerufen werden. Dazu werden neben der Tieridentifizierung auch eine Dosiereinheit sowie verschiedene Förderorgane wie Schnecken und Spiralen benötigt. Der computergesteuerte Krafftutterautomat ist in dauernder Betriebsbereitschaft, weshalb ein durchgehender Leistungsbedarf von 50 W herrscht (Jauschnegg, 1999, 38). Dies ergibt einen stündlichen Stromverbrauch von 0,05 kWh und einen Jahresstromverbrauch von 440 kWh.

3.1.2. Milchviehbetrieb mit Melkroboter

Das Produktionsverfahren Milchviehbetrieb mit Melkroboter findet ebenfalls in einem Außenklima-Laufstall mit ganzjähriger Stallhaltung und Auslauf statt. Es befinden sich in der Modellannahme durchschnittlich 60 zu melkende Kühe im Stall und die Milchabholung erfolgt täglich. Die Milchleistung wird analog zum Beispiel Milchviehbetrieb mit Melkstand mit 7200 kg pro Kuh und Jahr angesetzt. Als Melkanlage dient im Modell ein Automatisches Melksystem (AMS, im Weiteren als Melkroboter bezeichnet), welches als Einboxenanlage ausgeführt ist. Im als Beispiel herangezogenen Modell Lely Astronaut sind dauerhaft täglich ca. 150 Melkungen üblich, wobei vereinzelt bis zu 190 Melkungen pro Tag möglich sind (DLG, 2000, 5). Bei angenommenen durchschnittlich 2,6 Melkungen pro Kuh und Tag ergibt dies bei 60 Kühen 156 Melkungen pro Tag. Die Reinigung des Melkroboters erfolgt vollautomatisch mehrmals am Tag bzw. nach der Abholung wird der Milchtank gereinigt. Ebenso erfolgt die Krafftuttergabe, wenn sich die Kuh im Melkroboter befindet. Während der Reinigung wird die zeitgleich anfallende Milch in einem Puffertank aufgefangen. Dieser ist auch bei der anschließenden Kühlung von wesentlicher Bedeutung, wobei die Milch bei einer Direktkühlanlage im Puffertank vorgekühlt wird (Kaufmann et al., 2001, 11). Die Entmistung

erfolgt wie beim Milchviehbetrieb mit Melkstand mittels eines Flachschiebers und ebenso ist eine künstliche Beleuchtung des Stallinneren und des Melkroboters nötig. In Tabelle 3 ist eine zusammenfassende Charakterisierung dieses Produktionsverfahrens ersichtlich.

Tabelle 3: Charakteristik Milchviehbetrieb mit Melkroboter

Milchviehbetrieb mit Melkroboter	
Unterbringung	Außenklima Laufstall, ganzjährig
Anzahl Tiere	60 Milchkühe
Milchleistung	432000 kg pro Jahr
Milchabholung	täglich
Melktechnik	AMS Einboxenanlage, \varnothing 2,6 Melkungen pro Kuh und Tag
Entmistung	Flachschieber

(Quelle: eigene Annahmen)

Als energieintensivster Verbraucher stellt sich in diesem Beispiel in erster Linie der Melkroboter, der auch die Reinigung und die Gabe von Kraftfutter vornimmt, dar. Weiters werden im Modell die Milchkühlung, die Entmistung und die Beleuchtung berücksichtigt. Der angenommene Strombedarf der einzelnen Verbraucher setzt sich folgendermaßen zusammen:

Der Elektroenergiebedarf des Melkroboters beträgt 0,3 kWh pro Melkung, wobei hierbei über die Kuherkennung, das Heizen des Warmwassers zur Reinigung, die Leistung des Kompressors und der diversen Pumpen, bis hin zum Kraftfutterautomaten alle Stromverbraucher mitberücksichtigt sind (DLG, 2000, 15). Es wird vereinfacht angenommen, dass sich der Strombedarf gleichmäßig über den Tag verteilt. Dies ergibt bei 156 Melkungen pro Tag einen durchgehenden stündlichen Stromverbrauch von 1,95 kWh und einen Jahresstromverbrauch des Melkroboters von 17082 kWh.

Für die Milchkühlanlage werden nach Kaufmann et al. (2001, 11) 1,8 kWh pro 100 Liter Milch angenommen. Wie erwähnt, dient ein Puffertank zur Vorkühlung der Milch bzw. zur Lagerung der anfallenden Milch während des Entleerungs- und Reinigungsprozesses. Aufgrund der beschriebenen Annahmen resultiert eine jährlich zu kühlende Milchmenge von 432000 kg. Wiederum wird vereinfacht angenommen, dass der Strombedarf gleichmäßig verteilt ist, was einen durchgehenden stündlichen Stromverbrauch von 0,89 kWh und einen Jahresstromverbrauch von 7776 kWh ergibt.

Bei der Beleuchtung des Stallinneren wird angenommen, dass zweimal täglich der Stall für etwa eine Stunde am Morgen bzw. am Abend ausgeleuchtet wird, was laut Jauschnegg (1999, 46) bei einer Einschaltdauer von 700 Stunden pro Jahr rund 500 kWh Stromverbrauch ergibt. Der Zeitraum der Beleuchtung wird täglich von 7:00 Uhr bis 8:00 Uhr und von 18:00 Uhr bis 19:00 Uhr angesetzt. Hinzu kommt eine Beleuchtung des Melkroboters, die mit einer sich dauernd in Betrieb befindlichen Leuchtstoffröhre mit einer Leistungsaufnahme von 65 W durchgeführt wird. Dies ergibt einen zusätzlichen stündlichen

Stromverbrauch von 0,065 kWh. Die Beleuchtung insgesamt ergibt einen Jahresstromverbrauch von 1069 kWh.

Die Entmistung des Laufstalles erfolgt, wie beim Milchviehbetrieb mit Melkstand, zweimal täglich mittels Flachschieber. Die Betriebszeiten sind ebenso analog, nämlich von 8:00 Uhr bis 9:00 Uhr und von 17:00 Uhr bis 18:00, wie der Stromverbrauch pro Milchkuh in der Höhe von 15 kWh pro Kuh und Jahr. Dies ergibt einen Jahresstromverbrauch für die Entmistung von 900 kWh pro Jahr.

3.1.3. Ferkelzuchtbetrieb

Für dieses Beispiel wird ein Betrieb mit Ferkelerzeugung und Vormast abgebildet. Das Produktionsverfahren beinhaltet 90 Zuchtsauenplätze und wird im kontinuierlichen Produktionsrhythmus geführt, wobei der Absetzzeitpunkt der Ferkel mit 30 Tagen angesetzt ist. Der Boden des gesamten Stalles ist perforiert, wodurch die Entmistung mittels Schwerkraft (Flüssigmist) erfolgt und für die Mistkette daher keine Stromverbraucher zum Einsatz kommen. Zur Belüftung des Schweinestalles sind Ventilatoren und zur Beleuchtung des Stallinneren mehrere Leuchtstoffröhren nötig. Die Heizung der Ferkelnestbereiche ist als elektrische Zonenheizung ausgeführt, welche mittels Elektro-Infrarot-Strahlern bewerkstelligt wird. Bei der Fütterung kommt zweimal pro Woche eine elektrische Brechmühle und zur Beförderung des Trockenfutters hin zu den Schweinen zweimal pro Tag ein Kompressor zum Einsatz. Nach dem Absetzen der Ferkel von der jeweiligen Sau wird eine Reinigung bzw. Desinfektion des Stallplatzes mittels Hochdruckreiniger durchgeführt. Die nachfolgende Tabelle 4 zeigt eine Zusammenstellung der Charakteristik des Ferkelzuchtbetriebs.

Tabelle 4: Charakteristik Ferkelzuchtbetrieb

Ferkelzuchtbetrieb	
Anzahl Tiere	90 Zuchtsauen + dazugehörige Ferkelaufzucht
Produktionsverfahren	kontinuierlicher Produktionsrhythmus
Ferkelzucht bis	30 Tage
Fütterung	Trockenfütterung
Ferkelnestbeheizung	Elektro-Infrarot-Strahler
Stallbelüftung	Ventilatoren
Entmistung	Boden perforiert, Flüssigmist

(Quelle: eigene Annahmen)

Als energieintensivste Vorgänge stellen sich nach Braunstein et al. (2008, 47) die Beheizung der Ferkelnester und die Belüftung des Stalles dar. Die Höhe des Strombedarfs der einzelnen Verbraucher wird im Modell wie folgt angenommen:

Der Strombedarf für die Ferkelnestbeheizung mit Elektro-Infrarot-Strahlern beträgt pro Zuchtsau und Jahr 197 kWh (Jauschnegg, 1999, 192), was einen Jahresstromverbrauch zur Beheizung der Ferkelnester für diesen Beispielsbetrieb von 17730 kWh bedeutet. Da der

Bedarf an Heizenergie wesentlich von der Außentemperatur und der Jahreszeit abhängig ist, wurde ein Aufteilungsschlüssel für die monatliche Verteilung der Heizenergie angelegt. Im Jahresbericht 2010 der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung, ermittelte Nesper (2010, 2) auf sieben mit entsprechender Messtechnik ausgestatteten Praxisbetrieben die Strom- und Heizenergieverbrauchswerte in kWh pro Zuchtsau für die Monate Juli bis Dezember 2010. Für die vorliegende Arbeit wurde in weiterer Folge angenommen, dass für das restliche Halbjahr dieselben Werte pro Tag in umgekehrter Reihenfolge (Dezember entspricht Jänner, November entspricht Februar, usw.) gelten. Daraus wurden entsprechende Prozentsätze für jeden Monat abgeleitet. Die monatliche Verteilung für den Energiebedarf der Ferkelnestbeheizung ergab sich daraus wie folgt: Jänner und Dezember jeweils 12,61 %, Februar 9,86 %, November 10,56 %, März und Oktober jeweils 9,70 %, April und September jeweils 7,33 %, Mai und August jeweils 6,47 %, Juni 3,62 % und Juli 3,74 %. Vereinfacht wird weiters angenommen, dass es während eines Tages zu keiner Veränderung des Heizenergiebedarfs kommt. So gilt beispielsweise für den Monat April ein stündlicher Strombedarf für die Ferkelnestbeheizung von 1,81 kWh.

Um eine gleichmäßige Versorgung der Tiere mit Frischluft sicherstellen zu können, ist der Betrieb eines Belüftungssystems notwendig. In den Sommermonaten soll Wärme aus dem Stallraum abgeführt werden und in den Wintermonaten besteht die vorrangige Aufgabe der Lüftungsanlage darin, Kondenswasserbildung zu vermeiden (Büscher et al., s.a., 3f). Der Stromverbrauch einer solchen Anlage fließt in das vorliegende Modell in Anlehnung an Jauschnegg (1999, 191) mit 70 kWh pro Zuchtsau und Jahr ein, wobei Ventilatoren zur mechanischen Belüftung angenommen werden. In Abhängigkeit der Jahreszeit wurden mit der gleichen Vorgehensweise wie bei der Ferkelnestbeheizung nach weiteren Ausführungen von Nesper (2011, 2) Prozentsätze für die monatliche Aufteilung der Lüftungsenergie ermittelt. Demnach ergibt sich folgende Verteilung: Jänner und Dezember jeweils 6,36 %, Februar 6,04 %, November 6,47 %, März und Oktober jeweils 6,80 %, April und September jeweils 7,81 %, Mai und August jeweils 10,93 %, Juni 11,66 % und Juli 12,04 % des Jahresstromverbrauchs für die mechanische Stallbelüftung. So werden zum Beispiel für den Monat Juni im beschriebenen Produktionsverfahren stündlich 1,02 kWh für die Stallbelüftung benötigt. Der Jahresstromverbrauch für Belüftung beträgt 6300 kWh.

Bei der Fütterung wird angenommen, dass diese durch eine Trockenfütterungsanlage erfolgt. Dazu ist der Betrieb einer Brechmühle nötig, die zweimal pro Woche jeweils für eine halbe Stunde eine Leistung von 10 Kilowatt aufnimmt (Braunstein et al. 2008, 60ff). Der Zeitpunkt des Einsatzes wird jeweils zwischen 13:00 Uhr und 14:00 Uhr anberaumt. Das ergibt einen wöchentlichen Stromverbrauch von 10 kWh und einen jährlichen Stromverbrauch von 520 kWh für die Futterbereitung durch die Brechmühle. Da die Modellierung des Stromverbrauchs täglich erfolgt und die Abbildung eines wöchentlichen Betriebes nicht

möglich ist, wird im Modell der Wert von 520 kWh vereinfacht durch 365 Tage geteilt und da angenommen werden kann, dass zum Zeitpunkt des Betriebes rund um die Mittagszeit am meisten Sonnenstrom produziert wird, kommt es zu keiner oder nur sehr geringen Verzerrung bei der späteren Berechnung des selbst verbrauchten Stroms. Ein Fütterungskompressor befördert das bereitete Trockenfutter zu den Schweinen. Dies erfolgt zweimal pro Tag jeweils eine Stunde lang bei einer Leistungsaufnahme von 5,5 Kilowatt (Braunstein et al., 2008, 60ff). Der Zeitraum der Leistungsanspruchnahme wird täglich von 6:00 Uhr bis 7:00 Uhr und von 18:00 Uhr bis 19:00 Uhr angenommen. Dies ergibt einen täglichen Strombedarf von 11 kWh und einen jährlichen Strombedarf von 4015 kWh für den Fütterungskompressor.

Eine Beleuchtung des Stalles mittels Leuchtstofflampen verursacht einen Stromverbrauch von 37 kWh pro Zuchtsau und Jahr (Jauschnegg, 1999, 192). Es wird eine durchschnittliche tägliche Beleuchtungszeit von zwei mal zwei Stunden angenommen, wobei diese täglich von 6:00 Uhr bis 8:00 Uhr und von 18:00 Uhr bis 20:00 Uhr stattfindet. Der jährliche Stromverbrauch für Beleuchtung beträgt demnach 3330 kWh.

In regelmäßigen Abständen ist eine Reinigung und Desinfektion des Abferkel- bzw. des Ferkelaufzuchtbereichs nötig. Dazu wird nach Jauschnegg (1999, 60) mit einem Stromverbrauch von 4 kWh pro Zuchtsau und Jahr gerechnet. Die Reinigung erfolgt mittels Hochdruckreiniger. Der jährliche Stromverbrauch von 360 kWh wird wie bei der Brechmühle wiederum durch 365 Tage geteilt, wobei der Zeitraum der Leistungsanspruchnahme von 10:00 Uhr bis 11:00 Uhr angesetzt ist und eine solche Reinigung im Durchschnitt zweimal pro Woche vorgenommen wird (Braunstein et al., 2008, 60).

3.1.4. Schweinemastbetrieb

Dieser Beispielsbetrieb wird mit einer Größe von 800 Mastplätzen modelliert. Die Haltung der Mastschweine erfolgt im Rein-Raus-Verfahren, wobei die Schweine bei der Einstallung ein Gewicht von durchschnittlich 30 Kilogramm aufweisen und nach einer Mastdauer von 120 Tagen ein Schlachtgewicht von durchschnittlich 130 Kilogramm erreicht haben, was drei Umtrieben pro Jahr entspricht. Der Boden des Schweinestalles ist als Vollspaltenboden ausgeführt, was wiederum bedeutet, dass für die Entmistung kein Bedarf an elektrischem Strom besteht. Zur Belüftung des Stalles sind mechanische Ventilatoren im Einsatz. Aufgrund einer Wärmedämmung ist in den Wintermonaten keine Heizenergie für die Stallklimatisierung notwendig. Die Fütterung der Mastschweine erfolgt mittels Flüssigfütterungsanlage, wobei als Stromverbraucher ein Futtermischer und eine Pumpe benötigt werden. Die Beleuchtung des Stallinneren erfolgt mittels Leuchtstoffröhren und zur Reinigung des jeweiligen Stallbereichs nach jedem Umtrieb ist die Verwendung eines

Hochdruckreinigers vorgesehen. In Tabelle 5 ist eine zusammenfassende Charakterisierung dieses Produktionsverfahrens ersichtlich.

Tabelle 5: Charakteristik Schweinemastbetrieb

Schweinemastbetrieb	
Anzahl Tiere (Vollbesetzung)	800 Mastschweine
Produktionsverfahren	Rein-Raus
Anzahl Umtriebe	3 pro Jahr
Gewicht Tiere Rein/Raus	30 kg/130 kg
Fütterung	Flüssigfütterung
Stallbelüftung	Ventilatoren
Entmistung	Vollspaltenboden, Flüssigmist

(Quelle: eigene Annahmen)

Die Stallbelüftung und die Fütterungsanlage werden in den Ausführungen von Braunstein et al. (2008, 49) als am meisten energieintensiv beschrieben. Die Annahmen zum Strombedarf und die jeweiligen Einsatzzeiten der oben beschriebenen Verbraucher fließen in das Modell wie folgt ein:

Für die Belüftung des Stalles werden in Anlehnung an Jauschnegg (1999, 183) 26 kWh pro Mastplatz und Jahr angenommen. Der Jahresstromverbrauch von 20800 kWh für die Stallbelüftung wird nach dem selben Schlüssel wie beim Ferkelzuchtbetrieb im Kapitel 3.1.3. auf die einzelnen Monate aufgeteilt. Das bedeutet, dass im Jänner und Dezember jeweils 6,36 %, im Februar 6,04 %, im November 6,47 %, im März und Oktober jeweils 6,80 %, im April und September jeweils 7,81 %, im Mai und August jeweils 10,93 %, im Juni 11,66 % und im Juli 12,04 % des Jahresstromverbrauches der Lüftung in das Modell einfließen. Die Verteilung der Lüftungsenergie über den Tag wird wiederum als konstant angenommen. Für den Monat September bedeutet dies beispielsweise einen stündlichen Stromverbrauch von 2,26 kWh.

Die Fütterung der Mastschweine erfolgt dreimal pro Tag. Zur Bereitung des Flüssigfutters wird, wie erwähnt, zunächst ein Futtermischer benötigt, der bei einer Leistungsaufnahme von 3 Kilowatt (Braunstein et al., 2008, 67) dreimal täglich je eine Viertelstunde im Einsatz ist. Die Zeiträume der jeweiligen Fütterungsvorgänge wurden für dieses Produktionsverfahren mit 5:00 Uhr bis 6:00 Uhr, 12:00 Uhr bis 13:00 Uhr und 19:00 Uhr bis 20:00 Uhr anberaumt. Das ergibt einen täglichen Stromverbrauch des Futtermischers von 2,25 kWh bzw. einen jährlichen Stromverbrauch von 821 kWh. Anschließend an die Bereitung wird das Futter mit einer Pumpe zu den Mastschweinen befördert. Diese Pumpe ist mit einer Leistungsaufnahme von 6,3 Kilowatt (Braunstein et al., 2008, 67) bei jedem Fütterungsvorgang eine halbe Stunde in Betrieb. So errechnet sich ein täglicher Stromverbrauch dieser Pumpe von 9,5 kWh bzw. ein jährlicher Stromverbrauch von 3449

kWh, wobei hier der Leistungsbedarf für das anschließende Spülen und Reinigen der Rohre mitberücksichtigt ist.

Eine Beleuchtung des Stallinneren erfolgt in der Modellannahme mittels Leuchtstoffröhren. Jauschnegg (1999, 183) ermittelte dafür einen jährlichen Stromverbrauch von 1,3 kWh pro Mastplatz und Jahr. Die Einschaltdauer wird mit zwei mal zwei Stunden pro Tag angenommen, wobei dies von 5:00 Uhr bis 7:00 Uhr und von 18:00 Uhr bis 20:00 Uhr erfolgt. Der gesamte Jahresstromverbrauch für Beleuchtung beträgt somit 1040 kWh.

Beim Einsatz eines Hochdruckreinigers errechnete Jauschnegg (1999, 184) einen Strombedarf von 0,35 kWh pro Mastplatz und Jahr. Unter der Annahme von besagten drei Umtrieben pro Jahr wird die Einsatzzeit dieses Gerätes auf Jänner, Mai und September und dort jeweils von 9:00 Uhr bis 11:00 Uhr beschränkt. Die Abbildung der exakten Verwendungszeit innerhalb dieser Monate ist aufgrund der Konstruktion des Modells, ähnlich wie bei der Brechmühle im Kapitel 3.1.3., nicht möglich.

3.1.5. Landwirtschaftlicher Haushalt

Für alle Beispielsbetriebe wird das Vorhandensein eines Haushalts unterstellt, welcher im Bezug auf die Stromversorgung mit dem Betriebsgebäude gekoppelt ist. Der Stromverbrauch eines landwirtschaftlichen Haushalts liegt, aufgrund von durchschnittlich größeren Familieneinheiten und der vereinzelt durchgeführten landwirtschaftlichen Tätigkeiten innerhalb des Haushalts, über dem eines durchschnittlichen österreichischen Haushalts (Friedl et al., 2009, 5). Ein durchschnittlicher österreichischer Haushalt benötigt pro Jahr 4417 kWh Strom (Statistik Austria, 2009, 35). Für die Berechnungen in dieser Arbeit wird ein Gesamtstromverbrauch für den Haushalt von 6000 kWh pro Jahr angesetzt. Zur Abbildung der zeitlichen Verteilung des Strombedarfs im landwirtschaftlichen Haushalt wird ein vom Verein der Elektrizitätswirtschaft (VDEW) standardisiertes Lastprofil herangezogen. Dabei wird auf das VDEW-Lastprofil H0 Haushalt zurückgegriffen, welches alle Haushalte und solche mit geringfügigem gewerblichem Bedarf ohne installierte Speicherheizung, Wärmepumpe etc. beschreibt (Kalab, s.a., 2). Die Tabelle mit dem Stromverbrauch des Haushalts für durchschnittliche Tage pro Monat, die für die Modellierung verwendet wurde, findet sich im Anhang der vorliegenden Arbeit.

3.2. Modellannahmen für die Photovoltaikanlage

Zur Ermittlung der eigenverbrauchten bzw. eingespeisten elektrischen Energie dient eine sich bereits seit dem Jahr 2007 im Betrieb befindliche Photovoltaikanlage. Diese Anlage wird fiktiv auf den vier Beispielsbetrieben gleichermaßen installiert. Im folgenden Teilkapitel werden zunächst alle für das Modell relevanten anlagenbezogenen Daten und Annahmen beschrieben. In einem weiteren Schritt wird die Menge an unmittelbar verbrauchtem bzw.

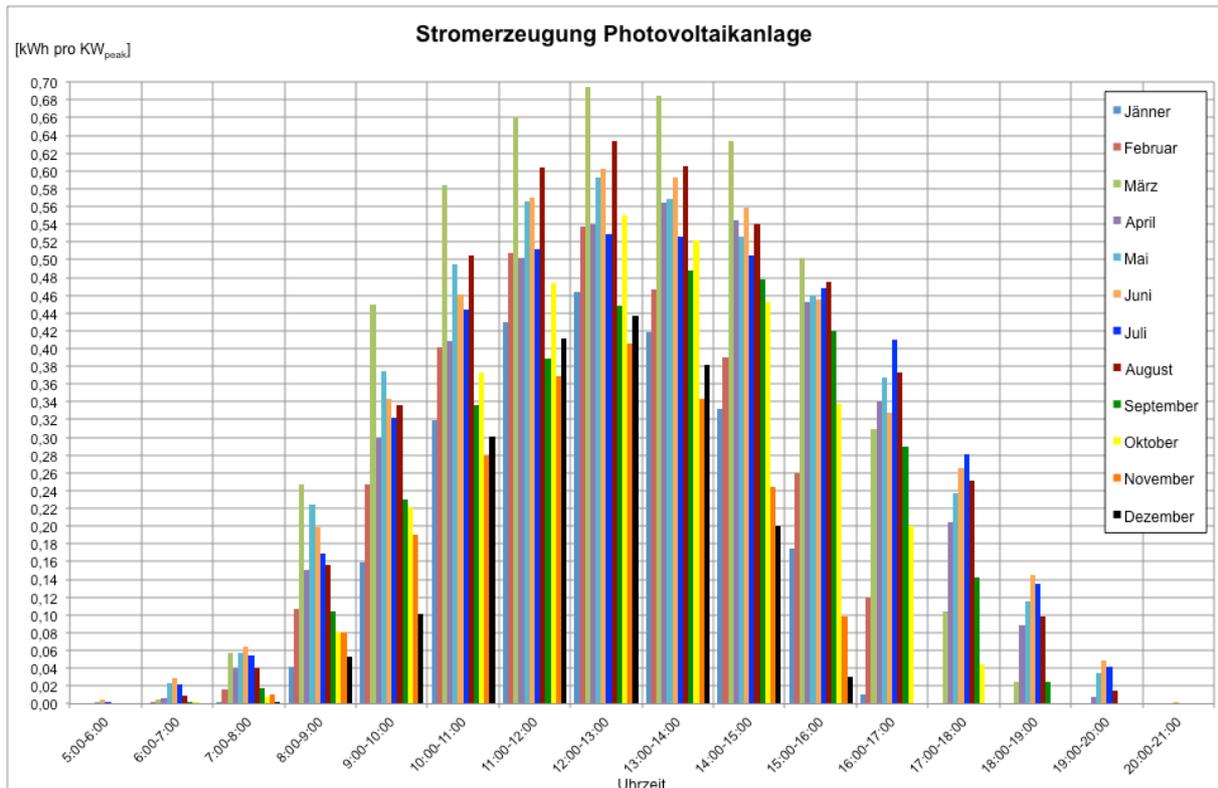
eingespeistem elektrischen Strom ermittelt, um das Modell der Überschusseinspeisung abzubilden. Als Basis für die wirtschaftlichen Aspekte der Investition dienen weiters die Kosten für die Errichtung und den Betrieb der Anlage sowie jährlich anfallende Betriebskosten. Die Rückflüsse der getätigten Investition werden durch die entsprechenden Preise für den eigenverbrauchten bzw. eingespeisten Strom und den dazugehörigen Mengen gebildet. Dazu werden die dafür nötigen Prämissen beschrieben sowie möglichst realitätsgetreue Restriktionen für die Entwicklung dieser Preise angenommen.

3.2.1. Anlagenbezogene Daten

Als Beispiel wird für die vorliegende Arbeit eine Anlage verwendet, die sich in Untergaimberg in der Gemeinde 9905 Gaimberg im Bezirk Lienz auf einer Seehöhe von 700 m befindet. Die Inbetriebnahme erfolgte im Jahr 2007, wobei seit dem Jahr 2011 ein Monitoring der Anlage läuft, bei dem durchgehend in einem Abstand von 5 Minuten die Leistungsdaten erfasst und aufgezeichnet werden. Auf dem Standort sind 4,8 Kilowatt Nennleistung installiert. Die Module dieser Photovoltaikanlage sind mit einer Steigung von 37° zur Horizontalen und einem Azimuth von $+9^\circ$ ausgerichtet. Montiert wurden Module der Firma Kioto und ein Wechselrichter der Firma Fronius (sun.e-solution, 2013, s.p.). Die aufgezeichneten Leistungsdaten für das gesamte Jahr 2012 wurden freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

Zur modellhaften Verwendung der Leistungsdaten der beschriebenen Anlage war es zunächst notwendig, die vorliegenden Rohdaten in eine einheitliche Form zu bringen. Dazu wurden im Programm Microsoft Excel 2010 die im 5-Minuten Abstand vorliegenden Ertragswerte in Kilowattstunden (kWh) auf Stundenwerte kumuliert und von diesen Stundenwerten in weiterer Folge monatsweise das Arithmetische Mittel gebildet. Somit liegen die Leistungsdaten der Photovoltaikanlage für das Modell für ein ganzes Jahr in tabellarischer Form mit 24 Zeilen (Stunden) und 12 Spalten (Monate) vor. Zudem wurden die Ertragswerte durch die Nennleistung dividiert, um spezifische Werte pro installiertem Kilowatt zu erhalten. Diese Ertragswerte sind als tatsächlich gemessene Werte für ein bestimmtes Jahr anzusehen, wobei alle Systemverluste und Wirkungsgrade bereits berücksichtigt sind. Sie entsprechen der Nutzenergie, welche in weiterer Folge zur Anwendung zur Verfügung steht. Nach Hoffmann (2013, 6) ist der Elektroenergie-Ertrag der Anlage aufgrund von Alterungsvorgängen in den Solarzellen jährlich mit 0,995 zu multiplizieren. Das entspricht einer Alterungsrate von 0,5 % pro Jahr. Aufgrund von hohen Beanspruchungen und üblichen Herstellergarantien von 5-10 Jahren (Henze et al., 2008, 7f) wird für das Modell davon ausgegangen, dass Wechselrichter nach 15 Jahren zu erneuern sind. In Abbildung 1 ist die Stromerzeugung der Photovoltaikanlage für einen Kilowatt installierte Leistung über die monatlich gemittelten Stundenwerte für das erste im Modell angenommene Jahr

veranschaulicht. Die dazugehörige Tabelle mit den Ertragsdaten für die durchschnittlichen Tage eines Monats findet sich im Anhang der Arbeit.



(Quelle: eigene Darstellung)

Abbildung 1: Darstellung von Ertragsdaten der Photovoltaikanlage für 1 kW installierte Leistung

3.2.2. Überschusseinspeisung

Nachdem neben den Leistungsdaten der Photovoltaikanlage auch die Verbrauchsdaten der einzelnen Beispielsbetriebe in eine analoge Tabelle gebracht wurden (vgl. Kapitel 3.2.1.), ist es nun möglich, die eigenverbrauchte bzw. eingespeiste Strommenge zu ermitteln. Der Eigenverbrauch ist der Anteil an der Gesamtstromerzeugung der Photovoltaikanlage, welcher unmittelbar am Ort verwendet werden kann. In weiterer Folge wird der Autarkiegrad durch den Anteil des erzeugten und eigenverbrauchten Stroms am gesamten Stromverbrauch definiert. Überschusseinspeisung in das Netz liegt dann vor, wenn die Photovoltaikanlage mehr Strom erzeugt, als unmittelbar am Ort verbraucht werden kann (Höhle, 2012, s.p.). Mit zunehmender Anlagengröße und gleichbleibendem Verbrauch nimmt daher der Eigenverbrauch ab und der Autarkiegrad zu.

