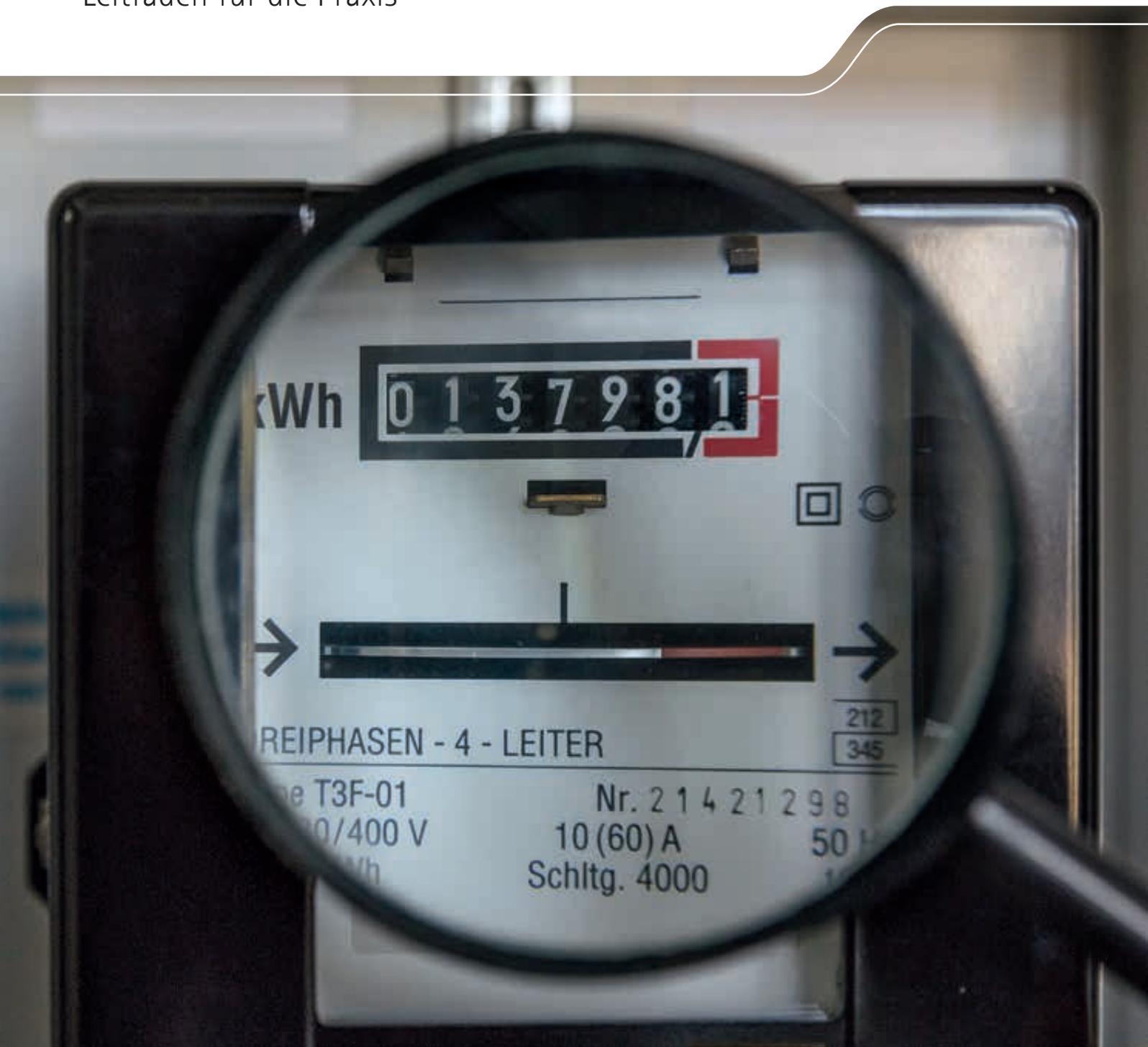


Energieeffizienz in der Landwirtschaft

Leitfaden für die Praxis



Energieeffizienz in der Landwirtschaft

Leitfaden für die Praxis

von Stefan Zorn, Dr.-Ing. Hagen Hilse und René Pommer

Inhalt

Vorwort	05		
1 Energieverbrauch als globaler Umwelteffekt und betrieblicher Kostenfaktor	06		
2 Besonderheiten der Landwirtschaft in Sachsen	08		
3 Eigenanalyse des Energieverbrauchs in landwirtschaftlichen Betrieben	10		
3.1 Erfassung und Bewertung des Energiebezugs	10		
3.2 Energiekennzahlen	11		
3.3 Verbraucheranalyse	11		
3.3.1 Elektroenergieverbraucher	11		
3.3.2 Brennstoffverbraucher	15		
3.3.3 Kraftstoffverbraucher	15		
3.4 Elektrische Lastganganalysen	15		
3.5 Ableitung von Maßnahmen	18		
3.6 Einbeziehung externer Beratungskompetenz	18		
4 Energieeinsatz in den Betriebszweigen	20		
4.1 Milchviehhaltung	20		
4.1.1 Energiekennzahlen	20		
4.1.2 Anforderung an die Verfahrensgestaltung mit Einfluss auf den Energieverbrauch	20		
4.1.3 Energieverbraucherstruktur	21		
4.1.4 Typische Maßnahmen und Einsparpotenziale	21		
4.2 Schweinehaltung	26		
4.2.1 Energiekennzahlen	26		
4.2.2 Anforderung an die Verfahrensgestaltung mit Einfluss auf den Energieverbrauch	26		
4.2.3 Energieverbraucherstruktur	27		
4.2.4 Typische Maßnahmen und Einsparpotenziale	27		
4.3 Geflügelhaltung	32		
4.3.1 Energiekennzahlen	32		
4.3.2 Anforderung an die Verfahrensgestaltung mit Einfluss auf den Energieverbrauch	32		
4.3.3 Energieverbraucherstruktur	32		
4.3.4 Typische Maßnahmen und Einsparpotenziale	33		
4.4 Biogasanlagen	34		
4.5 Außenwirtschaft	36		
4.5.1 Energiekennzahlen	36		
4.5.2 Anforderung an die Verfahrensgestaltung mit Einfluss auf den Energieverbrauch	36		
4.5.3 Typische Maßnahmen und Einsparpotenziale	36		
5 Betriebszweigübergreifende Optionen zur Energiekostenminderung	42		
5.1 Eigenstromversorgung über Photovoltaik-(PV-)Anlagen	42		
5.2 Elektrisches Lastmanagement	44		
6 Praxisbeispiele	46		
6.1 Lehr- und Versuchsgut Köllitsch	48		
6.2 Agrargenossenschaft Gnaschwitz e.G.	50		
6.3 Schweineproduktion Schröder Eckert GmbH	52		
6.4 Gebirgsland Agrar GmbH Mildenau	54		
6.5 Schweinezucht Pappendorf GmbH	56		
Abbildungsverzeichnis	58		
Tabellenverzeichnis	59		
Abkürzungsverzeichnis	59		
Literaturverzeichnis	60		
Anhang	66		

Vorwort

Die Verbesserung der Energieeffizienz stellt eine der wichtigsten Maßnahmen zur Minderung von Treibhausgas-Emissionen in der sächsischen Landwirtschaft dar. Gleichfalls dient sie der Kostensenkung und leistet so einen Beitrag zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit.

Aus zurückliegenden Forschungsvorhaben wissen wir, dass in fast allen Bereichen erhebliche Potenziale bestehen, die es künftig besser auszuschöpfen gilt. Wir wissen auch, dass viele sächsische Betriebe bereits mit modernster Technik ausgestattet sind. Diese ermöglicht nicht nur die Erzeugung hochwertiger Lebensmittel, sondern auch eine hohe Effizienz der landwirtschaftlichen Urproduktion. Hier gibt es oft nur noch kleine »Stellschrauben«, an denen zur Optimierung der Prozessabläufe gedreht werden kann.

Man darf jedoch die Augen nicht davor verschließen, dass es in anderen Betrieben einen erheblichen Investitionsstau gibt. Dieser wurde in jüngerer Vergangenheit verstärkt durch äußere Einflüsse, wie z. B. der Milchpreiskrise. Der Freistaat Sachsen unterstützt diese Betriebe u. a. durch investive Förderung für Anlagen im Bereich der Nutztierhaltung, zur pflanzlichen Erzeugung und für die Verarbeitung und Vermarktung von landwirtschaftlichen Produkten.

Der vorliegende Leitfaden soll landwirtschaftliche Betriebe dabei unterstützen, ihre Prozessabläufe zu analysieren und die Energieeffizienz in den Unternehmen zu optimieren. Die Broschüre fasst den aktuellen Stand des Wissens zusammen und bietet zahlreiche Praxishinweise und Empfehlungen für die Verbesserung der Energieeffizienz im Interesse einer klimaschonenden und effizienten Landwirtschaft. Bei der Erstellung des vorliegenden Leitfadens wurde mit mehreren Energieeffizienzberatern, mit Landwirtschaftsbetrieben, aber auch mit der Sächsischen Energieagentur SAENA GmbH sehr konstruktiv zusammengearbeitet. Bei diesen Partnern, die die Erarbeitung maßgeblich unterstützt haben, möchten wir uns ausdrücklich bedanken.



A handwritten signature in black ink, appearing to read 'N. Eichkorn', written in a cursive style.

Norbert Eichkorn

Präsident des Sächsischen Landesamtes für Umwelt,
Landwirtschaft und Geologie

1 Energieverbrauch als globaler Umwelteffekt und betrieblicher Kostenfaktor

Der durch menschliche Aktivität verursachte Klimawandel wird zunehmend messbar und seine Folgen sind gerade auch in der Landwirtschaft zu spüren. Etwa 85 % der Klimagasemissionen in Deutschland sind energiebedingt. Vor dem Hintergrund umfangreicher politischer Zielstellungen, den Klimawandel und seine Auswirkungen auf ein nicht mehr vermeidbares Mindestmaß zu begrenzen, richten sich deshalb viele konkrete Programme auf die Förderung erneuerbarer Energien und die Minderung des Energieverbrauchs. Ein Baustein ist der »Nationale Aktionsplan Energieeffizienz« (NAPE), der u. a. für die Landwirtschaft Investitionen in energieeffiziente Anlagentechnik und qualifizierte Energieberatungen durch entsprechende Förderprogramme unterstützt. Im Freistaat Sachsen bestehen nach einer aktuellen Studie des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) neben Maßnahmenansätzen im Bereich der Flächenbewirtschaftung und der Tierhaltung reale Minderungspotenziale beim Einsatz von Elektroenergie, Diesel und Brennstoffen im landwirtschaftlichen Betrieb (LfULG, 2014). Der Energieverbrauch ist ein unmittelbarer und oft bedeutender Kostenfaktor. Vor dem Hintergrund real steigender Energiepreise bietet eine Verbesserung der Energieeffizienz im landwirtschaftlichen Betrieb auch die Möglichkeit, nachhaltig Kosten zu senken – zumal die Energiepreise in der langfristigen Entwicklung deutlich über der allgemeinen Preissteigerung liegen. Eine inflationsbereinigte Langzeitbetrachtung der Energiepreise zeigt bei den Brennstoffen spezifisch höhere Steigerungen und stärkere Schwankungen als bei Strom. Insbesondere seit 2000 steigen die Strompreise fast stetig an, wobei dies relativ stark auf die Entwicklung von Umlagen und Abgaben zurückzuführen ist. Nachfolgende Tabelle zeigt für den Zeitraum 1970 bis 2014 durchschnittliche jährliche Preissteigerungen:

Tabelle 1: Energiepreisentwicklung im Langzeitvergleich

Energieträger/ Verbrauchergruppe	real (1970 – 2014)	inflationsbereinigt (1970 – 2014)
Heizöl (EL)	5,22 % p.a.	2,41 % p.a.
Strom Haushalte	3,56 % p.a.	0,79 % p.a.
Strom Sonderabnehmer	2,76 % p.a.	0,03 % p.a.
Gas Haushalte	3,66 % p.a.	0,89 % p.a.
Gas Industrie	4,96 % p.a.	2,16 % p.a.

Quelle: eigene Berechnungen auf Basis statistischer Daten der EnergieAgentur NRW

Der Anteil der Energiekosten für Strom, Brennstoffe und Diesel an den Gesamtkosten lag im Wirtschaftsjahr 2014/15 nach einer Auswertung von Buchführungsergebnissen sächsischer Landwirtschaftsbetriebe (ohne Nebenerwerbsbetriebe) zwischen 7,9 und 8,8 % (SMUL, 2016).

Bei den energiebezogenen Aufwendungen dominieren in allen Betriebsformen die transportbedingten Energiekosten, im Wesentlichen für Dieselkraftstoff. Für die in Sachsen vorherrschenden landwirtschaftlichen Betriebsformen ist die Verteilung wie in Abbildung 1 dargestellt.

Vorrangiges Ziel dieses Leitfadens ist es, Landwirten und Betreibern von Tierhaltungsanlagen

- das methodische Vorgehen bei der eigenständigen Analyse des betrieblichen Energieverbrauchs und der Erkennung potenzieller Einsparmöglichkeiten zu vermitteln,
- Vorteile einer qualifizierten Energieberatung durch externe Sachverständige als Alternative bzw. Ergänzung zur betrieblichen Eigenanalyse darzustellen,
- typische Effizienzmaßnahmen in den wesentlichen Betriebszweigen zu beschreiben und praxisübliche Energieeinsparpotenziale und wirtschaftliche Kennwerte anzugeben,
- anhand von Praxisbeispielen sächsischer Betriebe die Ergebnisse durchgeführter Energieaudits darzustellen und den Leser für das Thema Energieeffizienz zu sensibilisieren und
- aktuelle Informationen zu Fördermöglichkeiten sowie Ansprechpartnern in Sachsen zu vermitteln.

Der Leitfaden konzentriert sich auf die Identifizierung von technischen Verbesserungspotenzialen im Bestand. Im Zusammenhang mit kompletten Neubaumaßnahmen, z.B. von Tierhaltungsanlagen, ist oft ein noch höheres Effizienzniveau erreichbar. Voraussetzung dafür ist, dass bei der Planung und Realisierung der Stand der Technik bezüglich der Energieeffizienz von vornherein berücksichtigt wird.

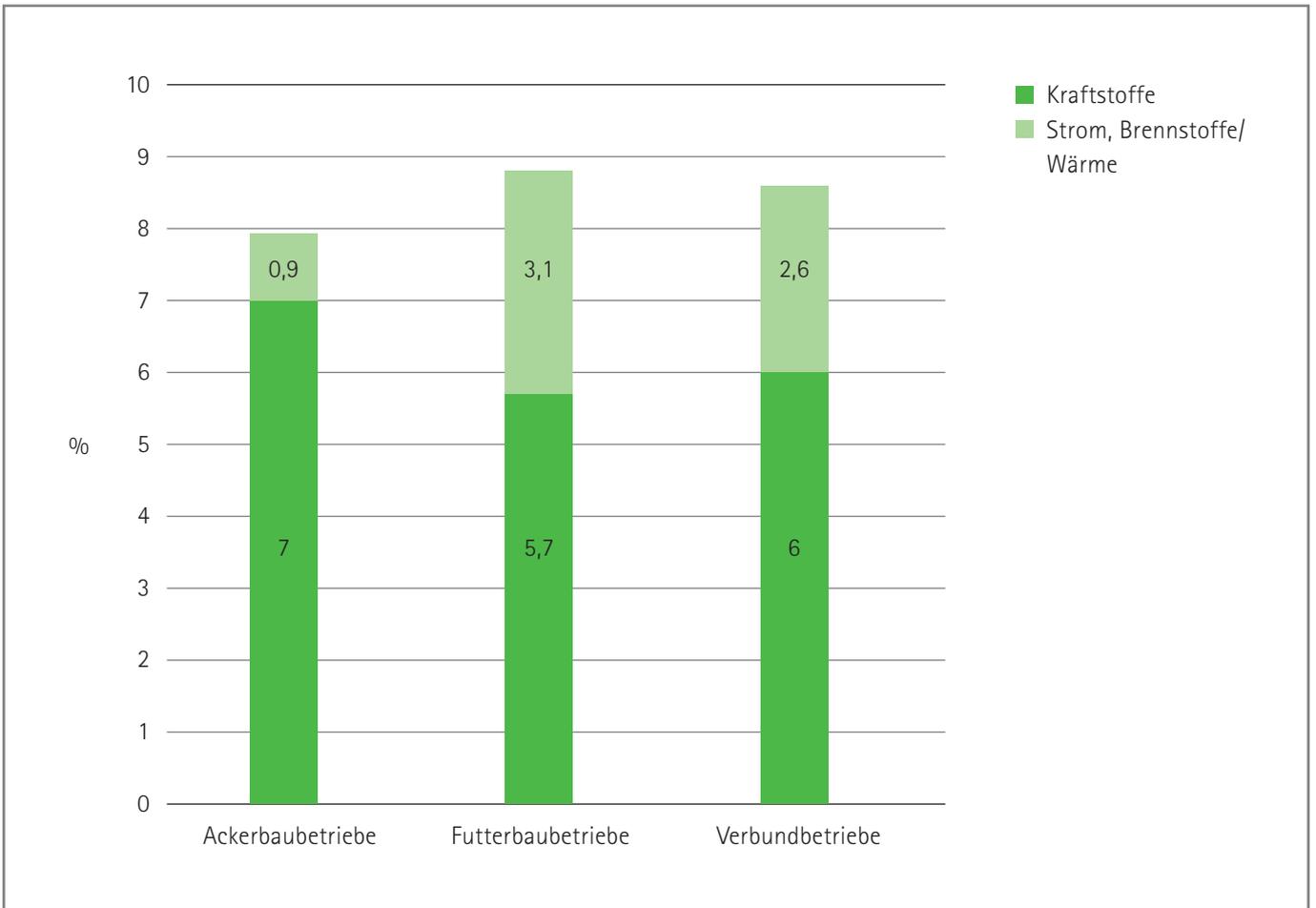


Abbildung 1: Anteil der Energiekosten an den Gesamtkosten untersuchter sächsischer Betriebe im Wirtschaftsjahr 2014/15, Quelle: SMUL (2016)

2 Besonderheiten der Landwirtschaft in Sachsen

Im Vergleich zu anderen Regionen in Deutschland weist der Freistaat Sachsen aufgrund seiner natürlichen Standortbedingungen (Böden, Niederschläge, Jahrestemperaturen) und der historischen Entwicklung Besonderheiten in den landwirtschaftlichen Strukturen auf:

Natürliche Standortbedingungen

Aufgrund der teils stark unterschiedlichen natürlichen Standortbedingungen haben sich charakteristische Nutzungspfade für die verschiedenen sächsischen Regionen herausgebildet. So dominieren in den kälteren und niederschlagsreicheren Vor- und Mittelgebirgslagen im Süden und Südosten die Grünlandnutzung mit einer intensiveren Milchvieh- und Rinderhaltung (Abbildung 3). In Nord- und Mittelsachsen mit den begünstigten Bodenqualitäten (Abbildung 4) herrschen hingegen der Ackerbau und die Veredlungsviehwirtschaft vor.

Tabelle 2: Standortbedingungen Sachsens, Quelle: SMUL (2002)

Kennzahl	Kennzahl im Durchschnitt von Sachsen	Schwankungsbreite im Durchschnitt der Gemeinden
Ackerzahl (AZ)	46,4	14 bis 94
Grünlandzahl (GLZ)	41,8	13 bis 71
Niederschlagsmenge (mm)	722	480 bis 1.000
Jahrestemperatur (°C)	7,6	3 bis 9,2
Höhe über NN (m)	k. A.	26 bis 920

Die Böden in Sachsen sind sehr stark durch Wasser- und Winderosion gefährdet. Etwa 450.000 ha und damit ca. 60 % der Ackerfläche sind vornehmlich in den mittleren und südlichen Landesteilen von Wassererosion bedroht, rund 150.000 ha Fläche meist im nördlichen Landesteil von Winderosion (SMUL,

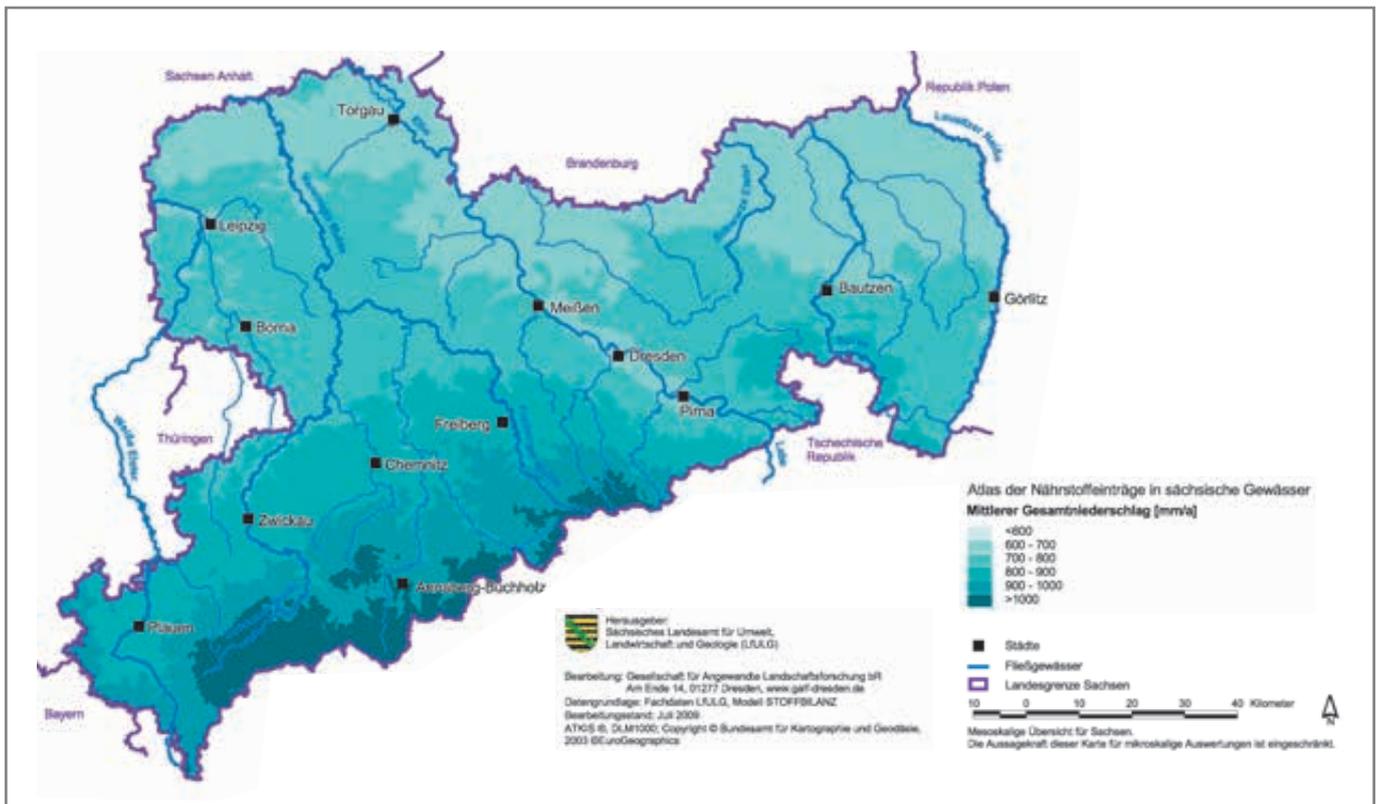


Abbildung 2: Mittlerer Gesamtniederschlag in Sachsen, Quelle: LfULG (2009)

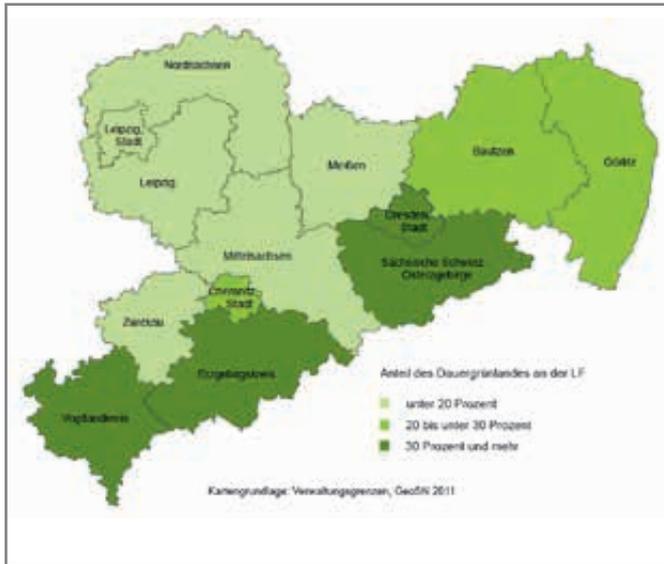


Abbildung 3: Anteil des Dauergrünlandes an der landwirtschaftlich genutzten Fläche (LF), Quelle: StaLa SN (2011)

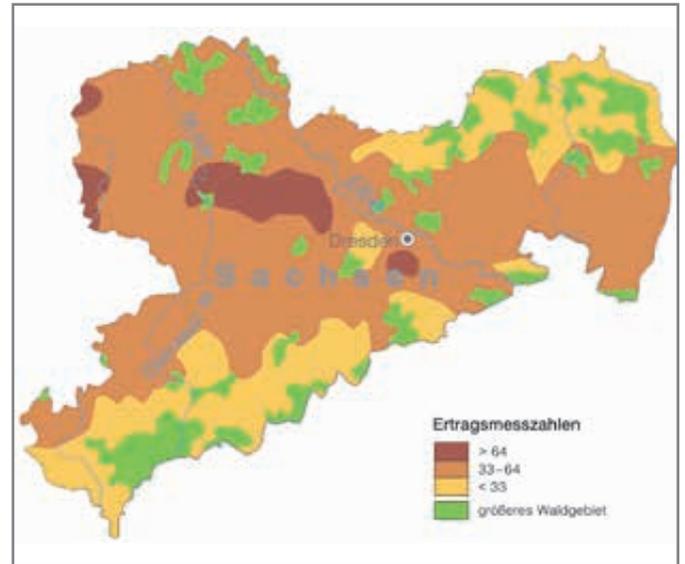


Abbildung 4: Bodengüte in Sachsen anhand der Ertragsmesszahlen, Quelle: Institut für Länderkunde, Leipzig (2002)

2009). Aus diesem Grund sind bei der Flächenbewirtschaftung erosionsmindernde Maßnahmen wie die konservierende Bodenbearbeitung, der Zwischenfruchtanbau oder eine erosionsmindernde Landschaftsgestaltung vielerorts betrieblich notwendig.

Betriebsstrukturen

Die Größenstrukturen landwirtschaftlicher Betriebe liegen in Sachsen deutlich über dem gesamtdeutschen Durchschnitt. Bundesweit bewirtschafteten im Jahr 2010 nur 12,3 % der Landwirtschaftsbetriebe eine Fläche von mehr als 100 ha, im Freistaat Sachsen sind dies etwa 26,2 % aller Betriebe. Noch deutlicher zeigt sich das in der Bilanz der bewirtschafteten landwirtschaftlichen Nutzfläche: Bundesweit werden 56 % der landwirtschaftlichen Nutzflächen durch Betriebe mit einem Flächenbestand von mehr als 100 ha bewirtschaftet, in Sachsen sind es 89 % der Flächen (DESTATIS, 2010). Im Wesentlichen ist dies auf die Fortführung der Betriebsstrukturen der ehemaligen LPGs und deren wirtschaftlicher Aktivitäten als marktwirtschaftlich agierende Unternehmen zurückzuführen.

Tierhaltung

Die Tierbesatzzahlen sind im Bundesvergleich relativ niedrig. Mit einer flächenbezogenen Tierbesatzdichte von 0,51 GV/ha lag der Freistaat im Jahr 2016 unter dem Durchschnitt aller Bundesländer (0,78 GV/ha). Im Vergleich aller ostdeutschen Bundesländer weist der Freistaat jedoch die höchsten Werte auf (DESTATIS, 2017). Tierhaltung wird in allen Regionen betrieben, wobei Rinder in stärkerem Maße in den Regierungsbezirken Chemnitz und Dresden gehalten werden (Grünlandregionen) und im Regierungsbezirk Leipzig die Geflügelhaltung dominiert.

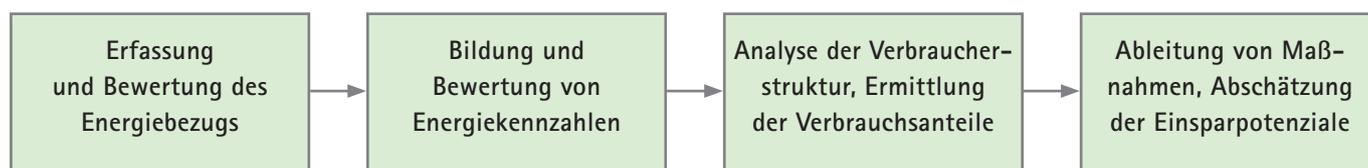
Biogaserzeugung

In Sachsen werden aktuell ca. 255 landwirtschaftliche Biogasanlagen mit einer installierten Gesamtleistung von ca. 105 MW betrieben (BRÜCKNER, 2017). Hier dominiert die Kofermentation der betrieblich anfallenden Wirtschaftsdünger zusammen mit nachwachsenden Rohstoffen. Mehr als 60 % der anfallenden Milchviehgülle wird bereits in Biogasanlagen energetisch verwertet, bei Schweinegülle und den Exkrementen sonstiger Rinder liegt der Nutzungsanteil bei jeweils ca. 22 % (RÖSEMANN ET AL., 2017).



3 Eigenanalyse des Energieverbrauchs in landwirtschaftlichen Betrieben

Eine eigenständige Analyse und Bewertung des betrieblichen Energieverbrauchs sollte stufenweise erfolgen und folgende Schritte umfassen:



Die einzelnen Arbeitsschritte sind nachfolgend detailliert erläutert.

3.1 Erfassung und Bewertung des Energiebezugs

Erster Schritt der Eigenanalyse des Energieverbrauchs ist die systematische Erfassung aller externen Energiebezüge im Unternehmen und die Umrechnung in eine für alle Energieträger gleiche Energieeinheit. Standard ist die Kilowattstunde (kWh). Für Brennstoffe sollte sich dieser Wert auf den Heizwert H_i (früher übliche Bezeichnung: unterer Heizwert, H_u) beziehen. Um betriebliche Veränderungen oder Witterungseinflüsse bewerten zu können, sollten die Daten mehrerer Jahre erfasst werden:

Bei speicherbaren Energieträgern, die im Unternehmen in Tanks oder Silos gelagert werden (HEL, Flüssiggas, Holzpellets o. Ä.), muss der tatsächliche Energieverbrauch im Betrachtungszeitraum aus dem Energiebezug und den Bestandsänderungen ermittelt werden. Bestandsänderungen sind i. d. R. händisch zu erfassen oder abzuschätzen. Bei leitungsgebundenen Energieträgern sind Bezugs- und Verbrauchsmenge identisch. Liegen mehrere Zählstellen im Unternehmen vor, ist es sinnvoll, die Bezugswerte aller Zähler tabellarisch zu erfassen und erst dann als Summenwert auszuweisen. Betreibt der Landwirtschaftsbetrieb eine eigene Biogasanlage und nutzt die BHKW-Abwärme selbst oder bezieht Abwärme aus einer solchen Anlage, die in direkter Nachbarschaft betrieben wird, sind entsprechende Wärmelieferungen zwingend mit in die Energiebilanz aufzunehmen.