Die Summe des eigenverbrauchten Stroms ergibt sich im der Arbeit zugrunde liegenden Modell, erarbeitet in Microsoft Excel 2010, durch Abgleichen der Tabelle mit dem Strombedarf des jeweiligen Betriebes mit jener der Stromerzeugung der Photovoltaikanlage. Dies erfolgt für jede Zelle, d.h. für jede monatsweise gemittelte Stunde eines Tages. Dabei sind zwei Fälle zu unterscheiden, die nachfolgend in Abbildung 2 schematisch dargestellt sind:

Fall 1: Der Strombedarf des Betriebes ist in der jeweiligen Stunde geringer als die Stromerzeugung durch die Photovoltaikanlage. Damit entspricht die Menge des Strombedarfs der eigenverbrauchten Strommenge. Die nichtverbrauchte Strommenge wird als Überschuss in das Netz eingespeist.

Fall 2: Die Stromerzeugung der Photovoltaikanlage in der jeweiligen Stunde ist geringer als der Strombedarf des Betriebes. Damit entspricht die Menge des erzeugten Stroms der eigenverbrauchten Strommenge. Zur Deckung des restlichen Strombedarfs des Betriebes ist Stromzukauf über das öffentliche Netz nötig.

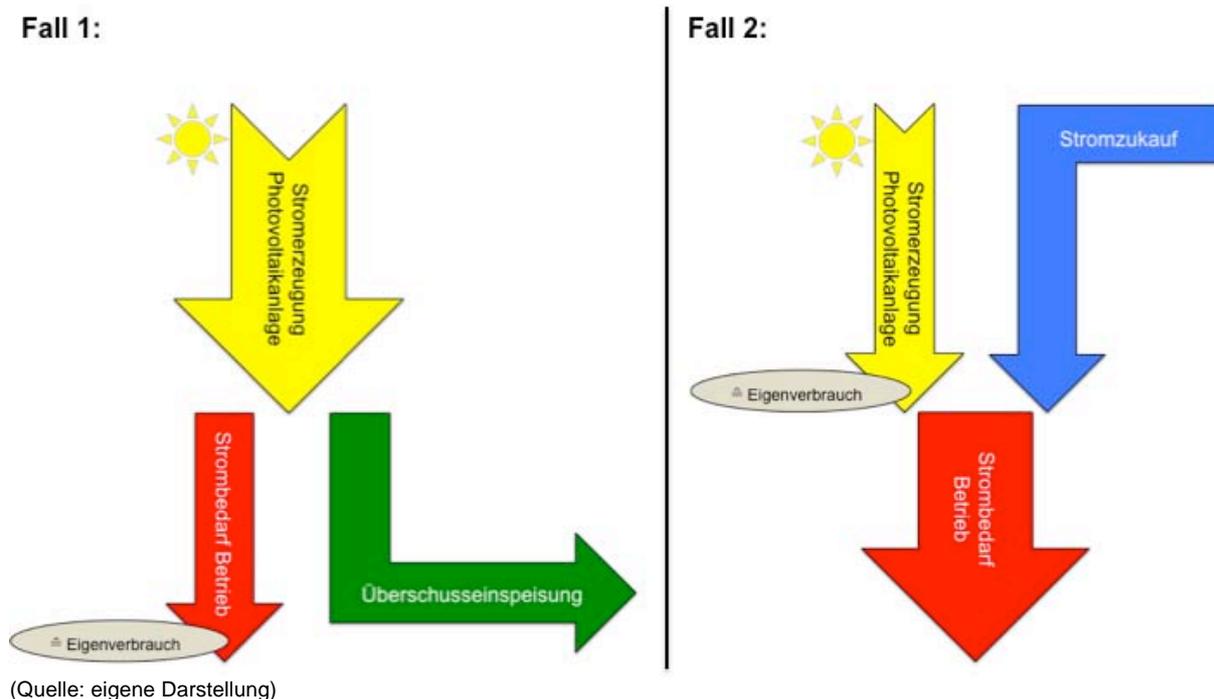


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Ermittlung von eigenverbraucher und eingespeister Strommenge

Bei der Vergütung des durch die Photovoltaikanlage erzeugten Stroms wird in weiterer Folge wiederum zwischen eigenverbraucher Strom und dem eingespeisten Überschussstrom unterschieden. Dabei wird der Eigenverbrauch mit dem Strompreis bewertet, der beim Bezug des Stroms über einen Energieversorger zu bezahlen wäre. Der eingespeiste Strom (Überschuss) wird im Modell mit dem Marktpreis bewertet, da angenommen wird, dass keine Förderung in Form eines erhöhten Einspeisetarifs vorliegt.

3.2.3. Investition, Betriebskosten und Strompreise

Die angenommenen Investitionskosten für die Errichtung einer Photovoltaikanlage entstammen aus einer Aufstellung von Kollnig (2013, 1), welche im Anhang als Tabelle 27 zu finden ist. Es wird darauf hingewiesen, dass es beim Einholen von Angeboten zu Unterschieden bei den Investitionskosten kommen kann. Daher sind die für diese Arbeit verwendeten Größen beispielhaft und geben die Erfahrung eines aktuell auf dem Markt auftretenden Anbieters wieder. Wichtiger in diesem Zusammenhang ist die Entwicklung der

Investitionssumme in Abhängigkeit von der Anlagengröße, worauf später noch näher eingegangen wird. Angenommen wird die Verwendung monikristalliner Silizium-Module europäischer Herkunft und eine Dachmontage. Die Wechselrichtertechnik entstammt ebenfalls aus europäischer Herkunft, wobei bei dessen Preisentwicklung davon ausgegangen wird, dass die Verbilligung durch den Lerneffekt vereinfacht gleich hoch ist wie die Inflation. Das bedeutet, dass der Betrag für die Ersatzinvestition in 15 Jahren dem Betrag des Preises bei der Anschaffung entspricht. Weiters im Systempreis (=Investitionssumme) enthalten sind Verkabelung bzw. Blitzschutz, der Anschluss an das Netz, Zubehör zur Datenaufzeichnung sowie die Arbeit für die Montage und Kosten für Transport und Baustelleneinrichtungen. In Abhängigkeit von der Anlagengröße konnten aus der besagten Aufstellung Werte für die Quantifizierung der Investitionssumme und die Ersatzinvestition für den Wechselrichter abgeleitet werden. Wird für die Entwicklung des Systempreises entlang der mittleren Anlagengrößen der drei Größenklassen für 5, 15 und 60 kW_{peak} ein logarithmischer Verlauf unterstellt, so ergibt sich bei einem Bestimmtheitsmaß von 0,9999 folgende Funktion:

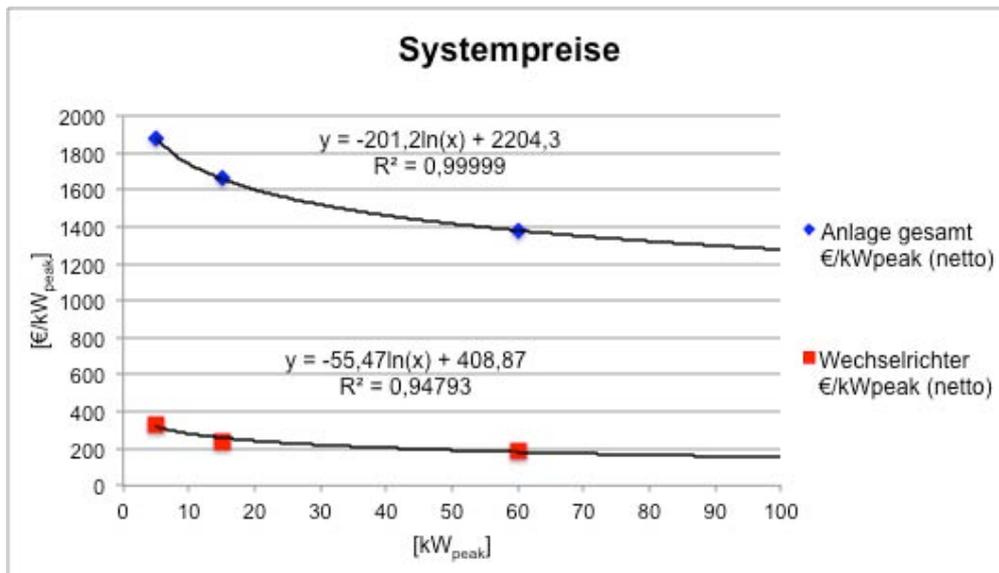
$$\text{Investitionssumme (netto) in €} = -201,20 * \ln(\text{Anlagengröße in kW}_{\text{peak}}) + 2204,30$$

Die dafür angenommenen Werte sind Nettopreise pro kW_{peak} in der Höhe von 1880,00 € für 5 kW_{peak}, 1660,00 € für 15 kW_{peak} und 1380,00 € für 60 kW_{peak}. Es wird davon ausgegangen, dass diese Funktion im Modell bis zu einer Anlagengröße von maximal 100 kW_{peak} verwendet werden kann.

Für die Ersatzinvestition des Wechselrichters ergibt sich unter den gleichen Voraussetzungen und angenommenen Nettopreisen pro kW_{peak} von 330,00 € für 5 kW_{peak}, 240,00 € für 15 kW_{peak} und 190,00 € für 60 kW_{peak}, bei einem Bestimmtheitsmaß von 0,9479 folgende Funktion:

$$\text{Preis Wechselrichter (netto) in €} = -55,47 * \ln(\text{Anlagengröße in kW}_{\text{peak}}) + 408,87$$

Abbildung 2 zeigt grafisch die Investitionssumme für die Photovoltaikanlage und den Preis für Wechselrichter in Abhängigkeit von der Anlagengröße.



(Quelle: eigene Darstellung nach Kollnig, 2013, 1)

Abbildung 3: Investitionssumme Photovoltaikanlage und Preis Wechselrichter

Laut Kaltschmitt und Streicher (2009, 186f) ergeben sich beim Betrieb einer Photovoltaikanlage jährliche Betriebskosten, die je nach Aufstellungsart und Größe der Anlage zwischen 25 und 40 € je installiertem Kilowatt liegen. Dazu zählen Wartungs- und Instandhaltungskosten sowie sonstige Aufwendungen (z.B. Modulreinigung, Zählermiete, Versicherung). In die vorliegende Arbeit werden in Anlehnung daran konstante jährliche Betriebskosten in der Höhe von 1 % der Investitionssumme miteinbezogen. Eine Teuerung wird dabei nicht unterstellt, da angenommen werden kann, dass die enthaltenen Kosten für Versicherung nicht über den gesamten Betrachtungszeitraum gleich hoch sind, sondern mit Fortschreiten der Jahre sinken.

Wie bereits erwähnt, wird bei den Rückflüssen der Investition der eigenverbrauchte Strom mit dem Preis bewertet, der beim herkömmlichen Bezug über einen Energieversorger zu entrichten wäre. Je nach ausverhandelten Konditionen und regionalen Gegebenheiten variiert der Strompreis für Endverbraucher. Spezielle Angebote für Landwirte existieren vereinzelt. So bietet z.B. Energie AG (2013, 2) einen für das Jahr 2013 gültigen Bruttopreis von 18,5688 Cent pro bezogener Kilowattstunde. Wie schon im Kapitel 2.3.1. beschrieben, setzt sich dieser Strompreis aus mehreren Komponenten zusammen. Es sei darauf hingewiesen, dass jene Bestandteile des Strompreises, die unabhängig von der Menge des bezogenen Stroms ermittelt werden, in den Berechnungen dieser Arbeit auszuklammern sind. Laut Tarifkalkulator der E-Control (2013b) sind dies für einen Konsumenten mit einer Jahresbezugsmenge von 20000 kWh im Bereich des Energiepreises eine Grundpauschale in der Höhe von 1,50 € pro Monat, im Bereich des Netznutzungsentgelts eine Leistungspauschale (10,20 € pro Jahr) sowie ein Entgelt für Messleistungen (28,80 € pro Jahr) und im Bereich der Steuern und Abgaben eine Ökostrompauschale in der Höhe von 11,00 € pro Zählpunkt und Jahr. In Summe ergeben diese fixen Komponenten ohne

Umsatzsteuer 68,00 € pro Jahr bzw. 0,34 Cent pro Kilowattstunde und sind für die Modellberechnungen somit vernachlässigbar. Als Ausgangspunkt für die Untersuchungen in dieser Arbeit wird ein fiktiver Brutto-Strompreis für den eigenverbrauchten Strom von 19 Cent pro Kilowattstunde veranschlagt. Zur Simulation der Preisentwicklung über die Nutzungsdauer der Photovoltaikanlage kommt ein robuster Ansatz zur Anwendung, bei dem eine jährliche Steigerung des Strompreises von 2 % angenommen wird. Dieser Ansatz liegt den meisten aktuellen Studien ebenfalls zugrunde (Oblasser, 2013, s.p.).

Der eingespeiste Überschussstrom wird, wie bereits erläutert (vgl. Kapitel 2.3.3.), mit dem Marktpreis für elektrischen Strom abgegolten. Dies wird für die Berechnungen im Rahmen dieser Untersuchung angenommen, obwohl es möglich ist, bei verschiedenen Energieversorgungsunternehmen, teils unter Einhaltung bestimmter Bedingungen, einen höheren Preis für den eingespeisten Sonnenstrom zu bekommen. Die Höhe des Marktpreises für Überschusseinspeiser wird quartalsweise angepasst. Abbildung 4 veranschaulicht die Entwicklung des Marktpreises für elektrischen Strom in Österreich in den Jahren 2003 bis 2012.



(Quelle: eigene Darstellung nach E-Control, 2013a, s.p.)

Abbildung 4: Entwicklung des Marktpreises für elektrischen Strom in den Jahren 2003 bis 2012

Der Marktpreis für das erste Quartal 2013 liegt bei 4,524 Cent (Photovoltaik Austria, 2013, s.p.). Aufgrund der ausgeprägten Volatilität in den vorliegenden Daten und der hohen Unsicherheit im Bezug auf Aussagen über die weitere Entwicklung des Marktpreises (Oblasser, 2013, s.p.), wird für die vorliegende Arbeit auch beim Marktpreis ein robuster Ansatz gewählt. Als Ausgangspunkt für die Berechnungen wird für die Vergütung des

Überschussstroms ein Marktpreis von 5 Cent angenommen, der sich jährlich um 2 % steigert.

3.3. Vollständiger Finanzplan (VOFI)

Für die vorliegende Untersuchung wurde zur Beurteilung der Investition die Methode des vollständigen Finanzplans (VOFI-Methode) gewählt. Dieser wird als eigenständige Methode der Investitionsrechnung angesehen und ist im Gegensatz zu den klassischen Investitionsrechnungsverfahren nicht formel-, sondern tabellenorientiert. Innerhalb der Investitionsrechnungsverfahren ordnet sich der VOFI zu den dynamischen Modellen für Vorteilhaftigkeitsentscheidungen mit einer Zielgröße ein (Kerbl, 2011, 8ff). In einem vollständigen Finanzplan werden in Tabellenform die einem Investitionsobjekt bzw. einer Geldanlage zuordenbaren Zahlungen, einschließlich der monetären Konsequenzen deren finanzieller Disposition abgebildet (Grob, 1989, 6). Es wird also nicht nur die Zahlungsreihe einer Investition, sondern auch die finanzielle Disposition im Bezug auf das Investitionsobjekt berücksichtigt. Aus diesem Grund ist es möglich, mittels eines VOFI die Prämissen der Finanzmittelaufnahme und –anlage und des Ausgleichs von Unterschieden in der Kapitalbindung darzustellen. Es lassen sich differenzierte Annahmen direkt einbeziehen, etwa bei der Aufteilung der Finanzierung in Fremd- und/oder Eigenkapital, beim Kontenausgleich im Zuge der Tilgung von Schulden zu bestimmten Zeitpunkten, entweder mittels Einzahlungsüberschüssen oder vorhandenen Guthaben, die Berücksichtigung eines eigenen Opportunitätskostensatzes des dem Investitionsobjekt zu Beginn des Planungszeitraums zugerechneten Eigenkapitals, im Gegensatz zur Reinvestition künftiger Finanzmittelüberschüsse und die Abbildung einer Konditionenvielfalt mit verschiedenen Fremdfinanzierungsobjekten bei unterschiedlichen Laufzeiten bzw. Zins- und Tilgungsverläufen (Götze, 2008, 119f). Der Begriff Eigenkapital umfasst in diesem Zusammenhang nicht die bilanzielle Größe, sondern den Bestand an eigenen liquiden Mitteln, welcher im Bezug auf das Investitionsobjekt bereitgestellt werden kann. Es handelt sich um die Differenz zwischen dem gesamten Kapitalbedarf für die Investition und der Fremdkapitalbeschaffung (Grob, 1989, 5).

3.3.1. Elemente und Konzepte des VOFI

Zunächst wird zwischen originären und derivativen Zahlungen unterschieden. Originäre Zahlungen gehören zu jenen Elementen des VOFI, die vom Unternehmer vorgegeben sind (z.B. Anfangsbestand an Eigenkapital, Einlagen, Entnahmen), während derivative Zahlungen aus vorhandenen Daten und bestimmten Parametern eines Modells abgeleitet werden (Grob, 1989, 6). Die nach dem Verursachungsprinzip zurechenbare Anschaffungsauszahlung (Investitionssumme) und die darauf folgenden Überschüsse der Einzahlungen über die Auszahlungen ergeben die Zahlungsfolge der Investition (Grob, 2006,

108). Sie zählen somit ebenso zu den originären Zahlungen. Für die Ermittlung der derivativen Zahlungen werden Parameter wie Kreditkonditionen, Zinsfüße sowie Abschreibungs- und Ertragssteuersätze herangezogen. Daraus werden die monetären Auswirkungen der Finanzierung, Kreditaufnahmen, -tilgungen und auch Anlage oder Auflösung von Finanzguthaben und Zinsaufwendungen und -erträge ersichtlich (Grob, 1989, 6). Re- und Ergänzungsinvestitionen sind laut Grob (2006, 110) zwingend in die Investitionsrechnung miteinzubeziehen, um möglichst realistische Vorteilhaftigkeitsentscheidungen zu treffen.

Absolut vorteilhaft ist ein Investitionsobjekt dann, wenn sein Endwert größer ist als jener der Opportunität, während relative Vorteilhaftigkeit dann gegeben ist, wenn der Endwert des Investitionsobjekts größer ist, als jener anderer zur Auswahl stehender Investitionsobjekte. Der Endwert ergibt sich aus der Höhe des Guthabens bzw. Kreditstandes am Ende des Nutzungs- bzw. Anlagezeitraums und ist jene Zielgröße, die direkt aus dem VOFI ablesbar ist (Götze, 2008, 120). Der Vergleich mit dem Endwert der Opportunität beantwortet die Frage, ob die geplante Sachinvestition vorteilhafter ist als die Anlage des Eigenkapitals zum festgelegten Opportunitätskostensatz (Grob, 2008, 83f). Daraus leitet sich das von Grob (1989, 6f) beschriebene Endwertkonzept ab, das neben dem Anfangswert-, dem Zwischenwert- und dem Entnahmekonzept besteht, und das aus Gründen der vergleichsweise einfachen Handhabung für die Modellierung in dieser Arbeit herangezogen wird.

3.3.2. Aufbau und Erstellung des VOFI

Der Aufbau eines vollständigen Finanzplans wird in der von Grob (2006, 124) entwickelten VOFI-Tabelle verdeutlicht. Als Erweiterung ist eine differenzierte Darstellung der Finanzierungsseite möglich, bei der eine Konditionenvielfalt mit beispielsweise unterschiedlichen Kreditkonditionen und -arten abgebildet werden kann. Im ersten Tabellenteil sind die Zahlungsreihe, die eigenen Finanzmittel und deren Veränderung, die Aufnahme, Tilgung und Zinszahlung von Krediten sowie die Durchführung, Auflösung und Zinszahlung einer Geldanlage enthalten. Der Saldo aller dieser Zahlungen ist in jeder Periode ausgeglichen, d.h. der Finanzierungssaldo ergibt Null. Der zweite Teil der VOFI-Tabelle beinhaltet die Bestandsgrößen der Kredit- und Geldanlagestände, aus dessen Gegenüberstellung sich der Bestandssaldo in der letzten Zeile ergibt. Der Bestandssaldo entspricht am Ende des Nutzungs- bzw. Anlagezeitraums dem Endwert (Götze, 2008, 121f). Tabelle 6 zeigt die standardisierte VOFI-Tabelle, die als Leitfaden zur Erstellung des vollständigen Finanzplans im Rahmen der Berechnungen für diese Arbeit diene.

Tabelle 6: Standardisierte VOFI-Tabelle

Zeitpunkt	0	...	n
Zahlungsfolge der Investition			
Eigene Mittel			
+ Einsatz			
- Entnahme			
+ Einlage			
Kredit			
+ Aufnahme			
- Tilgung			
- Sollzinsen			
Reinvestition			
- Anlage			
+ Rückfluss			
+ Ertrag			
Ertragssteuern			
- Steuerzahlung			
+ Steuererstattung			
Finanzierungssaldo	0	...	0
Bestandsgrößen			
Finanzbestand			
Kreditbestand			
Bestandssaldo			

(Quelle: Grob, 2006, 124)

Die Durchführung des Entscheidungsprozesses über die Vorteilhaftigkeit einer Investition wird laut Grob (2006, 115) in drei Phasen eingeteilt. Als erster Schritt ist die Erfassung der Daten nötig, welche in dieser Arbeit im Zuge der Ausführungen in den vorangegangenen Kapiteln zum Teil schon durchgeführt wurde. Die zweite Phase beinhaltet die Bestimmung des Endwertes mittels VOFI und die letzte Phase wird durch die Ableitung von Handlungsempfehlungen abgeschlossen. Zur Erstellung des VOFI und der Ermittlung des Endwertes werden in einem ersten Schritt im Zeitpunkt $t = 0$ die Anschaffungsauszahlung für das Investitionsobjekt und die vorhandenen eigenen Finanzmittel eingesetzt. Weiters sind zum Ausgleich des Finanzierungssaldos aufzunehmende Kreditbeträge oder ein anzulegender Überschuss zu ermitteln. Daraus können die Bestandsgrößen für $t = 0$ berechnet werden. Für jeden weiteren Zeitpunkt ($t = 1 \dots n$) sind schrittweise die Nettozahlungen des Investitionsobjektes festzuhalten, Zinszahlungen zu berechnen und finanzielle Dispositionen bezüglich der Kreditaufnahme, -tilgung und Durchführung oder Auflösung von Geldanlagen zu treffen sowie die Bestandsgrößen zu berechnen (Götze, 2008, 122). Dabei ist stets periodisch vorzugehen, d.h. erst wenn der Finanzierungssaldo in der jeweiligen Periode den Wert Null ergibt, kann mit den Berechnungen für die nächstfolgende Periode fortgefahren werden. Ist das Ende des Planungszeitraums erreicht,

liegt der Endwert der Investition vor (Grob, 2006, 117). Der zur Beurteilung der absoluten Vorteilhaftigkeit nötige Endwert der Opportunität wird entweder in einem eigenen VOFI, oder durch Aufzinsen des Eigenkapitals mit dem Opportunitätskostensatz ermittelt (Götze, 2008, 122).

3.3.3. Modellannahmen zu Investition und Finanzierung

Sämtliche Annahmen und Einflussgrößen zur Investition und Finanzierung einer Photovoltaikanlage gelten für alle vier Produktionsverfahren sowie für alle Anlagengrößen gleichermaßen. Vorweg ist es nötig die Rechtsform des Betriebes zu beschreiben. Bei den Beispielsbetrieben wird festgelegt, dass es sich jeweils um einen vollpauschalierten landwirtschaftlichen Betrieb handelt. In der vorliegenden Arbeit werden keine einkommensteuerrechtlichen Möglichkeiten der Gewinnermittlung berücksichtigt, sondern der Gewinn als jeweils vor Steuern angesehen. Dies hat den Grund, dass die Art der Gewinnermittlung grundsätzlich von der Rechtsform des Betriebes und die steuerliche Behandlung von Einkommen aus dem Betrieb von Photovoltaikanlagen unter anderem vom Verhältnis zwischen der erzeugten Strommenge und dem Bedarf an Strom abhängt (vgl. BMF, 2012, 9ff). Weiters hat die Vollpauschalierung zur Folge, dass die Investitionskosten inklusive 20 % Umsatzsteuer und der Verkauf des Überschussstroms inklusive 12 % Umsatzsteuer sowie der Eigenverbrauch als Bruttopreis in die Berechnungen einfließen. Die endgültige Klärung der steuerlichen Behandlung von Photovoltaikanlagen sollte ein derzeit anhängiges Verfahren beim Europäischen Gerichtshof (EuGH) bringen, auf das in diesem Zuge hingewiesen wird (vgl. LBG Österreich, 2012, s.p.). Als weitere Modellannahme wird eine Nutzungsdauer der Photovoltaikanlage von 25 Jahren veranschlagt, welche zugleich auch den Planungszeitraum für den vollständigen Finanzplan darstellt.

Bei der Aufbringung der Finanzmittel zur Anschaffung der Photovoltaikanlage wird angenommen, dass die Hälfte mit eigenen Mitteln und die andere Hälfte mit einem Kredit abgedeckt wird. Das Fremdkapital fließt als Kredit mit Ratentilgung, einer Laufzeit von 10 Jahren und einem Sollzinssatz von 4 % p.a. in den vollständigen Finanzplan ein. Der Opportunitätskostensatz für das Eigenkapital wird mit 3 % p.a. angesetzt. Für den Fall, dass anstehende Zahlungen nicht mit den Rückflüssen aus dem Eigenverbrauch bzw. dem Stromverkauf getätigt werden können, wird im Zuge der Finanzplanung die Inanspruchnahme eines Kontokorrentkredites mit einem Sollzinssatz von 5 % p.a. vorgesehen. Überschüssige Geldmittel werden in diesem Zusammenhang stets mit einem Habenzinssatz von 2 % p.a. nach Kapitalertragsteuer angelegt.

3.4. Kennzahlen zur Wirtschaftlichkeit

Als vorrangige Größe zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit dient in der vorliegenden Arbeit die Rentabilität des eingesetzten Kapitals (Eigenkapital). Im Rahmen des vollständigen Finanzplans erfolgt die Berechnung der Eigenkapitalrentabilität laut Götze (2008, 122) mit folgender Formel:

$$r_{EK} = \sqrt[n]{\frac{EW}{EK_0}} - 1$$

Wobei r_{EK} als Ergebnis die Rentabilität des eingesetzten Kapitals, n den Planungszeitraum in Jahren, EW den Vermögensendwert am Ende des Planungszeitraums (Bestandssaldo) und EK_0 die Höhe des eingesetzten Kapitals am Beginn des Planungszeitraums darstellt.

Weiters dient der Zeitpunkt der dynamischen Amortisation als Maß für die Vorteilhaftigkeit der Investition in eine Photovoltaikanlage. Dieser ist im Allgemeinen dann erreicht, wenn die Einzahlungsüberschüsse des Investitionsobjektes das eingesetzte Kapital unter Berücksichtigung einer kalkulatorischen Verzinsung übersteigen (Schwinn, 1993, 1024). Im Rahmen eines vollständigen Finanzplans ist die dynamische Amortisationsdauer folglich dann erreicht, wenn der Bestandssaldo die gleiche Höhe aufweist wie das mit dem Opportunitätskostensatz aufgezinste Eigenkapital.

Der Bestandssaldo eines Jahres stellt den Endwert des Investitionsobjektes im jeweiligen Jahr dar (Götze, 2008, 120). Daher wird im Rahmen der Berechnungen für diese Arbeit jener Zeitpunkt ermittelt, in dem der Bestandssaldo den Wert 0 ergibt. Dies ist weiters jener Zeitpunkt, ab dem im vollständigen Finanzplan überschüssige Mittel als Geldanlage ermittelt und somit die anstehenden Auszahlungen mit Einsparungen durch Eigenverbrauch bzw. Einzahlungen durch Stromeinspeisung zur Gänze abgedeckt werden können.

3.5. Sensibilitätsanalyse

Diese Methode beruht auf der Annahme, dass trotz der prognostizierten Vorteilhaftigkeit einer Investitionsentscheidung aufgrund der Wirtschaftlichkeitsrechnungen ein Investitionsrisiko besteht, da in der Realität die zugrunde gelegten Daten unsicher sind. Die in einem Modell verwendeten Einflussgrößen können sich während des Betrachtungszeitraums ändern. Daher werden Investitionsrechnungen häufig um Sensibilitätsanalysen erweitert, um einen Überblick über die Sensibilität bzw. Stabilität des Ergebnisses im Bezug auf Veränderungen der Ausgangsdaten zu erhalten. Dazu werden kritische Werte berechnet, indem für einzelne Größen der Schwankungsbereich ermittelt wird, ohne dass sich grundsätzliche Aussagen der Wirtschaftlichkeitsrechnungen ändern (Schneeberger und Eder, 2011, 318f). Diese Methode ist jedoch kein Instrument zur

Entscheidungsfindung, sondern hilft festzustellen, welche Parameterwerte einen besonders großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit einer Investition haben (Domschke und Scholl, 2008, 260).

In der vorliegenden Arbeit werden aufgrund der Ergebnisse aus der Wirtschaftlichkeitsrechnung und des gegebenen Stromverbrauchs der einzelnen Beispielsbetriebe zunächst jene Anlagengrößen ermittelt, bei der die Eigenkapitalrentabilität größer oder gleich groß ist wie der angenommene Opportunitätskostensatz. Dies ist auch jener Wert, bis zu dem es möglich ist, das Investitionsobjekt innerhalb des Betrachtungszeitraums von 25 Jahren dynamisch zu amortisieren.