Tabelle 3: Beispiel einer einfachen Erfassungsliste für den Energiebezug

Energieträger	Einheit	Faktor zur Umrechnung in kWh (H_i)	2015	2016	2017
Strom	kWh	1	480.560	524.734	501.233
	€		97.370	105.645	103.120
	€/kWh		0,203	0,201	0,206
Flüssiggas	Liter	6,57	39.376	36.459	35.730
	kWh	1	258.698	239.536	234.745
	€		24.413	18.594	18.937
Diesel	Liter	10,1	301.400	290.132	308.870
	kWh	1	3.044.140	2.930.333	3.119.587
	€		277.184	222.692	213.455
Summe	€/kWh		0,0911	0,0760	0,0684
	kWh	-	3.783.398	3.694.603	3.855.565
	€		398.967	346.931	335.511

Zur Orientierung sind nachfolgend Umrechnungsfaktoren der in Sachsen am häufigsten verwendeten Energieträger zusammengestellt:

Tabelle 4: Näherungsweise Heizwerte ausgewählter Energieträger

Energieträger	Heizwert Hi (bezogen auf praxisübliche Maßeinheit)
Heizöl (EL), Diesel	10,1 kWh/l
Erdgas (H)	10,4 kWh/Nm ³
Flüssiggas	6,57 kWh/l 12,87 kWh/kg
Biogas	5,0 – 7,5 kWh/m ³ **
Methan	9,97 kWh/m ³ **
Scheitholz	3.500 – 4.000 kWh/t
	Hartholz: 1.750 – 2.000 kWh/rm (m ³) Weichholz: 1.400 – 1.600 kWh/rm (m ³)
Holz hackschnitzel	3.500 – 4.000 kWh/t
	Hartholz: 945 – 1.080 kWh/srm (m ³) Weichholz: 700 – 800 kWh/srm (m ³)
Holzpellets	4.300 kWh/t
Miscanthushäcksel*	4.060 kWh/t
Stroh	3.500 bis 4.000 kWh/t
Strohpellets	4.900 kWh/t
Getreide	4.700 kWh/t
Rapsöl	10,2 kWh/kg 9,56 kWh/l
Braunkohlebriketts	6.000 kWh/t
Anthrazitkohle	9.000 kWh/t
(Nah-)Wärme	1 kWh/kWh

Datenquellen: VdLWK (2009), ergänzt; *KTBL (2012)* für 80 % Trockenmassegehalt; ** Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

Da der Heizenergieverbrauch von klimatischen Einflüssen abhängt, ist eine sogenannte Witterungsberichtigung der Bezugsdaten sinnvoll. Dadurch wird der Verbrauch verschiedener Jahre besser vergleichbar. Eine Hilfestellung für die Witterungsberichtigung von klimaabhängigen Daten ist unter nachfolgenden Link beschrieben:

www.saena.de/download/Kommunen/Hilfestellung_Witterungsberichtigung.pdf

3.2 Energiekennzahlen

Geeignete Energiekennzahlen bieten meist eine schnellere Orientierung über den Grad der Energieeffizienz und mögliche Einsparpotenziale als absolute Werte des betrieblichen Energieverbrauchs. Der entscheidende Vorteil liegt darin, dass Vergleiche über mehrere Jahre bzw. mit ähnlichen Betrieben auch bei unterschiedlichen Produktionsmengen möglich sind.

Zweckmäßige Bezugsgrößen sind:

- **Tierproduktion:** Tierplatzzahlen (TP) bzw. Anzahl der gehaltenen Tiere
- **Pflanzenproduktion:** Bewirtschaftete landwirtschaftliche Nutzfläche (ha)

Ineinergreifende Aktivitäten wie die betriebliche Futtermittelproduktion für die Tierhaltung sollten nicht über eine gemeinsame Kennzahl erfasst werden, da hierdurch eine Vergleichbarkeit mit Betrieben, die eine weniger ausgeprägte Eigenerzeugung von Futtermitteln aufweisen, nicht gegeben wäre. Praxisübliche, tierplatzspezifische Energieverbrauchskennzahlen für die Betriebszweige sind im Kapitel 4 beschrieben.

Zur Bildung spezifischer Kennzahlen im Bereich der Wärmeversorgung und -nutzung empfiehlt es sich, nach Brennstoffeinsatz einerseits und Nutzwärmeverbrauch andererseits zu differenzieren. Dies erlaubt es, neben Angaben zur eigentlichen Bedarfsstruktur von Gebäuden und Prozessen auch Aussagen zur Effizienz des Wärmeerzeugungssystems sowie der Verteileinrichtungen ableiten zu können (Nutzungsgrade, Verteilverluste etc.). Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass neben der Messung eingehender Energieströme zusätzliche Zählleinrichtungen installiert sind, die die Wärmeabgabe bei den Verbrauchern (Gebäude, Prozessstufe, Heizkreis etc.) erfassen.

Für die Bewertung des Dieselkraftstoffeinsatzes sind folgende Energiekennzahlen geeignet:

- **Flächenbewirtschaftung:** Liter/Hektar oder Liter/Betriebsstunde
- **Transportfahrten:** Liter/Kilometer oder Liter/Tonnenkilometer
- **Stationäre Zapfwellenarbeiten:** Liter/Betriebsstunde

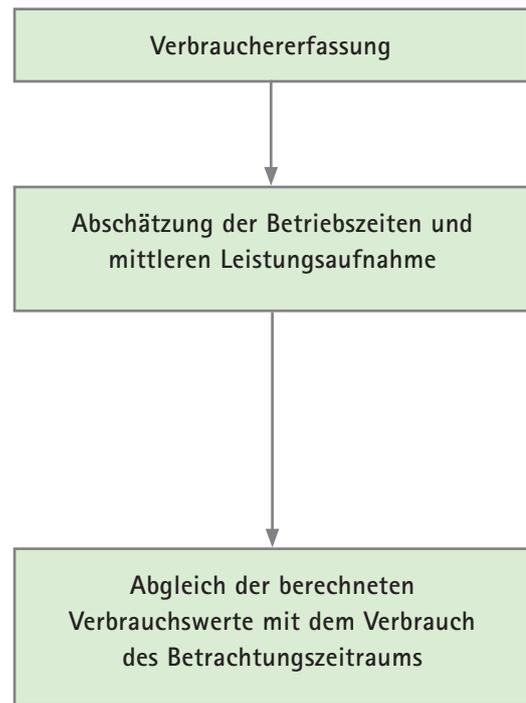
3.3 Verbraucheranalyse

3.3.1 Elektroenergieverbraucher

Erst die Kenntnis der Betriebszeiten und realen Leistungsaufnahme aller wesentlichen Elektroenergieverbraucher ermöglicht eine valide Analyse zum Anteil der einzelnen Komponenten am betrieblichen Gesamtstromverbrauch.

Folgende Schritte sind hierzu notwendig:

- Erfassung aller wesentlichen Elektroenergieverbraucher mit deren relevanten Kennwerten (Art und Anzahl, Anschlussleistung, elektrische und mechanische Leistung bei Antriebsmotoren, Typenschildangaben)
- Abschätzung der Betriebszeiten aller Verbraucher, wenn vorhanden unter Nutzung der Werte von Betriebsstundenzählern
- Abschätzung der mittleren elektrischen Leistungsaufnahme im Betriebsfall unter Berücksichtigung einer möglichen Überdimensionierung bzw. der tatsächlichen Auslastung sowie drehzahlvariabler Fahrweise bei Motoren
- Abschätzung der Gleichzeitigkeit des Betriebs identischer Verbraucher (z. B. Leuchten, Kompressoren, Pumpen)
- Abgleich des rechnerisch ermittelten Jahresverbrauchs mit dem Abrechnungswert des Referenzjahres; falls Unterzähler vorhanden sind: Abgleich der Daten der angeschlossenen Verbraucher mit diesen Zählerwerten
- ggf. Anpassung der Ansätze zu den Betriebsstunden und Lastfaktoren



Die Hochrechnung des Jahresstromverbrauchs aller elektrischen Verbraucher anhand deren Laufzeiten und üblicher bzw. gemittelter elektrischer Leistungsaufnahmen sollte mit einer Genauigkeit von $\pm 5 - 10\%$ den abgerechneten Jahresverbrauch ergeben. Ist dies der Fall, bietet der abgeschätzte Verbrauch der elektrischen Komponenten eine hinreichend belastbare Ausgangsbasis zur Ermittlung absoluter Einspareffekte von Effizienzmaßnahmen.

Eine einfache Elektroenergie-Verbraucherliste als Vorlage für eine Erfassung ist als Anhang 1 beigelegt. Es empfiehlt sich, die einzelnen Verbraucher definierten Verbraucherguppen zuzuordnen, um den Stromverbrauch auch auf Prozessebene auswerten und mit Literaturangaben vergleichen zu können (vgl. KTBL, 2014 a/b). Nachfolgende Tabelle 5 zeigt Empfehlungen möglicher Verbraucherguppen in Anlehnung an die vom KTBL (ebd.) verwendete Systematik.

Tabelle 5: Typische Elektroenergie-Verbraucherguppen nach KTBL (2014 a/b), ergänzt

Schweinehaltung	Milchviehhaltung	Geflügelhaltung	Verwaltungs- und Sozialgebäude, Lager und Werkstätten
Lüftung	Zusatzbelüftung	Lüftung	Lüftung und Klimatisierung
Stallbeleuchtung	Stallbeleuchtung	Stallbeleuchtung	Beleuchtung
Fütterung	Fütterung	Fütterung	-
Entmistung	Entmistung	Entmistung	-
Reinigung	-	Reinigung	Reinigung
Betriebsstrom Heizung	(Frostschutzheizung)	-	Betriebsstrom Heizung/Warmwasserbereitung
Infrarotlampen Ferkelnester	Milchgewinnung	Eiersortiertechnik	Haushaltsgeräte, Werkzeuge, Druckluftanlagen
Futteraufbereitung	Milchkühlung	-	Büro- und Rechentechnik (PC, Notebooks, Server, Telekommunikation, Drucker, Kopierer)

Fehler vermeiden

Bei der Eigenerfassung von Elektroenergieverbrauchern durch den Anlagenbetreiber sind in der Praxis für elektrische Antriebe und Beleuchtungsanlagen drei Fehler häufig anzutreffen:

Fehler 1: Leistungsangaben bei Elektromotoren

Oft wird der Stromverbrauch des Elektromotors einfach über die auf dem Typenschild angegebene Nennleistung ermittelt. Multipliziert mit der geschätzten Betriebsstundenzahl erhält man ein vermeintlich hinreichend genaues Ergebnis.

Dieser Ansatz enthält jedoch unzulässige Vereinfachungen, was am Beispiel des Typenschildes eines Drehstrommotors in Abbildung 5 verdeutlicht werden soll:

- Die angegebene **Nennleistung** von 2,2 kW entspricht der **mechanischen Wellenleistung**. Beachte: Der für die Berechnung notwendige Wert der elektrischen Leistungsaufnahme des Motors im Nennpunkt bestimmt sich über dessen **elektrischen Wirkungsgrad** von 85,3 %.
- Bei der Planung werden häufig deutliche Leistungsreserven vorgesehen und auch so umgesetzt. Überdimensionierte Motoren laufen im realen Betrieb in Unterlast und nehmen damit weniger Leistung auf. Praxisübliche **Lastfaktoren** von Motoren liegen zwischen 50 und 95 %.

Korrektur Ansatz:

Die **elektrische Nennleistung** berechnet sich aus der auf dem Typenschild angegebenen Nennleistung und dem Wirkungsgrad:

$$\text{Nennleistung (kW) / Wirkungsgrad (\%)} = \text{Elektrische Nennleistung (kW)}$$

$$2,2 \text{ kW} / 85,3 \% = 2,58 \text{ kW}$$

Unterstellt man in unserem Beispiel eine Auslastung von 70 %, berechnet sich die tatsächliche **elektrische Leistungsaufnahme** wie folgt:

$$\text{Elektrische Nennleistung (kW)} \times \text{Lastfaktor (\%)} = \text{Elektrische Leistungsaufnahme (kW)}$$

$$2,58 \text{ kW} \times 70 \% = 1,8 \text{ kW}$$

Nicht immer enthält das Typenschild alle Angaben wie in unserem Beispiel. Sowohl die elektrische Nennleistung als auch der Wirkungsgrad lassen sich dann aus den angegebenen Werten zur Betriebsspannung (in V), zum Nennstrom (in A) und der Phasenverschiebung $\cos\phi$ berechnen.

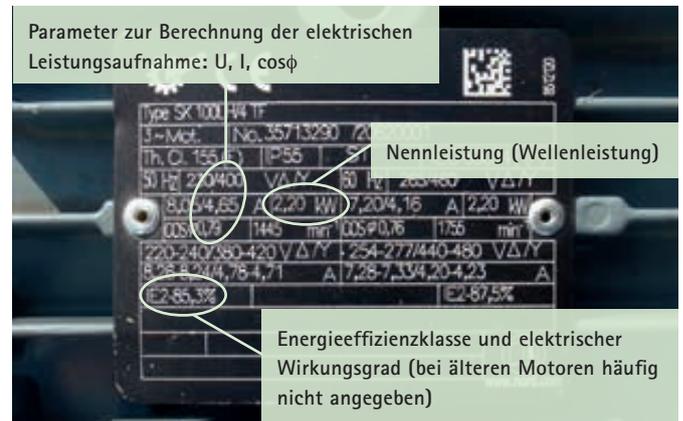


Abbildung 5: Beispielhaftes Typenschild eines Asynchronmotors

Tabelle 6: Berechnung von Leistungs- und Wirkungsgradangaben von Elektromotoren

Parameter	Formel und Beispielberechnung für den Motor aus Abbildung 5
Elektrische Nennleistung (kW)	$= \text{Betriebsspannung (V)} \times \text{Nennstrom (A)} \times \text{Phasenverschiebung } \cos\phi \times \sqrt{3} / 1.000 \text{ (W/kW)}$ $= 400 \text{ V} \times 4,65 \text{ A} \times 0,79 \times 1,73 / 1.000 \text{ W/kW}$ $= 2,55 \text{ kW}$
Elektrischer Wirkungsgrad (%)	$= \text{Nennleistung (kW)} / \text{Elektrische Nennleistung (kW)} \times 100 \text{ (\%)}$ $= 2,2 \text{ kW} / 2,55 \text{ kW} \times 100 \text{ \%}$ $= 86,4 \text{ \%}^*$

* Abweichung zur Herstellerangabe in Abbildung 5 begründet sich in gerundeten Typenschildangaben

Sind Maschinen aus mehreren Komponenten aufgebaut, entspricht die angegebene Leistung i. d. R. der tatsächlichen elektrischen Anschlussleistung. Das gilt z. B. auch für Ventilatoren und Nassläuferpumpen. Ist nicht eindeutig erkennbar, ob es sich bei der Typenschildangabe um die mechanische oder elektrische Leistung handelt, sollte beim Hersteller nachgefragt werden. Liegen keine konkreten Angaben zu Elektromotoren vor oder sind Typenschildangaben nicht eindeutig interpretierbar, unlesbar oder nicht vorhanden, können die Effizienzklassen mit den zugehörigen Wirkungsgraden anhand der Baujahre der Motoren angenommen werden. Nachfolgende Abbildung 6 stellt elektrische Mindestwirkungsgrade für Motoren in einem Leistungsbe- reich zwischen 0,1 und 1.000 kW für die unterschiedlichen Effizienzklassen nach der Norm DIN EN 60034-30-1:2014-12 dar. Für Antriebsmotoren mit einer Nennleistung zwischen 0,75 und 375 kW ist von Herstellerseite derzeit Effizienzklasse IE3 verpflichtend (alternativ: IE2 plus Frequenzumrichter bei drehzahlvariablem Betrieb).

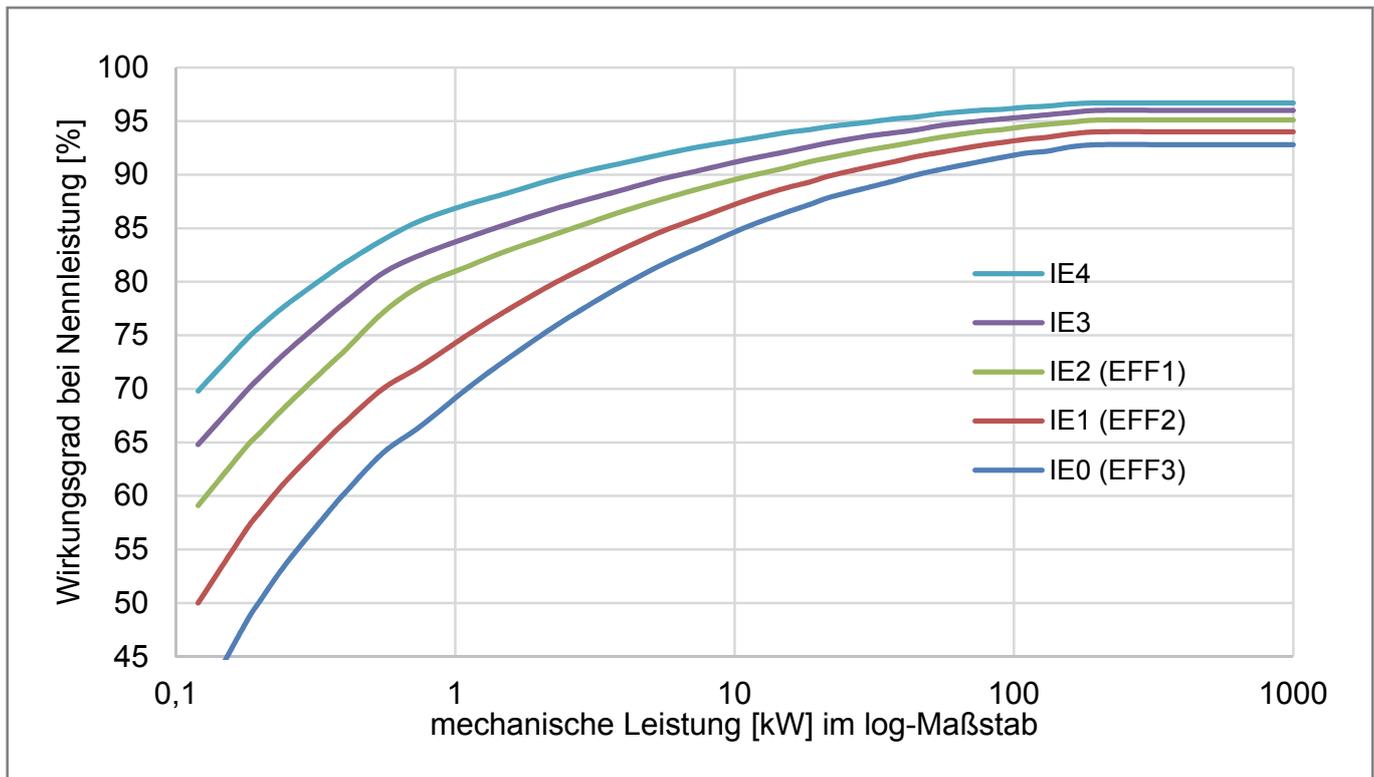


Abbildung 6: Mindestwirkungsgrade für die Energieeffizienzklassen IE1–4 für Elektromotoren mit vier Polen (50 Hz) nach IEC 60034–30–1 sowie Richtwerte für Altmotoren (EFF3) nach topmotors.ch (2014)

Mit besonderem Augenmerk auf den linken Bereich der Kurvenverläufe wird schnell klar, dass gerade im kleinen Leistungsbe- reich große Effizienzpotenziale schlummern. Stand der Technik ist inzwischen die Energieeffizienzklasse IE 4.

Fehler 2: Leistungsangaben bei Kältemittelkompressoren und Kälteanlagen

Die elektrische Leistungsaufnahme P einer Kälteanlage (Verdichter und Ventilatoren) darf nicht mit der spezifizierten Kälteleistung Q_0 verwechselt werden. Typenschilder von Kältemittelverdichtern enthalten i. d. R. keine elektrischen Leistungsangaben, sondern spezifizieren Stromaufnahmen maximal zulässiger Betriebszustände. Elektrische Anschlussleistungen beziehen sich analog auf maximal mögliche Werte. Aus diesem Grund sollte die elektrische Leistungsaufnahme des Kältemittelverdichters für die tatsächlich eingestellten Betriebsparameter (Verdampfungs- und Kondensationsdruck) betrachtet werden. Diese Werte sind Datenblattangaben oder der Auslegungssoftware der Hersteller zu entnehmen oder direkt beim Hersteller zu erfragen.

Fehler 3: Leistungsangaben bei Beleuchtungsanlagen

Bei der Erfassung der installierten Leistung von Entladungslampen (Leuchtstoffröhren, Hochdruckentladungslampen) wird in der Praxis **häufig nur die für das Leuchtmittel angegebene Nennleistung** berücksichtigt. Nicht erfasst wird die zusätzliche Verlustleistung des verwendeten Vorschaltgeräts. Eine korrekte Berechnung muss die **Systemleistung** berücksichtigen, die sich aus der Nennleistung des Leuchtmittels und der Verlustleistung

des Vorschaltgeräts zusammensetzt. Beispiele für Systemleistungen typischer Entladungslampen:

- 58-W-Leuchtstoffröhre an einem konventionellen Vorschaltgerät (KVG): 70–75 W
- 250-W-Hochdruckentladungslampe an einem verlustarmen Vorschaltgerät (VVG): 275–285 W
- 400-W-Hochdruckentladungslampe an einem verlustarmen Vorschaltgerät (VVG): 425–440 W

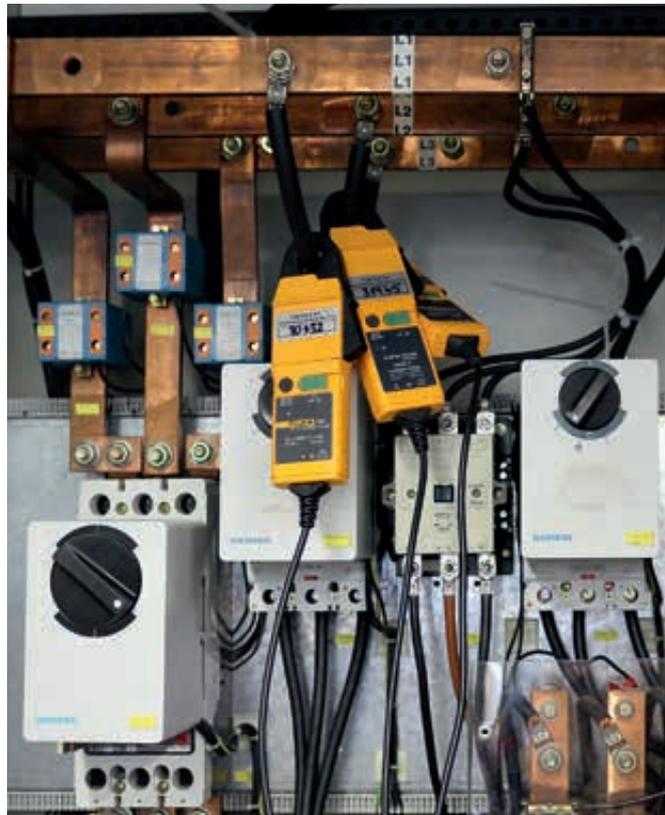
Hinweis: Magnetische Vorschaltgeräte (KVG/VVG) erkennt man bei Leuchtstoffröhren an dem eingebauten Starter. Eine andere Testmöglichkeit besteht darin, Leuchten mit einer Digitalkamera zu betrachten. Flackert das Licht auf dem Display, wird die Leuchte an einem magnetischen, anderenfalls an einem elektronischen Vorschaltgerät (EVG) betrieben.

Grundsätzlich gilt:

Laufen Maschinen und Anlagen in Abhängigkeit von Betriebsparametern nicht dauerhaft bzw. unter einer variablen Last, ist eine »Typenschild-Berechnung« problematisch. Hier ist eine zeitlich begrenzte Messung zu empfehlen. Das gilt z.B. für die bereits angesprochene Milchkühlung. Hier sind die Einlauf- und Zieltemperatur der Milch sowie die Zulufttemperatur am Kondensator für die Betriebsdauer und den Lastfaktor maßgeblich. Abbildung 7 zeigt beispielhaft den Messaufbau mit einem mobilen Leistungsmessgerät. Bei der Wahl des Messzeitraums ist es



Abbildung 7: Anschluss mobiler Strommesszangen an einen Verbraucher



wichtig, exemplarisch einen typischen Produktionszyklus zu wählen (bspw. eine Produktionswoche von sieben Tagen), sodass bei der anschließenden Hochrechnung auf ein Jahr der Jahresenergieverbrauch realitätsnah ermittelt werden kann.

3.3.2 Brennstoffverbraucher

Bei Einzelkesseln oder zusammengehörigen Kesselanlagen lässt sich der Brennstoffbezug ohne weitere Differenzierung einem vorhandenen Verbraucher zuordnen. Schwieriger gestaltet es sich, wenn ermittelt werden soll, wie sich der Brennstoff- bzw. Wärmeverbrauch auf unterschiedliche Nutzungsbereiche (z. B. Gebäude, Gebäudeteile, Heizung oder Warmwasserbereitung) aufteilt. Wenn keine Wärmemengenzähler installiert sind, lässt sich der Wärmeverbrauch versorgter Bereiche oft nur über deren Flächenverhältnisse oder Annahmen zum Nutzerverhalten (z. B. Warmwasserbedarf) und den Kesselnutzungsgraden abschätzen.

3.3.3 Kraftstoffverbraucher

Für die betriebliche Fahrzeugtechnik empfiehlt sich im Vorfeld einer betrieblichen Eigenanalyse des Energieverbrauchs eine fahrzeugkonkrete Erfassung folgender Kennwerte (z. B. über Tankbücher an der betriebseigenen Tankstelle):

- Betankungsmenge
- Kilometerstand bei der Betankung
- Betriebsstunden bei der Betankung (falls im Fahrzeug erfasst)

Damit können der Gesamtverbrauch exakt den einzelnen Verbrauchern zugeordnet und spezifische Verbrauchskennzahlen gebildet werden (l/100 km, l/Betriebsstunde, l/ha). Flächenbezogene spezifische Kennzahlen (l/ha) für durchgeführte Arbeiten mit der zugehörigen Schlepper-Geräte-Kombination und dem jeweiligen Fahrer stellen eine wertvolle Basis für eine Optimierungsbetrachtung dar.

3.4 Elektrische Lastganganalysen

Die Reduzierung von Energiekosten kann durch **Optimierung vertraglicher Regelungen, Anpassung des Abnahmeverhaltens** sowie durch **Senkung des eigentlichen Strombedarfs** erfolgen. Nachfolgende Ausführungen betrachten ausschließlich die Möglichkeiten, durch angepasste Betriebszeiten elektrischer Verbraucher die **Kosten** für leistungsbezogene Preiskomponenten zu reduzieren. Möglichkeiten zur Verringerung des Energieverbrauchs werden im Abschnitt 4 ausführlich beschrieben. Gewerbliche Kunden mit einem Jahresstromverbrauch von mehr als 100.000 kWh bzw. einer Spitzenleistung über 30 kW werden i. d. R. vom Stromnetzbetreiber über eine »Registrierende Leistungsmessung« (RLM) erfasst, die den Stromverbrauch (kWh) bzw. mittleren Wirkleistungsbezug (kW) in Viertelstundenwerten mit-schreiben. Diese Daten können i. d. R. kostenfrei abgerufen werden. Die gemessenen Leistungs- und Verbrauchswerte gehen in die Berechnung der Entgelte für die Netznutzung ein. Die Höhe der Leistungs- und Arbeitspreise für die Netznutzung wird vom Netzbetreiber festgelegt und ist abhängig von der Spannungsebene

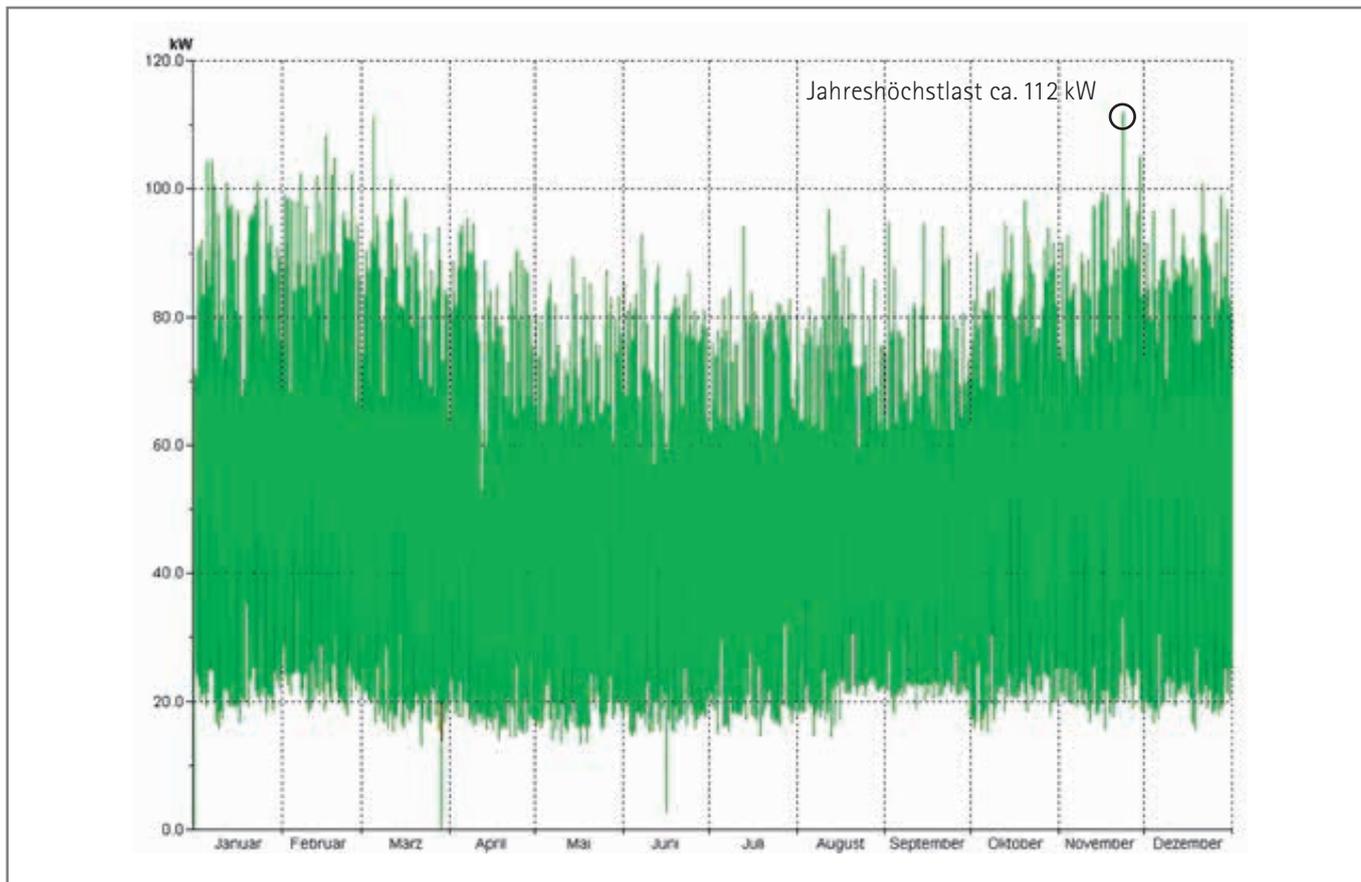


Abbildung 8: Ungeordneter Jahresgang des elektrischen Wirkleistungsbezugs (»Lastgang«) eines modernen Milchviehbetriebs

der Stromversorgung und dem Installationsort des Zählers bei Anschluss über einen Transformator. Grundlage für die Abrechnung der Jahreskosten ist der höchste gemessene Viertelstundewert des Abrechnungsjahres sowie der Gesamtstromverbrauch. Nachfolgende Abbildung 9 verdeutlicht die Strompreisbestandteile eines typischen Landwirtschaftsbetriebs im Jahr 2015. Das Unternehmen wird über ein Ortsnetz niederspannungsseitig versorgt.

Es ist erkennbar, dass die Kosten für den eigentlichen Strombezug nur etwa ein Drittel der Gesamtkosten ausmachen (Arbeitspreis Strom), die anderen Kostenbestandteile sind Netznutzungsentgelte (Arbeits- und Leistungspreis Netznutzung) sowie Steuern, Abgaben und Umlagen, die mit den Netznutzungsgebühren verrechnet werden. In diesem Fall betragen die Kosten für die bereitgestellte Wirkleistung etwa 19 % der Gesamtkosten. **Nur dieser Preisbestandteil ist durch ein angepasstes und optimiertes Abnahmeverhalten durch den Stromkunden beeinflussbar, ohne bereits Maßnahmen zur Energieeinsparung durchführen zu müssen.**

Die Preise für die Netznutzungskomponenten (Leistungs- und Arbeitspreisanteil) richten sich nach der Jahresbenutzungsdauer. Diese wird ermittelt, indem der Jahresverbrauch (kWh) durch die Jahreshöchstlast (kW) geteilt wird. Ab einer Höhe von 2.500 Benutzungsstunden werden geringere Arbeits- und höhere Leistungspreise berechnet. Je nach Entnahmepunkt/Spannungsebene fallen unterschiedliche Netznutzungsentgelte an. Mit zunehmender Entfernung zum Transportnetz steigen diese Kosten, beispielhaft dar-

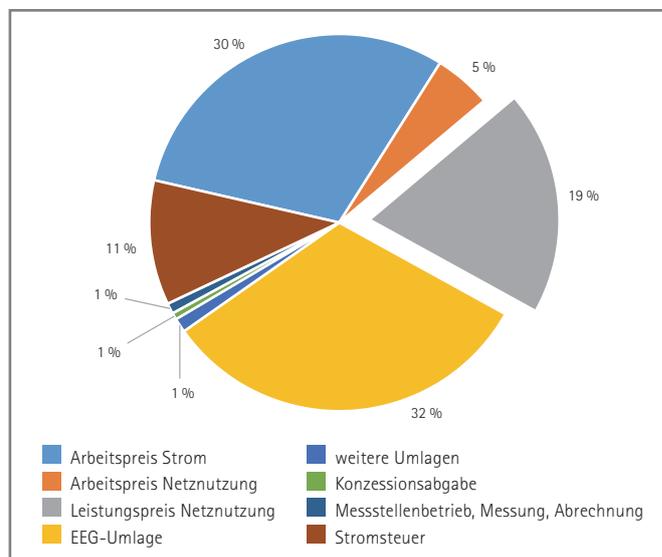


Abbildung 9: Strompreisbestandteile eines Landwirtschaftsbetriebs mit ca. 400.000 kWh Jahresverbrauch im Jahr 2015

gestellt für das Netzgebiet der ENSO Netz GmbH, siehe Tabelle 7, für eine Jahresbenutzungsdauer von 2.500 Stunden oder mehr. Der Bezug von Blindarbeit (kvarh) ist bis zu einem verbrauchsabhängigen Sockelbetrag kostenfrei. Dieser beträgt i. d. R. 50 % der im Hochtarif bezogenen Wirkarbeit. Nur bei Überschreitung dieses Wertes wird Blindarbeit mit der Differenz zum Freibetrag von Netzbetreiber zusätzlich in Rechnung gestellt.

Tabelle 7: Leistungs- und Arbeitspreise Netznutzung Strom für unterschiedlichen Anschlussebenen, Quelle: ENSO NETZ (2017) für 2017 (Jahresbenutzungsdauer von 2.500 h/a oder mehr)

Position	Einheit	Netzanschluss Umspannebene MS/NS, Messung NS	Netzanschluss und Messung NS	Netzanschluss Umspannebene HS/MS, Messung MS	Netzanschluss und Messung MS
Arbeitspreis	ct/kWh	0,84	1,77	0,35	1,28
Leistungspreis	€/(kW * a)	152,97	135,80	124,24	109,6

HS – Hochspannung, MS – Mittelspannung, NS – Niederspannung

Es leiten sich folgende grundsätzlichen Ansätze für eine Kostenoptimierung ab:

- Wechsel der Spannungsebene bzw. des Messpunktes, z. B. durch Installation eines eigenen Mittelspannungstransformators und Messung auf der Mittelspannungsseite
- Reduzierung der Höchstlast (Veränderung von Betriebszeiten der Verbraucher oder Einsatz eines automatischen Lastmanagementsystems)
- Installation einer Blindstromkompensationsanlage

Bei einer Verlagerung des Installationsortes des Zählers in eine höhere Spannungsebene ist zu beachten, dass sich hierdurch der Stromverbrauch erhöht, weil Trafo-Verluste zusätzlich mit erfasst werden.

Anleitung zur vereinfachten Analyse des elektrischen Lastgangs

Eine Eigenanalyse des elektrischen Lastgangs durch den Landwirtschaftsbetrieb dient im Wesentlichen der Klärung dieser Fragen:

- Welche Verbraucher oder Verbrauchergruppen haben maßgeblichen Anteil an dieser Leistungsspitze?

- Sind größere, einzelne Lastspitzen durch außergewöhnliche, unvorhergesehene Umstände zu erklären?
- Lassen sich vergleichbare Leistungsspitzen durch organisatorische Maßnahmen verhindern oder zumindest reduzieren (Veränderung von Einschalt- und Betriebszeiten elektrischer Verbraucher)?
- Welche Verbraucher könnten technisch geeignet sein, durch kurzzeitige Abschaltung bzw. Leistungsreduzierung derartigen Leistungsspitzen entgegenzuwirken (automatisches Lastmanagementsystem)?

In einem ersten Schritt ist zu ermitteln, wie häufig und mit welcher Höhe Lastspitzen im Jahresverlauf auftreten. Hierfür kann die Sortierfunktion üblicher Tabellenkalkulationsprogramme angewendet werden. Zu beachten ist, ob die Messwerte als Leistung oder Arbeit im Zeitintervall ausgewiesen sind. Verbrauchsangaben aus einer Viertelstundenaufzeichnung müssen mit Faktor 4 in Leistungswerte umgerechnet werden: 1 kWh entspricht demnach 4 kW Leistungsbezug.

Trägt man die geordneten Leistungswerte gegen die Stunden-summe als sogenannte »geordnete Jahresdauerlinie« auf, erhält man eine visuell leicht bewertbare Grafik, siehe nachfolgende Abbildung 10:

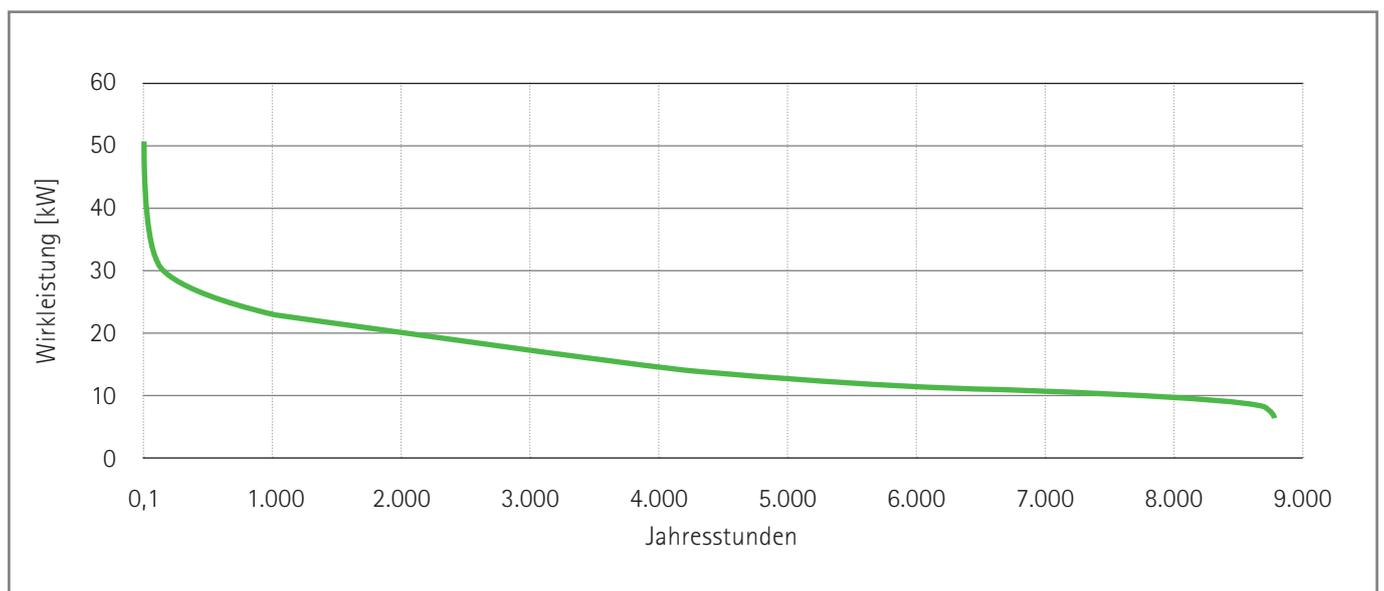


Abbildung 10: Geordnete Jahresdauerlinie des Wirkleistungsbezuges eines Praxisbetriebs

Aus den geordneten Leistungswerten kann relativ einfach ersehen werden, in welcher Höhe und mit welcher kumulativen Dauer Leistungsspitzen auftreten, unabhängig davon, ob diese Spitzen in einem zusammenhängenden Zeitraum oder zu unterschiedlichen Zeitpunkten auftreten. Im oben genannten Beispiel überschreitet der Wirkleistungsbezug an nur 13 Stunden im Jahr einem Wert von 40 kW. Werte über 45 kW treten nur an 2,25 Stunden bzw. neun Viertelstunden auf. Weiterhin besteht in allen gängigen Tabellenkalkulationsprogrammen eine Filterfunktion, mit der das konkrete zeitliche Auftreten relevanter Lastspitzen einfach zu ermitteln und damit problemlos bewertbar ist.

Je steiler der Anstieg des Kurvenverlaufs im linken Teil der Grafik, desto höher ist das Potenzial einer Kostenoptimierung. Voraussetzung ist jedoch, dass die maßgeblich verantwortlichen Elektroenergieverbraucher zeitversetzt betrieben werden könnten, ohne die betrieblichen Prozesse einzuschränken. Jährliche Kosteneinsparpotenziale bei einer dauerhaften Vermeidung der Lastspitzen ergeben sich entsprechend des konkreten betrieblichen Leistungspreises (vgl. hierzu Tabelle 7). Um Leistungsspitzen wirksam vermeiden zu können, muss zunächst ermittelt werden, welche Verbraucher hierfür maßgeblich verantwortlich sind. Folglich sind die genauen Betriebszeiten wesentlicher elektrischer Komponenten zu analysieren. Die Durchführung temporärer Leistungsmessungen an großen Maschinen und Anlagen gibt Aufschluss über den tatsächlichen Leistungsbedarf und die reale Auslastung dieser Aggregate.

Fazit: Einfache Lastganganalysen mit üblicher Tabellenkalkulationssoftware ermöglichen eine Potenzialabschätzung, inwieweit Änderungen in der Betriebsführung elektrischer Verbraucher zu einer Kostensenkung beitragen könnten. Dafür müssen die festgelegten Betriebszeiten periodisch arbeitender Stromverbraucher und die Laufzeiten von Sonderverbrauchern zunächst dokumentiert werden. Anschließend werden die Laufzeiten auf mögliche Verlagerungen geprüft.

3.5 Ableitung von Maßnahmen

Die Ermittlung von Maßnahmenansätzen und konkreten Einsparpotenzialen nach erfolgter Bestandsanalyse stellt das eigentliche Ziel einer Energieeffizienzuntersuchung dar. Sinnvolle Ansätze lassen sich durch Klärung folgender Fragen finden:

- Lässt sich durch organisatorische Maßnahmen oder durch Sensibilisierung der Mitarbeiter ein unnötiger Energieverbrauch senken?
- Wie ist der Stand der Technik im Neubaubereich?
- Welche Technologien haben sich bei Betrieben in der Nachbarschaft bewährt und dort zu realen Einsparungen beigetragen?

- Welche Empfehlungen werden von unabhängigen Institutionen, Verbänden oder Beratungsstellen gegeben?

Eine Auswahl praxisüblicher Maßnahmen für die wesentlichen Betriebszweige ist im Kapitel 4 beschrieben.

Bei allen Einsparmaßnahmen sind jedoch die Anforderungen zu beachten, die sich aufgrund gesetzlicher Randbedingungen oder dem Tierwohl und der Leistungsfähigkeit der Tiere ergeben. Dementsprechend ist z. B. bei Maßnahmen im Bereich der Beleuchtung durch qualifizierte Berechnungen sicherzustellen, dass die geforderten Mindestbeleuchtungsstärken und Helligkeitsverteilungen eingehalten werden.

Einsparberechnungen von Herstellern von Effizienztechnologien sollten vom Betreiber kritisch geprüft und im besten Fall über Referenzprojekte oder Vergleichsangaben anderer Hersteller verifiziert werden. Die Besichtigung von Referenzanlagen und das Gespräch mit den Betreibern solcher Anlagen können das Risiko überhöhter Einsparerwartungen mindern.

Im Zuge der wirtschaftlichen Bewertung sollten folgende Grundsätze befolgt werden:

- In einem wirtschaftlichen Vergleich von Maßnahmen mit einer Bestandslösung sind neben den Energie- und Investitionskosten auch weitere Lebenszykluskosten wie Wartung und Instandsetzung, Ersatzinvestitionen oder Finanzierungskosten zu berücksichtigen.
- Bei Investitionen mit längerer Nutzungsdauer sollten Preissteigerungen mit betrachtet werden, wobei die Energiepreissteigerung etwas höher als die allgemeine Preisentwicklung angenommen werden kann.
- Die statische Amortisationszeit ist eine gute Bewertungsgröße für Maßnahmen mit geringer Nutzungsdauer. Bei Maßnahmen mit längerer Nutzungsdauer sollte diese Größe durch den internen Zinsfuß oder den Kapitalwert der Investition ergänzt werden.

3.6 Einbeziehung externer Beratungskompetenz

Der Prozess der betrieblichen Energieanalyse kann durch einen qualifizierten Energieberater unterstützt oder im Rahmen einer Energieberatung vollständig durch externe Beratungskompetenz erfolgen. Eine Qualitätssicherung einer solchen Beratung ist gegeben, wenn sich diese an den Normvorgaben der DIN EN 16247-1 zur Durchführung eines Energieaudits orientiert. Nachfolgend sind die wesentlichen Elemente eines solchen Energieaudits mit deren praktischen Inhalten beschrieben:

Tabelle 8: Struktur und Elemente eines Energieaudits nach DIN EN 16247-1

Element des Energieaudits	Wesentliche Inhalte
Einleitender Kontakt	Gegenseitiges Kennenlernen und Klärung der Erwartungshaltung, Festlegung des Auditumfangs und der Schwerpunktsetzung, Austausch wesentlicher Informationen, Klärung eventueller Fördermodalitäten für die Beratung
Auftaktbesprechung	Abstimmung der praktischen Ausgestaltung des Energieaudits, Klärung von Verantwortlichkeiten und Ansprechpartnern, Terminablaufplanung, Präzisierung der Bearbeitungsschwerpunkte
Datenerfassung	Erfassung aller relevanten Verbrauchs- und Bestandsdaten sowie Informationen zur Organisationsstruktur und wesentlichen Kennzahlen
Außeneinsatz/Ortsbegehung	Begehung der zu betrachtenden Objekte, Erfassung zusätzlicher Bestandsdaten, Befragung des Betriebspersonals, Durchführung temporärer Energieverbrauchs- und Betriebszustandsmessungen
Analyse	Auswertung aller erhobenen und übergebenen Daten und Informationen, Ableitung und Bewertung von Verbesserungspotenzialen
Berichterstellung	Dokumentation der Bestandssituation und der Auditergebnisse inklusive der Beschreibung und Bewertung von Effizienzmaßnahmen
Abschlussbesprechung	Präsentation und Erläuterung des Berichts und der Ergebnisse beim Auftraggeber

Im Rahmen eines extern durchgeführten Energieaudits werden somit die in den Kapiteln 3.1 bis 3.5 beschriebenen Punkte betrachtet. Die Ergebnisse werden in standardisierter Berichtsform dem Auftraggeber zur Verfügung gestellt und im Rahmen einer Abschlussbesprechung erläutert. Ein wesentliches und häufig qualitätssteigerndes Element einer solchen Beratung ist die Durchführung energiebezogener Messungen. Diese tragen zur Verbesserung der Erfassungsgüte der Verbraucherstruktur und der Ermittlung des realen Betriebsverhaltens elektrischer Komponenten bei. Weiterhin können durch temporäre Messungen Wärme- und Kältemengen, Durchflussraten oder Temperaturprofile bestimmt werden.

Die Energieberatung bietet einen Mehrwert für das Unternehmen, wenn folgende Aspekte durch die Berater erfüllt werden; sie:

- verfügen über Messtechnik, um Energieverbrauchs- oder Zustandsgrößen zu erfassen und aufzuzeichnen (z. B. Abtastung mechanischer Energiezähler, elektrische Leistungsmesstechnik, Ultraschallmesstechnik für Durchfluss- und Wärmemengenmessungen, Temperaturdatenlogger, Druckluftleckage-Messgeräte, Infrarotkameras) und Fachsoftware zur Datenauswertung und für Auslegungsberechnungen.

- bringen Erfahrungswerte aus anderen Beratungen und Branchen mit und sind mit dem Stand der Technik vertraut.
- sind herstellerunabhängig und können demzufolge technologieoffen beraten.
- können für bestimmte Förderprogramme gelistet sein und erfüllen damit Voraussetzungen für die fachliche Bewertung von Fördermaßnahmen.

Nicht zu unterschätzen ist die Tatsache, dass bei einer Bearbeitung durch externe Personen eine mögliche »Betriebsblindheit« für interne Abläufe, Prozeduren und Sollwertvorgaben auszuschließen ist. Vielmehr können ineffiziente Abläufe oder organisatorische Aspekte im Rahmen eines Energieaudits erkannt und Verbesserungsvorschläge erarbeitet werden. Auch Kenntnis und Erfahrungen im Umgang mit Förderprogrammen sprechen für die Einbindung externer Energieberater.

Im Anhang sind eine Liste aktuell gültiger Förderprogramme mit deren Bedingungen und eine Übersicht der in Sachsen beim BLE gelisteten »Sachverständigen für die landwirtschaftliche Energieberatung« beigefügt.



Abbildung 11: Messtechnikeinsatz bei der Energieberatung (Ultraschall-Durchfluss-/Wärmemengenmessgerät)

4 Energieeinsatz in den Betriebszweigen

4.1 Milchviehhaltung

4.1.1 Energiekennzahlen

In der Milchviehhaltung ist Elektroenergie der dominierende Energieträger. In der Literatur werden hierfür mittlere Bedarfs- werte in einem Bereich zwischen 400 und 640 kWh/(TP*a) be- nannt, wie nachfolgende Tabelle 9 zeigt.

Tabelle 9: Literaturübersicht zum spezifischen Energieverbrauch in der Milchviehhaltung, Angaben in kWh/(TP*a) bzw. kWh/(Kuh*a)

Quelle	VdLKW (2009)	LfL (2007 a)	JÄKEL (2003)	KTBL (2014 a)	NESER (2014)
Kommen- tar	Praxis- werte NRW	Praxiswerte Sachsen (ohne Nachzucht)	Praxiswerte Sachsen	Modellkal- kulation (ohne Nachzucht)	Praxiswerte Bayern
Tierplätze	-	Ø 723	< 200 - > 600	64 - 1.200	< 20 - > 100
Mittel- wert	400	ca. 470	537	437	640
Streu- breite	-	-	253 - 1.200	317 - 514	69 - 1.694

Die Praxiswerte unterliegen einer großen Streubreite, was auf unterschiedliche Bedingungen in den Betrieben zurückzuführen ist. Die spezifischen Verbrauchswerte sinken i. d. R. mit steigen- den Tierzahlen. Beim Einsatz automatischer Melksysteme steigt der Elektroenergiebedarf tendenziell an, worauf insbesondere die Auslastung dieser Systeme und die Anzahl der notwendigen Zwischenspülungen einen erheblichen Einfluss haben (KTBL, 2014 a).

4.1.2 Anforderung an die Verfahrensgestaltung mit Einfluss auf den Energieverbrauch

Wesentliche Auswirkungen auf den Energieverbrauch bei der Stallhaltung von Kühen haben folgende Parameter:

- **Beleuchtung:** Licht beeinflusst nachweislich – vor allem über die Stimulation und Regulation der Ausschüttung von Hormonen – das Wachstum und die Leistungsfähigkeit von Kühen. Aus Sicht des Tierschutzes ist bei der Stallhaltung von Kühen eine Beleuchtungsintensität und Beleuchtungs-

dauer sicherzustellen, die zur Deckung ihrer Bedürfnisse ausreichend ist (TierSchNutzTV, 2001). Nur für die Kälber- haltung werden in dieser Verordnung konkretere Vorgaben definiert (80 lx möglichst gleichmäßig im Aufenthaltsbe- reich für mindestens 10 h/d). Zusätzlich sind andere norma- tive Regelungen zu beachten, die sich auf Arbeitsschutz- aspekten des Menschen beziehen. Um eine wirkungsvolle Verbesserung von Milchleistung und Fruchtbarkeit zu errei- chen, werden sogenannte »Lichtregime« empfohlen. Dabei soll laktierenden Kühen ein »langer Frühlingstag« simuliert werden, wozu über 16 Stunden eine Beleuchtungsstärke von mindestens 200 lx anzustreben ist. Trockensteher hin- gegen sollten besser nur acht Stunden hell beleuchtet sein (HEIDENREICH, 2012).

- **Milchgewinnung und Kühlung:** Die warm anfallende Milch muss aus hygienischen Gründen für die Zwischen- lagerung auf ca. 6 bis 8 °C abgekühlt werden. Für den ei- gentlichen Melkprozess ist Vakuum notwendig. Höher auto- matisierte Systeme erfordern Druckluft als Steuerluft und für Trocknungsprozesse. Kühlung, Vakuum- und Druckluft- erzeugung erfolgen mechanisch unter Einsatz von Elektro- energie.
- **Warmwasserbereitung:** Für Spül- und Reinigungsprozesse ist Warmwasser notwendig.
- **Ventilation:** Rinder sind allgemein sehr anpassungsfähige Tiere, die im Bereich zwischen ca. 2 und 21 °C ihr Tempera- turoptimum haben, bei ausreichender Futtermittelsversorgung je- doch auch deutlich tiefere Temperaturen ohne Stresssym- ptome vertragen (GÖT/BAT, 2003). Aus diesem Grund eignen sich gut belüftete (unbeheizte) Außenklimaställe (Offen- ställe) für die Haltung von Milchkühen und anderen Rin- dern. Insbesondere Hochleistungskühe zeigen bei höheren Temperaturen und hohen relativen Luftfeuchten zwischen 60 und 80 % Stresserscheinungen, die mit einer Verringe- rung der Futterverwertung, einer Reduzierung der Futter- aufnahme und Milchleistung oder dem Abbau der Körper- fettreserven, einer Erhöhung der Körpertemperatur, höheren Zellzahlen in der Milch, einer höheren Mastitis- Anfälligkeit und einer Verminderung der Fruchtbarkeitslei-

tung einhergehen (GÖT/BAT, 2003; GLATZ, 2013; MAHLKOW-NERGE, 2012; GASTEINER, 2014; HEIDENREICH/PACHE, 2014). Unter deutschen Verhältnissen weisen ca. 25 bis 40 Tage klimatische Bedingungen (z. B. bei 70 % Luftfeuchte ab 24 °C) auf, die Hitzestresssymptome hervorrufen können (HEIDENREICH, 2017). Je nach Größe und Bauart der Ställe, der Farbe und Dämmung der Dacheindeckung sowie den Beleuchtungsöffnungen ist es unter sommerlichen Außentemperaturbedingungen notwendig, durch mechanische Luftumwälzung mittels Ventilatoren den Kühen einen Kühleffekt zu ermöglichen, der im Wesentlichen durch Verdunstungskühlung der schwitzenden Kuh erfolgt. Bereits ab Stalltemperaturen von ca. 18 bis 20 °C wird der Betrieb entsprechender Ventilatoren empfohlen (GLATZ, 2013). Noch zielgenauer wäre eine Steuerung/Regelung über die Kombination aus Lufttemperatur und -feuchte.

4.1.3 Energieverbraucherstruktur

Nach Modellberechnungen des KTBL (2014 a) stellt sich die Energieverbraucherstruktur eines Milchviehbetriebs mit 492 TP und konventioneller Melktechnik wie folgt dar. In diesen Zahlen nicht enthalten ist der Verbrauch elektrischer Kleingeräte (Frostschutzbeheizung, Kuhbürsten, Futterschieber, Hochdruckreiniger, Computer/Bürotechnik). Der Gesamtverbrauch dieses Modellbetriebs liegt nach KTBL (2014 a) bei 328 kWh/(TP*a).

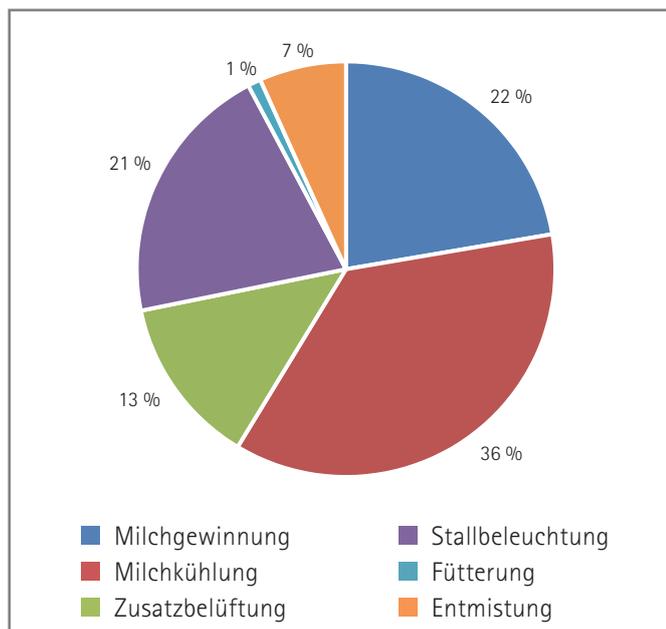


Abbildung 12: Verbraucherstruktur Elektroenergieeinsatz eines modellhaften Milchviehbetriebs mit 492 TP, ohne Kleinverbrauch, Quelle: KTBL (2014 a)

Der Gesamtenergieverbrauch des oben genannten Modellbetriebs stellt sich wie folgt dar:

- Elektroenergie: 328 kWh/(TP*a) (86 %)
- Brennstoffe: 53 kWh/(TP*a) (14 %)

Nicht in diesen Kennzahlen enthalten ist der Dieserverbrauch für Futtermittel- und Gülletransporte sowie die Eigenproduktion der Futtermittel.

4.1.4 Typische Maßnahmen und Einsparpotenziale

Im Bereich der Milchviehhaltung lassen sich mit zum Teil geringem Investitionsaufwand deutliche Energieeinsparungen realisieren, wie nachfolgende Maßnahmenansätze im Bereich der Milchkühlung, der Vakuumerzeugung und Beleuchtung zeigen:

Milchvorkühlung

Brunnen- oder Stadtwasser, das als Tränkwasser genutzt wird, hat mit Temperaturen zwischen 8 und 12 °C ein hinreichendes Kältepotenzial, um warme, frische gemolkene Milch vor dem Eintritt in den Milchtank abzukühlen und damit den Kühlbedarf der Kältemaschine zu reduzieren. Da die Tränkwasseraufnahme einer Kuh je nach Außentemperatur um den Faktor 3 bis 5 höher ist als die Milchproduktion, ist hinreichend Wasser für die Vorkühlung vorhanden. Praxisüblich sind Plattenwärme- und Rohrwärmetauscher, die im Gegenstrombetrieb arbeiten.

Bei üblichen Wassertemperaturen und gut abgestimmten Vorkühlern ist eine Milchaustrittstemperatur von 16 bis 18 °C realisierbar und ein um ca. 50 % reduzierter Energieaufwand für die Milchkühlung erreichbar. Unter Ansatz eines spezifischen Energieaufwands für die Milch-Direktkühlung in Höhe von



Abbildung 13: Milchvorkühler im Praxiseinsatz: Unter dem Edelstahlzylinder ist eine doppelwandige Rohrwendel untergebracht, die Milch fließt im Innenrohr.