Da für die steuerliche Behandlung der Energieerzeugung durch Land- und Forstwirte das Verhältnis aus erzeugter Strommenge und dem Bedarf an Strom von Bedeutung ist (vgl. BMF, 2012, 9ff), wird anschließend im Programm Microsoft Excel 2010 mit der Applikation „Zielwertsuche“ jene Anlagengröße ermittelt, bei der die Summe der jährlichen Stromerzeugung dem Gesamtbedarf an elektrischer Energie für das jeweilige Produktionsverfahren entspricht. Dabei wird aus praktischen Gründen auf die nächstgelegene Anlagengröße bei Zugrundelegung von 5er Schritten gerundet. Für die Berechnung kritischer Werte wird in weiterer Folge diese Anlagengröße betrachtet. Zielgröße dabei ist die Eigenkapitalrentabilität, welche mindestens 3 % betragen soll, da ansonsten die Anlage des eingesetzten Kapitals zum Opportunitätskostensatz vorteilhafter wäre, als die Investition in eine Photovoltaikanlage. Als veränderbare Eingangsgrößen werden die jährliche Steigerung des Marktpreises, der Zinssatz der Geldanlage und der Eigenverbrauchsanteil für jeden Beispielsbetrieb für die Sensibilitätsanalysen herangezogen. Die jährliche Steigerung des Marktpreises wird deswegen in Betracht gezogen, da dieser Wert im Modell das Ergebnis der Wirtschaftlichkeit in relativ großem Maß beeinflusst und zugleich auch mit einer relativ hohen Unsicherheit behaftet ist (vgl. Kapitel 3.2.3.). Der Zinssatz der Geldanlage hat ebenfalls einen gewichtigen Einfluss auf die Verzinsung des eingesetzten Kapitals bzw. der Rückflüsse aus der Investition und somit auf das Ergebnis der Wirtschaftlichkeit. Als technische Größe wird beispielhaft die Sensibilität des Eigenverbrauchsanteils ermittelt, da dieser etwa durch Lastmanagement durch den Landwirt mehr oder weniger beeinflusst werden kann (Loibnegger, 2012, s.p.). Dabei ist zu erwähnen, dass die Ergebnisse aus den Sensibilitätsanalysen jeweils *ceteris paribus* gelten, d.h. dass nur die angegebenen Parameter mit den daraus folgenden Konsequenzen für das Modell verändert werden (vgl. Schneeberger und Eder, 2011, 323).

4. Ergebnisse

Dieses Kapitel beschreibt zunächst den Stromverbrauch und die Analyse des Lastgangs der einzelnen beispielhaften Produktionsverfahren. Als weiterer Schritt wird auf den Eigenverbrauch und dessen Entwicklung bei unterschiedlichen Anlagengrößen eingegangen. Die Analyse der Wirtschaftlichkeit der Überschusseinspeisung wird darauf folgend mit einer Abbildung der beschriebenen Kennzahlen zur Wirtschaftlichkeit und deren Entwicklung mit steigender Anlagengröße begonnen. Den letzten Abschnitt dieses Kapitels stellt die Analyse der Sensibilität einzelner Parameter des Modells dar.

4.1. Lastganganalyse

Es werden für jeden Beispielsbetrieb gesondert der Stromverbrauch und dessen zeitliche Verteilung dargestellt. Der Lastgang wird jeweils für einen mittleren Tag pro Monat abgebildet. Die zeitliche Verteilung des Stromverbrauchs des Haushalts ist bei allen vier Beispielsbetrieben gleich und ist der Tabelle 25 im Anhang zu entnehmen.

4.1.1. Milchviehbetrieb mit Melkstand

Der Stromverbrauch des Milchviehbetriebes mit Melkstand beträgt mit den im Kapitel 3.1.1. beschriebenen Annahmen 27070 kWh pro Jahr. Den größten Strombedarf weisen in diesem Produktionsverfahren der Vorgang der Milchgewinnung sowie die anschließende Reinigung der gesamten beim Melkvorgang und der Milchlagerung benötigten Gerätschaften auf. Mit Ausnahme des Kraftfutterautomaten und des Haushalts sind alle Stromverbraucher zweimal pro Tag in Betrieb. Der gesamte jährliche Strombedarf des Melkstands beträgt 7300 kWh oder 27,0 % des Gesamtstromverbrauchs des Milchviehbetriebes mit Melkstand. Die Reinigung des Melkzeuges, des Melkstandes und des Milchtanks benötigt im Modell 8000 kWh Strom pro Jahr oder mit 29,6 % den größten Anteil am jährlichen Gesamtstromverbrauch des Beispielsbetriebes. Die Kühlung der Milch benötigt 4032 kWh Strom pro Jahr, was einem Anteil von 14,9 % am Jahresstromverbrauch des Betriebes entspricht. Als weitere Stromverbraucher fließen im Modell die Beleuchtung des Stallraumes mit 700 kWh (2,6 %), die Entmistung mittels Flachschieber mit 600 kWh (2,2 %) und der sich durchgehend in Betrieb befindliche Kraftfutterautomat mit 438 kWh (1,6 %) Strombedarf ein. Der für alle Beispielsbetriebe in der selben Höhe angenommene Jahresstromverbrauch des Haushalts von 6000 kWh nimmt im Milchviehbetrieb mit Melkstand einen Anteil von 22,2 % des Gesamtverbrauchs ein. Tabelle 7 zeigt zusammenfassend den Strombedarf der einzelnen Verbraucher und Abbildung 5 veranschaulicht die prozentuelle Aufteilung des Jahresstromverbrauchs für dieses Produktionsverfahren.

Tabelle 7: Jährlicher Strombedarf und Einsatzhäufigkeit der einzelnen Verbraucher für den Milchviehbetrieb mit Melkstand

Stromverbraucher	[kWh pro Jahr]	Einsatzhäufigkeit
Melkstand	7.300	2 mal pro Tag
Reinigung Melkzeug, -stand	8.000	2 mal pro Tag
Milchkühlung	4.032	2 mal pro Tag
Beleuchtung	700	2 mal pro Tag
Flachschieber	600	2 mal pro Tag
Krafftutterautomat	438	dauernd
Haushalt	6.000	VDEW Standardlastprofil
Gesamt	27.070	

(Quelle: eigene Berechnungen)

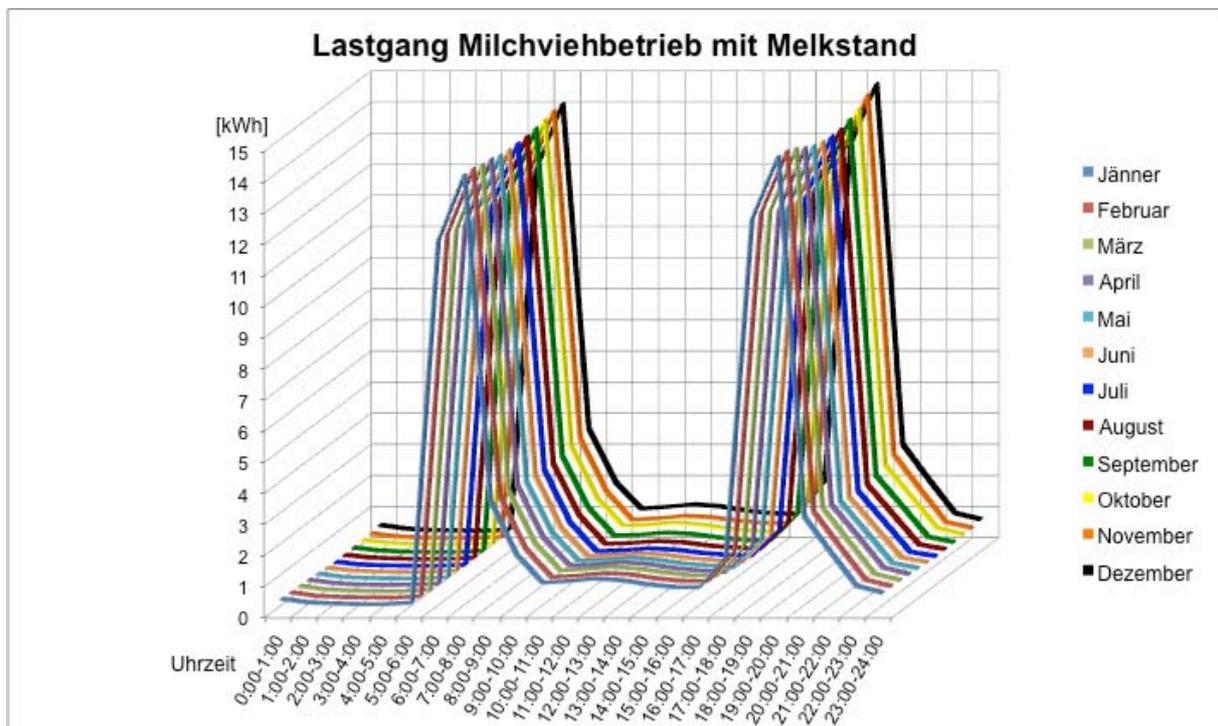


(Quelle: eigene Darstellung)

Abbildung 5: Aufteilung des Jahresstromverbrauchs für den Milchviehbetrieb mit Melkstand

Der Melkvorgang erstreckt sich täglich von 6:00 Uhr bis 7:00 Uhr und von 18:00 Uhr bis 19:00 Uhr, wobei jeweils 10,00 kWh Strom benötigt werden. Anschließend von 7:00 Uhr bis 8:00 Uhr bzw. von 19:00 Uhr bis 20:00 Uhr benötigt die Zirkulationsreinigungsanlage jeweils 10,96 kWh Strom. Währenddessen findet täglich von 6:30 Uhr bis 9:30 Uhr bzw. von 18:30 Uhr bis 21:30 Uhr die Kühlung der Milch statt. Dies bedeutet zweimal pro Tag einen Stromverbrauch von 5,52 kWh, der sich jeweils auf die drei Stunden aufteilt. Während dieser Zeit (6:00 Uhr bis 8:00 Uhr und 18:00 Uhr bis 20:00 Uhr) sind täglich Leuchtstoffröhren zur Ausleuchtung des Stallinneren im Einsatz, die jeweils 0,96 kWh Strom pro Einsatz benötigen. Die Entmistung mittels Flachschieber erfolgt täglich automatisch mit Zeitschaltuhr in der Zeit von 8:00 Uhr bis 9:00 Uhr bzw. von 17:00 Uhr bis 18:00 Uhr und verbraucht bei jedem Vorgang 0,82 kWh Strom. Der Krafftutterautomat benötigt in jeder Stunde des Jahres 0,05 kWh Strom und stellt somit Grundlast für den Betrieb dar. Die Unterschiede im Lastgang dieses Betriebes innerhalb der einzelnen Monate sind aufgrund der Modellannahmen ausschließlich aufgrund des Lastprofils des Haushalts gegeben. Eine

Veranschaulichung des Lastgangs des Milchviehbetriebs mit Melkstand findet sich in der nachfolgenden Abbildung 6.



(Quelle: eigene Darstellung)

Abbildung 6: Lastgang des Milchviehbetriebs mit Melkstand für einen mittleren Tag pro Monat

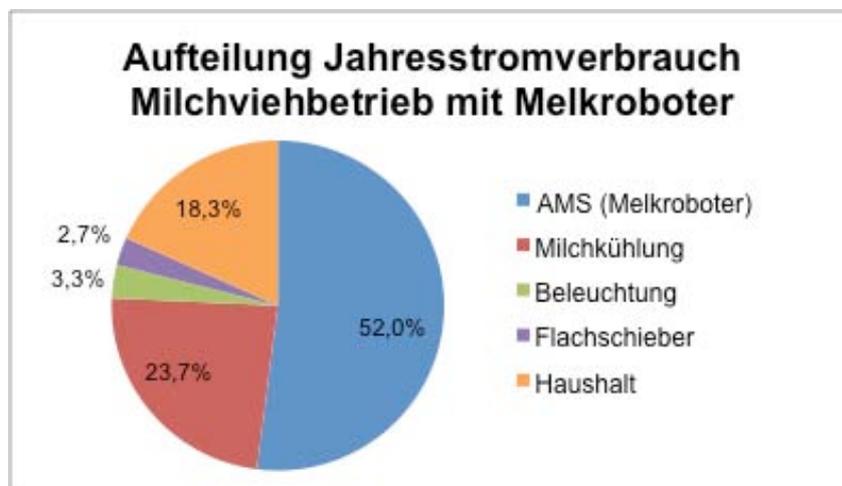
4.1.2. Milchviehbetrieb mit Melkroboter

Der gesamte jährliche Stromverbrauch dieses Beispielsbetriebs beträgt 32827 kWh. Der Melkroboter führt neben dem Melkvorgang selbst die Reinigung der Melkanlage bzw. des Milchtanks, die Gabe von Krafffutter und die Kuherkennung durch und ist so wie die Milchkühlung dauernd in Betrieb. Der Strombedarf des Automatischen Melksystems beträgt daher jährlich 17082 kWh und nimmt mit 52,0 % den mit Abstand größten Anteil am Gesamtstromverbrauch des Betriebes ein. Die Milchkühlung benötigt auf dem Milchviehbetrieb mit Melkroboter 7776 kWh Strom pro Jahr, was einem Anteil von 23,7 % am gesamten Verbrauch des Betriebes entspricht. Weiters werden für die Beleuchtung 1069 kWh (3,3 %) und für die Entmistung des Laufstalles mittels Flachschieber 900 kWh (2,7 %) Strom pro Jahr benötigt. Diese beiden Stromverbraucher sind zweimal pro Tag im Einsatz. Der Haushalt nimmt mit 6000 kWh Jahresstromverbrauch einen Anteil von 18,3 % am gesamten Verbrauch ein. In der Tabelle 8 ist eine Zusammenfassung des Strombedarfs für die einzelnen Verbraucher ersichtlich, die darauf folgende Abbildung 7 zeigt die prozentuelle Aufteilung der Stromverbraucher.

Tabelle 8: Jährlicher Strombedarf und Einsatzhäufigkeit der einzelnen Verbraucher für den Milchviehbetrieb mit Melkroboter

Stromverbraucher	[kWh pro Jahr]	Einsatzhäufigkeit
AMS (Melkroboter)	17.082	dauernd
Milchkühlung	7.776	dauernd
Beleuchtung	1.069	2 mal pro Tag
Flachschieber	900	2 mal pro Tag
Haushalt	6.000	VDEW Standardlastprofil
Gesamt	32.827	

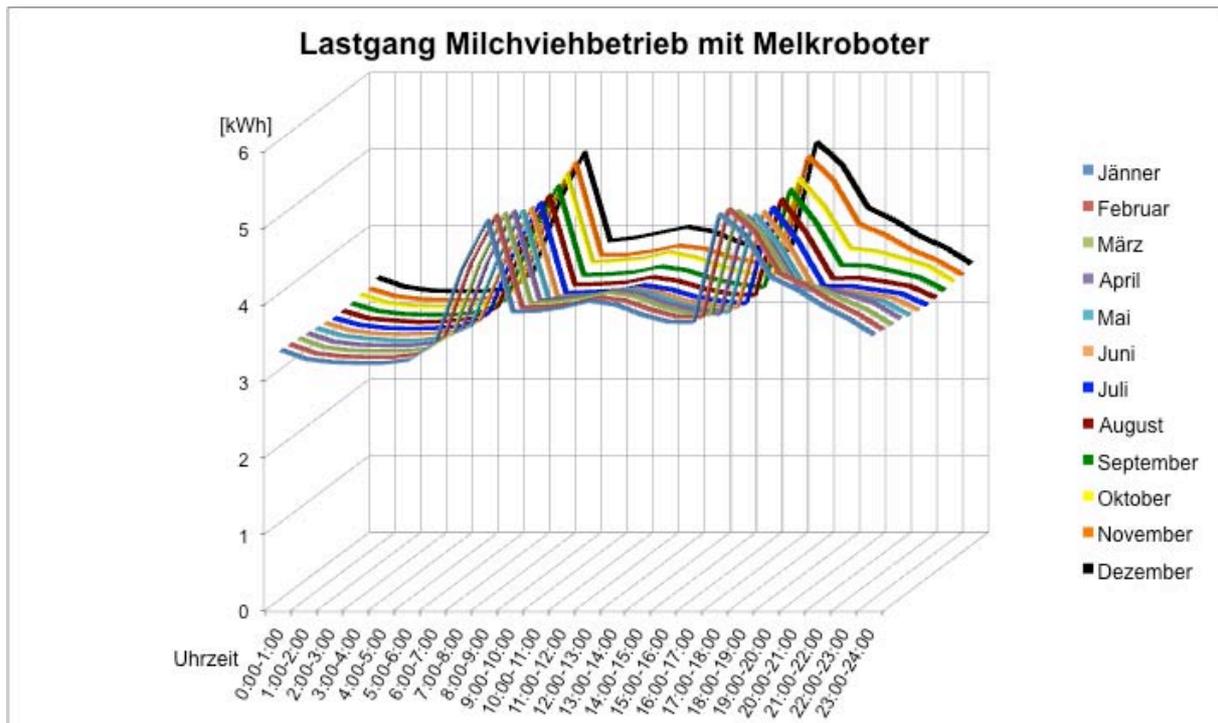
(Quelle: eigene Berechnungen)



(Quelle: eigene Darstellung)

Abbildung 7: Aufteilung des Jahresstromverbrauchs für den Milchviehbetrieb mit Melkroboter

Das automatische Melksystem (Melkroboter) benötigt in jeder Stunde des Jahres 1,95 kWh Strom und stellt somit Grundlast für diesen Betrieb dar. Ebenso ist die Milchkühlung durchgehend im Einsatz und benötigt 0,89 kWh Strom pro Stunde. Die Beleuchtung unterteilt sich in die Beleuchtung des Arbeitsbereiches des Melkroboters und in die Beleuchtung des Stallinneren. Der Melkroboter wird durchgehend beleuchtet und benötigt so 0,07 kWh Strom in jeder Stunde des Jahres. Das Stallinnere wird täglich von 7:00 Uhr bis 8:00 Uhr und von 18:00 Uhr bis 19:00 Uhr beleuchtet und benötigt dort pro Einsatz zusätzlich 0,69 kWh Strom. Die Entmistung mittels Flachschieber erfolgt täglich automatisch in der Zeit von 8:00 Uhr bis 9:00 Uhr bzw. von 17:00 Uhr bis 18:00 Uhr und verbraucht bei jedem Vorgang 1,23 kWh Strom. Auch bei diesem Modell eines Milchviehbetriebes mit Melkroboter sind die Unterschiede im Lastgang zwischen den Monaten ausschließlich auf das Lastprofil des Haushalts zurückzuführen. Abbildung 8 stellt die Lastgänge für die einzelnen Monate eines Jahres für diesen Betrieb grafisch dar.



(Quelle: eigene Darstellung)

Abbildung 8: Lastgang des Milchviehbetriebs mit Melkroboter für einen mittleren Tag pro Monat

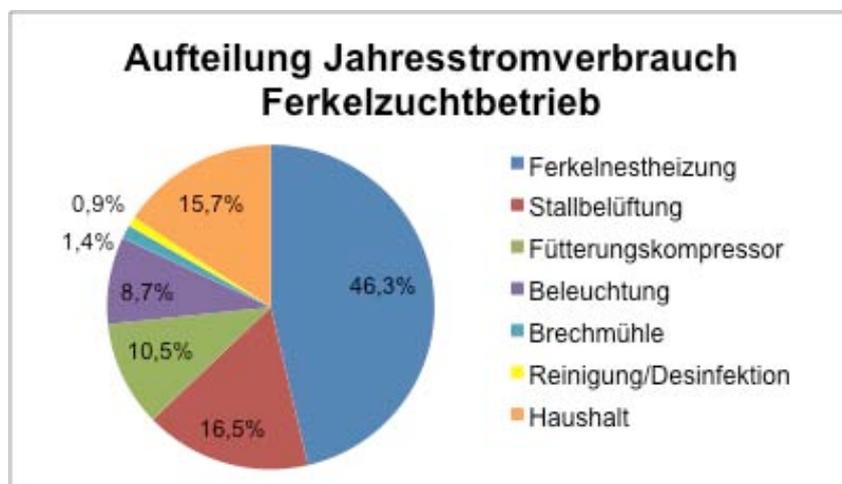
4.1.3. Ferkelzuchtbetrieb

Dieses Produktionsverfahren benötigt insgesamt 38255 kWh Strom in einem Jahr, wobei davon die sich dauernd in Betrieb befindliche Ferkelnestbeheizung mit 17730 kWh bzw. 46,3 % den mit Abstand größten Strombedarf hat. Die Stallbelüftung ist ebenfalls durchgehend in Betrieb und benötigt 6300 kWh pro Jahr, was einem Anteil von 16,5 % entspricht. Täglich zweimal in Betrieb ist der Fütterungskompressor mit einem jährlichen Strombedarf von 4015 kWh (10,5 %). Darauf folgt ebenfalls zweimal täglich die Beleuchtung des Stallinneren. Diese benötigt pro Jahr 3300 kWh Strom mit einem Anteil am Gesamtstrombedarf des Betriebes von 8,7 %. Weitere Stromverbraucher sind eine Brechmühle zur Bereitung des Futters mit 520 kWh (1,4 %) pro Jahr und Reinigung bzw. Desinfektion mit 360 kWh (0,9 %) pro Jahr, die jeweils zweimal pro Woche Strom benötigen. Die 6000 kWh Jahresstromverbrauch für den Haushalt machen innerhalb dieses Ferkelzuchtbetriebes einen Anteil von 15,7 % aus. In der Tabelle 9 ist eine Zusammenstellung der Stromverbraucher und deren Einsatzhäufigkeit ersichtlich, die darauf folgende Abbildung 9 zeigt die prozentuelle Aufteilung des Jahresstrombedarfs auf die einzelnen Verbraucher.

Tabelle 9: Jährlicher Strombedarf und Einsatzhäufigkeit der einzelnen Verbraucher für den Ferkelzuchtbetrieb

Stromverbraucher	[kWh pro Jahr]	Einsatzhäufigkeit
Ferkelnestheizung	17.730	dauernd
Stallbelüftung	6.300	dauernd
Fütterungskompressor	4.015	2 mal pro Tag
Beleuchtung	3.330	2 mal pro Tag
Brechmühle	520	2 mal pro Woche
Reinigung/Desinfektion	360	2 mal pro Woche
Haushalt	6.000	VDEW Standardlastprofil
Gesamt	38.255	

(Quelle: eigene Berechnungen)

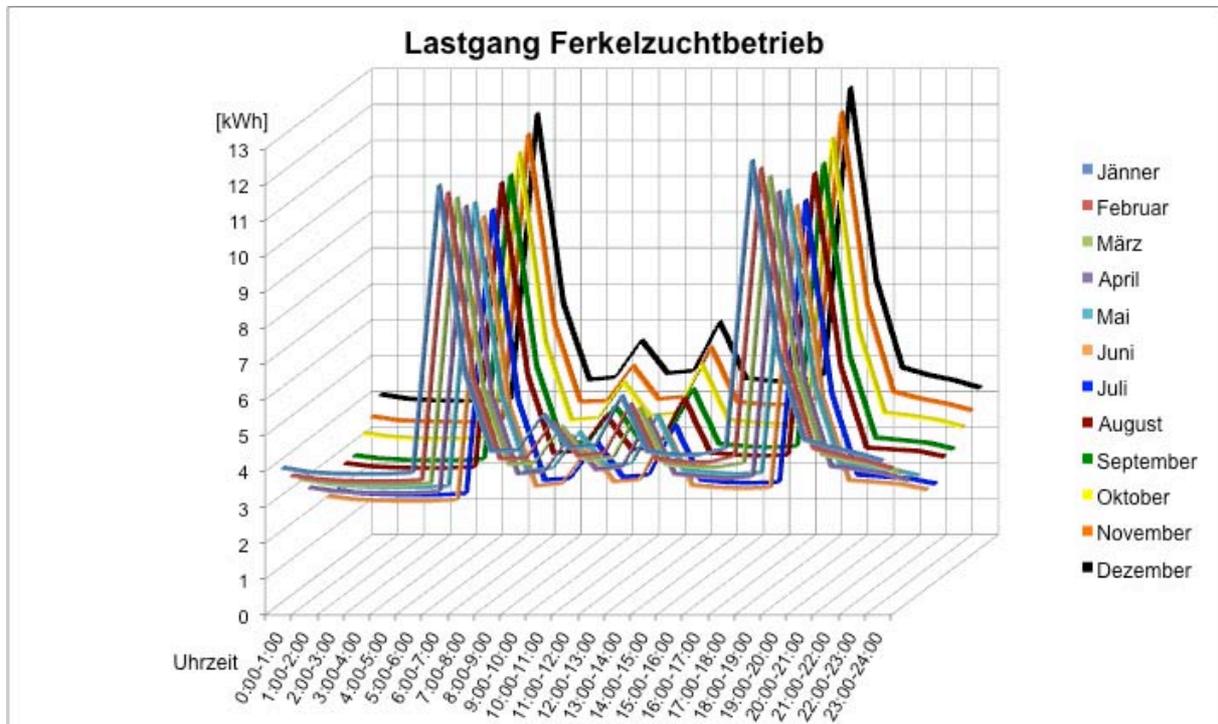


(Quelle: eigene Darstellung)

Abbildung 9: Aufteilung des Jahresstromverbrauchs für den Ferkelzuchtbetrieb

Der Strombedarf der Ferkelnestbeheizung ist monatsweise unterschiedlich. In den Monaten Jänner und Dezember werden in jeder Stunde 3,01 kWh Strom dafür benötigt. Auf die Monate Februar und November entfallen 2,60 kWh, März und Oktober 2,31 kWh, April und September 1,81 kWh, Mai und August 1,54 kWh und Juni und Juli 0,89 kWh Strombedarf pro Stunde für die Beheizung der Ferkelnester des Beispielsbetriebes. Bei der Belüftung des Stalles verhält sich der Verlauf des Strombedarfs entlang der Monate eines Jahres in etwa komplementär zum Strombedarf für die Ferkelnestbeheizung. So werden in den Monaten Jänner und Dezember 0,54 kWh, Februar und November 0,57 kWh, März und Oktober 0,58 kWh, April und September 0,68 kWh, Mai und August 0,93 kWh und Juni und Juli 1,02 kWh Strom in jeder Stunde benötigt. Der Fütterungskompressor ist täglich von 6:00 Uhr bis 7:00 Uhr und von 18:00 Uhr bis 19:00 Uhr in Betrieb und benötigt bei jedem Einsatz 5,50 kWh Strom. Die Beleuchtung des Stallinneren erfolgt täglich von 6:00 Uhr bis 8:00 Uhr und von 18:00 Uhr bis 20:00 Uhr und hat somit zweimal pro Tag einen Stromverbrauch von 4,56 kWh. Für die Brechmühle ergibt sich täglich von 13:00 Uhr bis 14:00 Uhr ein Stromverbrauch von 1,43 kWh. Bei der Reinigung bzw. Desinfektion sind pro Tag von 10:00 Uhr bis 11:00

Uhr 0,99 kWh Strom nötig. In der Abbildung 10 wird ersichtlich, dass bei diesem Produktionsverfahren der Stromverbrauch von den Wintermonaten hin zu den Sommermonaten abfällt, was in erster Linie auf die Verteilung des Energiebedarfs für die Ferkelnebstbeheizung zurückzuführen ist.



(Quelle: eigene Darstellung)

Abbildung 10: Lastgang des Ferkelzuchtbetriebs für einen mittleren Tag pro Monat

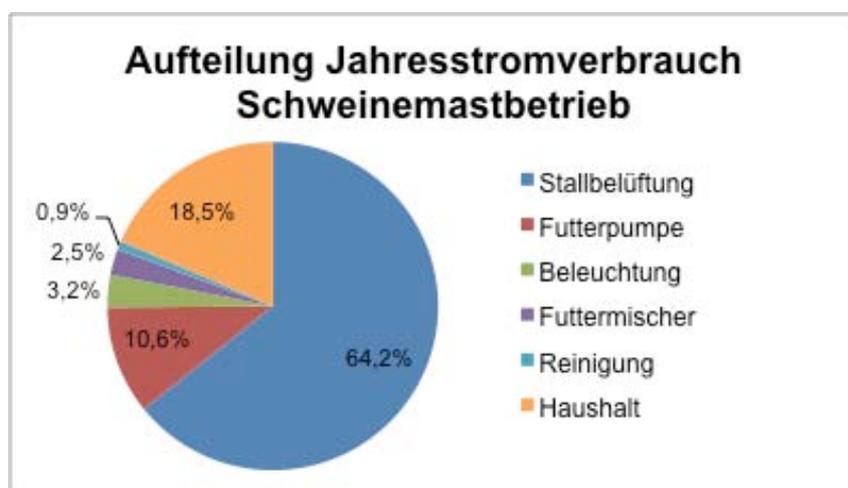
4.1.4. Schweinemastbetrieb

Das Produktionsverfahren Schweinemast benötigt in einem Jahr 32390 kWh Strom. Den mit Abstand größten Anteil am Gesamtverbrauch stellt die Stallbelüftung mit 20800 kWh bzw. 64,2 % dar, die durchgehend in Betrieb ist. Die Pumpe zur Durchführung der Flüssigfütterung benötigt im Jahr 3449 kWh Strom, was einem Anteil am Gesamtstromverbrauch von 10,6 % entspricht. Die Einsatzhäufigkeit der Futterpumpe ist dreimal pro Tag. Zur Beleuchtung sind mit zwei Einsatzzeiten pro Tag 1040 kWh (3,2 %) pro Jahr nötig. Der Futtermischer ist so wie die Futterpumpe dreimal pro Tag im Einsatz und verbraucht in einem Jahr 821 kWh (2,5 %) Strom. Eine dreimal pro Jahr durchzuführende Reinigung von Teilen der Stallungen benötigt 280 kWh (0,9 %) Strom pro Jahr. Der Haushalt mit 6000 kWh Strombedarf pro Jahr nimmt bei diesem Produktionsverfahren einen Anteil am Gesamtstrombedarf von 18,5 % ein. Tabelle 10 zeigt zusammenfassend die einzelnen Stromverbraucher mit dem jeweiligen Bedarf und deren Einsatzhäufigkeit. In der nachfolgenden Abbildung 11 ist die prozentuelle Aufteilung des Stromverbrauchs ersichtlich.

Tabelle 10: Jährlicher Strombedarf und Einsatzhäufigkeit der einzelnen Verbraucher für den Schweinemastbetrieb

Stromverbraucher	[kWh pro Jahr]	Einsatzhäufigkeit
Stallbelüftung	20.800	dauernd
Futterpumpe	3.449	3 mal pro Tag
Beleuchtung	1.040	2 mal pro Tag
Futtermischer	821	3 mal pro Tag
Reinigung	280	3 mal pro Jahr
Haushalt	6.000	VDEW Standardlastprofil
Gesamt	32.390	

(Quelle: eigene Berechnungen)

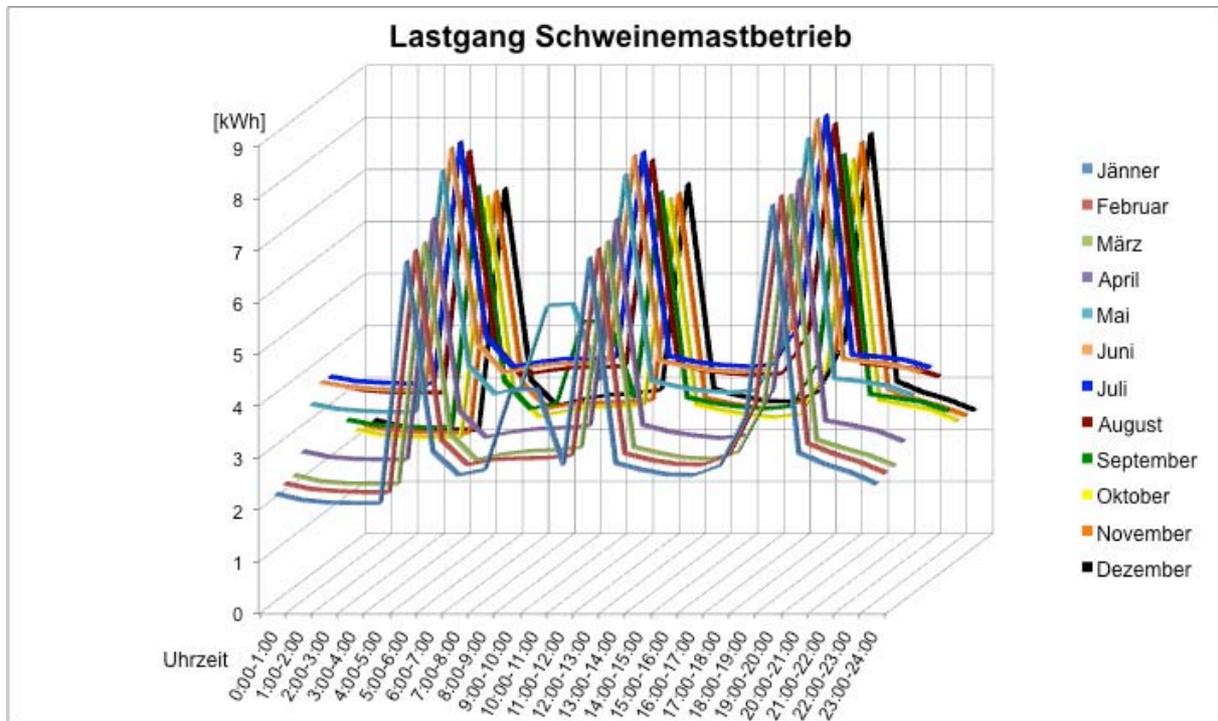


(Quelle: eigene Darstellung)

Abbildung 11: Aufteilung des Jahresstromverbrauchs für den Schweinemastbetrieb

Für die Belüftung des Stalles unterscheidet sich der Stromverbrauch monatsweise. So sind in den Monaten Jänner und Dezember in jeder Stunde 1,78 kWh dafür nötig. Im Februar sowie im November werden 1,87 kWh Strom pro Stunde für die Stallbelüftung benötigt und in den Monaten März und Oktober steigt der Strombedarf pro Stunde auf 1,90 kWh an. Auf die Monate April und September entfallen 2,26 kWh, Mai und August 3,06 und Juni und Juli 3,37 kWh Strombedarf in jeder Stunde. Die Futterpumpe ist täglich in der Zeit von 5:00 Uhr bis 6:00 Uhr, von 12:00 Uhr bis 13:00 Uhr und von 19:00 Uhr bis 20:00 Uhr im Einsatz und benötigt bei jedem Fütterungsvorgang 3,15 kWh Strom. Für die Beleuchtung des Stallinneren ist eine Betriebszeit von 5:00 Uhr bis 6:00 Uhr und von 18:00 Uhr bis 20:00 Uhr nötig, wobei bei jedem Einsatz 1,43 kWh Strom verbraucht werden. Der Futtermischer ist in den selben Zeiträumen wie die Futterpumpe in Betrieb und benötigt bei jedem Fütterungsvorgang 0,75 kWh Strom. Die Reinigung der Stallungen verbraucht in den Monaten Jänner, Mai und September täglich von 9:00 Uhr bis 11:00 Uhr durchschnittlich 3,01 kWh bei jedem Reinigungsvorgang. Unterschiede im Lastgang dieses Produktionsverfahrens ergeben sich im Jahresverlauf hauptsächlich durch einen erhöhten

Strombedarf für die Stallbelüftung in den Sommermonaten und durch die Reinigung der Stallungen in den Monaten Jänner, Mai und September. Abbildung 12 stellt die Lastgänge der durchschnittlichen Tage eines Monats für diesen Beispielsbetrieb schematisch dar.



(Quelle: eigene Darstellung)

Abbildung 12: Lastgang des Schweinemastbetriebs für einen mittleren Tag pro Monat

4.2. Eigenverbrauch und Überschusseinspeisung

Die Menge des eigenverbrauchten Stroms bzw. des eingespeisten Überschussstroms wird bei den vier Produktionsverfahren für zehn verschiedene Anlagengrößen (Szenarien) zunächst in Tabellenform dargestellt. Ebenso parallel dazu ist die Entwicklung der Autarkie und des Eigenverbrauchs mit steigender Anlagengröße im folgenden Teilkapitel abgebildet. Eine Grafik zeigt für jeden Beispielsbetrieb den mittleren Lastgang im Vergleich zur mittleren Stromerzeugung einer Photovoltaikanlage mit einer Nennleistung von $20 \text{ kW}_{\text{peak}}$ für die Monate Jänner und Juli. Dadurch soll der Unterschied zwischen Winter und Sommer überblicksmäßig veranschaulicht werden. Alle Angaben über die Erzeugung der Photovoltaikanlage betreffen die vier Produktionsverfahren gleichermaßen sowie jeweils das erste Jahr nach der Inbetriebnahme der Anlage. In weiterer Folge sinkt die Erzeugung um $0,5 \%$ pro Jahr (vgl. Kapitel 3.2.1.). Demnach erzeugt die Photovoltaikanlage bei einer Nennleistung von $10 \text{ kW}_{\text{peak}}$ 13235 kWh Strom pro Jahr. Die Erzeugung steigt proportional mit der Anlagengröße bis zu einem Wert von 132346 kWh bei einer Nennleistung von $100 \text{ kW}_{\text{peak}}$.

4.2.1. Milchviehbetrieb mit Melkstand

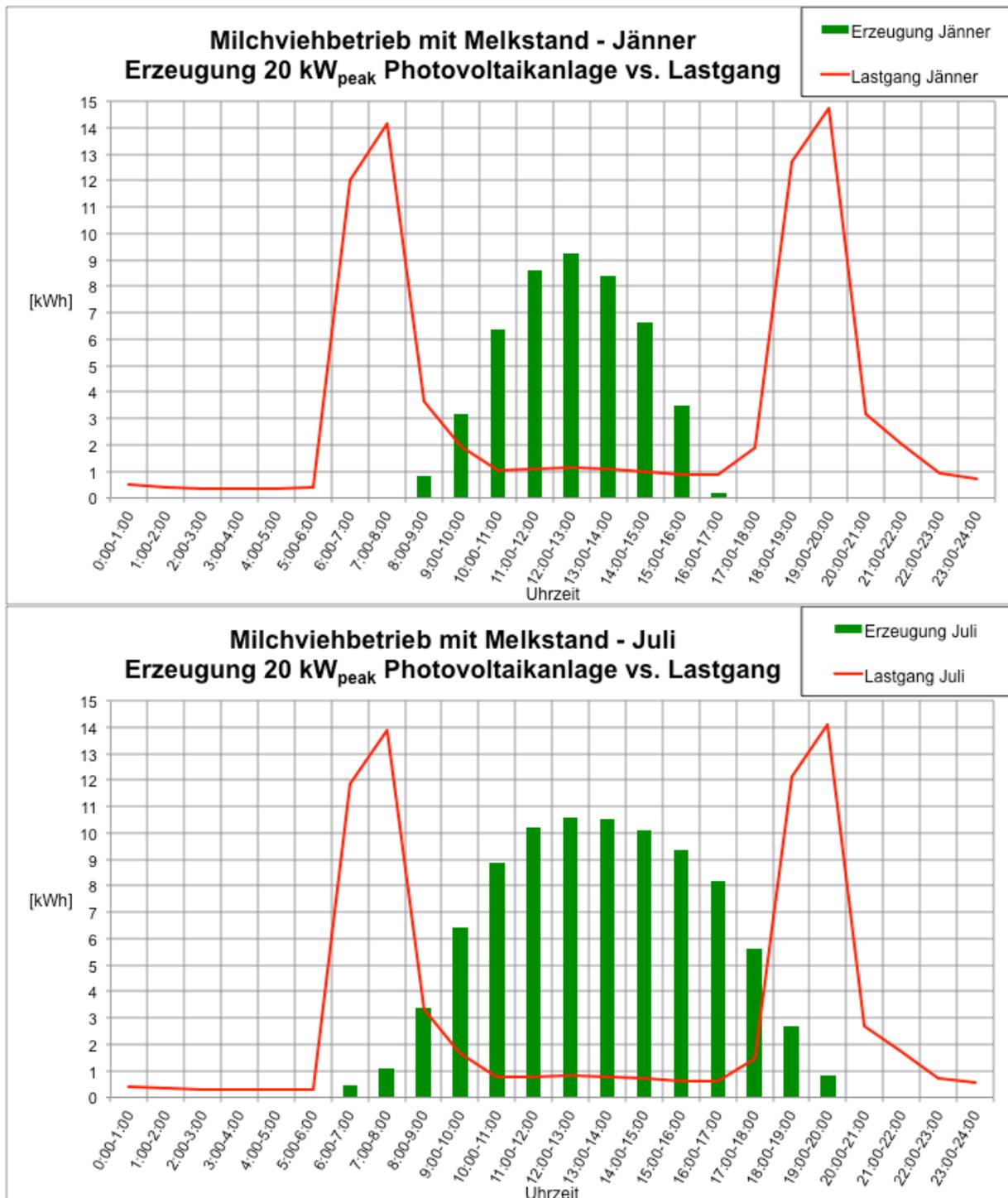
Bei einem Strombedarf für dieses Produktionsverfahren von 27070 kWh pro Jahr können aufgrund des Lastgangs davon mit einer Photovoltaikanlage zwischen 3960 kWh (10 kW_{peak}) und 8200 kWh (100 kW_{peak}) direkt vor Ort verbraucht werden. Dies ergibt einen Eigenverbrauchsanteil zwischen 29,9 % (10 kW_{peak}) und 6,2 % (100 kW_{peak}). Die Autarkie entwickelt sich entgegengesetzt zum Eigenverbrauchsanteil in der Höhe von 14,6 % bei einer Anlage mit 10 kW_{peak} Nennleistung bis zu 30,3 % bei 100 kW_{peak} Nennleistung. Als Überschussstrom werden beim kleinsten Szenario (10 kW_{peak}) 9275 kWh und beim größten Szenario (100 kW_{peak}) 124146 kWh pro Jahr in das Netz eingespeist. Tabelle 11 zeigt eine Zusammenstellung der eigenverbrauchten bzw. eingespeisten Strommenge, des Eigenverbrauchs und der Autarkie bei den zehn Szenarien für diesen Beispielsbetrieb.

Tabelle 11: Entwicklung von eigenverbraucher und eingespeister Strommenge sowie des Eigenverbrauchs und der Autarkie bei unterschiedlichen Anlagengrößen für den Milchviehbetrieb mit Melkstand bei einem Strombedarf von 27070 kWh pro Jahr

Nennleistung [kW _{peak}]	Erzeugung PV-Anlage [kWh/a] (1. Jahr)	Eigenverbrauch [kWh/a]	Eigenverbrauch [%]	Autarkie [%]	Überschusseinspeisung [kWh/a]
10	13.235	3.960	29,9	14,6	9.275
20	26.469	4.829	18,2	17,8	21.640
30	39.704	5.399	13,6	19,9	34.305
40	52.938	5.892	11,1	21,8	47.047
50	66.173	6.324	9,6	23,4	59.849
60	79.407	6.738	8,5	24,9	72.669
70	92.642	7.149	7,7	26,4	85.493
80	105.877	7.546	7,1	27,9	98.330
90	119.111	7.905	6,6	29,2	111.206
100	132.346	8.200	6,2	30,3	124.146

(Quelle: eigene Berechnungen)

Aus Abbildung 13 ist ersichtlich, dass bei diesem Beispielsbetrieb die Zeitpunkte mit dem größten Stromverbrauch rund um die beiden Melkzeiten sowohl im Winter, als auch im Sommer nicht mit der größten Stromerzeugung der Photovoltaikanlage zusammenfallen. Bei der abgebildeten 20 kW_{peak} Photovoltaikanlage liegt der Eigenverbrauch pro Jahr laut Tabelle 11 bei 18,2 % und die Autarkie bei 17,2 %. Die Grundlast des Betriebes ist niedrig und wird durch den Kraftfutterautomaten bzw. zu einem geringen Anteil durch den Haushalt hervorgerufen. Weiters ist der Abbildung 13 zu entnehmen, dass zur Zeit der stärksten Stromerzeugung um die Tagesmitte der größte Teil des Sonnenstroms (rund 80 % der gesamten jährlichen Stromerzeugung) als Überschuss in das Netz eingespeist wird.



(Quelle: eigene Darstellung)

Abbildung 13: Gegenüberstellung der Erzeugung einer 20 kW_{peak} Photovoltaikanlage mit dem Lastgang des Milchviehbetriebs mit Melkstand für die Monate Jänner und Juli

4.2.2. Milchviehbetrieb mit Melkroboter

Der Gesamtstrombedarf dieses Produktionsverfahrens beträgt 32827 kWh pro Jahr. Wie aus Tabelle 12 ersichtlich, liegt bei diesem Produktionsverfahren der Eigenverbrauch bei einer Nennleistung von 10 kW_{peak} bei 10836 kWh pro Jahr, was einem Anteil von 81,9 % an der gesamten Stromerzeugung entspricht. Dieser Anteil sinkt bei einer Nennleistung von 100 kW_{peak} auf 12,1 % ab, wobei die eigenverbrauchte Strommenge auf 15950 kWh pro Jahr

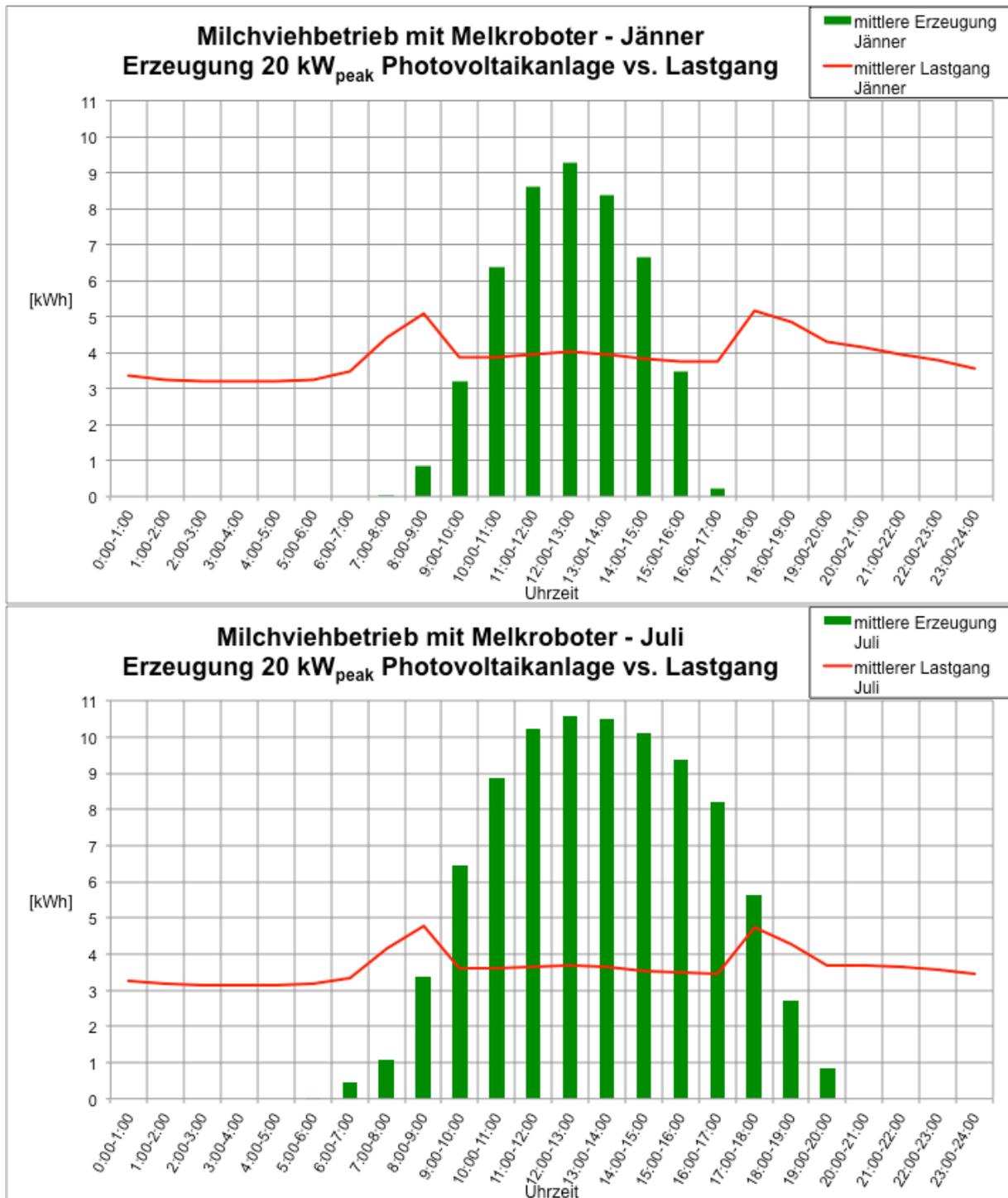
ansteigt. Der Anteil der eigenverbrauchten Strommenge am Strombedarf des Betriebes (Autarkie) beträgt bei den zehn Szenarien zwischen 33,0 % (10 kW_{peak}) und 48,6 % (100 kW_{peak}). Als überschüssiger Strom können dabei zwischen 2399 kWh (10 kW_{peak}) und 116396 kWh (100 kW_{peak}) pro Jahr in das Netz eingespeist werden.

Tabelle 12: Entwicklung von eigenverbrauchter und eingespeister Strommenge sowie des Eigenverbrauchs und der Autarkie bei unterschiedlichen Anlagengrößen für den Milchviehbetrieb mit Melkroboter bei einem Strombedarf von 32827 kWh pro Jahr

Nennleistung [kW _{peak}]	Erzeugung PV-Anlage [kWh/a] (1. Jahr)	Eigenverbrauch [kWh/a]	Eigenverbrauch [%]	Autarkie [%]	Überschusseinspeisung [kWh/a]
10	13.235	10.836	81,9	33,0	2.399
20	26.469	12.918	48,8	39,4	13.551
30	39.704	13.861	34,9	42,2	25.842
40	52.938	14.435	27,3	44,0	38.503
50	66.173	14.851	22,4	45,2	51.321
60	79.407	15.163	19,1	46,2	64.244
70	92.642	15.417	16,6	47,0	77.225
80	105.877	15.627	14,8	47,6	90.249
90	119.111	15.799	13,3	48,1	103.312
100	132.346	15.950	12,1	48,6	116.396

(Quelle: eigene Berechnungen)

Der Lastgang des Milchviehbetriebes mit Melkroboter ist im Tagesverlauf relativ gleichmäßig, wobei der Stromverbrauch im Modell das ganze Jahr hindurch nie unter 3 kWh pro Stunde abfällt. In der Abbildung 14 sind weiters von 8:00 Uhr bis 9:00 Uhr und von 17:00 Uhr bis 18:00 Uhr leichte Lastspitzen erkennbar, die auf den Entmistungsvorgang zurückzuführen sind. Aufgrund der vergleichsweise hohen Grundlast liegt die Autarkie laut Tabelle 12 bei einer 20 kW_{peak} Photovoltaikanlage bei 39,4 % (für ein ganzes Jahr), diese wiederum hängt somit im jeweiligen Monat zum größten Teil von der Erzeugung der Photovoltaikanlage ab, die an einem Tag mit mittlerer Sonneneinstrahlung im Winter um Einiges geringer ist als im Sommer. Der Eigenverbrauch beträgt bei dieser Anlagengröße 48,8 %, es wird also etwas mehr als die Hälfte der gesamten Stromerzeugung als Überschussstrom in das Netz eingespeist, was ebenfalls aus der Abbildung 14 abschätzbar ist.



(Quelle: eigene Darstellung)

Abbildung 14: Gegenüberstellung der Erzeugung einer 20 kW_{peak} Photovoltaikanlage mit dem Lastgang des Milchviehbetriebs mit Melkroboter für die Monate Jänner und Juli

4.2.3. Ferkelzuchtbetrieb

Im Rahmen dieses Produktionsverfahrens können bei einer Photovoltaikanlage mit 10 kW_{peak} Nennleistung 10629 kWh Strom pro Jahr direkt vor Ort verbraucht werden. Dieser Wert steigt mit zunehmender Anlagengröße auf 16448 kWh an, wobei der Anteil an der Stromerzeugung der Photovoltaikanlage von 80,3 % (10 kW_{peak}) auf 12,4 % (100 kW_{peak}) absinkt. Vom jährlichen Strombedarf in der Höhe von 38255 kWh für den Schweinemastbetrieb können

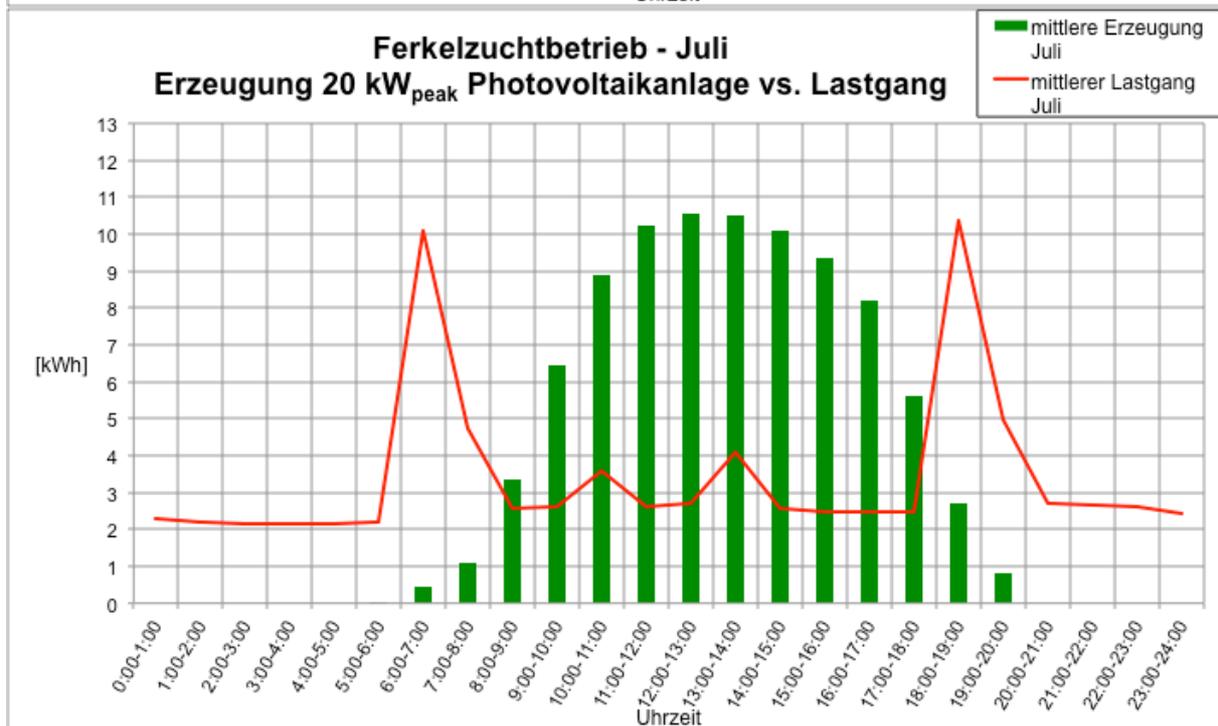
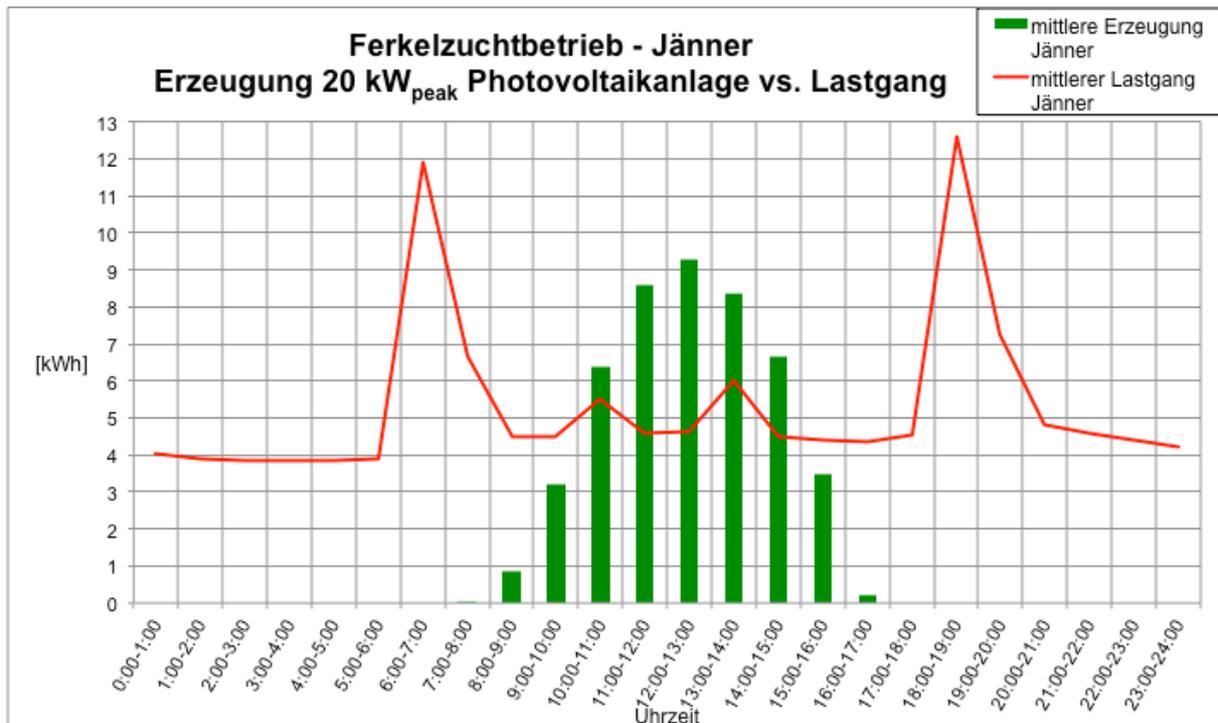
beim kleinsten Szenario (10 kW_{peak}) 27,8 % und beim größten Szenario (100 kW_{peak}) 43,0 % mit der eigenen Photovoltaikanlage erzeugt werden. Als Überschussstrom können zwischen 2606 kWh (10 kW_{peak}) und 115898 kWh (100 kW_{peak}) pro Jahr in das Netz eingespeist werden. In der Tabelle 13 sind die entsprechenden Mengen bzw. Anteile für die zehn Szenarien ersichtlich.

Tabelle 13: Entwicklung von eigenverbraucher und eingespeister Strommenge sowie des Eigenverbrauchs und der Autarkie bei unterschiedlichen Anlagengrößen für den Ferkelzuchtbetrieb bei einem Strombedarf von 38255 kWh pro Jahr

Nennleistung [kW _{peak}]	Erzeugung PV-Anlage [kWh/a] (1. Jahr)	Eigenverbrauch [kWh/a]	Eigenverbrauch [%]	Autarkie [%]	Überschusseinspeisung [kWh/a]
10	13.235	10.629	80,3	27,8	2.606
20	26.469	12.759	48,2	33,4	13.710
30	39.704	13.540	34,1	35,4	26.164
40	52.938	14.146	26,7	37,0	38.793
50	66.173	14.634	22,1	38,3	51.538
60	79.407	15.073	19,0	39,4	64.335
70	92.642	15.511	16,7	40,5	77.131
80	105.877	15.884	15,0	41,5	89.993
90	119.111	16.189	13,6	42,3	102.922
100	132.346	16.448	12,4	43,0	115.898

(Quelle: eigene Berechnungen)

Abbildung 15 zeigt im Lastgang des Ferkelzuchtbetriebes von 6:00 Uhr bis 7:00 Uhr und von 18:00 Uhr bis 19:00 Uhr zwei Lastspitzen, die aufgrund des Fütterungsvorgangs auftreten. Trotzdem ist das Niveau des Stromverbrauchs des Beispielsbetriebes aufgrund der Ferkelnestbeheizung und der Stalllüftung relativ hoch, wodurch laut Tabelle 13 ein Eigenverbrauch bei 20 kW_{peak} von 48,2 % erreicht wird. Die oben angesprochenen Lastspitzen treten im Winter aufgrund der höheren Grundlast noch stärker auf als im Sommer. Etwas mehr als die Hälfte der Stromerzeugung durch die Photovoltaikanlage wird in das Netz eingespeist. Die in der Abbildung 15 erkennbaren beiden Lastspitzen in der Tagesmitte, die bei der Reinigung bzw. Desinfektion und bei Betrieb der Brechmühle auftreten, können (die entsprechende Wetterlage am jeweiligen Tag vorausgesetzt) durch die Stromerzeugung der Photovoltaikanlage abgefangen werden. Die Autarkie beträgt somit bei dieser Anlagengröße 33,4 %.