0,5 Wh/(kg * K) entspricht dies einem Einsparpotenzial an Elektroenergie von ca. 75 kWh/(Kuh * a) bzw. 7,5 Wh/kg Milch. Die leicht erhöhten Tränkwassertemperaturen haben nach Untersuchungen des LfL Bayern keinen Einfluss auf Leistungsparameter der Kühe, Wasser mit 16 °C wurde im Vergleich zu Wasser mit 5 °C durch die Kühe bevorzugt aufgenommen (BOEHRINGER INGELHEIM, 2017).

Nach Schätzungen des sächsischen Landeskontrollverbands waren im Jahr 2013 nur ca. 22 % der Milchviehbetriebe mit einem Milchvorkühler ausgestattet (DASSLER, 2013).

Umsetzungshinweise:

- Wasser- und Milchsichfluss sind optimal aufeinander abzustimmen. Der Betrieb der Wasserpumpe sollte an den Milchsichfluss gekoppelt sein, der Milchsichfluss wird idealerweise durch einen drehzahleregelten Betrieb der Milchpumpe auf einen konstant niedrigen Wert anstelle eines hohen, schwallweisen Wertes eingestellt.
- Wenn die Wassertemperatur ca. 11 °C und die Milchtemperatur rund 33 °C beträgt, kann bei einem Verhältnis von 1 l Wasser zu 1 l Milch die Milch auf etwa 17 °C abgekühlt werden. Bei höheren Wassermengen je Liter Milch wird zwar die Milch weiter abgekühlt, aber die Kühlwirkung je Liter Wasser lässt nach (FÜBBEKER, 2014).
- Der Wärmetauscher sollte stets mit dem kältest möglichen Wasser versorgt werden. Das wasserführende System sollte wärmedämmte sein, um einen Wärmeeintrag zu vermeiden. Idealerweise installiert man nach dem Wärmetauscher einen hinreichend großen Puffertank, der als Vorratsbehälter für das Tränkwasser dient. Während der Melkzeiten füllt er sich mit dem vorgewärmten Wasser aus der Vorkühlung. In den Zwischenmelkzeiten wird er über einen Schwimmerschalter mit kaltem Wasser nachgefüllt. Wichtig ist dabei, die Tränkwasserhygiene im Blick zu behalten und den Behälter nach Bedarf zu desinfizieren.
- Wärmetauscher müssen über eine angemessene Tauscherfläche im Verhältnis zur Durchflussleistung verfügen. Bei Einsatz von Brunnenwasser ist dem Wärmetauscher auch auf der Wasserseite ein Feinfilter vorzuschalten, um Ablagerungen zu vermeiden. Die Plattenwärmetauscher sind in Abhängigkeit von der Auslastung regelmäßig zu reinigen. Rohrkühler haben ein geringeres hygienisches Risiko, aber Plattenkühler haben bei vergleichbaren Außenmaßen die größere Tauscherfläche.

Kälteanlagen

Kompressionskälteanlagen zur Direktkühlung des Milchtanks oder der Kühlung eines Eisspeichers werden üblicherweise mit Werkseinstellungen in Betrieb genommen. Energieeinsparungen können zum Teil bereits dadurch erreicht werden, dass die Sollwertvorgaben und Regelparameter (z. B. Kondensations- und Verdampfungstemperaturen) durch die Wartungsfirma an die konkreten Einsatz- und Standortbedingungen angepasst und schrittweise optimiert werden.

Eine in der Praxis übliche und auch in vergleichbaren Leitfäden publizierte Effizienzmaßnahme ist die Nutzung der bei der Kälteerzeugung anfallenden Abwärme zur Deckung des innerbetrieblichen Wärmebedarfs für Heizung und Warmwasserbereitung. Vor-

aussetzung zur Bereitstellung geeigneter Wassertemperaturen und der Nutzung der insgesamt anfallenden Abwärme ist die Anhebung des Kondensationsdrucks der Kältemaschine. Dies ist – besonders bei niedrigen Außentemperaturen – mit einem relativ deutlichen elektrischen Mehrverbrauch der Kältemaschine verbunden. Dieser zusätzliche Stromverbrauch ist der real genutzten Abwärme zuzuschreiben, um entsprechende Wärmegestehungskosten zu berechnen und kann die Wirtschaftlichkeit erheblich mindern. Die korrekt bewerteten spezifischen Kosten sind deshalb fallkonkret mit den Gestehungskosten der vorhandenen Wärmeversorgung zu vergleichen und ökonomisch zu bewerten. Die Wirtschaftlichkeit der Abwärmenutzung aus der Milchkühlung lässt sich im Einzelfall nur dann darstellen, wenn folgende Bedingungen zutreffen:

- Im Betrieb kann Wärme möglichst ganzjährig auf einem niedrigen Temperaturniveau genutzt werden.
- Die Kältemaschine lässt keine deutliche Reduzierung der Kondensationstemperatur zu.
- Die Kosten für die Bereitstellung von Wärme aus anderen Quellen sind hoch.

Bei Betrieb einer Biogasanlage auf dem landwirtschaftlichen Betrieb stellt die Nutzung der dort anfallenden BHKW-Abwärme eine wirtschaftlich sinnvolle Alternative dar.

Umsetzungshinweise:

- Verflüssiger möglichst im Freien mit ungehinderten Zuströmbedingungen für kühle Luft aufstellen. Bei Innenaufstellung der Verflüssiger tragen zum Teil undefinierte Strömungsverhältnisse und die Strahlungswärme der Verdichter zu erhöhten Kühllufttemperaturen und damit unnötig hohen Kondensationstemperaturen bei. Allein durch diese Maßnahme lässt sich ein überhöhter Energieverbrauch im Vergleich zu ungünstiger Innenaufstellung im Jahresverlauf um ca. 10 bis 20 % reduzieren.
- Es empfiehlt sich eine Überprüfung der Sollwerteneinstellung der Kondensationsdruckregelung der Kälteanlage durch eine Wartungsfirma. Besonders niedrige Kondensationsdrücke bei geringen Außentemperaturen lassen sich bei Einsatz elektronischer Expansionsventile erreichen, ggf. müssen diese nachgerüstet werden. **Faustformel: 1 K reduzierte Verflüssigungstemperatur = 3 % Energieeinsparung am Verdichter.** Die gesamte Energieeinsparung liegt etwas niedriger, da sich mit verringerter Kondensationstemperatur die Laufzeit bzw. Drehzahlintensität der Verflüssigerventilatoren erhöht und damit deren Stromverbrauch geringfügig vergrößert wird.
- Die Lamellen der Kondensatoren müssen sauber gehalten werden, um einen effektiven Wärmeübergang zu ermöglichen.



Abbildung 14: Außen aufgestellte Verflüssiger der Kältemaschinen eines Milchtanks

Lagertemperaturen im Milchtank

In der Praxis werden Solltemperaturen für die Milchlagerung oft niedriger eingestellt als notwendig. Häufig werden diese als Sicherheitsreserve betrachtet. Laut Milchverordnung muss Milch zur täglichen Abholung mindestens auf 8 °C, bei zweitägiger Abholung auf 6 °C gekühlt werden. Eine Einstellung auf 6 °C bei täglicher Abholung beinhaltet bereits ein erhebliches Sicherheitspolster. Durch Anhebung der Verdampfungstemperatur der Kältemaschine entsprechend der vorgegebenen Lagertemperatur der Milch lassen sich kostengünstig und einfach Einsparpotenziale realisieren. **Faustzahl:** 3 % reduzierte Verdichterleistung pro 1 K erhöhter Verdampfungstemperatur.

Drehzahlregelte Vakuumpumpen

Vakuumpumpen müssen den für das Melken notwendigen Unterdruck erzeugen. Bei Vakuumpumpen, die kontinuierlich mit Nennlast laufen, werden Lastschwankungen über ein Regelventil ausgeglichen, welches den Unterdruck durch definierten Luftzutritt ausregelt. Da die Förderleistung der Pumpe deutlich höher liegt als der Vakuumbedarf für das Melken oder die Melkzeugreinigung, wird folglich viel elektrische Antriebsenergie über das Regelventil »vernichtet«. Eine wirksame Maßnahme zur Energieeinsparung ist deshalb ein drehzahlvariabler Betrieb der Vakuumpumpe an einem Frequenzumrichter (FU). Untersuchungen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen in fünf unterschiedlichen Milchviehbetrieben zeigten Energieeinsparpotenziale zwischen 53 und 72 % durch Einsatz von FU (HUBAL, 2013). Demnach amortisierten sich die Mehrkosten einer neuen drehzahlregelten Vakuumpumpe bei den untersuchten Betrieben in weniger als einem bis ca. vier Jahren, die Zusatzkosten bei Nachrüstung eines FU für bestehende Anlagen in einem Zeitraum von ca. einem bis 5,5 Jahren.

Nach Erhebungen und Schätzungen des sächsischen Landeskontrollverbands waren im Jahr 2013 nur ca. 44 % der Milchviehbetriebe mit einer drehzahlvariablen Vakuumpumpe ausgestattet (DASSLER, 2013).

Umsetzungshinweise:

- Vakuumpumpen sind häufig deutlich größer als notwendig. Bei Untersuchungen in sächsischen Betrieben waren Anlagen zwischen 15 und 80 % überdimensioniert (TRÖGER/DASSLER, 2005). Bei einer Ersatzinvestition sollte der Luftbedarf nach DIN ISO 5707 korrekt ermittelt und die Fördermenge der Vakuumpumpe entsprechend angepasst werden. Dies reduziert bereits die Anschaffungs- und später die Betriebskosten.
- Nicht alle Bauarten von Vakuumpumpen sind für einen drehzahlvariablen Einsatz geeignet (z. B. Wasserringpumpen, bedingt: Lamellenpumpen). Vor einer geplanten FU-Nachrüstung sollte der Hersteller diesbezüglich kontaktiert werden.
- Der Lufteinlass zur Sicherstellung einer Mindestdrehzahl bei FU-Betrieb sollte über ein bedarfsabhängig gesteuertes Ventil realisiert werden (TRÖGER/DASSLER, 2005).

Drehzahlregelte Druckluftkompressoren

Analog bieten Druckluftkompressoren mit drehzahlvariablem Antrieb deutliche Energieeinsparpotenziale gegenüber unregelmäßig betriebenen Maschinen mit praxisüblicher Lastlauf-Leerlauf-Regelung, da hierdurch ein insgesamt geringeres Druckniveau eingestellt und Leerlaufverluste vermieden werden können.

LED-Beleuchtung

Während vor wenigen Jahren für die Beleuchtung von Milchviehställen noch Natriumdampf-Hochdrucklampen oder Halogen-Metallampfen als energieeffiziente Produkte zu empfehlen waren, hat sich die LED-Technik inzwischen als Standardtechnologie durchgesetzt. Die Vorteile der LED-Technologie sind vielfältig: hohe Lebensdauer, gute Farbwiedergabe, hohe spezifische Lichtausbeute (lm/W) der gesamten Leuchte (inkl. Optik), Sofortstart mit vollem Lichtstrom anstelle langer Startzeiten bei Hochdruck-Entladungslampen, Dimmbarkeit u. v. m. Typische Einsparpotenziale liegen (unter Berücksichtigung der Verlustleistung der Vorschaltgeräte konventioneller Beleuchtungstechnik) bei Ersatz von Leuchtstoff- oder Halogen-Metallampfen durch LED bei ca. 55 bis 65 % und bei Ersatz von Natriumdampf-Hochdrucklampen bei mindestens 35 %, wobei hier zusätzlich die Lichtqualität (Farbwiedergabe) durch die LED entscheidend verbessert wird.

Weitere Einsparmöglichkeiten ergeben sich bei Einsatz von LED durch die Einbindung von Tageslichtsensoren oder Präsenzmeldern. Hiermit kann die Beleuchtungsstärke entsprechend des Außenlichtanteils gedimmt oder abgeschaltet werden, mit Präsenzmeldern kann in Räumen mit geringer Nutzungshäufigkeit bedarfsgerecht beleuchtet werden. Soweit räumlich möglich, ist ein abgetrennter Bereich für die trocken stehenden Kühe mit reduziertem Lichtprogramm (»Kurztag«) zu empfehlen.

Umsetzungshinweise:

- Im Vergleich zu klassischen Entladungslampen haben LED eine deutlich höhere Lebensdauer. Da im Laufe der Lebensdauer einer LED ein kontinuierlicher Lichtstromrückgang zu verzeichnen ist, muss die Leistung so dimensioniert werden, dass das Leuchtmittel zum Ende der geplanten Nutzungsdauer noch den notwendigen Lichtstrom erbringen kann. Weiterführende Informationen hierzu können dem ZVEI-Leitfaden »Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung« entnommen werden, der zur Vertiefung empfohlen wird (ZVEI, 2015).
- Zur Vermeidung der o. g. Überdimensionierung von LED-Strahlern als Ersatz für Hochdruck-Entladungslampen empfehlen sich Vorschaltgeräte (sogenannte »Treiber«), die eine Konstant-Lichtstromfunktion ermöglichen. Diese passen die elektrische Leistungsaufnahme der LED im Laufe ihrer Lebensdauer entsprechend des Lichtstromabfalls so an, dass die LED dauerhaft einen konstanten Lichtstrom liefert. Vorteil: Die Leuchten verbrauchen über die Nutzungsdauer etwa 15 % weniger Strom als bei Betrieb ohne Konstant-Lichtstromregelung (gilt für L70B10).
- Leuchten und Leuchtmittel sollten für die speziellen Umgebungsbedingungen im Stall zugelassen sein. Dies betrifft insbesondere eine Staub-, Feuchtigkeits- und Ammoniakbeständigkeit; z. T. sind bereits DLG-geprüfte Produkte am Markt verfügbar.
- Vor Veränderungen an der Beleuchtungstechnik ist durch Simulationsberechnungen oder Messungen sicherzustellen, dass die einschlägigen normativen Anforderungen und Regelungen eingehalten werden. Bei der Auswahl der LED sind die Farbtemperatur (Angabe in K) und der Farbwiedergabeindex (Ra- bzw. CRI-Wert) an die konkrete Beleuchtungsaufgabe anzupassen.
- Der Einsatz sogenannter Retrofit-Lampen (LED-Leuchtmittel als direkter Ersatz für herkömmliche Leuchtmittel) ist für bestimmte Anwendungsbereiche eine wirtschaftliche Maßnahme. Zu beachten ist dabei jedoch, dass LED-Tubes nicht die gleiche Leuchtkraft wie baugleiche Leuchtstoffröhren haben und über andere Abstrahleigenschaften verfügen. Erschwerend kommt hinzu, dass für Retrofitvarianten eine Simulation nur eingeschränkt möglich ist, weil für die Kombination fremder Komponenten keine Daten existieren. Deshalb sollte vor dem Tausch ein möglichst neutraler Beleuchtungsspezialist konsultiert werden. Oft sind auch Änderungen an der Verdrahtung erforderlich, die nur durch eine Elektrofachkraft ausgeführt werden dürfen.

Stallbelüftung zur Hitzestressvermeidung

Eine natürliche Luftzirkulation in den Stallanlagen ist eine wesentliche Voraussetzung für das Wohlergehen der Kühe und die Vermeidung von frühzeitigem Hitzestress in der warmen Jahreszeit, daher sollte sie durch die bauliche Gestaltung der Stallanlage bestmöglich sichergestellt werden. Ist dies nicht vollständig möglich, finden drei verschiedene Ventilations- bzw. Lüftungssysteme Anwendung, die nachfolgend kurz beschrieben werden. Diese sollen eine definierte Luftströmung im Stall bzw. Bereichen mit hoher Tierdichte (Wartehof, Melkstand) aufbauen, die den Tieren mit Luftgeschwindigkeiten über 1 bis etwa 2,5 m/s eine adäquate Kühlwirkung ermöglicht. Nach DLG (2005) liegt die zu installierende Luftleistung in Abhängigkeit der Stalllänge, der Kuhgruppe und der Bauart des Daches zwischen 500 und 1.200 m³/(h*TPI).

Umluftventilatoren: Axialventilatoren

Axialventilatoren sollen in Hauptwindrichtung installiert sein, um die Luftgeschwindigkeit im Stall zu erhöhen und den Luftaustausch zumindest partiell zu unterstützen. Ventilatoren in diesem Leistungsbereich müssen entsprechend der europäischen Ökodesign-(ErP)-Richtlinie seit 2015 erhöhte Mindestanforderungen an den Wirkungsgrad erfüllen (UBA, 2012). Effiziente Ventilatoren weisen spezifische Leistungsaufnahmen auf, die deutlich unter 40 W/(1.000 m³/h) bei 0 Pa liegen, wobei Geräte mit niedrigen Auslegungsdrehzahlen auch Werte bis ca. 20 W/(1.000 m³/h) erreichen. Die vom Gesetzgeber geforderte Effizienzsteigerung der letzten Jahre bedeutet in jedem Falle, dass ein Austausch älterer Ventilatoren zu einer deutlichen Energieverbrauchsreduzierung führt. Bei der Auswahl der Ventilatoren sollte geprüft werden, ob diese drehzahlregelt betrieben oder (bei Parallelschaltung von Ventilatoren) nur thermostatisch zugeschaltet werden sollen. Im ersten Fall empfiehlt sich der Einsatz von EC-Ventilatoren oder eine Drehzahlregelung über Frequenzumrichter, im zweiten Fall ist es ausreichend, wenn die Ventilatoren im Betriebspunkt einen guten Wirkungsgrad erreichen.

Umluftventilatoren: Deckenventilatoren

Großflügelige, vertikale Deckenventilatoren können sehr große Luftmengen (bis zu 700.000 m³/h) vom Deckenbereich zum Stallboden fördern. Dort und an vorhandenen Hindernissen (Einbauten, Tiere) wird die Luftströmung horizontal und vertikal umgelenkt und gelangt letztlich wieder in den Deckenbereich. Sie dienen ausschließlich der Steigerung der Luftzirkulation und stellen ein klassisches Umluftsystem ohne wesentlichen Luftaustausch dar. Die Kühlwirkung kann somit ausschließlich über die erzeugte Strömungsgeschwindigkeit erfolgen. Bedingt durch Stalleinbauten (Futtermischbegründungen, Liegeboxenreihen) und die Kühe selbst kann mit diesem System jedoch keine gleichmäßige Luftströmung hergestellt werden (DLG, 2005). Deckenventilatoren sind außerdem stark windbeeinflusst und zeigen nur unter bestimmten Außenklimabedingungen eine positive Wirkung (LOEBSIN ET AL., 2014). Die spezifische Leistungsaufnahme dieser Systeme ist mit Werten



Abbildung 15: Axialventilatoren zur Hitzestressvermeidung in einem Kuhstall



Abbildung 16: Schlauchbelüftungssystem zur Vermeidung von Hitzestress im Milchviehstall

von weniger als 4 W/1.000 m³ (bei 0 Pa) deutlich vorteilhafter als bei Axialventilatoren, aufgrund der zum Teil ungenügenden Lüftungseffekte sind diese jedoch nur bedingt für den Einsatz zur Hitzestressvermeidung zu empfehlen.

Schlauchbelüftung (Überdruckbelüftung mit Außenluft)

Ein seit Langem bekanntes Verfahren ist die Schlauchbelüftung im Überdruckverfahren. Frischluft wird mittels Ventilator in einen Textilschlauch eingepulst und über Düsen oder kreisförmige Öffnungen gezielt auf die »Bedarfsstelle« geleitet. Keim-,

staub- und ammoniakbelastete Stallluft wird über vorhandene Gebäudeöffnungen nach außen verdrängt. Damit eignet sich dieses System besonders für Stallbereiche, aus denen hohe Wärme, Schadstoff- oder Keimbelastungen abzuführen sind (Wartehof, Melkstand, Kälber- und Jungviehbereiche). Durch die direkte und flächige Anströmung der »Bedarfsstellen« können bei diesem System geringere spezifische Luftleistungen eingestellt werden als bei »klassischen« Ventilationssystemen. Qualitativ ergeben sich folgende Vor- und Nachteile der beschriebenen Ventilationssysteme:

Tabelle 10: Vor- und Nachteile von Ventilationssystemen zur Hitzestressvermeidung

Ventilationssystem	Vorteile	Nachteile
Axialventilatoren	<ul style="list-style-type: none"> ■ bewährte Technologie ■ moderate Investitionskosten ■ anteiliger Eintrag gering keimbelasteter Außenluft 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Verschattungseffekte durch gerichtete Luftströmung ■ Luftqualität verschlechtert sich in Strömungsrichtung
Vertikale Deckenventilatoren	<ul style="list-style-type: none"> ■ geringer spezifischer Energiebedarf pro m³ Luftleistung 	<ul style="list-style-type: none"> ■ reine Luftumwälzung, kein zusätzlicher Außenlufteintrag ■ Ventilationswirkung nicht unter allen Windbedingungen gesichert ■ höhere Investitionskosten als Axialventilatoren
Schlauchbelüftung	<ul style="list-style-type: none"> ■ Belüftung mit 100 % gering keimbelasteter Außenluft (Verbesserung der Stallluftqualität und Tiergesundheit) ■ gleichmäßige, zugluftfreie Raumbelüftung ohne Verschattungseffekte ■ geringere Luftstraten und damit reduzierter Energiebedarf möglich 	<ul style="list-style-type: none"> ■ bislang nur wenige Praxisanwendungen ■ leicht erhöhter Wartungsaufwand (Reinigung der Schläuche) ■ hohe Investitionskosten

4.2 Schweinehaltung

4.2.1 Energiekennzahlen

In der modernen Schweinehaltung sind zahlreiche Prozesse von Energieeinsatz abhängig. Dabei dominiert in der Mastschweinehaltung die Elektroenergie. Tabelle 11 zeigt ausgewählte Literaturwerte zum spezifischen Energieeinsatz in der Schweinemast.

Tabelle 11: Literaturübersicht zum spezifischen Energieverbrauch in der Schweinemast

Quelle	VdLWK (2009)	FELLER (2016)	NESER ET AL. (2012)	LfL (2007 b)	KTBL (2014 b)
Kommentar	Praxiswerte NRW	Praxiswerte NRW	Praxiswerte Bayern	Praxiswerte Sachsen	Modellberechnungen
Betriebsgrößen	-	-	< 200 bis > 1000 TP	ø 2.984 TP	960 TP
Strom in kWh/(TP*a)					
Mittelwert	35	38	115	43	34
Von-bis-Spanne		8 – 95	63 – 235	25 – 51	26 – 60
Wärme in kWh/(TP*a)					
Mittelwert	50	50	-	-	25
Von-bis-Spanne		3 – 1021			20 – 30

Deutlich inhomogener gestalten sich Literaturwerte zum spezifischen Energieverbrauch im Bereich der Ferkelproduktion. Dies erklärt sich einerseits aus der Vielfalt der Produktionsausrichtungen von Sauen- und Ferkelaufzuchtbetrieben, andererseits aus der breiten Palette praxisüblicher Verfahrenslösungen. Beispielsweise kann die Wärmeerzeugung für Ferkel elektrisch erfolgen oder über ein Warmwassersystem.

Tabelle 12: Literaturübersicht zum spezifischen Energieverbrauch in der Ferkelerzeugung/-aufzucht

Quelle	VdLWK (2009)	FELLER (2016 a/b)	NESER ET AL. (2012)	LfL (2007 b)	KTBL (2014 b)
Kommentar	Praxiswerte NRW	Praxiswerte NRW	Praxiswerte Bayern	Praxiswerte Sachsen	Modellkalkulation
Betriebsgrößen		150 – 1.200 Sauen	50 – 200 Sauen		374 Sauen bzw. 1.326 Ferkelplätze
Ferkelerzeugung mit Ferkelaufzucht	Strom				
	Mittelwert	270		500	301
	Streubreite			283 – 684	186 – 463
kWh/(Sau*a)	Wärme				
		950			640
Ferkelerzeugung ohne Ferkelaufzucht	Strom				
	Mittelwert		88		130
	Streubreite		22 – 284		
kWh/(Sau*a)	Wärme				
	Mittelwert		307		212
	Streubreite		27 – 977		
Ferkelaufzucht	Strom				
	Mittelwert		29		17
	Streubreite		6 – 473		
kWh/(TP*a)	Wärme				
	Mittelwert		124		120
	Streubreite		10 – 395		

4.2.2 Anforderung an die Verfahrensgestaltung mit Einfluss auf den Energieverbrauch

Bei der Stallhaltung von Schweinen haben folgende Parameter einen wesentlichen Einfluss auf den Energieverbrauch:

- **Ventilation:** Die Ställe sind mit ausreichend Frischluft zu versorgen, um Schadgase (Ammoniak, Kohlendioxid, Schwefelwasserstoff) auf das in der TierSchNutzV (2001) vorgegebene Mindestmaß zu begrenzen und Feuchtigkeit aus dem Stall abzuführen. Hierfür ist der Einsatz von Abluftventilatoren notwendig. Im Sommerbetrieb wird die Ventilationsrate im Wesentlichen dadurch bestimmt, dass die Differenz zwischen Stall- und Außentemperatur 3 K nicht überschreiten soll (DIN 18910-1). Im Winter gelten Mindestluftwechselraten.
- **Beleuchtung:** Den Tieren ist ein Mindestmaß an Tageslicht bereitzustellen und, falls dieses nicht ausreichend ist, durch künstliche Beleuchtung zu ergänzen. Nach TierSchNutzV (2001) muss die künstliche Beleuchtung im Aufenthaltsbereich der Schweine eine Stärke von mindestens 80 lx erreichen, dem Tagesrhythmus angeglichen sein und mindestens acht Stunden täglich mit flächiger Ausleuchtung brennen. Außerhalb dieser Zeiten muss ausreichend Licht als Orientierungshilfe für die Tiere gewährleistet werden.
- **Beheizung:** Die einzuhaltenden Komforttemperaturen in den Ställen variieren tier- und gewichtsabhängig.

Tabelle 13: Empfohlene Stalltemperaturen in einzelnen Haltungsabschnitten, Quelle: LfULG (2017)

	Einzel-tier-gewicht	optimale Temperatur
Jungsauen, Sauen, Eber	über 50 kg	18 bis 20 °C
Ferkelführende Sauen	über 100 kg	18 bis 20 °C
Saugferkel bis 10. Lebenstag, Ferkelne-st		38 bis 32 °C *
Ferkel im Liegebereich ohne Einstreu	bis 30 kg	30 bis 24 °C *
Ferkel im Liegebereich mit Einstreu	bis 30 kg	28 bis 22 °C *
Mastschweine	bis 115 kg	26 bis 20 °C *

* Lufttemperatur mit zunehmendem Alter allmählich absenken

Bei der Umstallung wachsender Tiere sollte das neue Abteil etwa 2 K wärmer sein als das Alte. Die Heizung muss sowohl Wärmeverluste über die Gebäudehülle als auch Lüftungswärmeverluste ausgleichen. Je nach Tiergewicht wird der Heizenergiebedarf durch die Eigenwärmeproduktion der Tiere reduziert oder gar kompensiert.

4.2.3 Energieverbraucherstruktur

Nach Modellberechnungen des KTBL (2014 b) stellt sich die Energieverbraucherstruktur typischer Schweinehaltungsbetriebe wie folgt dar (Abbildung 17). Exemplarisch sind Ställe mit 374 TP (Ferkelerzeugung), 1.326 TP (Ferkelaufzucht) und 960 TP (Schweinemast) zugrunde gelegt. Die angegebenen Verbrauchswerte verstehen sich ohne den Anteil elektrischer Kleingeräte sowie notwendiger Büro- und Sozialgebäude.

4.2.4 Typische Maßnahmen und Einsparpotenziale

Im Bereich der Schweinehaltung sind alle Maßnahmen zielführend, die zu einer Reduzierung des Elektroenergieverbrauchs der

Lüftungstechnik und der Beleuchtung sowie einer Verringerung des Heizenergiebedarfs ohne Beeinträchtigung der für das Tierwohl relevanten Parameter beitragen. Dementsprechend werden nachfolgend für diese Bereiche praxistypische Effizienzmaßnahmen beschrieben:

Abluftventilation

Ventilator- und Regeltechnik

In Schweinehaltungsbetrieben dominiert die Unterdrucklüftung. Abluftventilatoren im Dachraum über den Abteilen oder am Ende eines zentralen Abluftkanals erzeugen einen definierten Unterdruck, um eine ausreichende Frischluftnachströmung über Zuluftventile, Deckenlochplatten o. ä. Lufterlässe zu gewährleisten. Üblicherweise kommen Axialventilatoren zum Einsatz. Die Anpassung der Förderleistung an den jahreszeitlich stark schwankenden Bedarf erfolgt bei älteren Anlagen häufig noch über transformatorische oder elektronische (TRIAC-) Drehzahl-/Leistungsregler. Diese in der Anschaffung sehr kostengünstigen Regelgeräte zeigen jedoch in den betriebsüblichen Teillastbereichen schlechte Wirkungsgrade, wobei der transformatorische Spannungsregler bei Nenndrehzahl vergleichbare Werte, in niedrigen Lastbereichen noch Verbrauchsvorteile von bis zu 25 % gegenüber dem TRIAC-Regler aufweist (FELLER, 2011). Deutliche Energieeinsparungen können erreicht werden, wenn anstelle dieser Drehzahlregler die Wechselstrom- oder Asynchronmotoren an einem Frequenzumrichter (FU) betrieben werden oder ein komplett neuer Ventilator mit EC-Motor eingesetzt wird (EC = elektronisch kommutiert). Nachfolgend ist schematisch dargestellt, welche elektrische Leistung Ventilatoren bei Einsatz dieser Technologien im Vergleich zu einer elektronischen Spannungsregelung (TRIAC) in Voll- und Teillast aufnehmen.

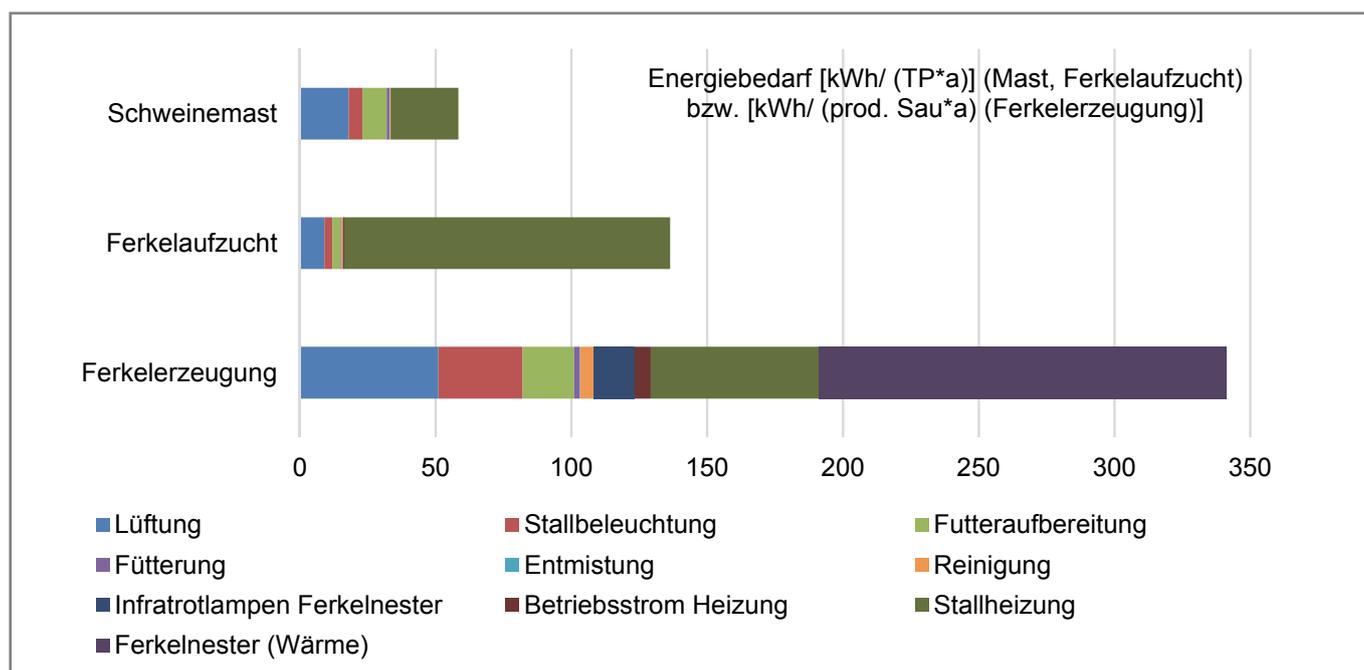


Abbildung 17: Jährlicher spezifischer Energiebedarf von Modellställen der Schweinehaltung, Quelle: KTBL (2014 b)

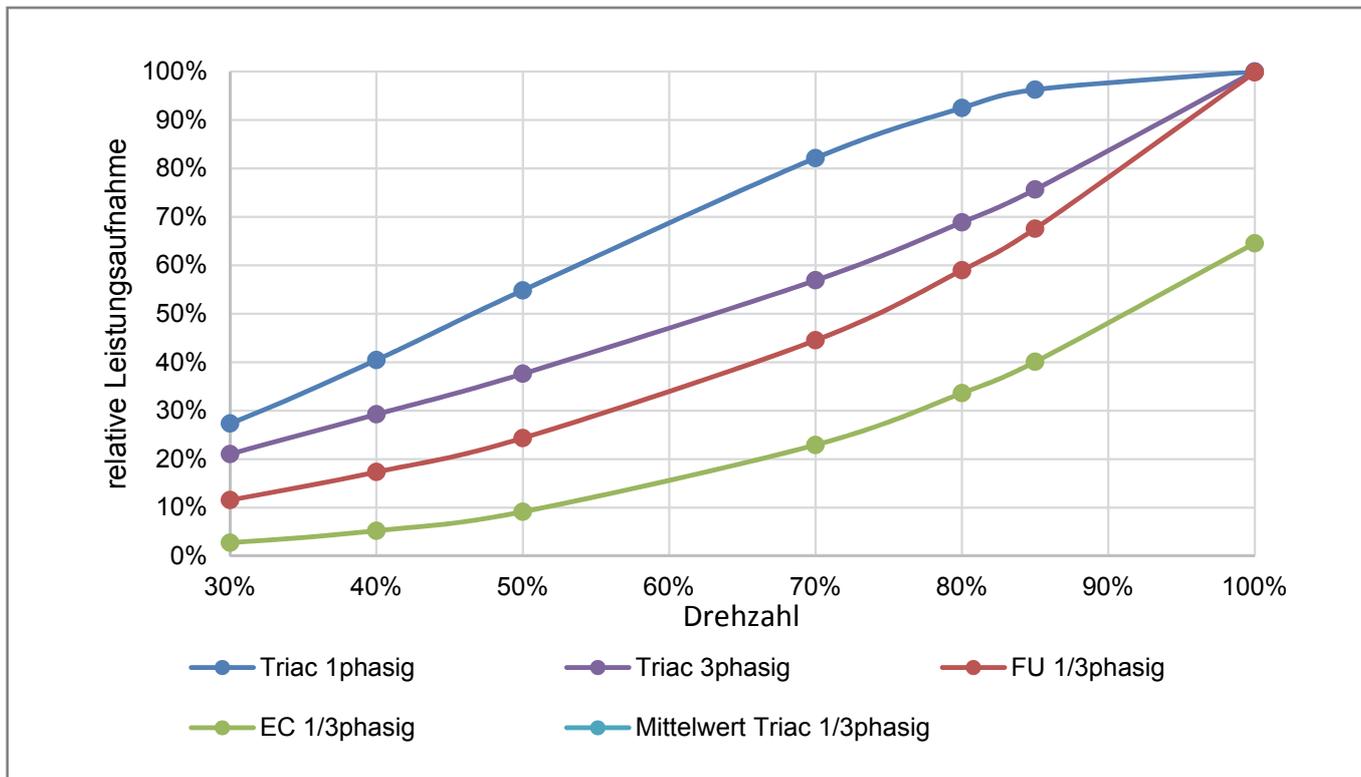


Abbildung 18: Drehzahlabhängige Leistungsaufnahme eines Ventilators mit unterschiedlichen Motor- und Regelkonzepten, Datenquelle: Fa. Ziehl-Abegg

Für ein praxisübliches Jahreslastprofil nach KTBL (2014 b) für die Ferkelaufzucht und Schweinemast mit einer mittleren Drehzahl von ca. 28 % sind etwa die in nachfolgender Tabelle 14 genannten Energieeinsparungen erreichbar. Diese wurden anhand unterschiedlicher Herstellerangaben aus Messreihen der Fa. Ziehl-Abegg mit den Messpunkten für die Lastbereiche 13 – 30 – 50 – 70 – 80 – 85 und 100 % sowie den anteiligen Jahresstunden dieser Lastpunkte nach KTBL berechnet (Vergleich TRIAC – FU – EC). Die Einsparungen für Trafo-Betrieb wurden aus diesen Werten über Verhältniszahlen nach Messwerten von FELLER (2011) abgeschätzt.

Zur Abschätzung real möglicher Einsparpotenziale ist der Stromverbrauch des Bestandsventilators über dessen installierte elektrische Leistung, den o. g. Lastfaktor und die Jahresstundenanzahl (8.760 h/a) abzuschätzen. Ausgehend von diesen Werten können die absoluten Stromeinsparpotenziale für den Einsatz von FUs oder EC-Ventilatoren über die genannten Prozentwerte ermittelt werden. Je nach vorhandener Motorentechnik (Wechselstrom oder Drehstrom) und herstellerkonkreter Regeltechnik sind auch größere Abweichungen von den o. g. Werten möglich. Diese sind nur als Orientierungswerte zu verstehen. Der Vorteil bei Einsatz von FUs ist, dass diese auch mehrere Ventilatorantriebe gemeinsam ansteuern können, wenn die gleichen Lastanforderungen vorliegen.

Tabelle 14: Abschätzung der Einsparpotenziale bei FU-Betrieb oder Einsatz von EC-Ventilatoren in der Schweinehaltung für verschiedene Drehzahlregelsysteme (gerundete Werte)

Bestandstechnik	Mittlerer elektrischer Jahreslastfaktor Bestandstechnik	Einsparung bei Nachrüstung eines FU	Einsparung bei Einsatz eines EC-Motors (Ventilators)
Ventilator am TRIAC-Regler	ca. 30 %	50 – 60 %	70 – 85 %
Ventilator am Trafo-Regler	ca. 25 %	40 – 50 %	60 – 75 %



Abbildung 19: Frequenzumrichter von Abluftventilatoren, rechts im Bild ein Gerät mit Stromverbrauchsanzeige

Umsetzungshinweise:

- Bei Nachrüstung von Frequenzumrichtern sollten diese mit allpolig wirksamen Sinusfiltern ausgestattet sein, um Motorschäden und Netzurückwirkungen sowie Störemissionen der Leitungen zu vermeiden. Bei entsprechenden Geräten können die vorhandenen elektrischen Zuleitungen weiter genutzt und müssen nicht durch geschirmte Kabel ersetzt werden.
- Bei den hocheffizienten EC-Motoren ist die Steuereinheit (EC-Controller) direkt in den Motor integriert. Ist dieser defekt, muss der komplette Motor getauscht werden. Aus Sicherheitsgründen sollte der Betreiber deshalb Ersatz vorrätig haben oder kurzfristig beziehen können. Zur Ansteuerung des Drehzahlreglers muss i. d. R. eine abgeschirmte Steuerleitung neu verlegt werden.
- Fällt der FU eines AC-Ventilators aus, kann dieser über einen optionalen Bypass-Schalter behelfsweise in Volllast weiter betrieben werden; dies ist bei EC-Motoren nicht möglich.
- Nicht alle Klimaregelgeräte sind für die nachträgliche Einbindung eines FU geeignet. In diesem Fall müsste der Klimaregler mit getauscht werden. Häufig kann hier eine bessere Regelgüte und damit eine zusätzliche Energieeinsparung erreicht werden, was den Mehraufwand kompensiert.
- Sinnvoll ist in jedem Fall ein Direktvergleich der Leistungsparameter der vorhandenen Ventilatoren mit neuen Systemen. Durch Weiterentwicklung der Flügelgeometrie kann je nach Baualter des Bestandsventilators auch ein Komplettersatz mit AC- oder EC-Motor eine wirtschaftliche Maßnahme sein.
- Inzwischen gibt es herstellerseitig auch die Möglichkeit, EC-Motoren an Bestandsventilatoren anstelle eines AC-Motors nachzurüsten. Diese Option sollte im Bestand zweckmäßigerweise abgeprüft werden.

Geometrie der Abluftkamine

Die Geometrie der Abluftkamine hat einen entscheidenden Einfluss auf die zu überwindenden Druckverluste und damit den Energieverbrauch für die Abluftventilation. Aus diesem Grund sollte bei bestehenden Abluftanlagen geprüft werden, inwieweit durch Anpassung der Kamingeometrie der spezifische Energieeinsatz für die Stalllüftung gesenkt werden kann. Einspareffekte

lassen sich dabei jedoch nur erzielen, wenn die reale Luftrate über Messventilatoren erfasst und entsprechend der Anforderungen an den Bedarf angepasst wird. In nachfolgender Tabelle sind Verhältniszahlen zum spezifischen Elektroenergieverbrauch für die Abluftventilation für unterschiedliche Kaminbauformen exemplarisch dargestellt.

Tabelle 15: Korrekturfaktoren zum Einfluss der Kaminbauart auf den Energieverbrauch der Abluftventilation bei vergleichbarer Effizienz der Ventilatorrentechnik, Quelle: KTBL (2014 b, nach Pedersen)

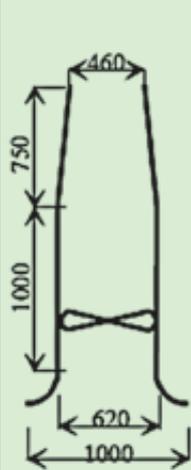
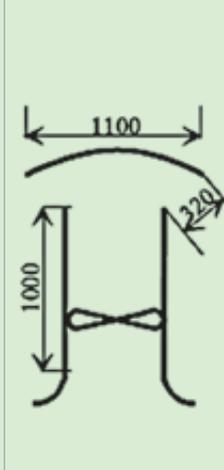
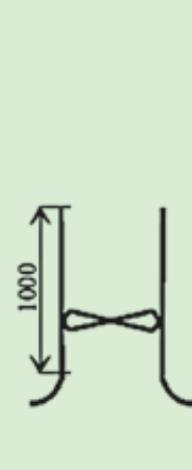
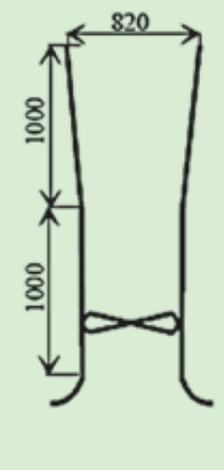
					
Kaminbauart	Einström- und Weitwurfdüse	Einströmdüse, Regenhaube	ohne Zusatz	Einströmdüse	Einströmdüse und Diffusor
Korrekturfaktor bei Bezug auf den Bestwert	1,92	1,85	1,35	1,23	1



Abbildung 20: Messventilator mit Drosselklappe im Bestand

Angepasste Luftraten

Ein wichtiges Kriterium für einen energiesparenden Einsatz ist eine dem Bedarf angepasste Abluftrate. Diese kann – gerade im niedrigen Lastbereich – nur sichergestellt werden, wenn der reale Abluftvolumenstrom über einen Messventilator gemessen wird und dieser Wert im Klimacomputer zur Anpassung des Betriebspunktes des Ventilators Eingang findet. Geht man davon aus, dass im Winter bei geringem Lüftungsbedarf durch unkontrollierte Drehzahlregelung Luftraten gefahren werden können, welche die theoretisch Notwendige um bis zu 50 % überschreiten, kann dies den Jahresbrennstoffeinsatz um 10 bis 30 % erhöhen. Dementsprechend könnten bei angepassten Luftraten Einsparpotenziale von bis zu 25 % realisiert werden.

Luft-Luft-Wärmetauscher zur Wärmerückgewinnung aus der Abluft

Ca. 80 bis 85 % der Wärmeverluste, die durch Beheizung ausgeglichen werden müssen, sind Lüftungswärmeverluste (LfL, 2012). Der Einsatz von Luft-Luft-Wärmetauschern zur Wärmerückgewinnung (WRG) aus der Abluft ist folgerichtig eine Maßnahme mit einem potenziell hohen Einsparpotenzial. Die Nutzung des Wärmepotenzials der Abluft setzt voraus, dass Zu- und Abluft gerichtet erfasst bzw. in den Raum eingeleitet werden. Neben dem eigentlichen Wärmetauscher müssen ein Zuluftventilator installiert und das Zuluftsystem angepasst werden. Die Nutzbarkeit des vorhandenen Abluftventilators für die WRG-Anlage ist projektspezifisch zu überprüfen. Dementsprechend wirken sich bei Nachrüstung in Stallanlagen mit dezentraler Abluftführung und Unterdruckbetrieb die baulichen Randbedingungen stark auf die Investitionskosten eines Wärmerückgewinnungssystems aus. Vergleichende Untersuchungen zum Heizenergieeinsatz von 20 Ferkelerzeugungsbetrieben in Bayern, darunter sieben Betriebe mit Abwärmennutzung, zeigen im Mittel ca. 55 % niedrigere Verbrauchswerte als Betriebe mit WRG (NEIBER, 2017). Unterstellt man, dass diese Betriebe einen repräsentativen Querschnitt darstellen, schwanken deren Heizenergieeinsparungen in einem Bereich zwischen 30 bis 70 %. Dieser Wertebereich

verdeutlicht, dass die Art des Wärmeübertragers sowie dessen konkrete Auslegung und Betriebsweise entscheidenden Einfluss auf die rückgewinnbare Wärmeenergie und damit den verbleibenden Brennstoffeinsatz haben.

Das KTBL (2014 b) kalkuliert für die Ferkelaufzucht einen Zusatzstromverbrauch der Ventilation von ca. 5 % bzw. ca. 1 kWh/(TP*a) bei 25 % Heizenergieeinsparung durch Wärmerückgewinnung. Dies entspricht einer Wärmerückgewinnung von 15 kWh_{th} pro eingesetzter kWh elektrischer Zusatzenergie für die Ventilation. Ähnliche Werte ermittelte auch RÖSMANN (2012) bei praktischen Untersuchungen mit einem rekuperativen Wärmetauscher in einem Ferkelaufzuchtbetrieb über den Zeitraum von einem Jahr.

Die Wirtschaftlichkeit von Luft-Luft-Wärmetauschern zur Wärmerückgewinnung aus der Abluft von Schweinehaltungsanlagen wird einerseits stark von den konkreten örtlichen Gegebenheiten (Lokalklima, gebäudebezogener individueller Installationsaufwand) und den resultierenden Investitionskosten, andererseits vom aktuellen Energiepreisniveau beeinflusst. Aufgrund des im Vergleich höchsten Wärmebedarfs bieten Ferkelaufzuchtanlagen die besten Voraussetzungen für einen wirtschaftlichen Betrieb von Wärmerückgewinnungsanlagen.

Umsetzungshinweise:

- Die Wärmetauscher sollten konstruktionsbedingt gute Selbstreinigungseigenschaften haben und müssen über integrierte Waschsyste­me verfügen, um anfallendes Kondensat und Waschwasser abzuleiten. Im Winter erfolgt i. d. R. eine ausreichende Abreinigung durch das anfallende Kondensat (RÖSMANN/BÜSCHER, 2010).
- Bei der Auswahl geeigneter Systeme sollten sowohl die Rückwärmzahlen (auch als Wärmerückgewinnungs- oder Temperaturwirkungsgrade bezeichnet) dieser Anlagen bei gleichen Auslegungsbedingungen (Außentemperatur, Ablufttemperatur) sowie die luftseitigen Druckverluste verglichen werden. Beide Kenngrößen haben entscheidenden Einfluss auf das Energieeinsparpotenzial im Betrieb. Maximale Rückwärmzahlen liegen je nach System bei ca. 65 % (LfL, 2012).
- Die DLG hat eine Vielzahl von Wärmerückgewinnungssystemen für die Tierhaltung unabhängig geprüft und damit eine Vergleichbarkeit technischer Parameter erleichtert.

Trockenheizen von Ställen

Auch beim Trockenheizen der Stallabteile nach der Reinigung vor dem Neueinstellen der Tiere lässt sich Heizenergie sparen. Nach FELLER (2016 a) ist es energetisch sinnvoller, die Raumtemperatur auf höhere Werte einzustellen und den Raum in kürzerer Zeit (mit geringeren Luftmengen) zu trocknen, als dies bei niedrigeren Raumtemperaturen möglich wäre. Bei einem Praxisversuch konnte gezeigt werden, dass für die Abteiltrocknung bei



Abbildung 21: Hocheffiziente Nassläuferpumpen einer Heizungsverteilung in einem Schweinehaltungsbetrieb

40 °C Lufttemperatur und einem Tag nur etwa 40 % des Brennstoffeinsatzes notwendig waren im Vergleich zu 30 °C Lufttemperatur und zwei Tagen Trocknungszeit. Es empfiehlt sich somit, die Raumtemperaturen bei der Trocknung auf den höchstmöglichen Wert einzustellen und den Luftdurchsatz bzw. die Trocknungszeit zu verkürzen.

Heizungspumpen

Einsparpotenziale finden sich bei Warmwasserheizungen, wenn noch unregelmäßige oder drehzahlregelte Umwälzpumpen mit Asynchronmotoren älterer Baujahre im Einsatz sind. Moderne Hocheffizienzpumpen amortisieren sich durch optimierte Hydraulik, Motorentechnik und Drehzahlregelooptionen über die erzielbaren Energiekosteneinsparungen in einem Zeitraum deutlich unterhalb ihrer technischen Nutzungsdauer. Der Ersatz älterer Pumpentechnik ist somit uneingeschränkt zu empfehlen. So sind bei Ersatz von Nassläuferpumpen mit Festdrehzahl durch moderne Hocheffizienzpumpen Energieeinsparungen zwischen 80 und 90 % möglich. Selbst wenn diese bereits über eine Drehzahlregelung verfügten, sind Einsparungen von mehr als 60 % zu erzielen (KETTNER, 2013). Die Vorteile der Drehzahlregelung lassen sich bei differenzdruckbehafteten Verteilern durch eine Differenzdruckregelung realisieren; bei Verteilern, die als Ringnetz ausgeführt sind, muss die Drehzahlanpassung der Pumpe über eine externe Steuerung (z. B. Außentemperaturgeführt) erfolgen. Moderne Hocheffizienzpumpen mittlerer Baugrößen erfassen neben den wesentlichen Leistungsparametern (Förderhöhe/Druck, Volumenstrom) auch die elektrische Leistungsaufnahme und den Stromverbrauch. Werden diese Werte regelmäßig verzeichnet, kann der Verbrauchsanteil der Heizungstechnik sauber bilanziert werden. Die energetischen Vorteile der Drehzahlregelung kommen bei Ersatz der Umwälzpumpen in den Mischkreisläufen der Stallabteile nicht zum Tragen, da diese mit konstantem Volumenstrom betrieben werden. Allerdings lassen sich auch hier Energieeinsparungen aufgrund der verbesserten Pumpenhydraulik sowie der Wirkungsgrade der eingesetzten

Permanentmagnetmotoren von Hocheffizienzpumpen und der Möglichkeit, den Volumenstrom exakter auf den Bedarf anzupassen, erreichen.

Warmwasserheizungsanlagen

Zur Vermeidung unnötig hoher Wärmeverluste im Verteilsystem und zur Sicherstellung niedriger Rücklaufemperaturen bei Brennwertheizgeräten sind möglichst niedrige Vorlauftemperaturen einzustellen und diese entsprechend den Außentemperaturbedingungen anzupassen. Im Anlagenbestand kann dies nur über eine vorsichtige Anpassung der Heizkurve des Wärmeerzeugers erfolgen. Durch eine Parallelverschiebung der Heizkurve nach unten oder eine Reduzierung der Steilheit können die gewünschten Effekte in einem begrenzten Maß erreicht werden, solange die Wärmeabgabe in den Stallabteilen unter allen Lastbedingungen vollständig sichergestellt werden kann. Insofern ist diese keine einmalige Maßnahme, sondern sollte permanent überprüft und bedarfsweise optimiert werden.

LED-Beleuchtung

Analog zur Beschreibung im Abschnitt »Milchviehhaltung« bietet die LED-Technologie wirtschaftliche Möglichkeiten zu Energieeinsparungen bei der Stall- und Allgemeinbeleuchtung, wobei in der Schweinehaltung im Bestand typischerweise Leuchten mit Leuchtstofflampen vorzufinden sind. Aufgrund der vergleichsweise hohen Ammoniakkonzentrationen im Stall müssen LED-Leuchten als speziell ammoniakbeständig ausgewiesen sein und die üblichen Schutzgrade gegen Feuchtigkeit bzw. Staub gewährleisten. Durch die DLG wurden mittlerweile die ersten Leuchtmittel auf Ammoniakbeständigkeit zertifiziert.

Der Einsatz handelsüblicher LED-Retrofit-Röhren ohne ausgewiesene Ammoniakbeständigkeit lässt sich zwar aufgrund vergleichsweise niedriger Investitionskosten dieser Röhren bei üblichen Nutzungszeiten wirtschaftlich sehr gut darstellen, ist aber mit dem unternehmerischen Risiko verringerter Lebensdauern der Leuchtmittel verbunden. In jedem Fall müssen Leuchtkraft und Abstrahlwinkel der vorgesehenen LED-Tubes beachtet werden. Die Hinweise im Abschnitt 4.1.4 gelten gleichermaßen.

4.3 Geflügelhaltung

4.3.1 Energiekennzahlen

Zum spezifischen Energiebedarf in der Geflügel-Stallhaltung sind nachfolgend Berechnungswerte vom KTBL (2014 b) ausgewiesen:

Tabelle 16: Spezifischer Energiebedarf in der Geflügelhaltung, Angaben in kWh/(TP*a)

Hühnermast (Kurzmast)		Hühnermast (Schwermast)		Legehennenhaltung	
Strom	Wärme	Strom	Wärme	Strom	Wärme
1,1	6,5	1,7	5,7	1,5	0

4.3.2 Anforderung an die Verfahrensgestaltung mit Einfluss auf den Energieverbrauch

Bei der Geflügelhaltung wirken sich folgende Parameter wesentlich auf den Energieverbrauch aus:

■ **Ventilation:** Die Ställe sind mit ausreichend Frischluft zu versorgen, um Schadgase (Ammoniak, Kohlendioxid, Schwefelwasserstoff) auf das in der TierSchNutzV (2001) vorgegebene Höchstmaß zu begrenzen und Feuchtigkeit aus dem Stall abzuführen. Hierfür ist der Einsatz von Abluftventilatoren notwendig. Im Sommerbetrieb wird die Ventilationsrate vor allem dadurch bestimmt, dass die Temperaturdifferenz zwischen Stallluft und Außenluft 3 K nicht überschreiten soll (DIN 18910-1). Für den Winterfall gelten Mindestluftwechselraten. Die TierSchNutzV (2001) fordert weiterhin die Einhaltung maximaler relativer Luftfeuchten bei Außentemperaturen unter 10 °C von im Mittel 70 %.

■ **Beleuchtung:** Mindestanforderungen an das Lichtregime und Mindestbeleuchtungsintensitäten für die Haltung von Geflügel sind in der TierSchNutzV (2001) festgeschrieben. Unter Be-

rücksichtigung des Wahrnehmungsvermögens der Tiere ist außerdem sicherzustellen, dass künstliches Licht flackerfrei bereitgestellt wird (d. h. keine Verwendung magnetisch-induktiver Vorschaltgeräte bei Leuchtstofflampen). Nach TierSchNutzV (2001) ist bei künstlicher Beleuchtung ein Lichtprogramm einzustellen, dass sich am natürlichen Tag-Nacht-Rhythmus orientiert. Für Masthühner ist dabei eine mindestens sechsstündige, für Legehennen eine mindestens achtstündige ununterbrochene Dunkelphase (< 0,5 lx) mit ausreichenden Dämmungsphasen einzuhalten. Bei der Masthühnerhaltung wird in der Hellphase eine Mindestbeleuchtungsstärke von 20 lx in Kopfhöhe der Tiere vorgeschrieben (TierSchNutzV, 2001). Expertenempfehlungen liegen mit 40 lx etwas höher (KTBL, 2014 b). Eine Besonderheit des Sehvermögens tagaktiver Vögel ist die Tatsache, dass diese neben den Farbkanälen Rot, Grün und Blau auch UV-Licht und Schillerfarben sehen. Aus Sicht der wissenschaftlichen Grundlagenforschung entsprechen deshalb praxisüblich eingesetzte Leuchtstofflampen ohne UV-Anteil im Lichtspektrum nicht den Anforderungen an eine tiergerechte Beleuchtung in Geflügelställen (LfULG, 2015 b).

■ **Beheizung:** Heizenergiebedarf besteht nur im Bereich der Hähnchenmast, da die Tiere direkt nach dem Einstellen noch nicht genügend Wärme produzieren, um die Wärmeverluste über Lüftung und Bauteile ausgleichen zu können. Ca. 15 bis 25 % des Wärmebedarfs sind zur Aufheizung der Ställe auf etwa 30 °C erforderlich, weitere ca. 70 bis 80 % des Bedarfs entfallen auf die ersten 20 Tage der Mast (SCHNEIDER/BÜSCHER, 2006). Für die Legehennenhaltung ist eine Beheizung i. d. R. nicht erforderlich, da die Tiere hinreichend Wärme produzieren, um die Wärmeverluste auszugleichen (KTBL, 2014 b).

4.3.3 Energieverbraucherstruktur

Die Energieverbraucherstruktur typischer Geflügelhaltungsbetriebe ist in Abbildung 23 exemplarisch für die Kurzmast

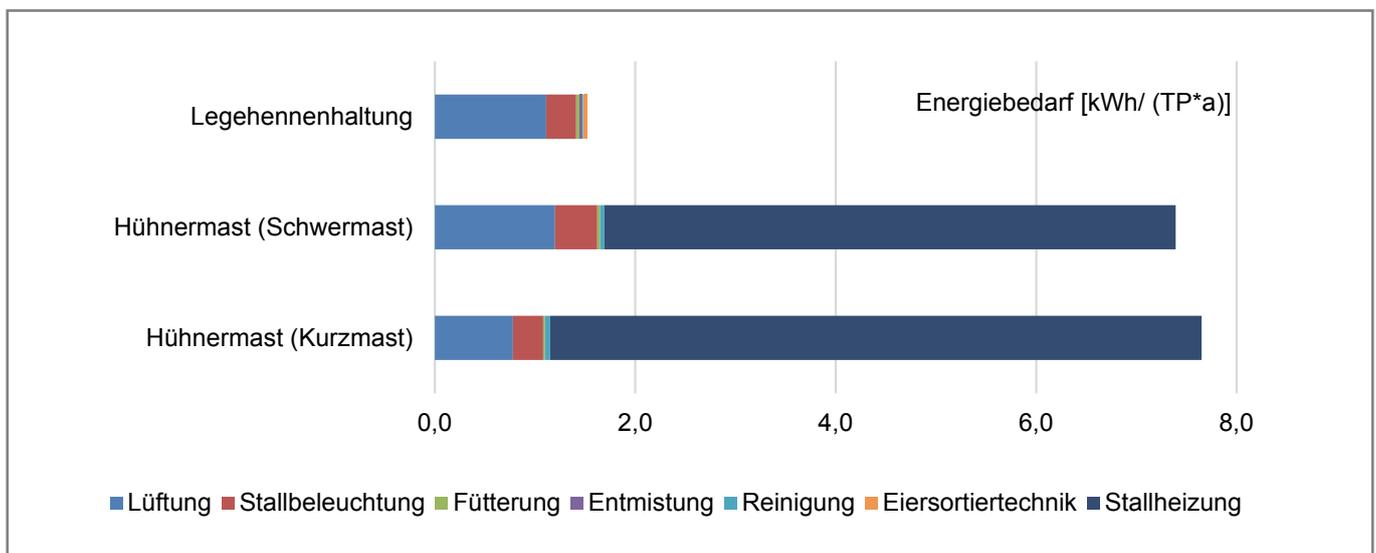


Abbildung 22: Jährlicher tierplatzspezifischer Energiebedarf von Modellställen der Geflügelhaltung, Quelle: KTBL (2014 b)

37.000 TP, die Schwermast 26.500 TP (Bodenhaltung) und die Legehennenhaltung 15.000 TP (Volierenhaltung mit Kaltscharr-raum) dargestellt. Die angegebenen Verbrauchswerte verstehen sich ohne den Anteil elektrischer Kleingeräte sowie notwendiger Büro- und Sozialgebäude.

Aufgrund der dominierenden Anteile der Stallbeheizung und der Lüftung am Energieverbrauch von Geflügelhaltungsbetrieben sollten Maßnahmen vorrangig in diesen Bereichen untersucht werden.