(Quelle: eigene Darstellung)

Abbildung 15: Gegenüberstellung der Erzeugung einer 20 kW_{peak} Photovoltaikanlage mit dem Lastgang des Ferkelzuchtbetriebs für die Monate Jänner und Juli

4.2.4. Schweinemastbetrieb

Aufgrund des Lastgangs und des Jahresstrombedarfs für dieses Produktionsverfahren, können pro Jahr zwischen 10765 kWh (10 kW_{peak}) und 15201 kWh (100 kW_{peak}) Sonnenstrom unmittelbar verbraucht werden. Dies entspricht einem Eigenverbrauchsanteil von 81,3 % bei 10 kW_{peak} und 11,5 % bei 100 kW_{peak} Nennleistung. Der gesamte Strombedarf für ein Jahr beträgt für diesen Beispielsbetrieb 32390 kWh. Davon können

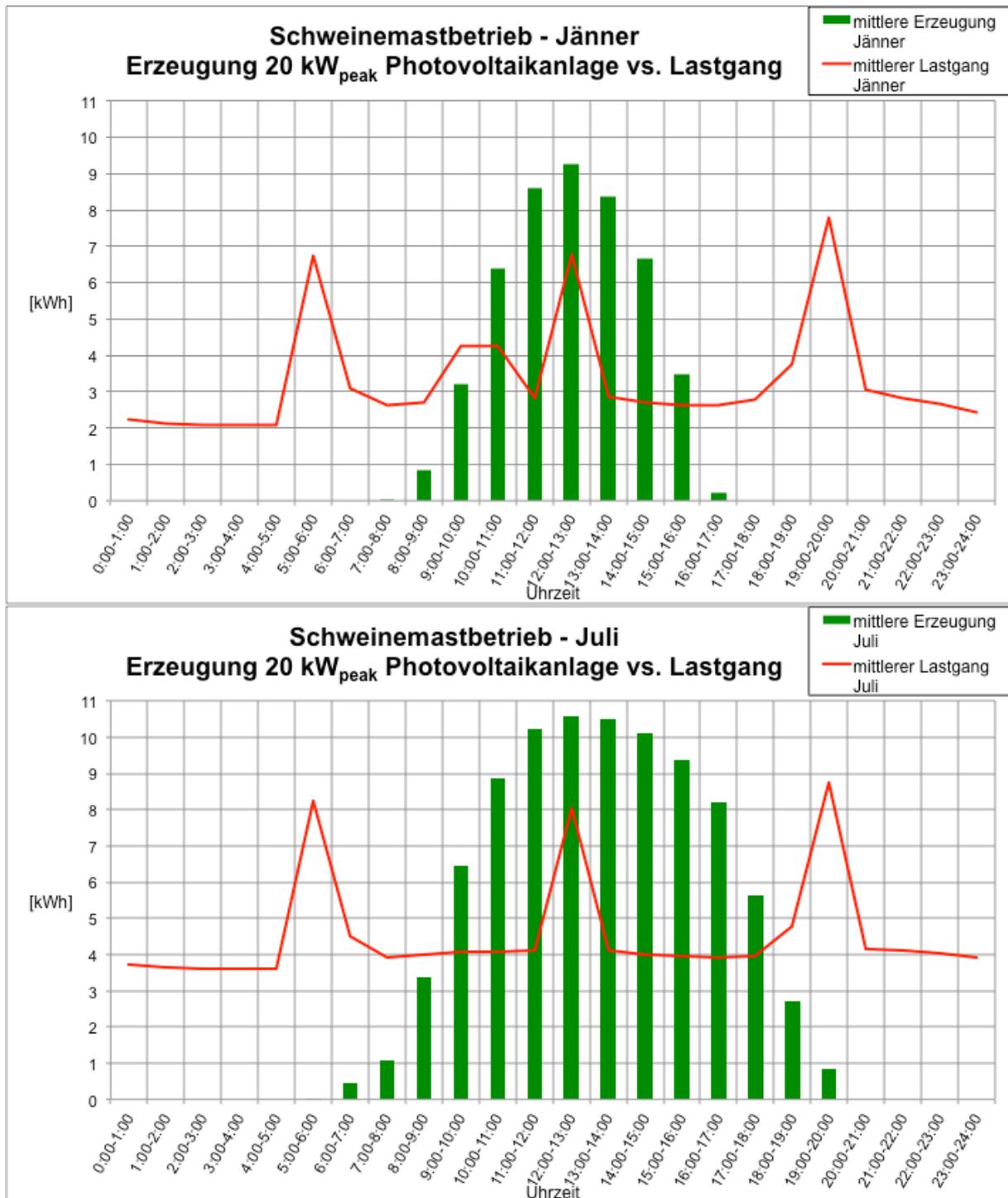
zwischen 33,2 % (10 kW_{peak}) und 46,9 % (100 kW_{peak}) mit einer Photovoltaikanlage erzeugt werden. Eine in das Netz einzuspeisende Strommenge liegt für 10 kW_{peak} Nennleistung bei 2469 kWh pro Jahr und steigert sich auf 117145 kWh für 100 kW_{peak} Nennleistung. Eine Zusammenstellung von eigenverbraucher und eingespeister Strommenge sowie von Eigenverbrauchsanteil und Autarkie für die zehn Szenarien ist in der Tabelle 14 ersichtlich.

Tabelle 14: Entwicklung von eigenverbraucher und eingespeister Strommenge sowie des Eigenverbrauchs und der Autarkie bei unterschiedlichen Anlagengrößen für den Schweinemastbetrieb bei einem Strombedarf von 32390 kWh pro Jahr

Nennleistung [kW _{peak}]	Erzeugung PV-Anlage [kWh/a] (1. Jahr)	Eigenverbrauch [kWh/a]	Eigenverbrauch [%]	Autarkie [%]	Überschusseinspeisung [kWh/a]
10	13.235	10.765	81,3	33,2	2.469
20	26.469	13.067	49,4	40,3	13.402
30	39.704	13.745	34,6	42,4	25.959
40	52.938	14.146	26,7	43,7	38.793
50	66.173	14.424	21,8	44,5	51.748
60	79.407	14.648	18,4	45,2	64.759
70	92.642	14.823	16,0	45,8	77.819
80	105.877	14.963	14,1	46,2	90.914
90	119.111	15.090	12,7	46,6	104.021
100	132.346	15.201	11,5	46,9	117.145

(Quelle: eigene Berechnungen)

Aufgrund der drei Fütterungsvorgänge pro Tag treten bei diesem Produktionsverfahren entsprechend drei Lastspitzen pro Tag auf, die in der Abbildung 16 erkennbar sind. Die mittlere Lastspitze um die Mittagszeit kann mit einer 20 kW_{peak} Photovoltaikanlage an einem im Bezug auf die Sonneneinstrahlung mittleren Tag sowohl im Winter, als auch im Sommer abgefangen werden. Die beiden anderen größeren Lastspitzen liegen außerhalb des für die mengenmäßig wesentliche Erzeugung von Sonnenstrom in Frage kommenden Zeitraums. Der Anstieg des Lastgangs zwischen 9:00 Uhr und 11:00 Uhr, welcher bei dieser Abbildung nur im Jänner, nicht aber im Juli auftritt, ist auf den Reinigungsvorgang der Stallungen zurückzuführen, die nur in den Monaten Jänner, Mai und September stattfindet. Laut Tabelle 14 wird für den Beispielsbetrieb bei dieser Anlagengröße eine Autarkie von 40,3 % erreicht. 49,4 % des durch die Photovoltaikanlage erzeugten Stroms können unmittelbar vor Ort verbraucht werden, in etwa die Hälfte wird somit als Überschuss in das Netz eingespeist.



(Quelle: eigene Darstellung)

Abbildung 16: Gegenüberstellung der Erzeugung einer 20 kW_{peak} Photovoltaikanlage mit dem Lastgang des Schweinemastbetriebs für die Monate Jänner und Juli

4.3. Vollständiger Finanzplan und Wirtschaftlichkeit

Im folgenden Teilkapitel wird für jedes der vier Produktionsverfahren ein ausgefüllter vollständiger Finanzplan mit einem Betrachtungszeitraum von 25 Jahren beispielhaft für eine Anlagengröße von 20 kW_{peak} dargestellt. Eine Abbildung soll für jedes Produktionsverfahren den Verlauf der Opportunität des Eigenkapitals gegenüber der Entwicklung des Bestandssaldos darstellen. Anschließend an den VOFI werden jeweils Tabellen die

Kennzahlen zur Wirtschaftlichkeit für alle zehn Szenarien (Anlagengrößen) zusammenfassen. Dabei ist neben den Investitionskosten, der Eigenkapitalrentabilität und der dynamischen Amortisationszeit auch jener Zeitpunkt angeführt, ab dem der Bestandssaldo positiv wird.

4.3.1. Milchviehbetrieb mit Melkstand

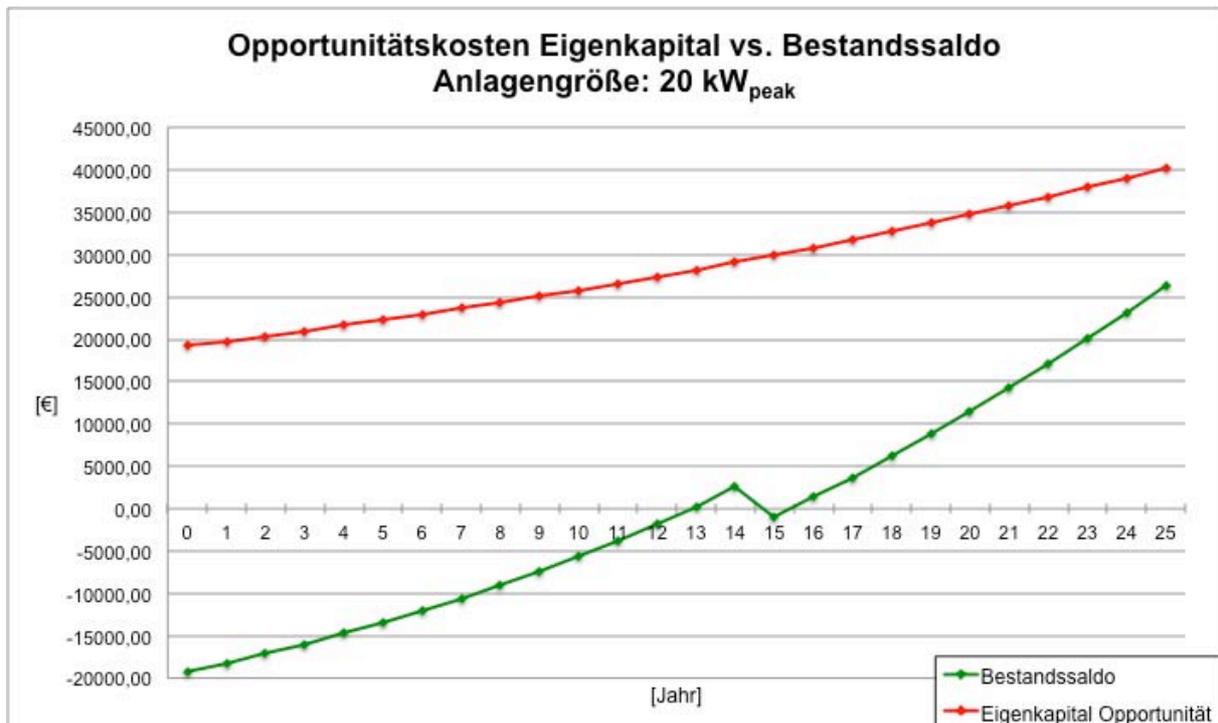
Wie in nachfolgender Tabelle 15 ersichtlich, ist für die Finanzierung der Investition in eine Photovoltaikanlage bei der abgebildeten Anlagengröße ab dem ersten Jahr die zusätzliche Aufnahme eines Kontokorrentkredites notwendig. Dies ist deshalb der Fall, weil der Betrieb aufgrund des relativ niedrigen Eigenverbrauchs geringere Einzahlungen erhält und so die laufenden Auszahlungen vor allem für den Kredit mit Ratentilgung nicht abgedeckt werden können. Nach den zehn Jahren der Kreditfinanzierung ist es im 15. Jahr zur Erneuerung des Wechselrichters noch einmal notwendig, Fremdkapital in Form eines Kontokorrentkredites aufzunehmen. Ab dem 16. Jahr dienen die Einzahlungen aus dem Stromverkauf bzw. die Einsparungen durch Eigenverbrauch zum kontinuierlichen Aufbau des Bestandssaldos, der nach 25 Jahren bei einer Anlagengröße von 20 kW_{peak} eine Höhe von 26291,85 € annimmt.

Tabelle 15: Vollständiger Finanzplan für den Milchviehbetrieb mit Melkstand mit Investition in eine Photovoltaikanlage mit einer Nennleistung von 20 kW_{peak}

Jahr	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-Auszahlung	-38437,41	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37
+ Einsparung durch Eigenverbrauch		935,93	949,87	964,02	978,39	992,97	1007,76	1022,78	1038,02	1053,48	1069,18	1085,11	1101,28
+ Einzahlung durch Einspeisung		1236,07	1254,48	1273,17	1292,15	1311,40	1330,94	1350,77	1370,90	1391,32	1412,05	1433,09	1454,45
Zahlungsreihe	-38437,41	1787,62	1819,98	1852,83	1886,16	1919,99	1954,33	1989,17	2024,54	2060,43	2096,86	2133,83	2171,35
Eigenmittel													
- Entnahme													
+ Einlage	19218,70												
Kredit (Ratentilgung)													
+ Aufnahme	19218,70												
- Tilgung		-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87
- Sollzinsen		-768,75	-691,87	-615,00	-538,12	-461,25	-384,37	-307,50	-230,62	-153,75	-76,87		
Kontokorrentkredit													
+ Aufnahme		903,00	838,91	771,14	699,49	623,76	543,73	459,20	369,92	275,65	176,13		
- Tilgung												-1850,78	-1980,84
- Sollzinsen			-45,15	-87,10	-125,65	-160,63	-191,81	-219,00	-241,96	-260,46	-274,24	-283,05	-190,51
Geldanlage													
- Anlage													
+ Auflösung													
+ Habenzinsen													
Finanzierungssaldo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00							
Bestandsgrößen													
Kreditstand Ratentilgung	19218,70	17296,83	15374,96	13453,09	11531,22	9609,35	7687,48	5765,61	3843,74	1921,87			
Kreditstand Kontokorrent		903,00	1741,91	2513,05	3212,54	3836,30	4380,03	4839,23	5209,15	5484,79	5660,92	3810,13	1829,29
Guthabenstand													
Bestandssaldo	-19218,70	-18199,83	-17116,88	-15966,15	-14743,76	-13445,65	-12067,51	-10604,84	-9052,89	-7406,66	-5660,92	-3810,13	-1829,29
Jahr	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
-Auszahlung	-384,37	-384,37	-6209,10	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37
+ Einsparung durch Eigenverbrauch	1117,69	1134,34	1151,24	1168,40	1185,81	1203,47	1221,41	1239,61	1258,08	1276,82	1295,85	1315,15	1334,75
+ Einzahlung durch Einspeisung	1476,12	1498,11	1520,43	1543,09	1566,08	1589,41	1613,10	1637,13	1661,52	1686,28	1711,41	1736,91	1762,79
Zahlungsreihe	2209,43	2248,08	-3537,42	2327,11	2367,51	2408,51	2450,13	2492,36	2535,23	2578,73	2622,88	2667,69	2713,16
Eigenmittel													
- Entnahme													
+ Einlage													
Kredit (Ratentilgung)													
+ Aufnahme													
- Tilgung													
- Sollzinsen													
Kontokorrentkredit													
+ Aufnahme			944,04										
- Tilgung	-1829,29			-944,04									
- Sollzinsen	-91,46			-47,20									
Geldanlage													
- Anlage	-288,67	-2253,85		-1335,87	-2394,23	-2483,12	-2574,39	-2668,11	-2764,34	-2863,13	-2964,54	-3068,64	-3175,49
+ Auflösung			2542,53										
+ Habenzinsen		5,77	50,85		26,72	74,60	124,26	175,75	229,11	284,40	341,66	400,95	462,33
Finanzierungssaldo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00							
Bestandsgrößen													
Kreditstand Ratentilgung													
Kreditstand Kontokorrent			944,04										
Guthabenstand	288,67	2542,53		1335,87	3730,09	6213,21	8787,60	11455,72	14220,06	17083,18	20047,72	23116,37	26291,85
Bestandssaldo	288,67	2542,53	-944,04	1335,87	3730,09	6213,21	8787,60	11455,72	14220,06	17083,18	20047,72	23116,37	26291,85

(Quelle: eigene Berechnungen)

Vergleicht man die Entwicklung der Opportunitätskosten des eingesetzten Kapitals mit jener des Bestandssaldos wird deutlich, dass der Bestandssaldo im Betrachtungszeitraum nie die Höhe des mit dem Opportunitätskostensatz aufgezinnten Eigenkapitals erreicht. Somit ist es nicht möglich, die Anlage innerhalb von 25 Jahren dynamisch zu amortisieren. Abbildung 17 verdeutlicht den Verlauf der beiden Kurven. Ebenso ist dort ersichtlich, dass der Bestandssaldo bei der gegebenen Anlagengröße nach einem Anstieg bis zum 14. Jahr aufgrund der Erneuerung des Wechselrichters im 15. Jahr noch einmal für ein Jahr den Wert 0 unterschreitet und nachher wie vorhin beschreiben bis zum Ende des Betrachtungszeitraums kontinuierlich ansteigt.



(Quelle: eigene Darstellung)

Abbildung 17: Gegenüberstellung der Opportunitätskosten des Eigenkapitals mit dem Bestandssaldo im Betrachtungszeitraum für den Milchviehbetrieb mit Melkstand bei einer Anlagengröße von 20 kW_{peak}

Tabelle 16 zeigt eine Zusammenstellung der Kennzahlen zur Wirtschaftlichkeit für die zehn Szenarien (Anlagengrößen). Dabei ist ersichtlich, dass die Eigenkapitalrentabilität bei einer Anlagengröße von 10 kW_{peak} mit 2,40 % am höchsten ist, nachher mit zunehmender Anlagengröße auf 0,83 % bei 40 kW_{peak} absinkt und dann mit weiterer Zunahme der Anlagengröße wieder ansteigt und bei 100 kW_{peak} einen Wert von 1,51 % erreicht. In ähnlicher Weise verhält sich der Zeitpunkt, ab dem der Bestandssaldo den Wert 0 erreicht. Dieser tritt bei einer Anlagengröße von 10 kW_{peak} nach 11,2 Jahren am frühesten ein, erhöht sich bis zu einer Anlagengröße von 40 kW_{peak} auf 13,6 Jahre und sinkt anschließend mit der Anlagengröße bis auf 12,8 Jahre bei 100 kW_{peak} ab. Dies ist dadurch zu erklären, dass die relativ niedrigere Vergütung des Sonnenstroms aufgrund des geringen Eigenverbrauchs durch die Degression bei den Investitionskosten pro installiertem Kilowatt ausgeglichen wird. Die dynamische Amortisationszeit wird bei der Investition in eine Photovoltaikanlage im Zusammenhang mit diesem Beispielsbetrieb bei keiner der untersuchten Anlagengrößen innerhalb des Betrachtungszeitraums von 25 Jahren erreicht.

Tabelle 16: Kennzahlen zur Wirtschaftlichkeit für die Investition in eine Photovoltaikanlage für den Milchviehbetrieb mit Melkstand

Nennleistung [kW_{peak}]	Investitionskosten [€]	Eigenkapitalrentabilität [%]	dynamische Amortisationszeit [a]	Bestandssaldo = 0 [a]
10	20.892	2,40	> 25	11,2
20	38.437	1,26	> 25	12,9
30	54.719	0,89	> 25	13,4
40	70.181	0,83	> 25	13,5
50	85.032	0,88	> 25	13,5
60	99.397	0,99	> 25	13,4
70	113.358	1,12	> 25	13,3
80	126.973	1,26	> 25	13,1
90	140.285	1,40	> 25	13,0
100	153.329	1,51	> 25	12,8

(Quelle: eigene Berechnungen)

4.3.2. Milchviehbetrieb mit Melkroboter

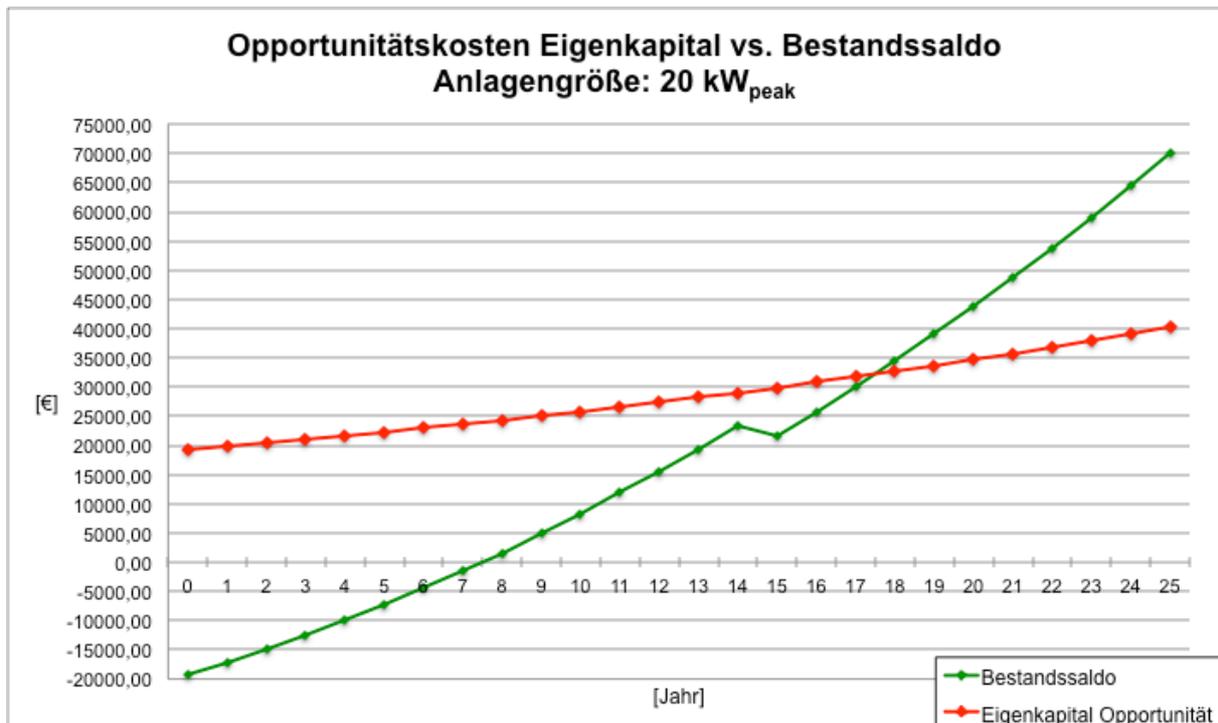
Ein ausgefüllter vollständiger Finanzplan für den Milchviehbetrieb mit Melkroboter bei einer beispielhaften Anlagengröße von $20 \text{ kW}_{\text{peak}}$ ist in der Tabelle 17 ersichtlich. Dieser Beispielsbetrieb ist aufgrund des Eigenverbrauchs in der Lage alle laufenden Auszahlungen mithilfe der Einzahlungen abzudecken, es ist also keine zusätzliche Aufnahme von Fremdkapital notwendig. Ab dem ersten Jahr kann Guthaben aufgebaut werden. Im 15. Jahr wird zur Erneuerung der Wechselrichtertechnik ein Teil des Guthabens aufgelöst. Der Bestandssaldo erreicht zum Ende des Betrachtungszeitraums eine Höhe von 70031,93 €.

Tabelle 17: Vollständiger Finanzplan für den Milchviehbetrieb mit Melkroboter mit Investition in eine Photovoltaikanlage mit einer Nennleistung von 20 kW_{peak}

Jahr	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-Auszahlung	-38437,41	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37
+ Einsparung durch Eigenverbrauch		2503,56	2540,86	2578,72	2617,15	2656,14	2695,72	2735,88	2776,65	2818,02	2860,01	2902,62	2945,87
+ Einzahlung durch Einspeisung		774,03	785,56	797,26	809,14	821,20	833,44	845,85	858,46	871,25	884,23	897,40	910,78
Zahlungsreihe	-38437,41	2893,21	2942,05	2991,61	3041,92	3092,97	3144,78	3197,36	3250,73	3304,89	3359,86	3415,65	3472,27
Eigenmittel													
- Entnahme													
+ Einlage	19218,70												
Kredit (Ratentilgung)													
+ Aufnahme	19218,70												
- Tilgung		-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87
- Sollzinsen		-768,75	-691,87	-615,00	-538,12	-461,25	-384,37	-307,50	-230,62	-153,75	-76,87		
Kontokorrentkredit													
+ Aufnahme													
- Tilgung													
- Sollzinsen													
Geldanlage													
- Anlage		-202,59	-332,36	-465,44	-601,93	-741,89	-885,42	-1032,59	-1183,48	-1338,19	-1496,8	-3581,27	-3709,51
+ Auflösung													
+ Habenzinsen			4,05	10,70	20,01	32,05	46,88	64,59	85,24	108,91	135,68	165,61	237,24
Finanzierungssaldo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bestandsgrößen													
Kreditstand Ratentilgung	19218,70	17296,83	15374,96	13453,09	11531,22	9609,35	7687,48	5765,61	3843,74	1921,87			
Kreditstand Kontokorrent													
Guthabenstand		202,59	534,95	1000,40	1602,32	2344,22	3229,64	4262,22	5445,71	6783,89	8280,69	11861,96	15571,47
Bestandssaldo	-19218,70	-17094,24	-14840,01	-12452,70	-9928,90	-7265,13	-4457,84	-1503,39	1601,96	4862,02	8280,69	11861,96	15571,47
Jahr	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
-Auszahlung	-384,37	-384,37	-6209,10	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37
+ Einsparung durch Eigenverbrauch	2989,77	3034,31	3079,53	3125,41	3171,98	3219,24	3267,21	3315,89	3365,30	3415,44	3466,33	3517,98	3570,40
+ Einzahlung durch Einspeisung	924,35	938,12	952,10	966,28	980,68	995,29	1010,12	1025,17	1040,45	1055,95	1071,68	1087,65	1103,86
Zahlungsreihe	3529,74	3588,06	-2177,47	3707,32	3768,29	3830,16	3892,96	3956,69	4021,37	4087,02	4153,64	4221,26	4289,88
Eigenmittel													
- Entnahme													
+ Einlage													
Kredit (Ratentilgung)													
+ Aufnahme													
- Tilgung													
- Sollzinsen													
Kontokorrentkredit													
+ Aufnahme													
- Tilgung													
- Sollzinsen													
Geldanlage													
- Anlage	-3841,17	-3976,31		-4140,90	-4284,69	-4432,26	-4583,70	-4739,10	-4898,57	-5062,19	-5230,05	-5402,27	-5578,94
+ Auflösung			1709,69										
+ Habenzinsen	311,43	388,25	467,78	433,59	516,40	602,10	690,74	782,42	877,20	975,17	1076,41	1181,01	1289,06
Finanzierungssaldo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bestandsgrößen													
Kreditstand Ratentilgung													
Kreditstand Kontokorrent													
Guthabenstand	19412,64	23388,95	21679,26	25820,16	30104,85	34537,11	39120,80	43859,91	48758,48	53820,66	59050,72	64452,99	70031,93
Bestandssaldo	19412,64	23388,95	21679,26	25820,16	30104,85	34537,11	39120,80	43859,91	48758,48	53820,66	59050,72	64452,99	70031,93

(Quelle: eigene Berechnungen)

Eine Gegenüberstellung der Entwicklung der Opportunität des Eigenkapitals mit jener des Bestandssaldos zeigt das Erreichen der dynamischen Amortisationszeit für diese Anlagengröße zwischen dem 17. und 18. Jahr an. Außerdem ist der Bestandssaldo ab dem 8. Jahr durchgehend positiv. In der Abbildung 18 sind diese Gegebenheiten ersichtlich. Das Absinken des Bestandssaldos im 15. Jahr ist wiederum auf die Ersatzinvestition in den Wechselrichter zurückzuführen.



(Quelle: eigene Darstellung)

Abbildung 18: Gegenüberstellung der Opportunitätskosten des Eigenkapitals mit dem Bestandssaldo im Betrachtungszeitraum für den Milchviehbetrieb mit Melkroboter bei einer Anlagengröße von 20 kW_{peak}

In der nachfolgenden Tabelle 18 ist eine Zusammenstellung der wirtschaftlichen Kennzahlen für die zehn Anlagengrößen ersichtlich. Die Eigenkapitalrentabilität nimmt beim kleinsten Szenario (10 kW_{peak}) mit 6,88 % den größten Wert an und sinkt anschließend mit zunehmender Anlagengröße auf 2,87 % bei 100 kW_{peak} ab. Beim kleinsten Szenario ist sowohl die dynamische Amortisationszeit (11,8 Jahre), als auch die Zeit bis zum Erreichen eines positiven Bestandssaldos (5,7 Jahre) am geringsten. Diese beiden Werte nehmen mit zunehmender Anlagengröße zu. Ab einer Anlagengröße von 80 kW_{peak} ist es nicht mehr möglich, das Investitionsobjekt innerhalb des Betrachtungszeitraums dynamisch zu amortisieren, während beim größten Szenario ein positiver Bestandssaldo nach 10,9 Jahren erreicht ist.