4.3.4 Typische Maßnahmen und Einsparpotenziale

Wärmerückgewinnung aus der Abluft

Eine effektive Maßnahme zur Reduzierung des Heizenergiebedarfs in Mastgeflügelställen ist der Einsatz eines Wärmetauschers zur Wärmerückgewinnung (WRG) aus der Abluft. Da Geflügelställe i. d. R. im Unterdruckbetrieb gefahren werden und die Frischluft über Zuluftventile angesaugt wird, muss die WRG zu- und abluftseitig parallel angebonden werden. Der Wärmetauscher wird üblicherweise an der Gebäudelängsseite installiert. Üblicherweise erfolgen die Abluftabsaugung im Bereich der Außenwand und die Einspeisung der vorgewärmten Luft über Düsen mit unterschiedlichen Wurfrichtungen. Mittels zusätzlicher oder vorhandener Umluftventilatoren wird die vorgewärmte Luft im Stall verteilt. Zur Überwindung der Druckverluste über den Wärmetauscher dienen integrierte Zu- und Abluftventilatoren. Der Betrieb dieses Wärmetauschers erfolgt parallel zur vorhandenen Lüftungstechnik und wird bei höherem Luftbedarf durch diese ergänzt bzw. bei Überschreiten des Raumtemperatursollwerts bei höheren Außentemperaturen außer Betrieb genommen.

Maximal erzielbare Einsparungen an Heizenergie liegen nach Herstellerangaben für praxisübliche Auslegungen von WRG-Anlagen zwischen 50 und 60 %. Demgegenüber steht ein Mehrverbrauch an Elektroenergie zur Überwindung der zusätzlichen Druckverluste auf der Zu- und Abluftseite und der Luftverteil-

lung. Belastbare Faustzahlen zum spezifischen Zusatzstromverbrauch sind in der Literatur nicht veröffentlicht. Im DLG-Prüfbericht 6140F (DLG, 2011) wird ein Wert von 20 kWh_{th} pro eingesetzter kWh elektrischer Zusatzenergie für die Ventilation angegeben. Hinzu kommt der Strombedarf für die zusätzlich notwendige Umluftventilation im Stall. Damit sollte der gesamte Zusatzbedarf etwa vergleichbar mit den Zahlen sein, die für Schweinehaltungsanlagen veröffentlicht sind (siehe Kapitel 4.2.4).

Eine Nachrüstung von Abluft-Wärmetauschern bei der Geflügelmast lässt sich – insbesondere unter Nutzung von Fördermöglichkeiten – auch bei niedrigen Brennstoffkosten wirtschaftlich darstellen. Ein Grund hierfür mag die Tatsache sein, dass im Vergleich zur Schweinehaltung bei der Geflügelmast eine stärkere Typisierung von Stallanlagen mit vergleichsweise einfacher Lüftungstechnik zu finden ist, die relativ standardisierte Nachrüstlösungen mit kalkulierbaren Investitionskosten zulässt.

Weitere Vorteile dieser Technologie:

- Trocknere Einstreu durch Verringerung des Kaltlufteinfalls im Bereich der Wände und des Feuchteintrags durch die Zusatzbeheizung bei Heizungssystemen ohne Rauchgasabfuhr
- Verringerte Staubemissionen in der Abluft durch Staubbeseitigung von den Wärmetauscherflächen über periodische Reinigung mit Wasser
- Reduzierte Ammoniak- und Geruchsemissionen mit der Abluft durch trockenere Einstreu, insbesondere im Winter
- Praxiserfahrungen zeigen, dass sich durch die genannten Vorteile die Tiergesundheit verbessert und Leistungssteigerungen erreicht werden können.

Beachtenswerte Punkte für den geplanten Einsatz von Wärmetauschern in der Geflügelhaltung sind gleichlautend zu denen im Bereich der Schweinehaltung (siehe Kapitel 4.2). Zu beachten ist, dass bei den i. d. R. genehmigungspflichtigen Geflügelmastanlagen die Installation eines Abluft-Wärmetauschers mit der Schaffung eines neuen Emissionspunktes einhergeht. Auch wenn hierdurch potenziell mit einer Reduzierung des Emissionsniveaus zu rechnen ist, muss vorab geprüft werden, inwieweit geplante Änderungen genehmigungsbedürftig sind.

Einsatz von Gasheizgeräten mit Rauchgasabfuhr

Häufig werden in der Geflügelmast Gasheizgeräte mit direkter Verbrennung eingesetzt, bei denen die Rauchgase verfahrensbedingt in den Stall abgegeben werden. Dies hat den Nachteil, dass der Stallluft zum einen Sauerstoff entzogen und diese zusammen mit CO₂ und anderen Schadgasen aus der Verbrennung angereichert wird. Hinzu kommt der Feuchteintrag durch den Verbrennungsprozess. Um die Verbrennungsprodukte aus dem



Abbildung 23: Nachgerüsteter Abluft-Wärmetauscher an einem Hühnermaststall



Abbildung 24: Raumluftunabhängiges Gasheizgerät mit Rauchgasabfuhr im Geflügelmaststall



Abbildung 25: LED-Leuchte im Geflügelstall

Stall abzuführen, müssen erhöhte Lüftungsraten im Vergleich zu Systemen mit indirektem Wärmeeintrag gefahren werden.

Die genannten Nachteile entfallen bei Gasheizgeräten mit geschlossener Brennkammer, die raumluftunabhängig mit Verbrennungsluft versorgt werden und deren Rauchgase über einen Schornstein nach außen abgeführt werden.

Praxisüblich sind Gaskanonen mit Rauchgasabfuhr oder Dunkelstrahler (Strahlrohre mit Reflektoren). Bei Dunkelstrahlern wird der größte Teil der Wärme in Form von Strahlung abgegeben. Dabei werden vorrangig Objekte, auf die die Strahlung auftritt, erwärmt (Fußboden, Tiere). Die Lufterwärmung erfolgt bei diesen Systemen indirekt über konvektive Wärmeabgabe des Fußbodens. Grundsätzlich können deshalb bei Einsatz von Dunkel- und Hellstrahlern die Lufttemperaturen etwas niedriger eingestellt werden, da die vom Tier empfundene Temperatur höher liegt als die eigentliche Raumtemperatur. Idealerweise erfolgt bei den genannten Systemen bereits eine Vorwärmung der Verbrennungsluft, indem diese durch einen doppelwandigen Schornstein angesaugt wird. Hierdurch kann der feuerungstechnische Wirkungsgrad der Anlage optimiert werden.

SCHNEIDER/BÜSCHER (2006) konnten anhand vergleichender Messungen an jeweils zwei baulichen Masthähnchenställen Brennstoffeinsparungen von ca. 15 % bei Einsatz der Gasheizgeräte mit Rauchgasabführung nachweisen. Die Autoren weisen jedoch darauf hin, dass sich entsprechende Verbrauchsminderungen in der Praxis nur dann erreichen lassen, wenn die Klimasteuerung an das Heizsystem angepasst wird (Reduzierung der Lüftungen).

Weitere Maßnahmen

Neben den oben genannten Optimierungsansätzen lassen sich auch im Bereich der Geflügelhaltung durch Einsatz von LED-

Beleuchtung und moderne Ventilator Technik (EC-Ventilatoren, Drehzahlregelung über Frequenzumrichter) wirtschaftliche Energieeinsparungen erreichen. Die entsprechenden Ansätze sind in den Abschnitten 4.1.4 und 4.2.4 ausführlich beschrieben, auf eine Wiederholung wird deshalb an dieser Stelle verzichtet.

4.4 Biogasanlagen

Mit den im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) festgeschriebenen Vergütungsregeln für den erzeugten Strom bieten Biogasanlagen (BGA) eine kalkulierbare Einnahmequelle für den Landwirtschaftsbetrieb. Wichtige Kenngrößen zur Energieeffizienz einer BGA sind der Umsetzungsgrad bzw. die Methanausbeute der zugeführten organischen Substanz und der Eigenstrombedarf der Anlage. Dieser liegt zwischen 4 und höchstens 15 % der erzeugten elektrischen Arbeit. Wesentliche Hauptverbraucher sind die Rührtechnik, die Substrataufbereitungs- und Einbringungstechnik, die Gasverdichtung und -kühlung sowie der Eigenstrombedarf des BHKW, wobei die Anteile am Eigenbedarf je nach technischem Konzept, Ausstattung und Substratmix stark variieren können.

Typische Maßnahmen und Einsparpotenziale

Ansatzpunkte für Maßnahmen zur energetischen Optimierung von Biogasanlagen sind vielfältig und können hier nur exemplarisch dargestellt werden. Optimierungsmaßnahmen sollten auf einer fundierten Bilanzierung aller Stoff- und Energieströme basieren und eine Betrachtung zum Ausnutzungsgrad des Energiepotenzials der Eingangsstoffe (insbesondere der nachwachsenden Rohstoffe) beinhalten.

Beispiele für wirtschaftliche Effizienzmaßnahmen bestehender Biogasanlagen (Auswahl):

- Optimale Ausnutzung des Wärmepotentials
- Einsatz hydraulisch optimierter Rührwerke: 25 bis 70 % Einsparung
- Ersatz vorhandener BHKW durch wirkungsgradoptimierte Modelle oder Zubau entsprechender Module im Rahmen einer Flexibilisierung der Stromproduktion: Verbesserung des elektrischen Wirkungsgrads um bis zu 15 % (je nach Bestandsanlage)
- Nachrüstung eines Freikühlers als Vorschaltstufe der Gaskühlung (Kälteaggregat): Einsparpotenzial bis zu 75 % des Stromverbrauchs des Gaskühlers
- Optimierung der Eintragstechnik durch kombinierte Fest-Flüssig-Förderung

- Der Einsatz mechanischer Zerkleinerungs- und Desintegrationsverfahren zur Substratvorbehandlung muss einzelbetrieblich abgewogen werden (Vorteile: verbesserte Fließfähigkeit und geringerer Energiebedarf für das Rühren, Verbesserung der Umsatzrate im Fermenter und Ausbeuteerhöhung, Reduzierung von Störungen der Anlagentechnik; Nachteil: kostenintensive Investition mit zusätzlichem Betriebsaufwand)
- Nachrüstung gasdichter Abdeckungen auf bislang offenen Gärrestlagern und energetische Nutzung bisher ungenutzter Methanemissionen [in LfULG (2014) für den sächsischen Anlagenbestand mit durchschnittlich 3,5 % der Gasproduktion bei offenen Gärrestlagern abgeschätzt], kann in Kombination mit einer Flexibilisierung sinnvoll sein.
- Verlustminderung bei der Silierung nachwachsender Rohstoffe durch Einsatz von Silierhilfsmitteln und speziellen Silofolien



vorher



nachher



Abbildung 26: »Repowering« einer Biogasanlage zur Flexibilisierung der Stromproduktion durch Vergrößerung des Gasspeichervolumens, Zubau eines hocheffizienten BHKW und Nachrüstung eines Wärmepufferspeichers

4.5 Außenwirtschaft

4.5.1 Energiekennzahlen

Der spezifische Dieseldieselfkraftstoffeffizienz zur Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen ist stark abhängig von der Anbaukultur, der Bodenbeschaffenheit, den Witterungsbedingungen, der Art der Bewirtschaftung, der eingesetzten Fahrzeugtechnik sowie der zu überwindenden Feld-Hof-Entfernung. Insofern sind spezifische Kennzahlen wenig geeignet, um Effizienzpotenziale im Sinne eines überbetrieblichen Vergleichsmaßstabs (»Benchmarks«) abschätzen zu können. Vom Verband der Landwirtschaftskammern (VdLWK, 2009) werden folgende Kennzahlen als Orientierungswerte für die Außenwirtschaft benannt:

- Ackerbewirtschaftung: 100 bis 110 Liter/ha a
- Grünlandbewirtschaftung: 80 Liter/ha a

Vielmehr können die im Abschnitt 3.2 benannten spezifischen Kennzahlen genutzt werden, um betriebliche Prozesse im Hinblick auf deren Dieseldieselfkraftstoffeffizienz vergleichen und bewerten zu können.

4.5.2 Anforderung an die Verfahrensgestaltung mit Einfluss auf den Energieverbrauch

Im Bereich der Außenwirtschaft (Pflanzenbau, Grünlandbewirtschaftung, Transportfahrten, Futterproduktion und Tierfütterung) erfordern alle Arbeitsprozesse mechanische Antriebsenergie bzw. Zugleistung, welche nach dem aktuellen Stand der Technik nahezu ausschließlich dieselmotorisch bereitgestellt wird. Die erforderliche Zugleistung wird im Wesentlichen durch die Bearbeitungstiefe und die Fahrgeschwindigkeit bei der Bodenbewirtschaftung sowie das Gewicht der zu transportierenden Produkte oder Betriebsmittel (inkl. des Eigengewichts der

Fahrzeugtechnik) bestimmt und stark durch Bodenart und -struktur, Feuchtegehalt und Bearbeitungszustand beeinflusst. Bei anderen Arbeiten (z. B. Häckseln oder das Güllepumpen/-rühren über Zapfwelle) ist der Energiebedarf proportional zur Förderleistung oder der gewünschten Produktqualität (z. B. Häcksellänge). Auch im Hinblick auf die Kraftübertragung des Schleppers auf den Boden (Triebkraftverhalten) sind die Bodenparameter von entscheidender Bedeutung.

Alle weiteren Einflüsse auf den Dieseldieselfkraftstoffverbrauch ergeben sich aus der Effizienz der Schlepper und Arbeitsgeräte sowie deren Auswahl, Kombination und Betriebsweise. Gerade für den letztgenannten Bereich bestehen wesentliche Einsparmöglichkeiten in der Praxis, wie nachfolgend gezeigt werden soll.

4.5.3 Typische Maßnahmen und Einsparpotenziale

Im Bereich des Pflanzenbaus ist der Kraftstoffeffizienz der Nutzfahrzeuge (insbesondere Ackerschlepper, aber auch Radlader und Lkw) die wichtigste Energieverbrauchsgröße. Betrachtet man die Gesamtkosten eines Ackerschleppers über dessen Nutzungsdauer (sogenannte Lebenszykluskosten), entfallen etwa **25 bis 40 %** (MICHELIN, 2014) bzw. **bis zu 50 %** (VOLK, 2016) **auf den Kraftstoffeffizienz**. Daher werden im Folgenden nur Maßnahmen zur Verringerung des Kraftstoffeffizienz – insbesondere der Ackerschlepper – erläutert. Auf den Energieeffizienz in peripheren Bereichen des Ackerbaus (z. B. Beheizung und Stromverbrauch von Gebäuden) wird nicht weiter eingegangen.

Moderne Fahrzeugtechnik

Ackerschlepper

Moderne Schleppertechnik befindet sich auf einem relativ hohen technischen Entwicklungsstand. Während verbrauchssenkende Maßnahmen wie z. B. die Common-Rail-Einspritzung, turboaufgeladene Motoren mit Ladeluftkühlung, stufenlose oder last-

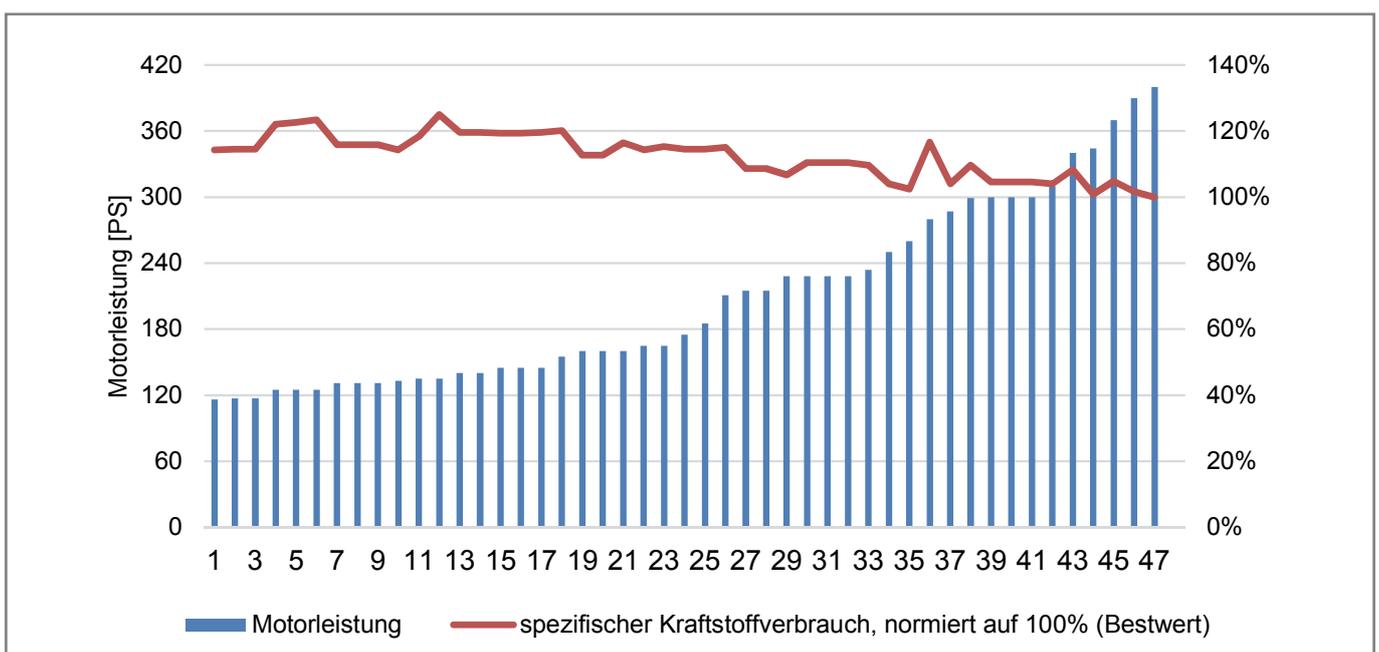


Abbildung 27: Normierte spezifische Kraftstoffverbräuche DLG-geprüfter Traktoren im »Powermix«-Test, Quelle: DLG (2017)

schaltbare Getriebe o. Ä. früher nur in wenigen Fabrikaten zu finden waren, sind diese Technologien heute zumeist Standard. Auch die spezifischen Dieselverbräuche moderner Traktoren zeigen geringe Unterschiede, sofern reproduzierbare und vergleichbare Testbedingungen wie bei den Tests der DLG zugrunde liegen. So zeigen die von der DLG als »Powermix« bezeichneten Testreihen, die typische Feldbedingungen widerspiegeln sollen, für 47 marktverfügbare Modelle im Leistungsbereich zwischen 116 und 400 PS die in nachfolgender Abbildung 27 dargestellten Zusammenhänge. Die spezifischen Verbrauchswerte sind hier normiert als Prozentwerte angegeben, der 100-%-Wert ist der geringste spezifische Verbrauch des leistungsstärksten Schleppers:

Die Testergebnisse der DLG (2017) verdeutlichen folgende Trends:

- Der spezifische Kraftstoffbedarf moderner Traktoren sinkt mit steigender Leistungsgröße der Schlepper, leistungsstarke Ackerschlepper haben einen spezifischen Verbrauchswert, der bis zu 20 % niedriger liegt als Schlepper geringerer Leistung.
- Der spezifische Verbrauch von Ackerschleppern ähnlicher Leistungsklassen schwankt mit max. 5 % um den jeweiligen Klassenmittelwert, die absolute Spannweite innerhalb einer Leistungsklasse liegt deutlich unter 10 %.

Nach Abschätzungen von VOLK ET AL. (2011) lassen sich mit moderner Fahrzeugtechnik im Vergleich zu veralteter Schlepper-technik durch Motormanagementsysteme bis zu 15 %, automatische Lenksysteme bis zu 5 % und eine optimierte Kühlerregelung 2 % Dieselkraftstoff einsparen. Die bei modernen Ackerschleppern inzwischen serienmäßig erhältlichen Energiesparzapfwellen (Eco-Zapfwellen, z. B. 540 E mit 750 U/min oder »750er«, 1000 E mit ca. 1400 U/min) ermöglichen es, die von den Arbeitsgeräten oftmals geforderten Normdrehzahlen (540 U/min oder 1000 U/min) bereits bei geringerer Motordrehzahl mit einem besseren Wirkungsgrad zu erzielen (sogenannte Konstant-Leistungs-Motoren). Wesentlicher Vorteil dieser Zapfwellen im Vergleich zu Standardzapfwellen ist die größere Anzahl möglicher Übersetzungsstufen, die sich dem »Ideal« einer stufenlosen Zapfwellenübersetzung annähert und damit zur Verbesserung der Betriebspunkte bei unterschiedlichen Zapfwellenarbeiten beiträgt. Einsparungen durch Einsatz dieser Technik im Vergleich zu älteren Traktoren mit Standard-Zapfwelldrehzahlen sind stark abhängig vom Leistungsbedarf der angeschlossenen Arbeitsgeräte und dem Auslastungsgrad des Traktormotors und werden mit Werten zwischen 2 % (VOLK ET AL., 2011) und max. 30 % (DLG, 2006) angegeben.

Reifendruckregelanlagen sind bislang leider noch keine Serienausstattung moderner Ackerschlepper, obwohl durch flexible Reifendruckregelung eine Reihe betriebswirtschaftlicher Vorteile darstellbar sind (vgl. Beschreibung auf [Seite 57?](#)). Nach VOLK (2016) gab es Anfang des Jahres 2016 nur einen Hersteller, der

werksseitig integrierte Reifendruckregelanlagen für Traktoren größerer Leistungsklassen anbot.

Arbeitsgeräte

Auch bei der Beschaffung neuer Arbeitsgeräte bestehen deutliche Dieseleinsparpotenziale im Vergleich zu älterer Technik. Bereits beim Kauf sollte beachtet werden, dass die Arbeitsgeräte einen möglichst geringen Leistungsbedarf haben (Zugkraftbedarf) und verbrauchsoptimiert gestaltet sind (z. B. optimierte Scharformen beim Pflug oder Flügelschargrubber). Auch neue Techniken wie z. B. die Spatenmaschine können in bestimmten Anwendungsfällen einen energieeffizienten Ersatz für den klassischen Pflug darstellen. Sinnvoll ist ferner der Einsatz von Kombinationsgeräten, die mehrere Arbeitsschritte in einem Zuge bewerkstelligen können (z. B. Rundballenpresse mit integriertem Ballenwickler) (VdLWK, 2009).

Technikeinsatz und Nutzerverhalten

Wissenschaftliche und praxisnahe Untersuchungen zeigen wesentliche Einsparpotenziale für Diesel bei Ackerschleppern auf, die auf ein angepasstes Nutzerverhalten und eine vorausschauende Einsatzplanung der Fahrzeugtechnik abzielen. In Tabelle 17 sind die darin empfohlenen Maßnahmen zusammengefasst. Die jeweiligen maximalen Einsparpotenziale können jedoch meist nur erreicht werden, wenn im praktischen Einsatz weit vom Optimum entfernt gearbeitet wird. Außerdem schließen sich bestimmte Einzelmaßnahmen gegenseitig aus und können somit nicht kumulativ wirksam werden. Daher wird als Ergebnis der Untersuchungen oft ein maximales Gesamteinsparpotenzial unter Praxisbedingungen abgeschätzt.

Tabelle 17: Kraftstoffeinsparpotenziale bei Ackerschleppern

Maßnahme	Maximale bzw. praxisübliche Einsparung nach	
	SCHREIBER (2006)	VOLK ET AL. (2011)
Richtige Schleppermasse	10 %	k. A.
Ballastierung und optimierter Zugpunkt	k. A.	10 %
Richtige Radlastverteilung	2 %	k. A.
Richtige Bereifung und Luftdruck	8 %	15 %
Optimierte Gangwahl	26 %	k. A.
Schlepper-Geräte-Kombination	20 %	k. A.
Anpassung Fahrgeschwindigkeit	8 %	k. A.
Zuschalten Allradantrieb	8 %	k. A.
Zuschalten Differenzialsperre	5 %	k. A.
Fahren quer zum Hang	5 %	k. A.
Angepasste Arbeitstiefe	k. A.	10 %
Fahrerkönnen/vorausschauendes Fahren	k. A.	20 %
Pflege und Wartung	k. A.	k. A.
Konservierende Bodenbearbeitung	k. A.	k. A.
Mögliche Einsparpotenziale bei Kombination von Maßnahmen	5 – 25 %, max. 30 %	> 25 %

Unter praxisüblichen Bedingungen sind somit Dieseleinsparungen von bis zu 30 % realistisch, die im Wesentlichen ohne investive Zusatzkosten realisiert werden könnten.

Nachfolgend sollen relevante Maßnahmenansätze erläutert werden, die durch ein geschultes Nutzerverhalten und einen einsatzoptimierten Betrieb der Gerätetechnik erreicht werden könnten:

Angepasste Schleppermasse, Ballastierung und Zugpunktoptimierung

Sowohl zu große als auch zu geringe Schleppermassen führen zu erhöhten Kraftstoffverbräuchen. Zu geringe Schleppermassen bewirken einen zu großen Schlupf, d. h. die tatsächlich zurückgelegte Strecke pro Radumdrehung weicht vom Radumfang ab. Hohe Schleppermassen verursachen einen erhöhten Rollwiderstand. Der minimale Kraftstoff- und Leistungsbedarf liegt bei einem Schlupf von etwa 10 % (SCHREIBER, 2006).

Tendenziell weisen moderne Ackerschlepper ein geringeres Leistungsgewicht (kg/kW) als ältere Modelle auf. Demnach müssen diese – insbesondere bei Ausrüstung mit großvolumigen Reifen – für schwere Zugarbeiten mit zusätzlichen Gewichten ausgestattet werden (Ballastierung), um eine optimale Zugkraftübertragung auf den Boden bei geringerem Schlupf und eine ausgewogene Radlastverteilung zu erreichen (WEISSBACH, 2011). Grundsätzlich ist zu beachten, dass die optimale Ballastierung eines Schleppers nicht von der Motorleistung, sondern lediglich vom Zugkraftbedarf abhängig ist (SCHREIBER, 2006). Für eine Zusatzballastierung empfehlen sich Front- oder Heckgewichte sowie die Gewichtsverlagerung über Oberlenker vom Arbeitsgerät auf die Hinterachse der Maschine (sogenannte Traktionsverstärker). Der Traktor sollte bei schweren Arbeiten auf dem Acker waagrecht zum Boden ziehen. Die Auswahl des geeigneten Frontgewichts erfolgt nach Beobachtung der arbeitenden Maschine aus ca. 30 m Entfernung: Hält der Traktor die »Nase« zu hoch, wird Frontgewicht ergänzt (VOLK, 2016). Einfacher ist es, eine fahrzeugintegrierte Schlupfanzeige zu nutzen, um die Notwendigkeit einer Auf- oder Abballastierung zu überprüfen (SCHREIBER, 2006). Eine gewichtsoptimierte Ballastierung sollte immer im Zusammenhang mit einem angepassten, möglichst niedrigen Reifeninnendruck erfolgen, da erst in Kombination beider Maßnahmen eine optimale Zugkraftübertragung erreicht werden kann. Neben der Einsparung von Dieselmotorkraftstoff lässt sich durch ein angepasstes Leistungsgewicht auch die Flächenleistung erhöhen und damit die Ge-

samteffizienz des Arbeitsgangs verbessern (Reduzierung der Personalkosten).

Der Effekt zu großer Schlepperleistungen ist für drei verschiedene Schleppergrößen für den Transport von 24 Tonnen Nutzlast unter praxisüblichen Bedingungen in nachfolgender Tabelle 18 beispielhaft dargestellt.

In analoger Weise wirkt sich die Verwendung von Zusatzgewichten negativ auf den Dieserverbrauch bei Transportaufgaben durch Traktoren aus und sollte für diesen Anwendungsfall möglichst vermieden werden. Insofern empfiehlt sich die Verwendung von Ballastgewichten, die schnell zu montieren/demontieren sind.

Eine weitere wesentliche Einflussgröße ist die Einstellung des Zugpunktes der Arbeitsgeräte. So sollten beispielsweise beim Pflug die Unterlenker schräg stehen und die gleiche Länge aufweisen sowie horizontal parallel zum Boden verlaufen. Außerdem sollte der Oberlenker leicht zum Pflug hin ansteigen (ANONYM, 2002). Bei moderner Schleppertechnik kann die vorhandene Dieserverbrauchsanzeige genutzt werden, um die Pflugeinstellungen von der Fahrkabine aus weiter zu optimieren (VOLK, 2011).

Richtige Radlastverteilung

Die auch aus energetischer Sicht optimale Radlastverteilung ist etwa dann erreicht, wenn ca. 30 bis 40 % auf der Vorderachse und ca. 60 bis 70 % auf der Hinterachse lasten (BRÖSE, 2012; SCHREIBER, 2006; VOLK, 2016).

Richtige Bereifung und Luftdruck

Die richtige Bereifung und ein dem Anwendungsfall angepasster Reifeninnendruck sind wirkungsvolle Energiesparmaßnahmen. Auf dem Acker ist die Verwendung hoher und möglichst breiter Reifen mit hohen, schmalen Stollen, die im Zusammenhang mit einem niedrigen Reifeninnendruck eine möglichst große Kontaktfläche zum Boden gewährleisten, empfehlenswert. Analog kann auch durch die Verwendung von Doppel- oder Zwillingsreifen die Kontaktfläche deutlich vergrößert werden. Insbesondere bei schweren Zugarbeiten sollte die Profilhöhe der Stollen einen Wert von 2 cm nicht unterschreiten, da der Schlupf ansteigt und der Reifen hierdurch nur ca. 80 % seiner Traktion übertragen kann (VdLWK, 2009). Das Gewicht des Schleppers sollte an die Bereifung und den Reifeninnendruck sowie die Arbeitsaufgabe angepasst sein. Ziel der genannten Maßnahmen ist die Einstellung eines möglichst geringen Schlupfs (etwa 10 %) und damit verbunden einer möglichst geringen Beeinflussung und Verdichtung des Bodengefüges. Die grundlegenden Mecha-

Tabelle 18: Kraftstoffverbrauch von Schleppern bei Transportaufgaben, Quelle: KOWALEWSKY (2009)

Schlepperleistung	Gewichte			Dieselverbrauch bei Transporten	
	Schlepper	Anhänger	gesamt		
125 PS	5,8 t	24 t	29,8 t	55 l/100 km	100 %
175 PS	6,9 t	24 t	30,9 t	67 l/100 km	121 %
250 PS	9,1 t	24 t	33,1 t	77 l/100 km	140 %

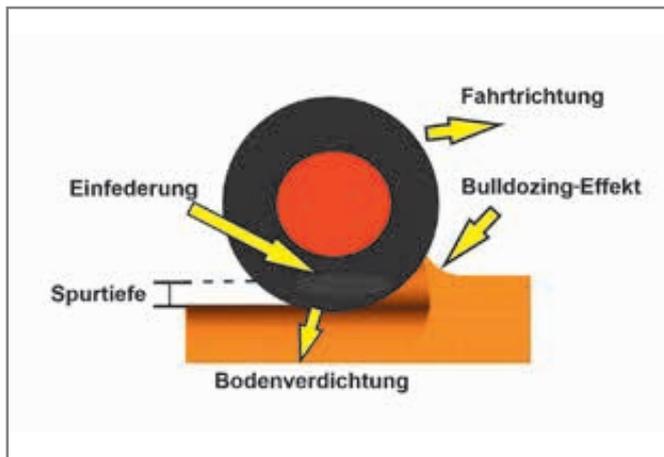


Abbildung 28: Mechanismen des Bodeneingriffs von Schlepperreifen, Quelle: Volk (2014 a)



Abbildung 29: Traktor mit nachgerüsteter Reifendruckanlage

nismen des Eingriffs eines Schlepperreifens in das Bodengefüge sind in nachfolgender Abbildung 28 dargestellt.

»Bei der Bodenbearbeitung bewegt sich der Schlepper mit mehr oder weniger Einsinktiefe im Feld. Die Spurtiefe bedeutet Bodenverdrängung nach unten und durch Schlupf nach hinten. Gleichzeitig fährt der Schlepper bei der Spurbildung mit den Reifen fortwährend gegen einen Erdwall. Dieses kraftzehrende und permanente Bergauffahren im Ackerboden wird Bulldozing-Effekt genannt« (Volk, 2014 a). Bei Verringerung der Kontaktfläche Reifen – Boden (z.B. bei hohen Reifendrücken oder Standardbereifung) oder Erhöhung der Radlasten vergrößern sich Bodendruck und Spurtiefe. Die Bodenverdichtung gewinnt an Tiefenwirkung.

Faustzahl: Eine 1 cm tiefere Spur ist mit einem 10-%-igen Dieselmehrverbrauch verbunden (Volk, 2014 a).

Aus diesem Grund ist die Bodenkontaktfläche durch großvolumige oder Doppelreifen sowie niedrige Reifeninnendrucke möglichst zu vergrößern. Für die Druckanpassung eignen sich sowohl mobile als auch fest installierte Reifendruckregelsysteme. Vom Reifenhersteller werden Mindestdrücke in Abhängigkeit der Radlasten und der Höchstgeschwindigkeit als Tabellenwerte angegeben. Der Druckunterschied zwischen Vorder- und Hinterreifen sollte nicht größer als 0,4 bar sein (Bröse, 2012).

Faustzahl: Der Reifendruck bei der Bestellung bzw. bei nassem Boden sollte 1 bar und bei der Ernte 2 bar nicht überschreiten (Volk, 2014 a; DLG, 2008).

Ein reduzierter Reifendruck bei Straßenfahrten hat durch Erhöhung des Rollwiderstands negative Auswirkungen auf den Dieselmotorkraftstoffverbrauch und steht damit im Widerspruch zu den o. g. Ansätzen. Für Straßenfahrten sollte zur Verlustminimierung ein möglichst hoher Reifeninnendruck realisiert werden. In der Praxis wird häufig ein Kompromiss zwischen beiden Anwendungsfällen (z. B. 1,8 bar) genutzt, sodass sich bei Straßentransporten mit höheren Reifendrücken sogar geringfügige Dieseleinsparungen (bis 2 %) und eine kürzere Fahrzeit (3 %) erzielen lassen (Fendt, 2017).

Stand der Technik zur Reifendruckregelung im Fahrzeugbestand sind folgende Technologien (Volk, 2014 b):

- Mobile Reifenfüll- und Schnellentlüftungs-Sets mit Schnellkuppler auf dem Reifenventil, Kosten: ca. 200 € (zwei Hersteller) und Schnellentlüftungs-Set
- Fest installierte Reifendruckregelanlagen am Fahrzeug, Kosten: ca. 5.000 – 9.000 € (Volk, 2016)
 - Zweileitersysteme (zwei Hersteller): eine Versorgungs- und eine Steuerleitung, nur beim Regeln unter Druck
 - Einleitersysteme (zwei Hersteller): In den Zuleitungen steht ständig der Reifendruck an.

Je nach gewünschter Druckwechselzeit von Acker- auf Straßendruck kann der vorhandene Bremsenkompressor genutzt oder ein Zusatzverdichter installiert werden. Bewährt haben sich hydraulisch angetriebene Schraubenverdichter mit hoher Förderleistung (Volk, 2014 b).

Reifendruckregelanlagen amortisieren sich häufig innerhalb von zwei Jahren (Volk, 2014 b). Die Investitionskosten für mobile Reifenfüll- und Schnellentlüftungssets gleichen sich bereits innerhalb eines Jahres aus, erfordern jedoch dauerhaft einen geringfügigen zusätzlichen Personalaufwand. Auch für Anhänger und Arbeitsgeräte ist eine Reifendruckregelung sinnvoll und kann wirtschaftlich genutzt werden.

Der Einsatz angepasster Bereifung und niedriger Reifendrücke hat neben der Reduzierung des Dieselvebrauchs eine Reihe weiterer Vorteile, die sich direkt oder indirekt auf die betriebswirtschaftliche Bilanz der Flächenbewirtschaftung auswirken:

- Verringerte Bodenverdichtung, Aufrechterhaltung der natürlichen Bodenstruktur
- Verlängerung der Lebensdauer der Reifen [bis zu 40 % nach Denker et al. (2009)]
- Geringerer Energieaufwand zur Lockerung der verdichteten Stellen (z. B. Spuren)
- Arbeitszeiteinsparung durch Erhöhung der Flächenleistung



Abbildung 30: Unerwünschte Spuren in der Grasnarbe – verursacht durch 20 % Schlupf bei schwerer Zugarbeit

Angepasste Gangwahl (nach SCHREIBER, 2006)

Das größte Potenzial liegt in der Wahl des richtigen Ganges. Vor allem im Bereich niedriger Geschwindigkeiten und Arbeiten, die nur die halbe Nennleistung des Motors benötigen, sind deutliche Einsparpotenziale gegeben. **Um verbrauchsoptimiert zu fahren, sollte grundsätzlich der jeweils größtmögliche Gang bzw. die höchstmögliche Laststufe gewählt werden.** Selbst zwischen benachbarten Lastschaltstufen bestehen bei konstanter Fahrgeschwindigkeit noch Verbrauchsunterschiede von ca. 5 %. Die Verbrauchsdifferenz zwischen unterschiedlichen Gängen bzw. der höchsten und niedrigsten Laststufe eines Ganges kann zwischen 20 und 25 % betragen.

Schlepper-Geräte-Kombinationen: Arbeitsbreite und Fahrgeschwindigkeit

Grundsätzlich sollten Arbeitsgeräte eingesetzt werden, die bereits einen geringen Zugkraftbedarf aufweisen. Energetisch optimal ist es, wenn bei der Gerätewahl die Entscheidung zu möglichst breiten Arbeitsgeräten getroffen wird, die der zugehörige Schlepper jedoch noch unter allen Bedingungen ziehen kann und der Motor somit fast ausgelastet ist (SCHREIBER, 2006). Des Weiteren ist eine Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit zur Steigerung der Flächenleistung weniger effektiv als die Vergrößerung der Arbeitsbreite. Der Zugkraftbedarf bei der Bodenbearbeitung nimmt mit dem Quadrat der Fahrgeschwindigkeit zu. Im Hinblick auf den Kraftstoffeinsatz ist auch jede Form von Gerätekombinationen sinnvoll, die getrennte Arbeitsschritte ersetzt, um ein mehrfaches Überrollen der Fläche zu vermeiden.

Zuschalten Allradantrieb/Differenzialsperre (nach SCHREIBER, 2006)

Die Zuschaltung von Allradantrieb und Differenzialsperren wirkt sich unter normalen Feldbedingungen positiv auf den Wirkungsgrad von Laufwerk und Antriebsstrang aus und führt zu einer Erhöhung der maximal übertragbaren Zugkräfte. Aus diesem Grund ist die Nutzung dieser Komponenten im Feld niemals von Nachteil.

Bei Straßenfahrten sollte von Fahren mit Allradantrieb abgesehen werden. Die Ausnahme bilden große Steigungen unter Last.

Fahren quer zum Hang (nach SCHREIBER, 2006)

Bei der Bewirtschaftung geneigter Geländeprofile wirkt sich eine Steigung in Fahrtrichtung stärker auf den Kraftstoffverbrauch aus als eine seitliche Neigung. Durch Zuschalten der Differenzialsperre in der Hinterachse kann der Einfluss der Querneigung auf den Dieserverbrauch weitestgehend kompensiert werden. Geneigte Geländeprofile sollten somit zur Verbrauchsoptimierung möglichst »quer zum Hang« bearbeitet werden. Die Vermeidung hangabwärts gerichteter Fahrspuren trägt zur Minimierung der Bodenerosion bei.

Angepasste Arbeitstiefe (nach DLG, 2006)

Der Zugleistungsbedarf und damit verbunden der Dieserverbrauch ist fast direkt proportional zur Bearbeitungstiefe. Aus diesem Grund sollte die Grundbodenbearbeitung so flach wie möglich erfolgen. Fruchtartspezifisch kann die Pflugtiefe variiert werden. Wird sie z. B. vor Wintergerste auf 30 cm, vor Mais auf 25 cm und vor Weizen auf 20 cm eingestellt, lassen sich über die Fruchtfolge ca. 3,7 l/ha Diesel bzw. 12 % sparen. Gleichzeitig hat dies den Vorteil, dass i. d. R. unter relativ trockenen Bodenverhältnissen etwaige Verdichtungszone erfasst werden können, ohne die Gefahr zusätzlicher Schäden im Boden durch die tiefe Bearbeitung. Auch eine teilflächenabhängige Bearbeitungstiefe beim Grubbern ermöglicht deutliche Dieseleinsparpotenziale bei Ackerschlägen mit wechselnden Böden. Sandige Bereiche können tiefer und tonreiche Teilflächen weniger tief bearbeitet werden. Je nach Anteil schwerer Böden kann die Einsparung mehr als 50 % betragen. Auch eine nur in bestimmten Jahreszyklen reduzierte Bearbeitungstiefe kann wirtschaftlich sinnvoll sein (VdLKW, 2009).

Fahrerkönnen/vorausschauendes Fahren

Der persönliche Fahrstil des Mitarbeiters hat einen entscheidenden Einfluss auf den Dieseldieselkraftstoffverbrauch seines Fahrzeugs. Auswertungen der Daten von Lohnunternehmern zeigen, dass dieser bei qualifizierten Stammfahrern im Vergleich zu Aushilfsfahrern um bis zu 20 % abweichen kann (VOLK, 2016). Neben den hinlänglich bekannten Empfehlungen zum vorausschauenden Fahren (»Rollen lassen« auf der Straße, möglichst wenig aufeinanderfolgendes Beschleunigen und Wiederabbremsen, optimierte Gangwahl) sollte der Schlepperfahrer auch im Hinblick auf die Anforderungen zur Schleppermasse, dem optimalen Reifendruck und der Arbeitsgerätenutzung geschult sein. Insofern ergeben sich Einsparpotenziale durch Schulung und Überwachung des Fahrerpersonals aus der Vermeidung einer ineffizienten Fahrweise in Kombination mit Einsparungen aus anderen Maßnahmen. Zur Selbstkontrolle des Fahrers sollten die Fahrzeuge über eine Dieserverbrauchsanzeige und bei Ackerschleppern zusätzlich über eine Schlupfanzeige verfügen (SCHREIBER, 2006).

Die Schulung des Fahrerstamms sollte regelmäßig durch Fachleute erfolgen, die auf entsprechende Dieselspartrainings für die Landwirtschaft spezialisiert sind. Einen wesentlichen Schwer-

punkt praktischer Schulungsmaßnahmen sollte der Kraftstoffverbrauch für die Bodenbearbeitung mit zugehörigen Einflussgrößen wie Reifengröße, Reifendruck, Fahrzeuggewicht, Achslastverteilung, Bodenzustand bilden.

Wartung und Pflege

Die regelmäßige Wartung und Instandhaltung der Schlepper gemäß den Herstellervorgaben sollte ein Mindestmaß sein, um einen verbrauchsoptimierten Fahrzeugbetrieb sicherzustellen. Sehr wichtig ist insbesondere, dass sich Luftfilter und Luftkühler in sauberem Zustand befinden und der Kraftstofffilter hinreichend durchlässig ist. Optimale Wartung und Instandsetzungen können einen Dieselmehrverbrauch von bis zu 5 % verhindern (DLG, 2006).

Nichtwendende Bodenbearbeitung

Die pfluglose Bodenbearbeitung in Form der Mulch- oder Direktsaat bietet ein hohes Dieseleinsparpotenzial, unterstützt die Erhaltung der natürlichen Bodenstruktur und ist eine wichtige Erosionsschutzmaßnahme. Aufgrund der Erosionsgefährdung großer Teile der sächsischen Ackerflächen ist diese Form der Bodenbearbeitung in Sachsen bereits stark verbreitet. Im Jahr 2011 wurden etwa 32 % der Ackerflächen dauerhaft und weitere ca. 23 % periodisch konservierend bewirtschaftet (LfULG, 2014). Betrachtet man die gesamte Verfahrenskette im Pflanzenanbau, lassen sich für mittlere sächsische Verhältnisse Dieseleinsparungen von mindestens 5 % (4 l/ha) bei der nichtwendenden Bodenbearbeitung/Mulchsaat bzw. mehr als 40 % (33 l/ha) bei der Direktsaat darstellen (BLE, 2010).

Durch Anpassung der Bearbeitungstiefe oder Extensivierung der konservierenden Bodenbearbeitung kann das Einsparpotenzial der konservierenden Bodenbearbeitung weiter erhöht werden. So kann beispielsweise durch eine Verminderung der Bearbeitungstiefe um ca. 10 auf 10 bis 15 cm die Dieselmehrverbrauchsersparung

auf 10 % (8 l/ha) im Vergleich zum Pflugeinsatz erhöht werden. Eine wesentliche Rolle bei diesen Betrachtungen spielt auch die Schwere der Böden. Der Bodenwiderstand wirkt sich beim Direktsaatverfahren erwartungsgemäß am geringsten auf den Kraftstoffverbrauch aus und ermöglicht für alle Bodentypen vergleichsweise niedrige flächenbezogene Bedarfswerte (BLE, 2010).

Weitere Maßnahmen

Beispielhaft zu nennen sind hier:

- Verwendung scharfer Werkzeuge: ca. 20 bis 25 % Mehrverbrauch bei unscharfen Messern eines Trommelmähwerks bzw. des Schneidwerks einer Rundballenpresse (SAUTER/DÜRR, 2005)
- Keine Verwendung eigenständig ausgebeesserter Verschleißteile an Bodenbearbeitungsgeräten: bis zu 34 % Dieselmehrverbrauch bei Pflügen, die durch Aufschweißen von Eisenteilen repariert wurden (WEISS, 2003)
- Verwendung rostfreier Arbeitswerkzeuge vermindert das Ankleben von Erde (KLIMA:AKTIV, 2009)
- Anpassung der Häcksellänge beim Maishäckseln (nicht kürzer als notwendig): Erhöhung des Dieselmehrverbrauchs um 13 % bei Verringerung der Häcksellänge von 13 auf 10 mm (MÖLDER, 2005)
- Einsatz möglichst großer Transportkapazitäten und Nutzlasten bei Straßenfahrten: ca. 20 % Mehrverbrauch bei Einsatz eines 15 statt 21 m³ Güllefasses (KLIMA:AKTIV, 2009)

Zur Vertiefung der Thematik werden u. a. KLIMA:AKTIV (2009), VdLWK (2009), DLG (2006) und KOWALEWSKY (2009) empfohlen.

Zusammenfassung

Die Vielzahl der möglichen Maßnahmen zur Einsparung von Dieselmehrverbrauch im Pflanzenbau und der Außenwirtschaft lassen sich wie folgt vereinfacht zusammenfassen (KOWALEWSKY, 2009):

- **Arbeitstiefe:**
nicht tiefer als nötig
- **Arbeitsbreite:**
bei leichten Arbeiten möglichst groß
- **Arbeitsgeschwindigkeit:**
Leistung besser über die Arbeitsbreite steigern
- **Arbeitsintensität:**
nicht höher als unbedingt nötig
- **Arbeitsgänge:**
Überfahrten mindern durch Gerätekombinationen
- **Arbeitszeitpunkt:**
optimale Witterungsbedingungen nutzen
- **Geräteeinstellung:**
geänderte Einsatzbedingungen anpassen
- **Traktorbereitung:**
großvolumig mit niedrigem Reifendruck bei Feldarbeiten
- **Pflege und Wartung:**
Verschleißteile rechtzeitig erneuern,
Wartungsmaßnahmen regelmäßig durchführen
- **Transporte auf der Straße:**
Luftdruck im Reifen erhöhen,
Fahrzeuge gut ausladen,
Ferntransporte mit Lkw durchführen

5 Betriebszweigübergreifende Optionen zur Energiekostenminderung

5.1 Eigenstromversorgung über Photovoltaik- (PV-)Anlagen

Photovoltaik-Module und -Anlagen wurden in der Vergangenheit kontinuierlich preiswerter und haben je nach Anlagengröße Stromgestehungskosten von ca. 7 bis 12 ct/kWh. Bei Netto-Strompreisen zwischen 17 und 22 ct/kWh für übliche Betriebsgrößen (inkl. Steuern, Abgaben und Umlagen, exkl. USt.) und den vergleichsweise langen Nutzungsdauern von PV-Anlagen von mehr als 25 Jahren ist eine solare Eigenstromerzeugung bei hohen Eigenverbrauchsanteilen derzeit uneingeschränkt wirtschaftlich. Zur Bewertung der Eigennutzung von PV-Strom sind zwei Kennwerte praxisüblich, deren Definition nachfolgend erläutert wird:

- »Eigenverbrauchsanteil«: Anteil des eigengenutzten PV-Stroms an der gesamten Stromerzeugung der PV-Anlage
- »Solarer Deckungsanteil«: Anteil des eigenerzeugten PV-Stroms am Gesamtstromverbrauch des Betriebs

Die Substitution des Stromnetzbezugs durch einen hohen Eigenverbrauchsanteil ist wirtschaftlich deutlich vorteilhafter als eine Netzeinspeisung. Die Höhe des Eigenverbrauchsanteils bzw. des solaren Deckungsanteils ist maßgeblich abhängig vom Bedarfsprofil des landwirtschaftlichen Betriebs und dessen Jahresverbrauch in Bezug auf die installierte Leistung der PV-Anlage bzw. deren Jahresstromerzeugung. Abbildung 31 stellt die grundsätzlichen Zusammenhänge für verschiedene Betriebstypen anschaulich dar. Die Ausrichtung einer PV-Anlage muss nicht – wie häufig angenommen – nur nach Süden erfolgen. Auch bei Dächern mit einer West-Ost-Ausrichtung lassen sich wirtschaftliche Anlagenkonzepte realisieren. Im Vergleich zu Anlagen mit einer optimierten Südausrichtung werden hier zwar flächenspezifisch geringere Jahresstromerträge erzielt, i. d. R. steht aber die doppelte Dachfläche zur Verfügung. Vorteil einer West-Ost-Ausrichtung ist eine deutlich gleichmäßigere Stromproduktion im Tagesverlauf ohne ausgeprägte Spitzen in der Mittagszeit. Dies kann sich je nach Anlagengröße und Energieverbraucherstruktur positiv auf den Eigennutzungsgrad auswirken.

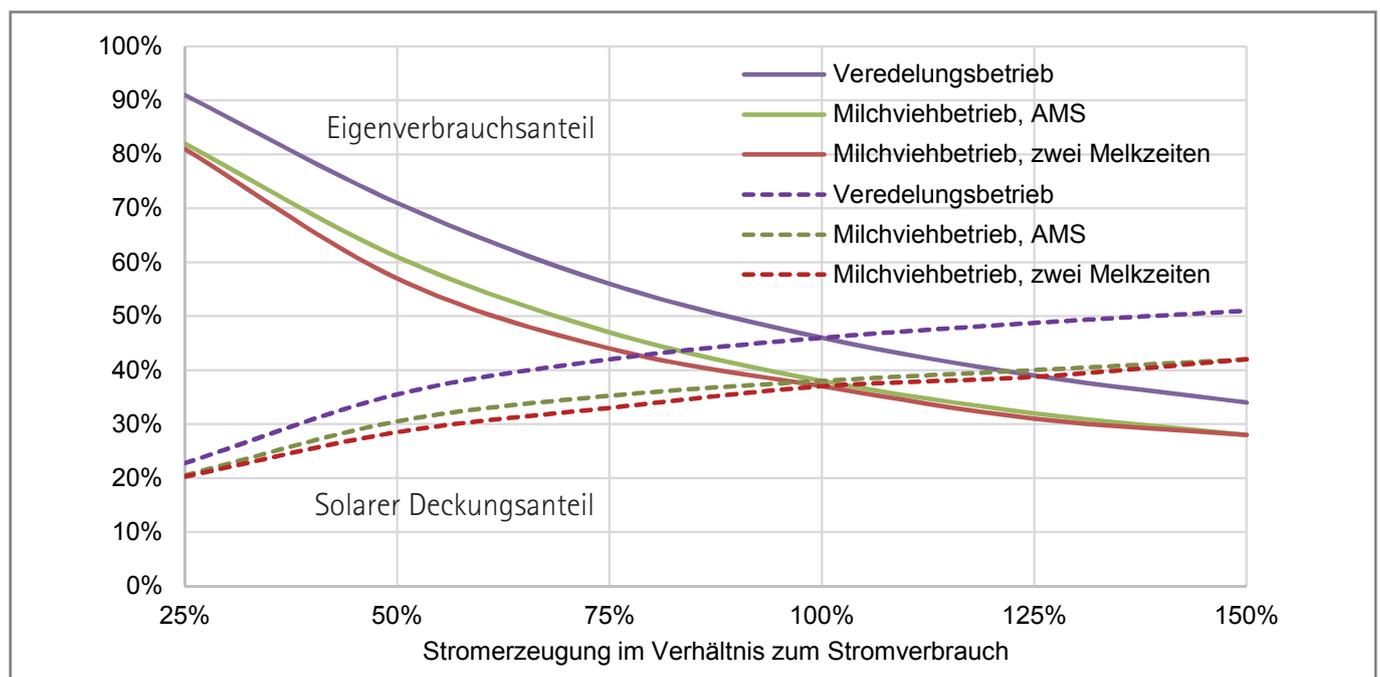


Abbildung 31: Durchschnittliche Eigenverbrauchs- und solare Deckungsanteile nach Betriebstyp und in Abhängigkeit der Jahresstromerzeugung im Verhältnis zum Jahresstromverbrauch für PV-Anlagen mit Südausrichtung, Quelle: KTBL (2016)



Stromspeicher zur Erhöhung des solaren Deckungs- bzw. Eigenverbrauchsanteils sind technisch ausgereift und werden von einer Vielzahl von Modulproduzenten und anderen Herstellern angeboten (C.A.R.M.E.N. e.V., 2017). Berechnungen des KTBL (2016) mit Modulpreisen aus dem Jahr 2015 zeigen jedoch, dass die Gesamtkosten für Strom, der zwischengespeichert und zur Eigenbedarfsdeckung genutzt wird, noch deutlich über dem allgemeinen Strompreinsniveau der Landwirtschaft liegen. Die Zwischenspeicherung ist derzeit noch nicht wirtschaftlich darstellbar. Voraussetzungen für einen wirtschaftlichen Betrieb von Batteriespeichern in der Praxis sind sinkende Preise für die Speichertechnik und eine Verbesserung der Zykluslebensdauern. Steigende Strompreise werden die Wirtschaftlichkeitsschwelle ebenfalls herabsetzen.

Die Installation einer PV-Anlage auf Dächern von Stallanlagen bewirkt neben der Reduzierung des Stromnetzbezugs auch eine Verminderung der auf den Stall wirkenden Wärmelasten. Sie trägt somit indirekt zu einer Minderung des Energiebedarfs für die Stalllüftung und eine Verbesserung des Wohlbefindens der Tiere bei hohen Außentemperaturen bei. Zu beachten sind andererseits erhöhte Anforderungen an Brandschutz und Arbeitssicherheit.

Unter den derzeit geltenden gesetzlichen Rahmenbedingungen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG 2017) sind folgende Anlagenkategorien für Aufdachinstallationen zu unterscheiden:

- **Kleinanlagen ($\leq 10 \text{ kW}_p$):** Bei dieser Anlagengröße ist keine reduzierte EEG-Umlage auf eigenverbrauchten Strom zu zahlen, wenn die eigenverbrauchte Menge unter 10 MWh/a liegt. Für darüber hinausgehende eigenverbrauchte Strommengen ist die reduzierte EEG-Umlage zu zahlen.
- **Mittlere Anlagen (> 10 bis ca. 30 kW_p):** Diese Anlagen lassen sich i. d. R. noch in vorhandene Niederspannungsinstallationen von Gebäuden einbinden, ohne separate Leitungen oder Transformatoren einrichten zu müssen. Auf den eigenverbrauchten Strom ist eine reduzierte EEG-Umlage in Höhe von 40% des geltenden Satzes zu zahlen. 2017 entspricht dies einer zusätzlichen Belastung des Eigenverbrauchsanteils von ca. $2,75 \text{ ct/kWh}$.

- **Größere und Großanlagen ($> \text{ca. } 30 \text{ kW}_p$):** Je nach installierter Modulleistung und der Struktur des öffentlichen Stromnetzes müssen diese Anlagen über angepasste Netzverknüpfungspunkte einspeisen. Häufig ist eine Einbindung in das Mittelspannungsnetz erforderlich und damit die Installation eines Transformators. Auch diese Anlagen werden mit der reduzierten EEG-Umlage belastet.

Nach geltenden Regelungen des EEG 2017 sind Betreiber von PV-Anlagen ab einer Größe von 100 kW_p verpflichtet, den Strom direkt zu vermarkten. Ab einer Leistungsgröße von 750 kW_p müssen die Errichter an einem Ausschreibungsverfahren teilnehmen. Für Anlagen $< 100 \text{ kW}_p$ gelten weiterhin fixe Einspeisevergütungen.

Umsetzungshinweise:

- **PV-Anlagen:** Trotz grundsätzlicher Befreiung von der EEG-Umlage für Kleinanlagen $< 10 \text{ kW}_p$ empfiehlt es sich, ab ca. $7,7 \text{ kW}_p$ installierter Leistung einen Eigenverbrauchszähler zu installieren. Anlagen $> 10 \text{ kW}_p$ sind grundsätzlich mit Eigenverbrauchszählern auszurüsten, wobei nicht für alle Fälle eine registrierende Leistungsmessung (RLM) notwendig ist (CLEARINGSTELLE EEG, 2015)
- **Hersteller von PV-Modulen** gewähren dem Kunden i. d. R. sowohl eine Produktgarantie (Zusage der Funktionsfähigkeit über einen bestimmten Zeitraum) als auch eine Leistungsgarantie (Zusage maximaler Leistungsverluste über definierte Zeiträume). Es empfiehlt sich, bei der Modulauswahl neben den Investitionskosten und den Leistungsparametern der Module auch die Herstellergarantien mit in die Entscheidungsfindung einzubeziehen. Insbesondere die Produktgarantie sollte für einen möglichst langen Zeitraum gelten. Marktübliche Produktgarantien liegen derzeit zwischen 10 und 30 Jahren, Leistungsgarantien zwischen 20 und 30 Jahren. Einfache Leistungsgarantien (Stufengarantien) sichern eine Leistung von über 90% der Nennleistung über die ersten 10 Jahre und mindestens 80% der Nennleistung

bis zum 20. oder 25. Betriebsjahr. Viele Hersteller bieten inzwischen lineare Leistungsgarantien oder eine Kombination aus linearer und Stufengarantie mit maximalen Leistungseinbußen zwischen 0,35 und 0,7 % der installierten Nennleistung pro Jahr. Garantierte Bestwerte für den maximalen Leistungsrückgang hochwertiger Module liegen derzeit bei ca. 87 % der Typennennleistung nach 30 Jahren.

- Durch Staub- und Partikelemissionen aus Stallanlagen, Lagerhallen, von Feldern oder Bäumen kommt es zu Verschmutzungen der PV-Module, die zu Ertragsminderungen führen. Diese können in Extremfällen bis zu 30 % betragen (DLG, 2016 b). Grundsätzlich sollte durch eine monatliche Überwachung der Ertragswerte der Anlage und einen Abgleich mit Vorjahres- bzw. lokalen/regionalen Einstrahlungswerten kontrolliert werden, wie stark sich eine erkennbare Verschmutzung auf den Anlagenertrag auswirkt. Gegebenenfalls kann auch durch Teilreinigung von Modulen, die an unterschiedliche Wechselrichter angeschlossen sind, der Einfluss der Reinigung anhand konkreter Messwerte überprüft werden. Ab einer Ertragsminderung von ca. 5 % gegenüber den Vorjahreswerten kann eine Reinigung empfohlen werden (KTBL, 2016). Reinigungskosten liegen je nach Verschmutzungsgrad, Zugänglichkeit und Anlagengröße zwischen 1 und 25 €/m² Kollektorfläche bzw. 8 bis 12 €/kW_p (KTBL, 2016). Die Wirtschaftlichkeit der Reinigung der Module sollte individuell abgeschätzt werden. Tendenziell rechnet sich diese für ältere Anlagen, mit denen noch vergleichsweise hohe EEG-Einspeisevergütungen erzielt werden, eher als für »jüngere« Anlagen. In Abhängigkeit der »Hauptverursacher« der Verschmutzung ergeben sich unterschiedliche Zeitpunkte für eine Anlagenreinigung (KTBL, 2016):

- PV-Anlage auf Stalldach mit Abluftkaminen oder Firstlüftung (ganzjährige Verschmutzung):
Reinigung im Frühjahr, bevor die höchsten Stromerträge erzielt werden
- PV-Anlage mit Bäumen und Getreidefeldern in der Nähe (größter Schmutzanfall in der Blüte):
Reinigung zu Beginn der Sommermonate
- PV-Anlage auf/neben Halle zur Getreidetrocknung/lagerung (höchste Staubimmissionen in der Erntezeit):
Reinigung im Spätsommer oder Herbst
- PV-Anlage in Hauptwindrichtung von einer Holzfeuerungsanlage (Rußablagerungen im Winter):
Reinigung im Frühjahr

Eine Grauzone bei der Reinigung von Solarmodulen ist häufig noch die Zulässigkeit dieser Maßnahme im Rahmen von Herstellergarantien. Derzeit schließen viele Hersteller eine Reinigung noch per Garantiebedingungen aus (KTBL, 2016), auf der anderen

Seite könnte bei starker Verschmutzung und nicht durchgeführter Reinigung ein Haftungsfall im Rahmen der »Leistungsgarantie« eintreten. Mittlerweile arbeiten Hersteller entsprechende Reinigungskonzepte aus. Eine Übersicht über mögliche Reinigungsverfahren mit Hinweisen zur Durchführung der Reinigung von Solaranlagen auf Stalldächern ist im DLG-Merkblatt »Reinigung von Solaranlagen auf Ställen« (DLG, 2016 b) enthalten.