Tabelle 18: Kennzahlen zur Wirtschaftlichkeit für die Investition in eine Photovoltaikanlage für den Milchviehbetrieb mit Melkroboter

Nennleistung [kW _{peak}]	Investitionskosten [€]	Eigenkapitalrentabilität [%]	dynamische Amortisationszeit [a]	Bestandssaldo = 0 [a]
10	20.892	6,88	11,8	5,7
20	38.437	5,31	17,4	7,5
30	54.719	4,44	20,1	8,6
40	70.181	3,89	21,7	9,3
50	85.032	3,53	23,1	9,8
60	99.397	3,28	24,0	10,2
70	113.358	3,11	24,4	10,5
80	126.973	3,00	> 25	10,7
90	140.285	2,92	> 25	10,8
100	153.329	2,87	> 25	10,9

(Quelle: eigene Berechnungen)

4.3.3. Ferkelzuchtbetrieb

In der Tabelle 19 ist ersichtlich, dass es bei diesem Produktionsverfahren und dieser Anlagengröße keine zusätzliche Aufnahme von Fremdkapital nötig ist. Daher kann ab dem ersten Jahr eine Geldanlage gebildet werden. Zur Ersatzinvestition in die Erneuerung der Wechselrichtertechnik wird im 15. Jahr ein Teil der Geldanlage aufgelöst. Im Anschluss daran steigt der Bestandssaldo kontinuierlich an und erreicht bei einer 20 kW_{peak} Photovoltaikanlage am Ende des Betrachtungszeitraums eine Höhe von 69208,61 €.

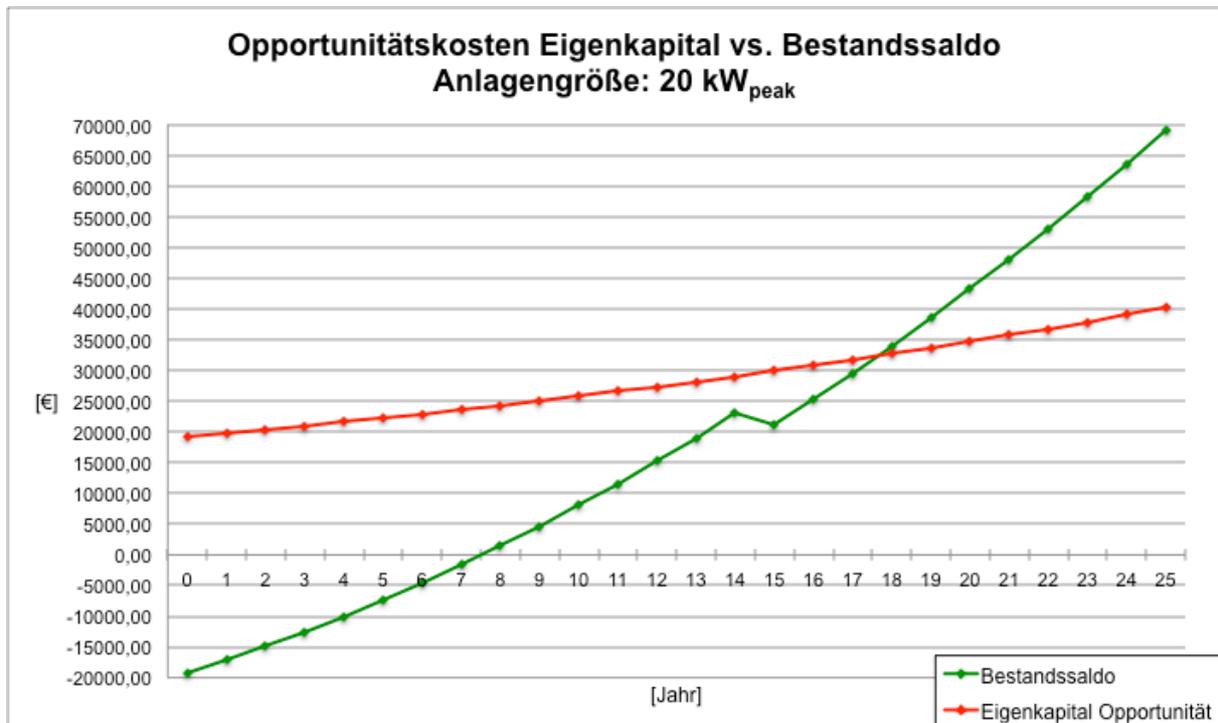
Tabelle 19: Vollständiger Finanzplan für den Ferkelzuchtbetrieb mit Investition in eine Photovoltaikanlage mit einer Nennleistung von 20 kW_{peak}

Jahr	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-Auszahlung	-38437,41	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37
+ Einsparung durch Eigenverbrauch		2472,75	2509,59	2546,99	2584,94	2623,45	2662,54	2702,21	2742,48	2783,34	2824,81	2866,90	2909,62
+ Einzahlung durch Einspeisung		783,11	794,78	806,62	818,64	830,83	843,21	855,78	868,53	881,47	894,60	907,93	921,46
Zahlungsreihe	-38437,41	2871,48	2920,00	2969,23	3019,20	3069,91	3121,38	3173,62	3226,63	3280,44	3335,04	3390,46	3446,71
Eigenmittel													
- Entnahme													
+ Einlage	19218,70												
Kredit (Ratentilgung)													
+ Aufnahme	19218,70												
- Tilgung		-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87
- Sollzinsen		-768,75	-691,87	-615,00	-538,12	-461,25	-384,37	-307,50	-230,62	-153,75	-76,87		
Kontokorrentkredit													
+ Aufnahme													
- Tilgung													
- Sollzinsen													
Geldanlage													
- Anlage		-180,86	-309,87	-442,18	-577,86	-717,01	-859,69	-1006,00	-1156,01	-1309,80	-1467,48	-3551	-3678,26
+ Auflösung													
+ Habenzinsen			3,62	9,81	18,66	30,22	44,56	61,75	81,87	104,99	131,19	160,54	231,56
Finanzierungssaldo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bestandsgrößen													
Kreditstand Ratentilgung	19218,70	17296,83	15374,96	13453,09	11531,22	9609,35	7687,48	5765,61	3843,74	1921,87			
Kreditstand Kontokorrent													
Guthabenstand		180,86	490,73	932,91	1510,77	2227,78	3087,47	4093,47	5249,48	6559,28	8026,76	11577,76	15256,02
Bestandssaldo	-19218,70	-17115,97	-14884,23	-12520,18	-10020,45	-7381,57	-4600,01	-1672,14	1405,74	4637,41	8026,76	11577,76	15256,02
Jahr	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
-Auszahlung	-384,37	-384,37	-6209,10	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37
+ Einsparung durch Eigenverbrauch	2952,97	2996,97	3041,63	3086,95	3132,94	3179,62	3227,00	3275,08	3323,88	3373,41	3423,67	3474,68	3526,45
+ Einzahlung durch Einspeisung	935,19	949,13	963,27	977,62	992,19	1006,97	1021,97	1037,20	1052,66	1068,34	1084,26	1100,41	1116,81
Zahlungsreihe	3503,79	3561,72	-2204,20	3680,19	3740,75	3802,22	3864,60	3927,91	3992,16	4057,37	4123,55	4190,72	4258,89
Eigenmittel													
- Entnahme													
+ Einlage													
Kredit (Ratentilgung)													
+ Aufnahme													
- Tilgung													
- Sollzinsen													
Kontokorrentkredit													
+ Aufnahme													
- Tilgung													
- Sollzinsen													
Geldanlage													
- Anlage	-3808,91	-3943,02		-4105,47	-4248,14	-4394,57	-4544,84	-4699,05	-4857,28	-5019,64	-5186,21	-5357,10	-5532,41
+ Auflösung			1744,04										
+ Habenzinsen	305,12	381,30	460,16	425,28	507,39	592,35	680,24	771,14	865,12	962,26	1062,66	1166,38	1273,52
Finanzierungssaldo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bestandsgrößen													
Kreditstand Ratentilgung													
Kreditstand Kontokorrent													
Guthabenstand	19064,93	23007,95	21263,90	25369,37	29617,51	34012,08	38556,92	43255,97	48113,25	53132,88	58319,09	63676,20	69208,61
Bestandssaldo	19064,93	23007,95	21263,90	25369,37	29617,51	34012,08	38556,92	43255,97	48113,25	53132,88	58319,09	63676,20	69208,61

(Quelle: eigene Berechnungen)

Die nachfolgende Abbildung 19 zeigt die Entwicklung des zum Opportunitätskostensatz aufgezinsten eingesetzten Kapitals im Vergleich zur Entwicklung des Bestandssaldos über den Betrachtungszeitraum von 25 Jahren für eine Anlagengröße von 20 kW_{peak}. Dabei ist zu erkennen, dass der Bestandssaldo im Laufe des 7. Jahres den Wert 0 übersteigt und die

dynamische Amortisationszeit im Schnittpunkt der beiden Kurven, also zwischen dem 17. und 18. Jahr erreicht ist. Ebenfalls erkennbar ist der Rückgang des Bestandssaldos im 15. Jahr aufgrund der Erneuerung des Wechselrichters.



(Quelle: eigene Darstellung)

Abbildung 19: Gegenüberstellung der Opportunitätskosten des Eigenkapitals mit dem Bestandssaldo im Betrachtungszeitraum für den Ferkelzuchtbetrieb bei einer Anlagengröße von 20 kW_{peak}

In der Tabelle 20 ist ersichtlich, dass die Eigenkapitalrentabilität beim kleinsten Szenario (10 kW_{peak}) mit 6,79 % am höchsten ist und der Wert mit zunehmender Anlagengröße abnimmt, sodass die Eigenkapitalrentabilität bei 100 kW_{peak} nur noch 2,94 % beträgt. Ebenso ist der Zeitraum für die dynamische Amortisation (12,1 Jahre) und des Erreichens des positiven Bestandssaldos (5,8 Jahre) beim kleinsten Szenario am kürzesten. Eine dynamische Amortisation innerhalb des Betrachtungszeitraums von 25 Jahren ist für den Ferkelzuchtbetrieb ab einer Anlagengröße von 90 kW_{peak} nicht mehr möglich. Auch die Zeit zum Erreichen eines positiven Bestandssaldos verlängert sich mit zunehmender Anlagengröße auf 10,8 Jahre bei einer Nennleistung von 100 kW_{peak}.

Tabelle 20: Kennzahlen zur Wirtschaftlichkeit für die Investition in eine Photovoltaikanlage für den Ferkelzuchtbetrieb

Nennleistung [kW_{peak}]	Investitionskosten [€]	Eigenkapitalrentabilität [%]	dynamische Amortisationszeit [a]	Bestandssaldo = 0 [a]
10	20.892	6,79	12,1	5,8
20	38.437	5,26	17,5	7,5
30	54.719	4,35	20,3	8,7
40	70.181	3,82	22,1	9,4
50	85.032	3,48	23,2	9,9
60	99.397	3,26	24,1	10,2
70	113.358	3,13	24,4	10,4
80	126.973	3,04	24,6	10,6
90	140.285	2,98	> 25	10,7
100	153.329	2,94	> 25	10,8

(Quelle: eigene Berechnungen)

4.3.4. Schweinemastbetrieb

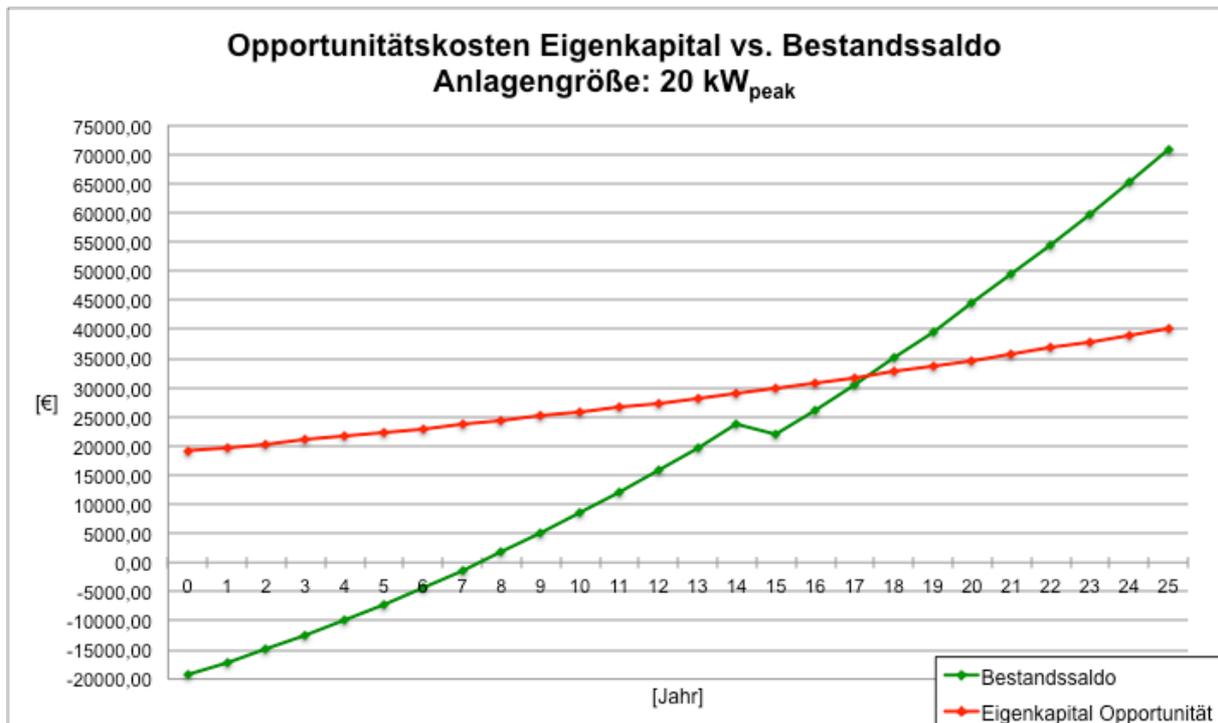
Nach Erstellung des vollständigen Finanzplans für die Investition in eine Photovoltaikanlage mit einer Nennleistung von $20 kW_{peak}$ im Rahmen dieses Produktionsverfahrens wird – wie in Tabelle 21 erkennbar – deutlich, dass bei dieser Anlagengröße die laufenden Auszahlungen mit der Einsparung durch den Eigenverbrauch bzw. der Einzahlung durch Stromverbrauch abgedeckt sind. Daher wird ab dem ersten Jahr eine Geldanlage gebildet, die am Ende des Betrachtungszeitraums einen Bestandssaldo von 70801,73 € ergibt. Die Erneuerung des Wechselrichters im 15. Jahr kann ebenfalls aus der bestehenden Geldanlage bestritten werden.

Tabelle 21: Vollständiger Finanzplan für den Schweinemastbetrieb mit Investition in eine Photovoltaikanlage mit einer Nennleistung von 20 kW_{peak}

Jahr	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-Auszahlung	-38437,41	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37
+ Einsparung durch Eigenverbrauch		2532,37	2570,10	2608,40	2647,26	2686,71	2726,74	2767,37	2808,60	2850,45	2892,92	2936,02	2979,77
+ Einzahlung durch Einspeisung		765,54	776,94	788,52	800,27	812,19	824,29	836,57	849,04	861,69	874,53	887,56	900,78
Zahlungsreihe	-38437,41	2913,53	2962,67	3012,54	3063,15	3114,52	3166,66	3219,57	3273,27	3327,76	3383,08	3439,21	3496,18
Eigenmittel													
- Entnahme													
+ Einlage	19218,70												
Kredit (Ratentilgung)													
+ Aufnahme	19218,70												
- Tilgung		-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87	-1921,87
- Sollzinsen		-768,75	-691,87	-615,00	-538,12	-461,25	-384,37	-307,50	-230,62	-153,75	-76,87		
Kontokorrentkredit													
+ Aufnahme													
- Tilgung													
- Sollzinsen													
Geldanlage													
- Anlage		-222,91	-353,38	-487,20	-624,43	-765,16	-909,47	-1057,45	-1209,17	-1364,73	-1524,21	-3609,57	-3738,74
+ Auflösung													
+ Habenzinsen			4,46	11,53	21,27	33,76	49,06	67,25	88,40	112,58	139,88	170,36	242,55
Finanzierungssaldo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bestandsgrößen													
Kreditstand Ratentilgung	-19218,70	-17296,83	-15374,96	-13453,09	-11531,22	-9609,35	-7687,48	-5765,61	-3843,74	-1921,87			
Kreditstand Kontokorrent													
Guthabenstand		222,91	576,30	1063,49	1687,92	2453,09	3362,56	4420,01	5629,18	6993,91	8518,11	12127,69	15866,42
Bestandssaldo	-19218,70	-17073,92	-14798,67	-12389,60	-9843,30	-7156,27	-4324,92	-1345,60	1785,44	5072,04	8518,11	12127,69	15866,42
Jahr	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
-Auszahlung	-384,37	-384,37	-6209,10	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37	-384,37
+ Einsparung durch Eigenverbrauch	3024,17	3069,23	3114,96	3161,37	3208,48	3256,29	3304,80	3354,05	3404,02	3454,74	3506,22	3558,46	3611,48
+ Einzahlung durch Einspeisung	914,21	927,83	941,65	955,68	969,92	984,37	999,04	1013,93	1029,03	1044,37	1059,93	1075,72	1091,75
Zahlungsreihe	3554,00	3612,68	-2152,48	3732,68	3794,03	3856,29	3919,47	3983,60	4048,68	4114,73	4181,77	4249,81	4318,86
Eigenmittel													
- Entnahme													
+ Einlage													
Kredit (Ratentilgung)													
+ Aufnahme													
- Tilgung													
- Sollzinsen													
Kontokorrentkredit													
+ Aufnahme													
- Tilgung													
- Sollzinsen													
Geldanlage													
- Anlage	-3871,33	-4007,44		-4174,04	-4318,86	-4467,50	-4620,03	-4776,56	-4937,17	-5101,97	-5271,05	-5444,50	-5622,44
+ Auflösung			1677,58										
+ Habenzinsen	317,33	394,76	474,90	441,35	524,83	611,21	700,56	792,96	888,49	987,24	1089,27	1194,70	1303,59
Finanzierungssaldo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bestandsgrößen													
Kreditstand Ratentilgung													
Kreditstand Kontokorrent													
Guthabenstand	19737,75	23745,19	22067,61	26241,65	30560,51	35028,00	39648,04	44424,59	49361,77	54463,74	59734,78	65179,29	70801,73
Bestandssaldo	19737,75	23745,19	22067,61	26241,65	30560,51	35028,00	39648,04	44424,59	49361,77	54463,74	59734,78	65179,29	70801,73

(Quelle: eigene Berechnungen)

Eine Gegenüberstellung der Entwicklung der Opportunitätskosten des Eigenkapitals mit der Entwicklung des Bestandssaldos zeigt die nachfolgende Abbildung 20. Der Schnittpunkt des Bestandssaldos mit dem Wert 0 auf der y-Achse zeigt im 7. Jahr den Zeitpunkt an, ab dem der Bestandssaldo des Investitionsobjektes positiv wird. Im 17. Jahr ist in der Abbildung das Erreichen der dynamischen Amortisationszeit erkennbar. Außerdem zeigt der kurzzeitige Rückgang des Bestandssaldos im 15. Jahr die Ersatzinvestition in die Wechselrichtertechnik an.



(Quelle: eigene Darstellung)

Abbildung 20: Gegenüberstellung der Opportunitätskosten des Eigenkapitals mit dem Bestandssaldo im Betrachtungszeitraum für den Schweinemastbetrieb bei einer Anlagengröße von 20 kW_{peak}

Die unten stehende Tabelle 22 fasst die Kennzahlen der Wirtschaftlichkeit für die zehn Szenarien im Rahmen des Schweinemastbetriebs zusammen. Bei der Verzinsung des eingesetzten Kapitals kann bei Investition in eine Photovoltaikanlage mit einer Nennleistung von 10 kW_{peak} mit 6,85 % der höchste Wert erzielt werden. Dieser Wert sinkt mit steigender Anlagengröße auf 2,74 % bei 100 kW_{peak} ab. Die dynamische Amortisationszeit ist beim kleinsten Szenario nach 11,8 Jahren am frühesten erreicht, während ab einer Anlagengröße von 70 kW_{peak} innerhalb von 25 Jahren keine dynamische Amortisation erfolgen kann. Ebenso ist das Erreichen eines positiven Bestandssaldos beim kleinsten Szenario mit 5,8 Jahren am schnellsten abgeschlossen. Dieser Wert steigt auf 11,0 Jahre für das größte Szenario an.

Tabelle 22: Kennzahlen zur Wirtschaftlichkeit für die Investition in eine Photovoltaikanlage für den Schweinemastbetrieb

Nennleistung [kW _{peak}]	Investitionskosten [€]	Eigenkapitalrentabilität [%]	dynamische Amortisationszeit [a]	Bestandssaldo = 0 [a]
10	20.892	6,85	11,8	5,8
20	38.437	5,35	17,3	7,4
30	54.719	4,33	20,4	8,6
40	70.181	3,77	22,3	9,4
50	85.032	3,40	23,4	10,0
60	99.397	3,14	24,4	10,4
70	113.358	2,97	> 25	10,6
80	126.973	2,86	> 25	10,8
90	140.285	2,78	> 25	11,0
100	153.329	2,74	> 25	11,0

(Quelle: eigene Darstellung)

4.4. Sensibilitätsanalyse

Aus den jeweiligen Tabellen mit den Kennzahlen zur Wirtschaftlichkeit sind innerhalb der zugrunde gelegten Szenarien in etwa jene Anlagengrößen ablesbar, bei der die Eigenkapitalrentabilität größer oder gleich 3 % beträgt, was dem Opportunitätskostensatz entspricht. Liegt die Eigenkapitalrentabilität unter diesem Wert, ist es nicht möglich innerhalb des Betrachtungszeitraums von 25 Jahren den Zeitpunkt der dynamischen Amortisation zu erreichen. Im folgenden Teilkapitel werden zunächst diese Anlagengrößen beschrieben. Anschließend wird für jeden Beispielsbetrieb jene Anlagengröße festgehalten, bei der die gesamte jährliche Stromerzeugung dem gesamten jährlichen Strombedarf des Beispielsbetriebs entspricht. Die Sensibilität der jährlichen Steigerung des Marktpreises, des Zinssatzes der Geldanlage und des Eigenverbrauchsanteils wird für jedes Produktionsverfahren in weiterer Folge für diese Anlagengröße ermittelt. Abschließend soll eine Tabelle unabhängig vom Produktionsverfahren darstellen, wie groß der Eigenverbrauchsanteil mindestens sein müsste, damit die Eigenkapitalrentabilität 3 % annimmt.

4.4.1. Anlagengröße

Die Tabelle 16 im Kapitel 4.3.1. zeigte bereits, dass unter dem vom Milchviehbetrieb mit Melkstand ausgewiesenen Lastgang in Kombination mit der Stromerzeugung der Photovoltaikanlage bei keinem der zehn Szenarien eine dynamische Amortisation der Investition innerhalb von 25 Jahren möglich ist. Das heißt, dass die Eigenkapitalrentabilität bei allen Szenarien unter 3 % liegt. Beim Milchviehbetrieb mit Melkroboter ist bei einer Anlagengröße zwischen $10 \text{ kW}_{\text{peak}}$ bis $70 \text{ kW}_{\text{peak}}$ eine dynamische Amortisation innerhalb des Betrachtungszeitraums möglich (vgl. Tabelle 18 im Kapitel 4.3.2.), da die Eigenkapitalrentabilität jeweils mehr als 3 % beträgt. Bei zunehmender Anlagengröße ist dies innerhalb der verbleibenden Szenarien nicht mehr der Fall. Für den Ferkelzuchtbetrieb zeigt die Tabelle 20 im Kapitel 4.3.3. eine Anlagengröße zwischen $10 \text{ kW}_{\text{peak}}$ bis $80 \text{ kW}_{\text{peak}}$ für das Erreichen der oben genannten Werte an. Die beiden verbleibenden Szenarien weisen eine niedrigere Eigenkapitalrentabilität auf bzw. lassen eine dynamische Amortisation innerhalb von 25 Jahren nicht zu. Die Tabelle 22 im Kapitel 4.3.4. zeigte für den Schweinemastbetrieb, dass bei Kombination des Lastgangs mit der Stromerzeugung einer Photovoltaikanlage mit Anlagengrößen zwischen $10 \text{ kW}_{\text{peak}}$ und $60 \text{ kW}_{\text{peak}}$ eine Eigenkapitalrentabilität von mehr als 3 % erreicht bzw. das Investitionsobjekt innerhalb von 25 Jahren dynamisch amortisiert werden kann. Bei den vier verbleibenden Szenarien ist dies nicht möglich.

Der jährliche Gesamtstromverbrauch des Milchviehbetriebs mit Melkstand beträgt 27070 kWh. Eine Photovoltaikanlage mit einer Nennleistung von $20 \text{ kW}_{\text{peak}}$ erzeugt in einem Jahr in etwa diese Menge an elektrischem Strom. Bei dieser Anlagengröße beträgt die

Eigenkapitalrentabilität 1,26 % und es können 18,2 % des erzeugten Stroms direkt vor Ort genutzt werden (Eigenverbrauch). Der Milchviehbetrieb mit Melkroboter benötigt pro Jahr 32827 kWh Strom. Diese Menge kann mit einer Photovoltaikanlage mit einer Nennleistung von 25 kW_{peak} rechnerisch in etwa erzeugt werden. Dabei beträgt die Eigenkapitalrentabilität unter den gegebenen Umständen 4,81 % und der Eigenverbrauchsanteil 40,6 %. Für den Ferkelzuchtbetrieb mit einem jährlichen Gesamtstromverbrauch von 38255 kWh ist für die Erzeugung in etwa dieser Menge die Errichtung einer Photovoltaikanlage mit einer Nennleistung von 30 kW_{peak} nötig. Bei dieser Anlagengröße wird eine Eigenkapitalrentabilität von 4,35 % und ein Eigenverbrauchsanteil von 34,1 % erreicht. Der Schweinemastbetrieb benötigt pro Jahr 32390 kWh Strom. In etwa diese Menge kann mit einer Photovoltaikanlage mit einer Nennleistung von 25 kW_{peak} in einem Jahr erzeugt werden. Dabei beträgt die Eigenkapitalrentabilität 4,82 %. Der Eigenverbrauchsanteil würde bei dieser Anlagengröße bei 40,7 % liegen. Die nachfolgende Tabelle 23 stellt die in diesem Absatz beschriebenen Größen zusammenfassend dar.

Tabelle 23: Anlagengröße für die rechnerische Erzeugung des jährlichen Gesamtstrombedarfs der Beispielsbetriebe und die dazugehörigen Werte der Eigenkapitalrentabilität und des Eigenverbrauchs

Produktionsverfahren	Jährlicher Gesamtstrombedarf [kWh]	Anlagengröße zur rechnerischen Erzeugung des jährlichen Gesamtstrombedarfs [kW _{peak}]	Eigenkapitalrentabilität (bei dieser Anlagengröße) [%]	Eigenverbrauch (bei dieser Anlagengröße) [%]
Milchviehbetrieb mit Melkstand	27070	20	1,26	18,2
Milchviehbetrieb mit Melkroboter	32827	25	4,81	40,6
Ferkelzuchtbetrieb	38255	30	4,35	34,1
Schweinemastbetrieb	32390	25	4,82	40,7

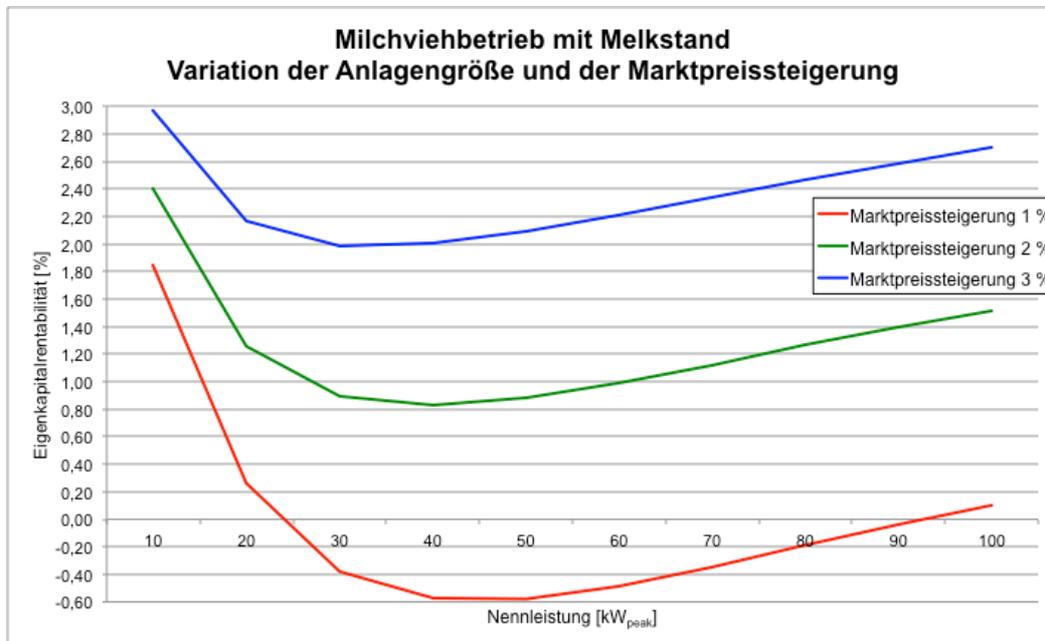
(Quelle: eigene Berechnungen)

4.4.2. Marktpreissteigerung

Für jene Anlagengröße, die rechnerisch in etwa die Menge an elektrischem Strom erzeugt, die dem jährlichen Gesamtstrombedarf entspricht und die in der Tabelle 23 im Kapitel 4.4.1. angeführt ist, wird nun die Sensibilität der jährlichen Steigerung des Marktpreises festgehalten. Im ursprünglichen Modell beträgt diese jeweils 2 %. Beim Milchviehbetrieb mit Melkstand müsste der Marktpreis im Betrachtungszeitraum jährlich um 3,97 % ansteigen, damit die Eigenkapitalrentabilität 3 % annimmt. Für den Milchviehbetrieb mit Melkroboter, bei dem die Eigenkapitalrentabilität bei dieser Anlagengröße über 3 % liegt, wäre eine Reduktion des Marktpreises in der Höhe von 7,25 % pro Jahr noch ausreichend, um eine Eigenkapitalrentabilität über der Grenze des Opportunitätskostensatzes zu erzielen. Dasselbe gilt für den Ferkelzuchtbetrieb mit 2,21 % und für den Schweinemastbetrieb mit 7,35 % Reduktion des Marktpreises pro Jahr.

In der nachfolgenden Abbildung 21 sind unterschiedliche Marktpreissteigerungen für alle zehn Anlagengrößen beim Milchviehbetrieb mit Melkstand abgebildet. Die mittlere Linie stellt die Ausgangssituation dar. Bei einer Marktpreissteigerung von 3 % ist es bei keiner Anlagengröße möglich eine Eigenkapitalrentabilität über dem Opportunitätskostensatz zu

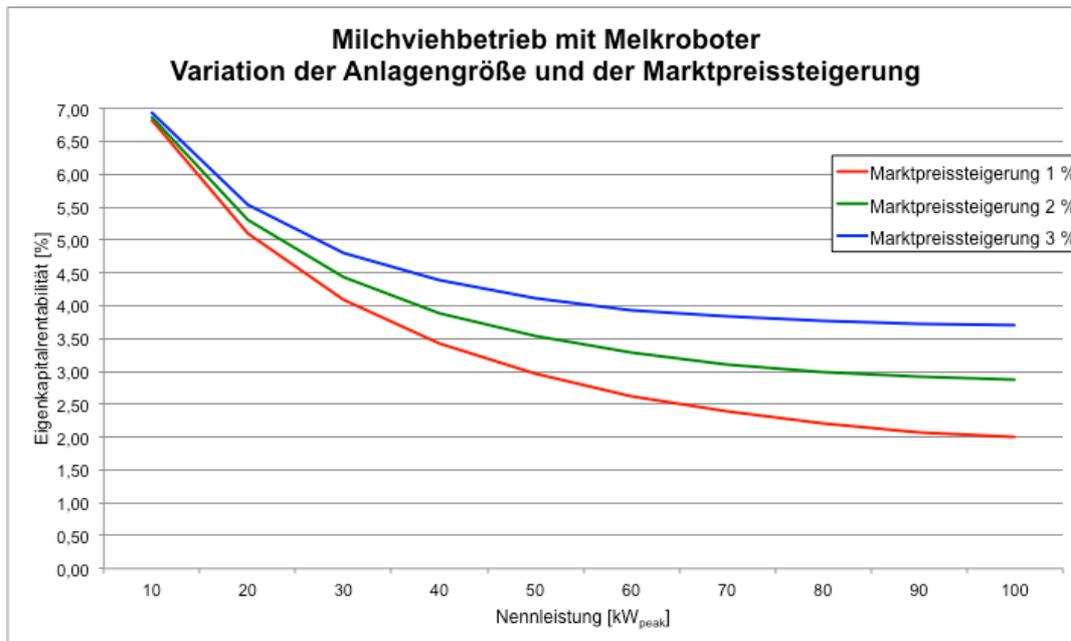
erreichen. Ebenso ist ersichtlich, dass bei einer Marktpreissteigerung von 1 % die Eigenkapitalrentabilität bei einer Anlagengröße zwischen 30 kW_{peak} und 90 kW_{peak} im negativen Bereich liegt und dass diese für alle Variationen früher oder später mit zunehmender Anlagengröße wieder zu steigen beginnt.



(Quelle: eigene Darstellung)

Abbildung 21: Variation der Anlagengröße und der Marktpreissteigerung für den Milchviehbetrieb mit Melkstand

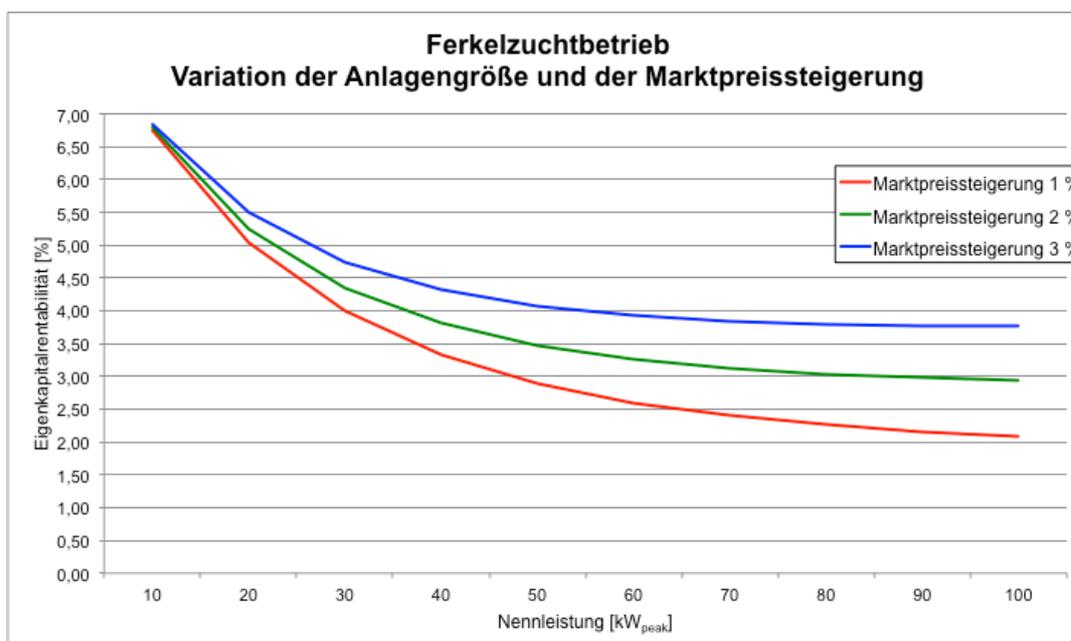
Die Abbildung 22 zeigt die selbe Variation der Marktpreissteigerung in Abhängigkeit der Anlagengröße für den Milchviehbetrieb mit Melkroboter. Es ist ersichtlich, dass die Eigenkapitalrentabilität bei einer Marktpreissteigerung von 3 % bei allen Szenarien über dem Opportunitätskostensatz liegt. Bei einer angenommenen Marktpreissteigerung von 1 % sinkt die Eigenkapitalrentabilität mit der Anlagengröße stärker ab und gelangt bei einer Nennleistung von 50 kW_{peak} in einen Bereich, wo die Eigenkapitalrentabilität unter der Marke von 3 % liegt. Ein Anstieg der Eigenkapitalrentabilität mit zunehmender Anlagengröße wie beim Milchviehbetrieb mit Melkstand ist für dieses Produktionsverfahren nicht ersichtlich. Die Eigenkapitalrentabilität sinkt mit zunehmender Anlagengröße kontinuierlich ab.



(Quelle: eigene Darstellung)

Abbildung 22: Variation der Anlagengröße und der Marktpreissteigerung für den Milchviehbetrieb mit Melkroboter

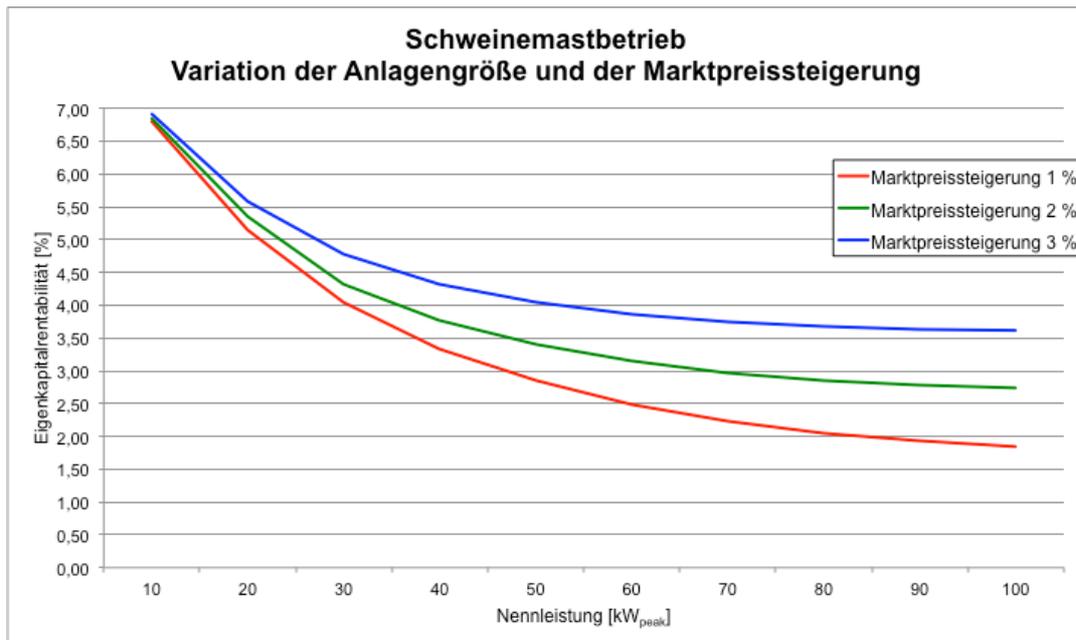
Für den Ferkelzuchtbetrieb zeichnet die nachfolgende Abbildung 23 ein ähnliches Bild. Bei einer in etwa identen Eigenkapitalrentabilität für eine Photovoltaikanlage mit einer Nennleistung von 10 kW_{peak} sinkt diese mit der Anlagengröße im Vergleich zum Milchviehbetrieb mit Melkroboter jedoch etwas weniger stark ab, sodass sich das Niveau der drei Kurven ca. einen halben Prozentpunkt über jenem des vorigen Produktionsverfahrens bewegt.



(Quelle: eigene Darstellung)

Abbildung 23: Variation der Anlagengröße und der Marktpreissteigerung für den Ferkelzuchtbetrieb

Der Verlauf der drei Kurven für die Variation der Marktpreissteigerung ist auch für den Schweinemastbetrieb ähnlich wie für die beiden vorigen Beispielsbetriebe. Dies ist in der nachfolgenden Abbildung 24 ersichtlich. Die Eigenkapitalrentabilität sinkt mit der Anlagengröße kontinuierlich ab, das Niveau derselben liegt etwas unter jenem des Milchviehbetriebs mit Melkroboter. Bei einer Marktpreissteigerung von 3 % ist die Eigenkapitalrentabilität jedoch bei allen Anlagengrößen höher als der Opportunitätskostensatz.



(Quelle: eigene Darstellung)

Abbildung 24: Variation der Anlagengröße und der Marktpreissteigerung für den Schweinemastbetrieb

4.4.3. Zinssatz Geldanlage

Der Zinssatz der Geldanlage beträgt im ursprünglichen Modell für alle Szenarien 2 % p.a. nach Kapitalertragsteuer. Für jene Anlagengröße die in der Tabelle 23 im Kapitel 4.4.1. angeführt ist müsste beim Milchviehbetrieb mit Melkstand der Zinssatz der Geldanlage 11,32 % betragen, damit eine Eigenkapitalrentabilität von 3 % erreicht wird. Da beim Milchviehbetrieb mit Melkroboter bei dieser Anlagengröße die Eigenkapitalrentabilität höher ist als der Opportunitätskostensatz, könnte bei diesem Beispielsbetrieb der Zinssatz der Geldanlage rechnerisch -4,01 % annehmen, damit eine Eigenkapitalverzinsung von 3 % nicht unterschritten wird. Eine negative Verzinsung der Geldanlage lässt auch für den Ferkelzuchtbetrieb (-2,64 %) und für den Schweinemastbetrieb (-4,03 %) die Eigenkapitalrentabilität nicht unter die Höhe des Opportunitätskostensatzes fallen.

4.4.4. Eigenverbrauch

In der Folge wird die Sensibilität des Eigenverbrauchsanteils wiederum für die in der Tabelle 23 im Kapitel 4.4.1. angegebene Anlagengröße für die einzelnen Produktionsverfahren

beschrieben. Beim Milchviehbetrieb mit Melkstand müsste der Eigenverbrauch bei einer Photovoltaikanlage mit einer Nennleistung von 20 kW_{peak} von 18,2 % auf 27,5 % ansteigen, damit die Eigenkapitalrentabilität dieselbe Höhe annimmt wie der Opportunitätskostensatz. Für den Milchviehbetrieb mit Melkroboter ist der in der Tabelle 23 angegebene Eigenverbrauch von 40,6 % bei einer Anlagengröße von 25 kW_{peak} ausreichend für eine entsprechende Eigenkapitalverzinsung. Der Eigenverbrauch könnte bei diesem Beispielsbetrieb daher auf 25,5 % abfallen, damit die Eigenkapitalrentabilität noch 3 % beträgt. Im Rahmen der beiden verbleibenden Produktionsverfahren gilt dies in derselben Weise dahingehend, dass der Eigenverbrauch beim Ferkelzuchtbetrieb bei 30 kW_{peak} von 34,1 % auf 23,8 % und beim Schweinemastbetrieb bei 25 kW_{peak} von 40,7 % auf 25,5 % abfallen könnte.

Unabhängig vom Produktionsverfahren kann in der nachfolgenden Tabelle 24 abgelesen werden, wie hoch der Eigenverbrauch bei den zehn in der Arbeit betrachteten Anlagengrößen sein müsste, damit die Eigenkapitalrentabilität 3 % annimmt. Dabei ist ersichtlich, dass dieser erforderliche Anteil beim kleinsten Szenario mit einer Nennleistung der Photovoltaikanlage von 10 kW_{peak} mit 33,9 % am größten ist und dann kontinuierlich bis auf 12,7 % beim größten Szenario bei 100 kW_{peak} absinkt.

Tabelle 24: Erforderlicher Eigenverbrauchsanteil für eine Eigenkapitalverzinsung von 3 % in Abhängigkeit der Anlagengröße

Eigenkapitalrentabilität = 3 %

Nennleistung [kW_{peak}]	Eigenverbrauch [%]
10	33,9
20	27,5
30	23,8
40	21,2
50	19,1
60	17,4
70	16,0
80	14,8
90	13,7
100	12,7

(Quelle: eigene Berechnungen)

5. Diskussion

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war die Erarbeitung eines Modells für die Investition in eine Photovoltaikanlage mit Überschusseinspeisung auf einem landwirtschaftlichen Betrieb unter Berücksichtigung der jeweiligen Gegebenheiten im Bezug auf die tages- bzw. jahreszeitliche Verteilung des Stromverbrauchs. Die Produktionsverfahren Milchvieh, Ferkelzucht und Schweinemast weisen wesentliche Unterschiede im Lastgang auf, wobei auch die Unterscheidung innerhalb des Produktionsverfahrens Milchvieh in einen Beispielsbetrieb mit Melkstand und einen mit Melkroboter interessante Aspekte zutage brachte.

Im Bezug auf die erste Forschungsfrage, die nach den Einflussgrößen fragt, die entscheidend für die Wirtschaftlichkeit einer Photovoltaikanlage mit Überschusseinspeisung auf einem landwirtschaftlichen Betrieb sind, kann festgehalten werden, dass zunächst die Höhe des Eigenverbrauchs einen großen Einfluss auf das wirtschaftliche Ergebnis ausübt. Der Grund dafür liegt in der deutlich höheren Vergütung des eigenverbrauchten Stroms im Gegensatz zum eingespeisten Überschussstrom. Dies wird speziell im Vergleich des Milchviehbetriebes mit Melkstand, dessen Lastspitzen rund um den Melkvorgang außerhalb des für die wesentliche Sonnenstromerzeugung in Frage kommenden Zeitraums liegen und dessen Grundlast sehr niedrig ist, im Vergleich zu den restlichen drei Beispielsbetrieben deutlich. Bei diesen konnte aufgrund einer höheren Grundlast der Eigenverbrauch trotz zusätzlich auftretender Lastspitzen im Tagesverlauf entsprechend höher ausgewiesen werden. Als weitere entscheidende Einflussgröße ist der Marktpreis des Stroms und im Speziellen dessen Steigerung im Verlauf des Betrachtungszeitraums zu nennen, da die Vergütung des Großteils des erzeugten Stroms damit erfolgt. Dieser Wert ist gleichzeitig mit einer großen Unsicherheit behaftet (vgl. Kapitel 3.2.3.).

Die Unterschiede zwischen den in der Arbeit betrachteten landwirtschaftlichen Betriebstypen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit und der Realisierbarkeit einer effizienten Überschusseinspeisung waren Gegenstand der zweiten Forschungsfrage. Im Rahmen des Milchviehbetriebs mit Melkstand ist es bei keinem der Szenarien (Anlagengrößen) möglich eine Eigenkapitalrentabilität größer oder gleich dem Opportunitätskostensatz in der Höhe von 3 % zu erreichen. Dies bedeutet auch, dass die dynamische Amortisationszeit außerhalb des Betrachtungszeitraums von 25 Jahren liegt. Allgemein weisen alle Beispielsbetriebe beim kleinsten Szenario ($10 \text{ kW}_{\text{peak}}$) die größte Eigenkapitalrentabilität auf. Bis zu einer gewissen Anlagengröße ist es für die drei verbleibenden Beispielsbetriebe möglich eine entsprechend hohe Eigenkapitalrentabilität zu erzielen bzw. die dynamische Amortisationszeit innerhalb des Betrachtungszeitraums zu erreichen. Eine Degression der Investitionskosten mit steigender Anlagengröße wirkte sich wiederum nur beim Milchviehbetrieb mit Melkstand positiv auf die Eigenkapitalrentabilität aus, welche ab einer

gewissen Anlagengröße wieder zu steigen begann, da bei diesem Produktionsverfahren der größte Teil der Einzahlungen aus dem Verkauf des Überschussstroms stammt und die Spannweite im Eigenverbrauch zwischen dem kleinsten und dem größten Szenario im Vergleich zu den anderen Produktionsverfahren geringer ist. Dieser Effekt wurde bei den restlichen drei Beispielsbetrieben nicht ersichtlich, sodass die Eigenkapitalrentabilität bei allen mit zunehmender Anlagengröße absinkt. Die Realisierbarkeit eines möglichst hohen Eigenverbrauchs und damit einer höheren Verzinsung des eingesetzten Kapitals ist durch die entsprechenden Gegebenheiten beim jeweiligen Produktionsverfahren begrenzt (vgl. etwa das Verschieben der Melkzeiten beim Milchviehbetrieb mit Melkstand oder das Verschieben von Fütterungszeiten beim Schweinemastbetrieb). Mithilfe von anderen Stromverbrauchern, die in dieser Arbeit nicht betrachtet wurden (z.B. Heubelüftung, Eiswasserkühlung), ist es bei intelligentem Einsatz möglich den Anteil des direkt vor Ort verbrauchten Stroms zu erhöhen.

Die verschiedenen Möglichkeiten des Erhalts von Förderungen für die Errichtung einer Photovoltaikanlage und/oder eines erhöhten Einspeisetarifs wurden im Zuge dieser Arbeit nicht miteinbezogen. Es ist aufgrund der Ergebnisse anzunehmen, dass dies die Wirtschaftlichkeit einer solchen Investition positiv beeinflusst. Ebenso ist zu erwähnen, dass Fragestellungen im Hinblick auf die steuerliche Betrachtung von Photovoltaikanlagen in der Landwirtschaft nicht berücksichtigt wurden. Dies würde jedoch zu einer Beeinflussung der Wirtschaftlichkeit in aufgrund der vorliegenden Ergebnisse nicht abschätzbarem Ausmaß führen. Eine Quantifizierung des Risikos im Zusammenhang mit den Fragestellungen der vorliegenden Arbeit ist aufgrund der Literatur nur schwer möglich. Eine angemessene Versicherungsprämie als Einflussgröße in die Berechnungen war der Versuch einer Mitberücksichtigung dieses Problems.

Aus technischer Sicht sind die Angaben über den Stromverbrauch der Beispielsbetriebe als sehr allgemein anzusehen. Es war für die erstmalige Betrachtung der Kombination des Stromverbrauchs mit der Stromerzeugung einer Photovoltaikanlage aber notwendig entsprechende Vereinfachungen vorzunehmen. Dasselbe gilt für die Ertragsdaten der Photovoltaikanlage, die je nach Standort sehr unterschiedlich sein können. Außerdem ist die Abbildung von Tagen ohne Sonnenschein und damit geringer Stromerzeugung aufgrund der Bildung von monatlichen Durchschnittswerten nicht gegeben. Die Zeitverschiebung zwischen Sommer- und Winterzeit findet in dieser Arbeit aufgrund der Bildung von monatlichen Mittelwerten ebenfalls keine Berücksichtigung. Praktischerweise ist auch anzunehmen, dass der Stromverbrauch und dessen zeitliche Verteilung nicht über den gesamten Betrachtungszeitraum derart konstant auftritt, da technischer Fortschritt oder andere Investitionen (z.B. Stallbau, Maschinenkauf) zu Veränderungen im Lastgang führen können.

Der vollständige Finanzplan (VOFI) eignet sich durchaus zum Abbilden einer solchen Investition, da nur vernachlässigbare Modifikationen zur Anwendung auf diese Fragestellungen nötig waren. Unbefriedigend in diesem Zusammenhang ist jedoch der relativ lange Betrachtungszeitraum (Nutzungsdauer) von 25 Jahren, da sämtliche Modellannahmen mit fortschreitender Zeit mit einer immer größer werdenden Unsicherheit behaftet sind. Kerbl (2011, 90) merkte dazu an, dass ein über 10 Jahre hinausgehender Planungszeitraum nicht sinnvoll ist, da der VOFI bei entsprechend längeren Projekten an seine Grenzen stößt, die bei kürzeren Planungszeiträumen nicht auftreten. In diesem Kontext sind auch die Annahmen über Strompreisentwicklungen und die verschiedenen Konditionen zu Investition und Finanzierung kritisch zu hinterfragen und allgemeingültige Aussagen aus den vorliegenden Ergebnissen vorsichtig abzuleiten. Dazu ist abschließend festzuhalten, dass ein solches Modell immer nur eine Annäherung an die Wirklichkeit sein kann. Es soll dazu beitragen, Zusammenhänge darzustellen bzw. aufzuzeigen und die Entscheidung für oder gegen eine solche Investition zu erleichtern, nicht aber vorwegzunehmen.

6. Schlussfolgerungen

In der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass unter gewissen Umständen die Wirtschaftlichkeit der Investition in eine Photovoltaikanlage mit Überschusseinspeisung auf einem landwirtschaftlichen Betrieb auch ohne öffentliche Mittel gegeben ist. Der Maßstab für die Wirtschaftlichkeit war dabei stets die Höhe der Eigenkapitalrentabilität im Vergleich zum Opportunitätskostensatz. Bei entsprechender Dimensionierung der Photovoltaikanlage und bewusstem Einsatz von Stromverbrauchern ist es daher zumindest möglich, Stromkosten im Zuge der verschiedenen Produktionsabläufe einzusparen. Eine Optimierung des Stromverbrauchs sollte jedoch an erster Stelle stehen.

Weiters wurde deutlich, dass auf jedem landwirtschaftlichen Betrieb je nach vorhandenem Produktionsverfahren spezifische Fragestellungen im Zusammenhang mit der Überschusseinspeisung zutage kommen. Ein Verschieben oder sogar Verhindern von Lastspitzen ist nur im Rahmen technisch-praktischer Gegebenheiten und physiologischer Voraussetzungen der entsprechenden Nutztiere möglich.

Die vorliegenden Ergebnisse sind aufgrund von teilweise starken Vereinfachungen im Hinblick sowohl auf den Stromverbrauch der einzelnen Produktionsverfahren, als auch auf die Stromerzeugung der Photovoltaikanlage als allgemeine Richtwerte anzusehen. Für die zielgerichtete Prognose des Eigenverbrauchsanteils im Rahmen der Planung einer Photovoltaikanlage mit Überschusseinspeisung ist eine entsprechende Auseinandersetzung mit den einzelnen Verbrauchern empfehlenswert. Lastgangmessungen über einen bestimmten Zeitraum wären in dieser Hinsicht als Idealfall anzusehen.

Annahmen zu Investition und Finanzierung sind über einen derart langen Planungszeitraum mit vergleichsweise großer Unsicherheit behaftet. Wirtschaftliche Rahmenbedingungen können die Beurteilung solcher Investitionen in größerem Ausmaß beeinflussen.

Zur Erhöhung des Eigenverbrauchs ist es technisch möglich, den Überschussstrom zunächst in Akkumulatoren zu speichern um ihn anschließend zielgerichtet zu verbrauchen. Derartige Lösungen sind derzeit jedoch (noch) nicht wirtschaftlich und wurden in dieser Arbeit auch nicht angedacht. Eine solche Fragestellung bedarf einer veränderten Konzeption des in dieser Arbeit verwendeten Modells, wodurch in diesem Bereich durchaus noch Forschungsbedarf besteht.

Da ersichtlich ist, dass eine solche Investition auch ohne Förderungen wirtschaftlich sinnvoll sein kann, sollte aus Sicht der öffentlichen Hand ein Überdenken der Förderpolitik in diesem Bereich zumindest in die Wege geleitet werden. Der nächste logische Schritt wäre die Subventionierung von anderen Möglichkeiten der Verwendung des Überschussstroms, beispielsweise in Form von Speichertechnologien.

7. Literatur

- BRAUNSTEIN, R., FRIEDL, W., SCHMAUTZER, E. (2008): Energieeffizienz und Energieeinsparpotentiale in der Landwirtschaft – Stromsparen in der Landwirtschaft. Saarbrücken: VDM Verlag Dr. Müller.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR FINANZEN (2012): BMF-010203/0452-VI/6/2012. Erlass über die Ertrag- und Umsatzsteuerliche Beurteilung von Photovoltaikanlagen.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, FAMILIE UND JUGEND (2013): Strompreismonitor. <http://www.bmwfj.gv.at/ENERGIEUNDBERGBAU/ENERGIEPREISE/Seiten/Strompreismonitor.aspx> (5.3.2013).
- BÜSCHER, W., FRANKE, G., HAIDN, B., MÜLLER, H. J., NIETHAMMER, F., LEUSCHNER, P. (s.a.): Lüftung von Schweineställen. DLG Arbeitsunterlage. 3. überarbeitete Fassung. Groß-Umstadt: Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V..
- DLG DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTS-GESELLSCHAFT E.V. (2000): Prüfbericht 4916 Melkroboter Lely ASTRONAUT. Groß-Umstadt: Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V..
- DOMSCHKE, W., SCHOLL, A. (2008): Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre – Eine Einführung aus entscheidungsorientierter Sicht. 4. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- ENERGIE AG (2013): Preisinformation für Landwirtschaftskunden. Linz: Energie AG Oberösterreich Vertrieb GmbH & Co KG.
- ENERGIE-CONTROL AUSTRIA (2012): Leitfaden Photovoltaik <http://www.e-control.at/de/publikationen/oeko-energie-und-energie-effizienz/sonstige-publikationen/leitfaden-photovoltaik> (6.3.2013).
- ENERGIE-CONTROL AUSTRIA (2013a): Aktueller Marktpreis gemäß § 41 Ökostromgesetz 2012. <http://www.e-control.at/de/marktteilnehmer/oeko-energie/marktpreis>. (23.5.2013).
- ENERGIE-CONTROL AUSTRIA (2013b): E-Control Tarifkalkulator. <http://www.e-control.at/de/konsumenten/service-und-beratung/toolbox/tarifkalkulator/tarifkalkulator-application>. (23.5.2013).
- EICHLER, J. (2007): Physik – Grundlagen für das Ingenieurstudium kurz und prägnant. Wiesbaden: Vieweg und Teubner.
- FRIEDL, W., BRAUNSTEIN, R., SCHMAUTZER, E. (2009): Strommessungen am landwirtschaftlichen Betrieb – Sparpotentiale. Bautagung Raumberg-Gumpenstein 2009, 23-28. Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein.
- FÜBBEKER, A. (2011): Stromeinsparung bei der Milchkühlung. Oldenburg: Landwirtschaftskammer Niedersachsen.
- GÖTZE, U. (2008): Investitionsrechnung – Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben. 6. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- GROB, H. L. (1989): Investitionsrechnung mit vollständigen Finanzplänen. München: Verlag Franz Vahlen.
- GROB, H. L. (2006): Einführung in die Investitionsrechnung. Eine Fallstudiengeschichte. 5. Auflage. München: Verlag Franz Vahlen.
- HEIßENHUBER, A., BERENZ, S. (2005): Energieproduktion als Managementaufgabe in landwirtschaftlichen Unternehmen – organisatorische und betriebswirtschaftliche Herausforderungen. In Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG) e.V., Mehr Markt für Landwirte – Konsequenzen und Strategien, Tagungsband der Wintertagung vom 11. – 13. Januar 2005 in Münster, S. 189-198. DLG, Frankfurt am Main.
- HENZE, N., SAHAN, B., LIU, J. (2008): Modulintegrierte Photovoltaik-Wechselrichter. 13. Kasseler Symposium Energie-Systemtechnik 2008. Kassel: Institut für Solare Energieversorgungstechnik e.V..
- HERING, E., MARTIN, R., STORER, M. (2009): Taschenbuch der Mathematik und Physik. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.

- HOFFMANN, J. (2013): Alterung von Photovoltaik-Modulen. <http://thermovolt.de/publikationen/publikationen/alterung-von-pva-modulen.pdf>. (10.5.2013).
- HOLLINGER, R., WILLE-HAUSSMANN, B., ERGE, T., SÖNNICHSEN, J., STILLAHN, T., KREIFELS, N. (2013): Speicherstudie 2013. Kurzgutachten zur Abschätzung und Einordnung energiewirtschaftlicher, ökonomischer und anderer Effekte bei Förderung von objektgebundenen elektrochemischen Speichern. Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse. Freiburg: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE.
- HÖHLE, C. (2012): Wie funktioniert Eigenverbrauch von Solarstrom?. <http://www.sma-sunny.com/2012/02/06/wie-funktioniert-eigenverbrauch-von-solarstrom/>. (10.5.2013).
- JAUSCHNEGG, H. (1999): Einsatz des Betriebsmittels elektrischer Strom in der österreichischen Rinder-, Schweine- und Geflügelhaltung und Möglichkeiten einer Optimierung. Dissertation. Universität für Bodenkultur Wien.
- KALAB, O. (s.a.): Standardisierte Lastprofile. http://portal.wko.at/wk/dok_detail_file.wk?AngID=1&DocID=603304&StID=289986. (3.5.2013).
- KALTSCHMITT, M., STREICHER, W. (2009): Regenerative Energien in Österreich – Grundlagen, Systemtechnik, Umweltaspekte, Kostenanalysen, Potentiale, Nutzung. Wiesbaden: Vieweg und Teubner.
- KAUFMANN, R., AMMANN, H., HILTY, R., NOSAL, D., SCHICK, M. (2001): Automatisches Melken – Systeme, Einsatzgrenzen, Wirtschaftlichkeit. FAT Bericht Nr. 579/2001. Tänikon: Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT).
- KERBL, B. (2011): Der Monte-Carlo gestützte vollständige Finanzplan in der landwirtschaftlichen Unternehmensplanung. Masterarbeit. Universität für Bodenkultur Wien.
- KNOBLOCH, J., GOETZBERGER, A. (1994): Photovoltaik-Zellen – Physik und Technologie kristalliner Zellen. In: SCHMID, J. (1994): Photovoltaik – Strom aus der Sonne – Technologie, Wirtschaftlichkeit und Marktentwicklung. Heidelberg: Müller.
- KOLLNIG, M. (2013): Systempreise nach Anlagengröße gestaffelt. schriftliche Mitteilung am 10.4.2013.
- KONRAD, F. (2008): Planung von Photovoltaik-Anlagen – Grundlagen und Projektierung. Wiesbaden: Vieweg und Teubner.
- KTBL (2009): Faustzahlen für die Landwirtschaft. 14. Auflage. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL).
- LBG ÖSTERREICH (2012): EuGH entscheidet über Vorsteuerabzug bei Photovoltaikanlagen. http://www.lbg.at/2205_DE-LBG_Unternehmer-Newsletter-Detailansicht.htm?artid=3014&hash=359955db54cd80c8fdf6d4906bd7fc82&alt_start=2210&wt=EUGH_entscheidet_ueber_Vorsteuerabzug_bei_Photovoltaikanlagen. (8.6.2013).
- LOIBNEGGER, T (2012): Die schräge Energie vom Stalldach: Kostenbremse Photovoltaik. Der Fortschrittliche Landwirt. Ausgabe Nr. 14, 16. Juli 2012.
- NEIBER, J., SCHMID, W. (2013): Hohes Sparpotential. Photovoltaik – Das Magazin für Profis. Ausgabe 01/2013.
- NESER, S. (2010): Energieeffizienz in der Schweinehaltung – Schwerpunkt Zuchtsauenhaltung. Jahresbericht 2010 der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft Institut für Landtechnik und Tierhaltung (Seite 55-56). Freising-Weihenstephan: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL).
- OBLASSER, S. (2013): persönliche Mitteilung am 12.4.2013.
- OMELKO, M., RÖMER, A., SCHNEEBERGER, W. (2003): Einsatz eines automatischen Melksystems unter österreichischen Rahmenbedingungen. Endbericht 2. Teil. Einfluss eines automatischen Melksystems auf betriebs- und arbeitswirtschaftliche Kennzahlen. Forschungsprojekt. Universität für Bodenkultur Wien.

- ÖSET-VO (2012): Ökostrom-Einspeisetarifverordnung 2012. 307. Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft, Familie und Jugend, mit der die Einspeisetarife für die Abnahme elektrischer Energie aus Ökostromanlagen auf Grund von Verträgen festgesetzt werden, zu deren Abschluss die Ökostromabwicklungsstelle ab 1. Juli 2012 bis Ende des Jahres 2013 verpflichtet ist.
- ÖSG (2012): Ökostromgesetz 2012, Bundesgesetz über die Förderung der Elektrizitätserzeugung aus erneuerbaren Energieträgern. BGBl. I Nr. 75/2011.
- PHOTOVOLTAIK AUSTRIA (2012): Innovative Energietechnologien in Österreich Marktentwicklung 2011. Biomasse, Photovoltaik, Solarthermie und Wärmepumpen. Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie. Wien.
- PHOTOVOLTAIK AUSTRIA (2013): PVA Plattform für Überschuss-Einspeiser. <http://www.pvaustria.at/content/page.asp?id=285>. (14.5.2013).
- QUASCHNING, V. (2012): Sonnenstrom selbst genutzt – die solare Revolution. Der Fortschrittliche Landwirt. Ausgabe Nr. 14, 16. Juli 2012.
- RL 2009/28/EG: Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG. ABI L 140/16.
- SCHMID, W. (1994): Die Herstellung kristalliner Si-Solarzellen. In: SCHMID, J. (1994): Photovoltaik – Strom aus der Sonne – Technologie, Wirtschaftlichkeit und Marktentwicklung. Heidelberg: Müller.
- SCHNEEBERGER, W. (2011): Einführung. In: SCHNEEBERGER, W., PEYERL, H. (2011): Betriebswirtschaftslehre für Agrarökonomen. Wien: Facultas.
- SCHNEEBERGER, W., EDER, M. (2011): Investition. In: SCHNEEBERGER, W., PEYERL, H. (2011): Betriebswirtschaftslehre für Agrarökonomen. Wien: Facultas.
- SCHWINN, R. (1993): Betriebswirtschaftslehre. München: Oldenbourg.
- SELTMANN, T. (2005): Photovoltaik: Strom ohne Ende. Netzgekoppelte Solarstromanlagen optimal bauen und nutzen. Berlin: Solarpraxis AG.
- STATISTIK AUSTRIA (2009): Strom- und Gastagebuch 2008 – Strom- und Gaseinsatz sowie Energieeffizienz österreichischer Haushalte – Auswertung Gerätebestand und Einsatz. Projektbericht. Wien: Statistik Austria, Direktion Raumwirtschaft, Energie.
- STATISTIK AUSTRIA (2013): Gesamtenergiebilanz Österreich (1970 bis 2011). http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html (1.3.2013).
- SUN.E-SOLUTION (2013): PV-Monitoring. <http://sune-solution.com/monitoring.php> (9.5.2013).
- TBO (2011): Tiroler Bauordnung 2011. Kundmachung der Landesregierung vom 28. Juni 2011 über die Wiederverlautbarung der Tiroler Bauordnung 2001. LGBl. Nr. 57/2011.
- TEG (2012): Tiroler Elektrizitätsgesetz 2012. Gesetz vom 16. November 2011 über die Regelung des Elektrizitätswesens in Tirol. LGBl. Nr. 134/2011.
- TRNKA, S. (2011): Energieeffiziente Photovoltaik in Theorie und Praxis. Masterarbeit. Universität für Bodenkultur Wien.
- VERBUND (2011): Photovoltaik FAQs 2011. <http://www.verbund.com/at/de/Global/Pages/SearchResults?key=photovoltaik+faq> (28.2.2013).
- WESSELAK, V., SCHABBACH, T. (2009): Regenerative Energietechnik. Berlin: Springer-Verlag.
- WEYERSTRASS, K., JAENICKE, J., SCHÖNPFLUG, K. (s.a.): Künftige Entwicklungen der Energiepreise. Wien: Institut für höhere Studien.
- WÜRFEL, P. (1995): Physik der Solarzellen. Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum Akademischer Verlag.
- ZUCHTDATA EDV-DIENSTLEISTUNGEN GMBH (2012): Jahresbericht 2012. Wien: ZuchtData EDV-Dienstleistungen GmbH.

8. Anhang

Tabelle 25: Stromverbrauch des Haushalts für durchschnittliche Tage pro Monat

Haushalt												
Standardlastprofil, Jahresstromverbrauch 6000 kWh												
[kWh]	Jänner	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
0:00-1:00	0,47	0,46	0,45	0,43	0,41	0,38	0,36	0,37	0,39	0,42	0,41	0,47
1:00-2:00	0,35	0,34	0,33	0,32	0,30	0,29	0,27	0,28	0,29	0,31	0,31	0,35
2:00-3:00	0,31	0,30	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	0,25	0,25	0,27	0,27	0,30
3:00-4:00	0,29	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	0,23	0,23	0,24	0,25	0,26	0,29
4:00-5:00	0,29	0,29	0,27	0,27	0,25	0,24	0,23	0,24	0,24	0,26	0,26	0,28
5:00-6:00	0,34	0,33	0,31	0,30	0,29	0,28	0,27	0,27	0,28	0,29	0,29	0,32
6:00-7:00	0,58	0,57	0,51	0,49	0,44	0,42	0,41	0,42	0,43	0,46	0,51	0,52
7:00-8:00	0,83	0,81	0,73	0,69	0,60	0,56	0,56	0,56	0,60	0,66	0,73	0,74
8:00-9:00	0,94	0,91	0,85	0,80	0,71	0,66	0,64	0,66	0,70	0,77	0,83	0,88
9:00-10:00	0,96	0,94	0,91	0,86	0,79	0,73	0,70	0,72	0,76	0,83	0,85	0,95
10:00-11:00	0,98	0,94	0,93	0,88	0,82	0,75	0,70	0,72	0,77	0,86	0,85	0,99
11:00-12:00	1,03	0,99	0,98	0,91	0,85	0,78	0,73	0,75	0,80	0,89	0,89	1,05
12:00-13:00	1,11	1,07	1,05	0,99	0,92	0,84	0,79	0,81	0,87	0,97	0,97	1,13
13:00-14:00	1,06	1,03	0,99	0,93	0,86	0,79	0,75	0,77	0,82	0,90	0,93	1,07
14:00-15:00	0,93	0,91	0,87	0,81	0,73	0,68	0,65	0,67	0,71	0,78	0,82	0,93
15:00-16:00	0,84	0,82	0,78	0,72	0,66	0,62	0,58	0,60	0,64	0,70	0,74	0,84
16:00-17:00	0,83	0,81	0,76	0,68	0,62	0,59	0,56	0,58	0,60	0,65	0,74	0,82
17:00-18:00	1,02	0,99	0,89	0,73	0,66	0,62	0,59	0,61	0,64	0,71	0,80	1,01
18:00-19:00	1,28	1,25	1,11	0,90	0,78	0,71	0,68	0,70	0,76	0,87	1,13	1,25
19:00-20:00	1,42	1,38	1,24	1,05	0,91	0,82	0,78	0,80	0,89	1,01	1,25	1,38
20:00-21:00	1,26	1,23	1,13	1,01	0,90	0,82	0,79	0,81	0,87	0,98	1,11	1,22
21:00-22:00	1,05	1,02	0,97	0,93	0,83	0,77	0,74	0,75	0,81	0,89	0,92	1,01
22:00-23:00	0,88	0,86	0,83	0,82	0,75	0,71	0,68	0,70	0,73	0,79	0,77	0,85
23:00-24:00	0,67	0,65	0,63	0,61	0,58	0,56	0,54	0,55	0,56	0,59	0,59	0,65

(Quelle: eigene Berechnungen)

Tabelle 26: Stromerzeugung der Photovoltaikanlage pro installiertem Kilowatt für durchschnittliche Tage pro Monat

Stromerzeugung Photovoltaikanlage												
normiert auf 1 kW installierte Leistung												
[kWh]	Jänner	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
0:00-1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:00-2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00-3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00-4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00-5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:00-6:00	0	0	0	0	0	0,0043000	0,0018000	0	0	0	0	0
6:00-7:00	0	0	0,0046000	0,0066000	0,0234000	0,0293000	0,0220000	0,0089000	0,0003000	0	0	0
7:00-8:00	0,0004000	0,0156000	0,0578000	0,0408000	0,0573000	0,0646000	0,0538000	0,0402000	0,0172000	0,0073000	0,0104000	0,0006000
8:00-9:00	0,0424000	0,1067000	0,2466000	0,1506000	0,2250000	0,1988000	0,1687000	0,1565000	0,1037000	0,0811000	0,0803000	0,0535000
9:00-10:00	0,1595000	0,2475000	0,4489000	0,2992000	0,3750000	0,3427000	0,3221000	0,3366000	0,2297000	0,2214000	0,1902000	0,1008000
10:00-11:00	0,3187000	0,4020000	0,5845000	0,4084000	0,4955000	0,4607000	0,4439000	0,5052000	0,3356000	0,3738000	0,2792000	0,3002000
11:00-12:00	0,4298000	0,5078000	0,6600000	0,5020000	0,5657000	0,5693000	0,5119000	0,6033000	0,3891000	0,4731000	0,3685000	0,4107000
12:00-13:00	0,4638000	0,5380000	0,6943000	0,5396000	0,5925000	0,6026000	0,5284000	0,6330000	0,4483000	0,5504000	0,4054000	0,4366000
13:00-14:00	0,4188000	0,4660000	0,6842000	0,5643000	0,5683000	0,5930000	0,5260000	0,6060000	0,4871000	0,5214000	0,3439000	0,3821000
14:00-15:00	0,3323000	0,3903000	0,6334000	0,5439000	0,5256000	0,5580000	0,5048000	0,5406000	0,4786000	0,4523000	0,2435000	0,2001000
15:00-16:00	0,1744000	0,2592000	0,5023000	0,4518000	0,4588000	0,4557000	0,4684000	0,4748000	0,4199000	0,3383000	0,0983000	0,0308000
16:00-17:00	0,0106000	0,1198000	0,3100000	0,3408000	0,3668000	0,3272000	0,4105000	0,3737000	0,2893000	0,2000000	0	0
17:00-18:00	0	0	0,1035000	0,2053000	0,2376000	0,2653000	0,2813000	0,2514000	0,1428000	0,0445000	0	0
18:00-19:00	0	0	0,0242000	0,0879000	0,1153000	0,1455000	0,1357000	0,0981000	0,0242000	0	0	0
19:00-20:00	0	0	0	0,0082000	0,0345000	0,0481000	0,0416000	0,0152000	0	0	0	0
20:00-21:00	0	0	0	0	0	0,0015000	0	0	0	0	0	0
21:00-22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00-23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00-24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(Quelle: eigene Berechnungen)

Tabelle 27: Investitionskosten pro installiertem Kilowatt in Abhängigkeit von der Anlagengröße



Photovoltaik
Beratung
Handel
Montage

Systempreise nach Anlagengröße gestaffelt

Martin Kollnig

Apr.13

Anlagen Baugruppe / Anlagengröße in kWp / Kosten netto pro kWp	< 10kWp	10 - 20kWp	20 - 100kWp
Module SI monokristallin; europäischer Herkunft	€ 820,00	€ 800,00	€ 750,00
Montagesystem Steildach > 15° Dachneigung, Ziegeldeckung	€ 150,00	€ 140,00	€ 120,00
Wechselrichter europäischer Herkunft	€ 330,00	€ 240,00	€ 190,00
Verkabelung, innerer Blitzschutz	€ 100,00	€ 100,00	€ 80,00
Anschluss an das öffentliche Netz	€ 50,00	€ 30,00	€ 10,00
Zubehör, Datenaufzeichnung	€ 30,00	€ 10,00	€ 10,00
Montagezeit Steildach > 15° Dachneigung, Ziegeldeckung	€ 350,00	€ 300,00	€ 200,00
Transport, Baustelleneinrichtung, Kran, ...	€ 50,00	€ 40,00	€ 20,00
Systempreis	€ 1.880,00	€ 1.660,00	€ 1.380,00
brutto	€ 2.256,00	€ 1.992,00	€ 1.656,00

(Quelle: Kollnig, 2013,1)

Tabelle 28: Stromverbrauch des Milchviehbetriebs mit Melkstand für durchschnittliche Tage pro Monat

Milchviehbetrieb mit Melkstand												
Stromverbrauch für einen durchschnittlichen Tag												
[kWh]	Jänner	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
0:00-1:00	0,52	0,51	0,50	0,48	0,46	0,43	0,41	0,42	0,44	0,46	0,46	0,52
1:00-2:00	0,40	0,39	0,38	0,37	0,35	0,34	0,32	0,33	0,34	0,36	0,36	0,40
2:00-3:00	0,36	0,35	0,34	0,32	0,31	0,30	0,29	0,30	0,30	0,32	0,32	0,35
3:00-4:00	0,34	0,34	0,32	0,31	0,30	0,29	0,28	0,28	0,29	0,30	0,31	0,34
4:00-5:00	0,34	0,33	0,32	0,32	0,30	0,29	0,28	0,29	0,29	0,31	0,31	0,33
5:00-6:00	0,39	0,38	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,32	0,33	0,34	0,34	0,37
6:00-7:00	12,03	12,02	11,96	11,94	11,88	11,87	11,86	11,87	11,88	11,91	11,96	11,97
7:00-8:00	14,16	14,14	14,06	14,02	13,93	13,89	13,88	13,89	13,93	13,99	14,06	14,07
8:00-9:00	3,65	3,63	3,56	3,51	3,43	3,38	3,36	3,37	3,41	3,48	3,54	3,59
9:00-10:00	1,93	1,91	1,88	1,83	1,76	1,70	1,67	1,69	1,73	1,80	1,82	1,92
10:00-11:00	1,03	0,99	0,98	0,93	0,87	0,80	0,75	0,77	0,82	0,91	0,90	1,04
11:00-12:00	1,08	1,04	1,03	0,96	0,90	0,83	0,78	0,80	0,85	0,94	0,94	1,10
12:00-13:00	1,16	1,12	1,10	1,04	0,97	0,89	0,84	0,86	0,92	1,02	1,02	1,18
13:00-14:00	1,11	1,08	1,04	0,98	0,90	0,84	0,80	0,82	0,87	0,95	0,98	1,12
14:00-15:00	0,98	0,95	0,92	0,85	0,78	0,73	0,70	0,71	0,76	0,83	0,87	0,98
15:00-16:00	0,89	0,87	0,83	0,77	0,71	0,66	0,63	0,65	0,68	0,75	0,79	0,89
16:00-17:00	0,88	0,86	0,81	0,73	0,67	0,64	0,61	0,62	0,65	0,70	0,79	0,87
17:00-18:00	1,89	1,86	1,76	1,61	1,53	1,49	1,46	1,48	1,51	1,58	1,77	1,88
18:00-19:00	12,73	12,70	12,56	12,35	12,23	12,16	12,13	12,15	12,21	12,32	12,58	12,70
19:00-20:00	14,75	14,71	14,57	14,38	14,24	14,15	14,11	14,13	14,22	14,34	14,58	14,71
20:00-21:00	3,15	3,12	3,02	2,90	2,79	2,71	2,68	2,70	2,76	2,87	3,00	3,11
21:00-22:00	2,02	1,99	1,94	1,90	1,80	1,74	1,71	1,72	1,78	1,86	1,89	1,98
22:00-23:00	0,93	0,91	0,88	0,87	0,80	0,76	0,73	0,75	0,78	0,84	0,82	0,90
23:00-24:00	0,71	0,70	0,68	0,66	0,63	0,61	0,59	0,60	0,61	0,64	0,64	0,70

(Quelle: eigene Berechnungen)

Tabelle 29: Stromverbrauch des Milchviehbetriebs mit Melkroboter für durchschnittliche Tage pro Monat

Milchviehbetrieb mit Melkroboter												
Stromverbrauch für einen durchschnittlichen Tag												
[kWh]	Jänner	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
0:00-1:00	3,37	3,36	3,35	3,33	3,31	3,29	3,27	3,28	3,29	3,32	3,31	3,37
1:00-2:00	3,25	3,24	3,23	3,22	3,21	3,19	3,18	3,18	3,19	3,21	3,21	3,25
2:00-3:00	3,21	3,20	3,19	3,18	3,17	3,15	3,14	3,15	3,15	3,17	3,17	3,20
3:00-4:00	3,20	3,19	3,18	3,17	3,15	3,14	3,13	3,13	3,14	3,16	3,16	3,19
4:00-5:00	3,20	3,19	3,18	3,17	3,15	3,15	3,14	3,14	3,14	3,16	3,16	3,19
5:00-6:00	3,24	3,23	3,21	3,21	3,19	3,18	3,17	3,18	3,18	3,19	3,20	3,22
6:00-7:00	3,48	3,47	3,42	3,39	3,34	3,32	3,32	3,32	3,34	3,37	3,41	3,42
7:00-8:00	4,42	4,40	4,32	4,28	4,19	4,15	4,14	4,15	4,19	4,25	4,32	4,33
8:00-9:00	5,07	5,05	4,99	4,93	4,85	4,80	4,78	4,79	4,83	4,90	4,96	5,01
9:00-10:00	3,87	3,84	3,81	3,76	3,69	3,64	3,60	3,62	3,66	3,74	3,75	3,85
10:00-11:00	3,88	3,85	3,83	3,78	3,72	3,65	3,61	3,63	3,67	3,76	3,75	3,89
11:00-12:00	3,93	3,89	3,88	3,81	3,76	3,68	3,63	3,65	3,70	3,79	3,80	3,96
12:00-13:00	4,01	3,97	3,95	3,89	3,82	3,74	3,70	3,72	3,77	3,87	3,87	4,03
13:00-14:00	3,96	3,93	3,90	3,83	3,76	3,69	3,65	3,67	3,72	3,80	3,83	3,97
14:00-15:00	3,83	3,81	3,77	3,71	3,64	3,58	3,55	3,57	3,61	3,68	3,72	3,83
15:00-16:00	3,74	3,72	3,68	3,63	3,56	3,52	3,49	3,50	3,54	3,60	3,65	3,74
16:00-17:00	3,73	3,71	3,66	3,58	3,52	3,49	3,46	3,48	3,50	3,56	3,64	3,73
17:00-18:00	5,15	5,13	5,02	4,87	4,80	4,75	4,72	4,74	4,78	4,84	5,04	5,14
18:00-19:00	4,87	4,84	4,69	4,49	4,37	4,30	4,27	4,28	4,35	4,46	4,72	4,84
19:00-20:00	4,32	4,28	4,14	3,95	3,81	3,72	3,69	3,70	3,79	3,92	4,15	4,28
20:00-21:00	4,16	4,13	4,03	3,92	3,80	3,72	3,69	3,71	3,78	3,88	4,01	4,12
21:00-22:00	3,95	3,92	3,87	3,83	3,73	3,67	3,64	3,66	3,71	3,79	3,82	3,91
22:00-23:00	3,78	3,76	3,73	3,72	3,66	3,62	3,59	3,60	3,63	3,69	3,68	3,76
23:00-24:00	3,57	3,55	3,53	3,52	3,48	3,46	3,44	3,45	3,46	3,49	3,49	3,55

(Quelle: eigene Berechnungen)

Tabelle 30: Stromverbrauch des Ferkelzuchtbetriebs für durchschnittliche Tage pro Monat

Ferkelzuchtbetrieb												
[kWh]	Stromverbrauch für einen durchschnittlichen Tag											
Uhrzeit	Jänner	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
0:00-1:00	4,02	3,62	3,33	2,91	2,87	2,29	2,27	2,84	2,87	3,30	3,58	4,01
1:00-2:00	3,89	3,51	3,22	2,80	2,77	2,20	2,18	2,75	2,78	3,20	3,47	3,89
2:00-3:00	3,85	3,46	3,17	2,76	2,73	2,16	2,15	2,71	2,74	3,15	3,44	3,84
3:00-4:00	3,84	3,45	3,16	2,75	2,71	2,15	2,14	2,70	2,73	3,14	3,42	3,83
4:00-5:00	3,84	3,45	3,16	2,75	2,72	2,15	2,14	2,70	2,73	3,14	3,42	3,83
5:00-6:00	3,88	3,49	3,20	2,79	2,75	2,19	2,18	2,74	2,77	3,18	3,46	3,86
6:00-7:00	11,91	11,52	11,18	10,76	10,68	10,11	10,11	10,67	10,70	11,13	11,46	11,85
7:00-8:00	6,66	6,26	5,90	5,46	5,35	4,75	4,75	5,31	5,37	5,83	6,18	6,57
8:00-9:00	4,48	4,08	3,74	3,29	3,18	2,57	2,55	3,12	3,19	3,66	3,99	4,42
9:00-10:00	4,51	4,10	3,79	3,35	3,26	2,64	2,61	3,18	3,25	3,72	4,01	4,49
10:00-11:00	5,51	5,10	4,80	4,35	4,27	3,64	3,60	4,18	4,25	4,73	5,00	5,52
11:00-12:00	4,57	4,16	3,86	3,40	3,32	2,69	2,64	3,22	3,29	3,78	4,06	4,60
12:00-13:00	4,65	4,24	3,94	3,48	3,39	2,75	2,70	3,28	3,36	3,85	4,13	4,67
13:00-14:00	6,03	5,62	5,31	4,84	4,75	4,13	4,09	4,66	4,73	5,21	5,52	6,03
14:00-15:00	4,47	4,07	3,75	3,29	3,20	2,59	2,56	3,13	3,19	3,67	3,99	4,47
15:00-16:00	4,38	3,99	3,67	3,21	3,13	2,53	2,49	3,07	3,12	3,59	3,91	4,38
16:00-17:00	4,38	3,98	3,65	3,16	3,09	2,50	2,47	3,04	3,09	3,54	3,91	4,37
17:00-18:00	4,56	4,16	3,78	3,22	3,13	2,53	2,50	3,07	3,13	3,60	4,07	4,55
18:00-19:00	12,60	12,20	11,78	11,17	11,03	10,40	10,37	10,94	11,03	11,54	12,08	12,58
19:00-20:00	7,24	6,83	6,41	5,82	5,66	5,01	4,97	5,55	5,66	6,18	6,70	7,20
20:00-21:00	4,80	4,39	4,02	3,50	3,36	2,73	2,70	3,27	3,36	3,87	4,27	4,76
21:00-22:00	4,59	4,18	3,86	3,41	3,30	2,68	2,65	3,22	3,29	3,78	4,08	4,55
22:00-23:00	4,42	4,02	3,72	3,30	3,22	2,62	2,59	3,17	3,22	3,67	3,94	4,40
23:00-24:00	4,21	3,82	3,52	3,10	3,05	2,47	2,45	3,02	3,05	3,48	3,75	4,19

(Quelle: eigene Berechnungen)

Tabelle 31: Stromverbrauch des Schweinemastbetriebs für durchschnittliche Tage pro Monat

Schweinemastbetrieb												
[kWh]	Stromverbrauch für einen durchschnittlichen Tag											
Uhrzeit	Jänner	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
0:00-1:00	2,25	2,32	2,35	2,68	3,46	3,75	3,73	3,43	2,64	2,32	2,28	2,25
1:00-2:00	2,13	2,21	2,23	2,57	3,36	3,66	3,64	3,34	2,54	2,21	2,17	2,13
2:00-3:00	2,08	2,17	2,19	2,53	3,32	3,62	3,61	3,30	2,51	2,17	2,14	2,08
3:00-4:00	2,07	2,15	2,18	2,52	3,30	3,60	3,59	3,29	2,49	2,16	2,13	2,06
4:00-5:00	2,07	2,15	2,18	2,52	3,31	3,61	3,60	3,29	2,50	2,16	2,13	2,06
5:00-6:00	6,73	6,81	6,83	7,17	7,95	8,26	8,25	7,94	7,14	6,81	6,78	6,71
6:00-7:00	3,07	3,15	3,13	3,45	4,20	4,50	4,49	4,19	3,40	3,08	3,09	3,01
7:00-8:00	2,61	2,68	2,64	2,95	3,65	3,93	3,92	3,62	2,85	2,56	2,60	2,52
8:00-9:00	2,71	2,78	2,75	3,05	3,77	4,03	4,01	3,71	2,95	2,67	2,69	2,65
9:00-10:00	4,25	2,80	2,81	3,11	5,35	4,10	4,07	3,77	4,52	2,74	2,71	2,73
10:00-11:00	4,26	2,81	2,83	3,13	5,38	4,11	4,07	3,78	4,53	2,76	2,72	2,76
11:00-12:00	2,81	2,86	2,88	3,17	3,91	4,14	4,10	3,80	3,06	2,79	2,76	2,83
12:00-13:00	6,79	6,84	6,85	7,15	7,88	8,11	8,06	7,77	7,03	6,77	6,74	6,80
13:00-14:00	2,84	2,90	2,89	3,19	3,91	4,16	4,12	3,83	3,07	2,80	2,80	2,84
14:00-15:00	2,71	2,77	2,77	3,06	3,79	4,05	4,01	3,72	2,96	2,68	2,69	2,71
15:00-16:00	2,62	2,69	2,68	2,98	3,71	3,98	3,95	3,66	2,89	2,60	2,61	2,61
16:00-17:00	2,61	2,68	2,66	2,93	3,68	3,95	3,92	3,63	2,85	2,55	2,61	2,60
17:00-18:00	2,79	2,86	2,79	2,99	3,72	3,98	3,96	3,66	2,90	2,61	2,77	2,78
18:00-19:00	3,77	3,83	3,72	3,87	4,55	4,79	4,76	4,46	3,73	3,48	3,71	3,74
19:00-20:00	7,81	7,86	7,75	7,92	8,58	8,80	8,76	8,47	7,75	7,53	7,73	7,77
20:00-21:00	3,04	3,09	3,03	3,27	3,95	4,19	4,15	3,86	3,13	2,88	2,97	2,99
21:00-22:00	2,82	2,89	2,87	3,18	3,89	4,14	4,11	3,81	3,06	2,79	2,78	2,78
22:00-23:00	2,66	2,73	2,73	3,07	3,81	4,08	4,05	3,75	2,98	2,69	2,64	2,63
23:00-24:00	2,44	2,52	2,53	2,87	3,63	3,93	3,90	3,60	2,81	2,49	2,46	2,43

(Quelle: eigene Berechnungen)