5.2 Elektrisches Lastmanagement

Elektrisches Lastmanagement umfasst im weiteren Sinne alle technischen und organisatorischen Maßnahmen, die zur Verringerung elektrischer Lastspitzen beitragen und hierdurch die Kosten der Stromnetznutzung senken. Voraussetzung ist die Erfassung und Verrechnung der elektrischen Leistungsaufnahme durch den Stromnetzbetreiber über eine »Registrierende Leistungsmessung« (RLM).

Elektrisches Lastmanagement durch Organisationsmaßnahmen

Im einfachsten Fall gelingt es, durch Veränderung der Betriebszeiten leistungsstarker elektrischer Verbraucher die Spitzenlasten zu verringern. Voraussetzung hierfür ist eine Verbraucheranalyse, die in Abschnitt 3 beschrieben ist. Nachfolgend sind zwei Beispiele aus der Praxis dokumentiert, die anhand von temporären elektrischen Leistungsmessungen auf Verbraucher- und Verbrauchergruppenebene erkannt wurden:

Beispiel 1 (Schweinehaltungsbetrieb):

Die manuell zu startende Güllepumpe ist der leistungsstärkste Einzelverbraucher. Sie fördert periodisch Gülle aus dem Sammelkanal im Stall in den zentralen Lagerbehälter. Am Tageslastgang ist deutlich zu erkennen, dass sie immer dann in Betrieb genommen wird, wenn auch andere Verbraucher einen relativ hohen Leistungsbedarf aufweisen. Durch eine Verschiebung der Betriebszeit dieser Pumpe in die Morgenstunden zum Schichtbeginn könnte die Spitzenleistung deutlich reduziert werden.

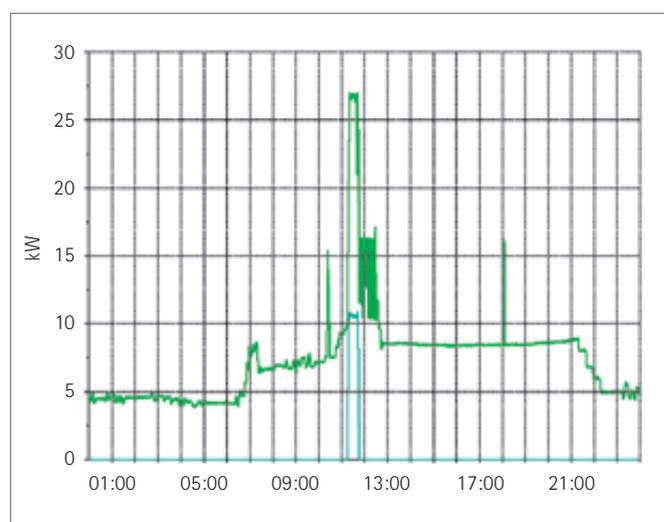


Abbildung 32: Tageslastgang des Schweinestalls mit Betrieb der Güllepumpe

Beispiel 2 (Milchviehbetrieb):

Die Gülletechnik, die der Kanalspülung und der Förderung in den Lagerbehälter dient, wird manuell betrieben (vier Güllepumpen und vier zugehörige Behälterrührwerke). Aus Lastmessungen ist erkennbar, dass die Gülletechnik an einem Mittwoch mit einer Spitze von 45 kW zu etwa 40 % an der Leistungsspitze beteiligt ist. Die gesamte Lastspitze von 111 kW entspricht der Jahreshöchstlast. In diesem Fall müssen mindestens zwei Güllepumpen zeitgleich oder zeitlich überlagernd betrieben worden sein. Nach Betreiberaussage ist eine solche Betriebsweise jedoch nicht notwendig, sondern kann zeitlich gestaffelt erfolgen.

Elektrische Lastmanagementsysteme

Durch Einsatz elektrischer Lastmanagementsysteme (LMS) bzw. einfacher Lastabwurfssysteme können Lastspitzen automatisiert verringert werden. Lastmanagementsysteme nutzen die Impulse der RLM des Stromnetzbetreibers und werfen bei der Gefahr einer Lastüberschreitung schaltbare elektrische Verbraucher entsprechend vorgegebener Priorisierung temporär vom Netz ab. Für die Funktion eines solchen Systems ist es wichtig, dass leistungsstarke Verbraucher zur Verfügung stehen, die ohne Funktionsbeeinträchtigung oder Störung der Prozessabläufe kurzzeitig deaktiviert und zeitversetzt wieder betrieben bzw. für den Betrieb freigegeben werden können. Im Vorfeld der Installation entsprechender Technik müssen daher das Last- und Betriebsverhalten der wesentlichen Elektroenergieverbraucher untersucht und die reale Leistungsauf-

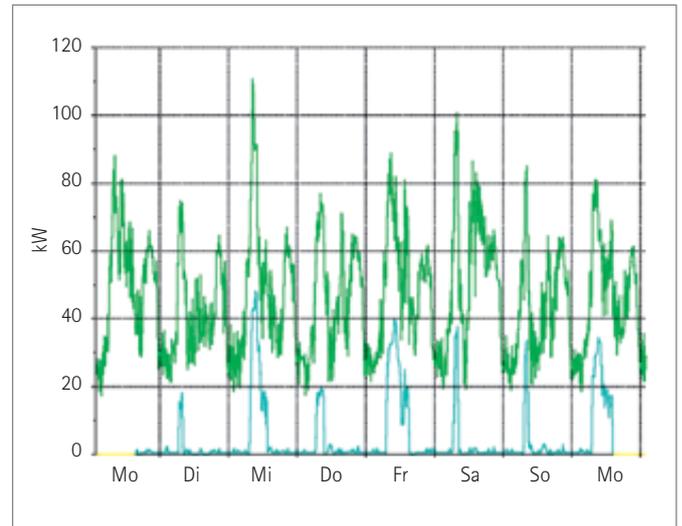


Abbildung 33: Wochenlastgang der Milchviehanlage mit Betrieb der Gülletechnik

nahme von Hauptverbrauchern gemessen werden. Aufgrund der abrechnungsrelevanten Leistungsmittelung im Viertelstundenzyklus erfolgt der vorausschauende Lastabwurf innerhalb dieses Zeitfensters. Anspruchsvolle Lastmanagementsysteme ermöglichen über den reinen Lastabwurf hinaus die Möglichkeit der Visualisierung sowie Anpassung von Schulprioritäten und lassen sich in Steuerungs- und Prozessleitsysteme integrieren.

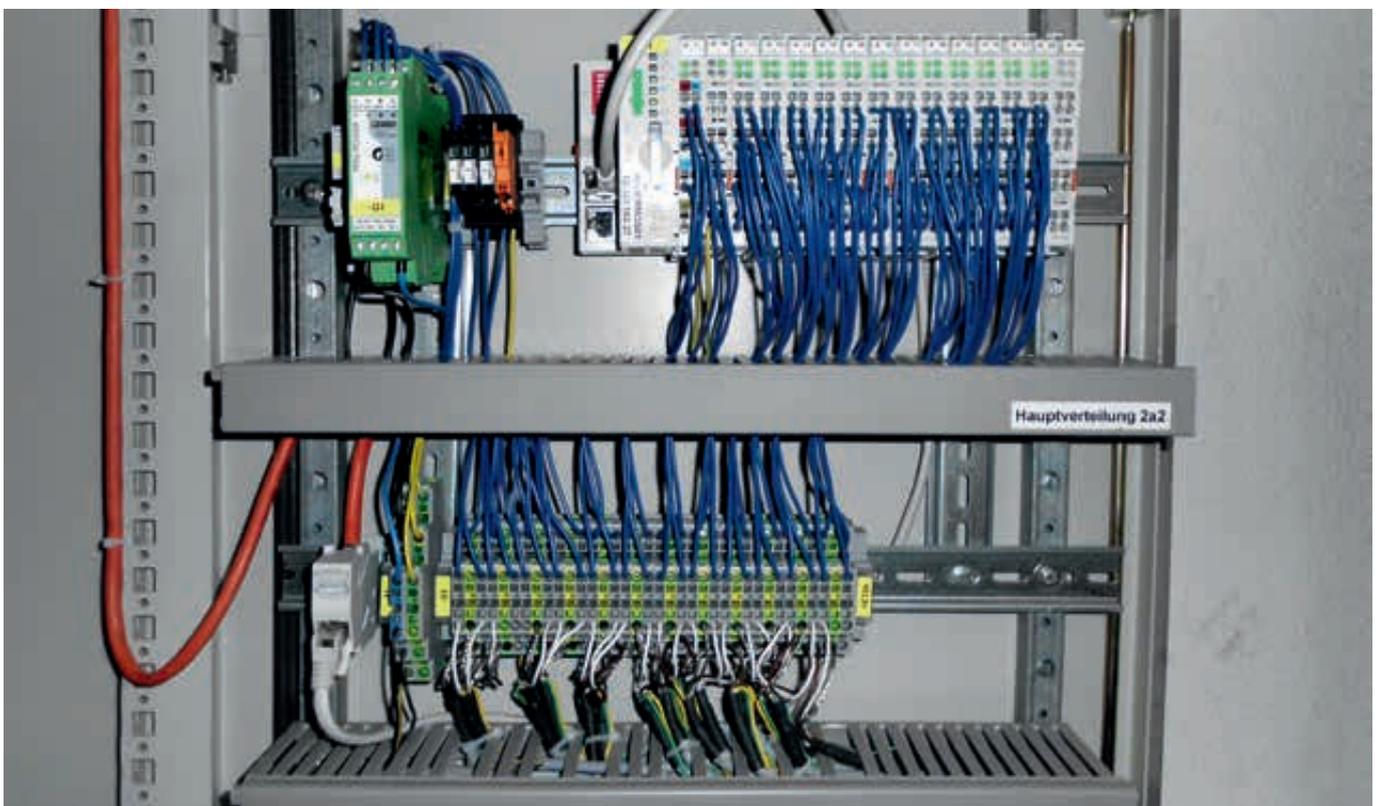


Abbildung 34: Lastmanagementsystem

6 Praxisbeispiele

In den nachfolgenden Kapiteln werden fünf ausgewählte sächsische Betriebe beispielhaft vorgestellt, die bereits ein Energieaudit nach DIN EN 16247-1 durchgeführt haben und denen im Ergebnis konkrete Maßnahmenvorschläge zur Verbesserung der betrieblichen Energieeffizienz vorliegen. Aufgeführt sind nur Maßnahmen, die sich wirtschaftlich darstellen lassen und aus diesen Gründen eine mittlere bis hohe Priorität bei betrieblichen Entscheidungen spielen sollten. Einzelne Maßnahmen hiervon wurden bereits umgesetzt oder befinden sich in der Realisierung.

Alle genannten Betriebe wurden durch externe Energieberater auditiert, die bei der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) als »Sachverständige für die landwirtschaftliche Energieberatung« gelistet sind. Eine aktuelle Übersicht sächsischer BLE-Berater befindet sich in Anhang 3.

Die im Folgenden genannten Ansprechpartner in den Beispielbetrieben stehen interessierten sächsischen Fachkollegen bei Fragen zur Durchführung eines Energieaudits bzw. den Erfahrungen bei der Umsetzung konkreter Effizienzmaßnahmen zur Verfügung.



Lehr- und Versuchsgut
Köllitsch des LfULG



Gebirgsland Agrar GmbH
Mildenau



Agrargenossenschaft
Gnaschwitz e. G.



Schweineproduktion
Schröder Eckert GmbH &
Co. KG



Schweinezucht Pappendorf
GmbH & Co. KG



6.1 Lehr- und Versuchsgut Köllitsch

Zahlen und Fakten

- Lehr- und Versuchsgut (LVG) Köllitsch des LfULG
Am Park 3, 04886 Köllitsch
www.smul.sachsen.de/lfulg/270.htm
- Kontakt: Ondrej Kunze, ondrej.kunze@smul.sachsen.de,
Tel.: +49 34222 46-2600
- Betriebsart: Verbundbetrieb mit überbetrieblichem
Ausbildungszentrum und Verwaltung
- Mitarbeiterzahl: 52
- Landwirtschaftliche Nutzfläche: 923 ha, davon 660 ha
Ackerland und 263 ha Grünland
- Tierhaltung: 200 Milchkühe mit Nachzucht, 100 Mutter-
kühe, 120 TP Zuchtsauen mit anteiliger Mast (600 TP),
200 Mutterschafe, 50 Stück Damwild, 5 – 6 Bienenvölker
- Biogasanlage: 104 kW_{eI} installierte Leistung, IBN: Dezember
2009, Einsatzstoffe: 90 % Wirtschaftsdünger/10 % Mais-
silage, innerbetriebliche Abwärmenutzung, vollständige
Netzeinspeisung des erzeugten Stroms
- Anbaustruktur Pflanzenproduktion: 48 % Getreide,
12 % Raps, 15 % Mais, 5 % Zuckerrüben, 8 % Ackerfutter,
4 % Eiweißpflanzen, Rest: NawaRo, Landschaftselemente
und ökologische Vorrangflächen
- Gesamtenergieverbrauch im Jahr 2015: 4,57 Mio. kWh
(ca. 342.000 €)

Kurzporträt

Das Lehr- und Versuchsgut Köllitsch (LVG) wird als Bildungs-, Dienstleistungs- und Demonstrationszentrum der Landwirtschaft mit dem Schwerpunkt Tierhaltung vom Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie betrieben, um das fachpolitische Konzept des SMUL im Bereich des Natur-, Tier-, Umwelt- und Verbraucherschutzes sowie des Hochwasserschutzes beispielhaft umzusetzen.

Neben der Durchführung einer überbetrieblichen Ausbildung für die Ausbildungsberufe Landwirt und Tierwirt für den Freistaat Sachsen und den südlichen Teil Brandenburgs werden länderübergreifende Fortbildungsveranstaltungen für landwirtschaftliche Praktiker, Berater und andere Fachkräfte sowie Betreiber von Biogasanlagen angeboten. Im Bereich der Tierhaltung werden Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben umgesetzt. Das LVG ist außerdem Leistungsprüfstelle für Schafe. Die gesamten betrieblichen Aktivitäten dienen der Demonstration einer nachhaltigen und umweltgerechten Landwirtschaft und der Umsetzung eines agrarökologischen Landschaftskonzeptes.

Das LVG gliedert sich in zwei ca. 500 m Luftlinie voneinander getrennte Bereiche (»Tierhaltung« und »Innenbereich«). Im Bereich Tierhaltung wird klassische Viehwirtschaft betrieben und diese mit der praktischen Ausbildung von Landwirten und Forschungsvorhaben zur Tierhaltung vereint. Das Areal ist wärmetechnisch mit einem Nahwärmenetz erschlossen, welches im Wesentlichen mit Abwärme aus dem BHKW der Biogasanlage sowie einem Holzpelletkessel gespeist wird. Spitzenlasten werden über Flüssiggas abgedeckt.

Im »Innenbereich« befinden sich die Gebäude und der Fuhrpark der Außenwirtschaft (Feldbau), Ausbildungsräume, ein Wohnheim, die Mensa sowie ein Verwaltungsgebäude. Eine große Mehrzweckhalle kann für überregionale Veranstaltungen genutzt werden. Auch der Innenbereich verfügt über ein Nahwärmenetz, welches zu einem überwiegenden Teil mit regenerativer Wärme aus Hackschnitzeln – zum Teil aus eigener Produktion – gespeist wird. Die Brauchwassererwärmung im Wohnheim erfolgt über eine thermische Solaranlage.

Energieeffizienzmaßnahmen

Maßnahmenvorschlag	Energieträger	Verbrauchsreduzierung	THG-Minderung	Ökonomischer Nutzen	Amortisationszeit
Beleuchtungsoptimierung: LED	Strom	83.858 kWh/a	49,2 t CO ₂ /a	13.753 €/a	1,7 Jahre
Milchvorkühlung	Strom	8.216 kWh/a	4,8 t CO ₂ /a	1.482 €/a	4,3 Jahre
Stilllegung Fernwärmestrang	Wärme	44.100 kWh/a	26,0 t CO ₂ /a	2.690 €/a	6,8 Jahre
Lastspitzenoptimierung	Strom	-	-	4.500 €/a	k. A.
PV-Anlage 206 kW _p Bereich Tierhaltung	Strom	23 % solare Deckung Stromverbrauch	107,0 t CO ₂ /a		12,4 Jahre

Quelle: TPC (2017)

Fazit des Betriebs

»Das Lehr- und Versuchsgut Köllitsch hat sich mit starker Unterstützung von Bund und Land in den letzten Jahren zu einem länderübergreifenden Kompetenzzentrum für die Landwirtschaft entwickelt. Die Hauptaufgabe ist dabei eindeutig auf den Bereich der beruflichen Bildung gerichtet. Bei der Vielzahl der täglich zu vermittelnden Lehrinhalte und Technologien verlieren andere Aspekte leider allzu schnell an Priorität. Deswegen haben wir uns für eine unabhängige Energieberatung entschieden. Mit dem Audit haben wir einen objektiven und umfassenden Blick von außen zum Thema Energie erhalten. Unser Fazit ist: Dieses Geld war gut angelegt!«



Abbildung 35: Ondrej Kunze, Leiter des LVG Köllitsch



6.2 Agrargenossenschaft Gnaschwitz e.G.

Zahlen und Fakten

- Agrargenossenschaft Gnaschwitz e. G.
Hauptstraße 30, 02692 Doberschau-Gaußig/OT Gnaschwitz
www.die-milch-tankstelle.de
- Kontakt: Marcus Gallasch, gallasch@agrargnaschwitz.de,
Tel.: +49 35930 50918
- Betriebsart: Milchviehverbundbetrieb
- Mitarbeiterzahl: 32 und 4 Auszubildende
- Landwirtschaftliche Nutzfläche: 1.770 ha, davon 1.500 ha Ackerland und 270 ha Grünland
- Tierhaltung: 590 Milchkühe mit Nachzucht
- Anbaustruktur Pflanzenproduktion: 30 % Weizen, 20 % Mais, 16 % Raps, 14 % Gerste, 10 % Roggen, 5 % Luzerne, 5 % Erbsen.
- Zertifizierungen/QM: QS, QM – Milch, Milch
»ohne Gentechnik«
- Gesamtenergieverbrauch im Jahr 2015: 3,75 Mio. kWh
(ca. 372.000 €)

Kurzporträt

Die Agrargenossenschaft Gnaschwitz e. G. bewirtschaftet südwestlich von Bautzen ca. 1.770 ha landwirtschaftliche Nutzfläche und betreibt Milchviehhaltung. Neben dem Anbau von Marktfrüchten wie Getreide, Raps und Erbsen, die hauptsächlich an regionale Verarbeiter vermarktet werden, spielt die Futtermittelproduktion auf den Acker- und Grünlandflächen eine wichtige Rolle. Für die Lagerung von Getreide und Raps können die modernen Siloanlagen der Gnaschwitzer Getreide GmbH vor Ort genutzt werden.

Die Tiere stehen in zwei Stallanlagen in Techritz, etwa 1 km Luftlinie vom Hauptsitz der Genossenschaft entfernt. Nach der Geburt werden die Kälbchen in den Jungviehstall gebracht, wo sie die ersten 14 Tage in Einzelglug und ab dem 15. Tag in Gruppen gehalten werden. Das Stallgebäude aus den 1970er-Jahren ist die ehemalige Milchviehanlage (MVA). Die tragenden Jungtiere weiden von Mai bis Oktober auf den Grünlandflächen um Dieh-

men und Gnaschwitz. Zum Abkalben kommen sie nach Techritz zurück. Die MVA ist ein moderner und heller Offenstall, der Anfang des Jahres 2013 in Betrieb genommen wurde. Eine Besonderheit ist das automatische Melksystem (»Melkroboter«), welches den Kühen ermöglicht, nach Belieben gemolken zu werden. Ein kleiner Teil der erzeugten Milch wird vor Ort an der »Milchtankstelle« als Rohmilch verkauft. Dieser Service wird inzwischen gut von der einheimischen Bevölkerung angenommen. Der Großteil der Milch wird in die Molkerei nach Leppersdorf geliefert.

Im Ergebnis der Energieberatung wurden bereits die Kälteanlage der Milchkühlung umgebaut, die Gülletechnik automatisiert und ein einfaches Lastmanagementsystem installiert. Auch die Druckluftanlage wurde bereits in Hinblick auf ihre Verluste optimiert. Perspektivisch soll zudem die Beleuchtung auf LED umgestellt werden.

Energieeffizienzmaßnahmen

Maßnahmenvorschlag	Energieträger	Verbrauchsreduzierung	THG-Minderung	Ökonomischer Nutzen	Amortisationszeit
Optimierung Milchkühlanlage	Strom	15.101 kWh/a	9,0 t CO ₂ /a	2.298 €/a	2,0 Jahre
Beleuchtungsoptimierung MVA	Strom	5.690 kWh/a	3,4 t CO ₂ /a	866 €/a	0,5 Jahre
Heizungsoptimierung Verwaltung	Erdgas	49.393 kWh/a	11,2 t CO ₂ /a	2.760 €/a	2,7 Jahre
Optimierung Druckluftanlage	Strom	1.224 kWh/a	0,7 t CO ₂ /a	280 €/a	1,8 Jahre
Spannungsoptimierung Stallanlagen	Strom	35.398 kWh/a	21,0 t CO ₂ /a	6.780 €/a	1,5 Jahre
Automatisierung Gülletechnik/LMS	Strom	20.692 kWh/a	12,3 t CO ₂ /a	6.675 €/a	1 Jahr
PV-Anlage 550 kW _p auf MVA	Strom	39,4 % solare Deckung Stromverbrauch	325 t CO ₂ /a		10,1 Jahre

Quelle: GICON (2016 a)

Fazit des Betriebs

»Elektroenergie und Diesel sind wesentliche Kostenpositionen in landwirtschaftlichen Unternehmen. Die Optimierung dieser Kosten ist daher zentraler Bestandteil des Managements und zudem nachhaltig und ressourceneffizient.

Die Energieberatung half bei der Identifizierung des Energieeinsparpotenzials und der Ableitung effizienter Maßnahmen.«



Abbildung 36: Marcus Gallasch und Lisa Rußig, Vorstände der Agrargenossenschaft Gnaschwitz e. G.



6.3 Schweineproduktion Schröder Eckert GmbH

Zahlen und Fakten

- Schweineproduktion Schröder Eckert GmbH & Co. KG
Lehngerichtsweg 9, 09575 Eppendorf/OT Großwaltersdorf
- Kontakt: Frank Schröder, post@schweine-gwd.de,
Tel.: +49 37293 492
- Betriebsart: Veredlungs-Verbundbetrieb
(Veredlung und Ackerbau)
- Mitarbeiterzahl: 6
- Landwirtschaftliche Nutzfläche: 480 ha, davon 429 ha
Ackerland und 51 ha Grünland
- Tierhaltung: 3.116 TP Aufzuchtferkel, 1.308 TP Mast-
schweine (+ 398 TP am Standort Kleinhartmannsdorf)
- Anbaustruktur Pflanzenproduktion: 64 % Getreide,
21 % Raps, 12 % Ackerbohnen, 3 % Greeningmaßnahmen
- Zertifizierungen/QM: QS – Schwein, QS – Ackerbau
- Gesamtenergieverbrauch im Jahr 2015: 0,73 Mio kWh
(ca. 61.000 €) (nur Tierhaltung – Ackerbau erfolgt voll-
ständig über externen Dienstleister)

Kurzporträt

Am Standort Eppendorf/Großwaltersdorf betreibt die Schweineproduktion Schröder Eckert GmbH & Co. KG eine Ferkelaufzucht- und Schweinemastanlage. Auf den zugehörigen Ackerflächen werden Futtergetreide für den eigenen Bedarf sowie Winterraps und Ackerbohnen für die Vermarktung angebaut. Die Flächenbewirtschaftung erfolgt vollständig durch ein ortsansässiges Dienstleistungsunternehmen. Das Gelände am Ortsrand von Großwaltersdorf umfasst sieben Schweineställe, die in den 1970er-/80er-Jahren errichtet wurden, ein Sozial- bzw. Verwaltungsgebäude sowie eine Bergehalle, in der die betriebseigene Mahl- und Mischanlage installiert ist. Diese wurde 2017 durch vier Hochsilos für die Lagerung von ca. 2.000 t Getreide sowie eine Reinigungsstufe ergänzt. Durch diese Maßnahme können nunmehr Futtertransporte entfallen, die bislang zwischen dem Betriebsgelände und einem externen Lagerstandort im Ort notwendig waren. Derzeit stehen am Standort 3.116 Ferkelauf-

zuchtplätze und 1.308 Mastplätze zur Verfügung, die auf fünf Ställe verteilt sind. An einem Nebenstandort in Kleinhartmannsdorf werden weitere 400 Schweine gemästet. Die Babyferkel liefert ein Betrieb aus der näheren Umgebung.

Im Ergebnis des Energieaudits sollen drei Maßnahmen konkret angegangen werden: Die Umstellung der Stallbeleuchtung auf LED-Technik, die Optimierung der elektrischen Spannung am Einspeisepunkt sowie die Eigenstromerzeugung mittels PV-Anlage. Auch eine Modernisierung der Mahl- und Mischanlage ist mittelfristig notwendig. Durch den Austausch von Elektromotoren und den Ersatz der Sauggebläsemühlen durch effizientere Technik lässt sich auch hier signifikant Strom sparen. Die Kostenreduzierungen allein sind jedoch nicht ausreichend, um die Investition in einem sinnvollen Zeitraum zu refinanzieren. Auch solche Ergebnisse aus der Energieberatung sind wertvoll für die betriebliche Planung.

Energieeffizienzmaßnahmen

Maßnahmenvorschlag	Energieträger	Verbrauchsreduzierung	THG-Minderung	Ökonomischer Nutzen	Amortisationszeit
Spannungsoptimierung Gesamtstandort	Strom	12.000 kWh/a	7,1 t CO ₂ /a	2.385 €/a	3,3 Jahre
Beleuchtungsoptimierung: LED-Retrofit	Strom	32.750 kWh/a	19,4 t CO ₂ /a	6.360 €/a	1 Jahr
Alternative Wärmeversorgung der Ferkelställe	Propan	-	35,1 t CO ₂ /a	7.650 €/a	6,9 Jahre
PV-Anlage 29,7 kW _p auf Bergehalle	Strom	17,8 % solare Deckung Stromverbrauch	16,6 t CO ₂ /a		10,8 Jahre

Quelle: GICON (2016 b)

Fazit des Betriebs

»Die Energieberatung hat uns Potenziale aufgezeigt, wie wir innerbetrieblich Energie und Kosten sparen können. Auch wenn nicht alle Maßnahmen wirtschaftlich darstellbar sind, bildet der Energieauditbericht eine valide Basis für die weitere Entscheidungsfindung. Ich kann meinen Berufskollegen durchaus empfehlen, eine externe Energieberatung in Anspruch zu nehmen, zumal die Kosten durch die Förderung sehr überschaubar sind.«



Abbildung 37: Frank Schröder, Geschäftsführer Schweineproduktion Schröder Eckert GmbH & Co. KG



6.4 Gebirgsland Agrar GmbH Mildenau

Zahlen und Fakten

- Gebirgsland Agrar GmbH Mildenau
Am Sportplatz 14, 09456 Mildenau
www.mildenauer-agrar-ag.de
- Kontakt: Ralf Helmert, ralf.helmert@mildenauer-agrar-ag.de,
Tel.: +49 3733 5649-0
- Betriebsart: Futterbaubetrieb/Milchviehhaltung
- Mitarbeiterzahl: 32 und 1 Auszubildender
- Landwirtschaftliche Nutzfläche: 1.218 ha, davon 702 ha Ackerland, 485 ha Grünland und 31 ha Greening
- Tierhaltung: 550 Milchkühe mit Nachzucht (270 TP), Mutterkühe (170 TP) und Mastrinder (500 TP)
- Anbaustruktur Pflanzenproduktion: 40 % Getreide, 15 % Raps, 10 % Silomais, 20 % Ackerfutter, 2 % Erbsen, 2 % Grassamenvermehrung, 1,5 % Kartoffeln, 9,5 % Landschaftselemente und ökologische Vorrangflächen
- Zertifizierungen/QM: ISO 9001 (Milchproduktion), QS-Rindfleisch, Rohmilch »ohne Gentechnik«, Mitglied der Umweltallianz Sachsen, Teilnahme am Sächsischen Agrarumwelt- und Naturschutzprogramm
- Gesamtenergieverbrauch im Jahr 2016: 1,68 Mio. kWh (ca. 178.000 €)

Kurzporträt

Die Gebirgsland Agrar GmbH Mildenau, eine 100-%-ige Tochter der Mildenauer Agrar AG, betreibt im Erzgebirgskreis Milchviehhaltung und bewirtschaftet auf Höhenlagen zwischen 450 und 700 m über NN über 1.200 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche. Mit Jahresdurchschnittstemperaturen von ca. 5,8 °C und mittleren Niederschlagsmengen von etwa 890 mm pro Jahr sind die klimatischen Bedingungen typisch für die sächsische Mittelgebirgsregion. In Mauersberg, ca. 2 km vom Verwaltungsstandort Mildenau entfernt, befindet sich die Milchviehanlage (MVA) – ein Stallgebäude, welches in den 1980er-Jahren errichtet wurde. Modernisierungsmaßnahmen erfolgten in den zurückliegenden Jahren vor allem im Bereich der Melk- und Kühltechnik durch Einbau eines modernen Fischgrätenmelkstands und eines Milchvorkühlers.

Das Grünland wird zur Weidehaltung der Mutterkühe, der Jung- und Mastrinder sowie der Futterproduktion genutzt. Auf den Ackerflächen erfolgt neben der Marktfruchtproduktion die Erzeugung von Futtermitteln für den Eigenbedarf. Neben der

Milch- und Pflanzenproduktion betreibt die Gebirgsland Agrar GmbH auch ein Kartoffellagerhaus und vermarktet die eigenproduzierten »Erdäpfel« direkt vor Ort.

Betrachtet man die bereits laufenden Aktivitäten und die mittelfristige Planung investiver Maßnahmen, so spielt das Thema Energie eine wichtige Rolle. Aktuell wird die Beleuchtung in der MVA mit Förderung des BLE auf moderne LED-Technik umgestellt. Für die Folgejahre ist geplant, die Lüftungstechnik zu optimieren und damit eine Empfehlung aus der Energieberatung umzusetzen. Auch die Energieerzeugung soll verstärkt im eigenen Betrieb erfolgen. Eine 75-kW_{el}-Biogasanlage soll die anfallende Rindergülle energetisch verwerten. Die Planungen und Verhandlungen mit potenziellen Anlagenlieferanten laufen bereits. Als Option ist auch die Nutzung der Dachflächen zur Solarstromerzeugung in der Diskussion. Alles in allem werden diese Maßnahmen dazu beitragen, die wirtschaftliche Situation des Betriebs weiter zu verbessern und neben den primär landwirtschaftlichen weitere Einnahmequellen zu erschließen.

Energieeffizienzmaßnahmen

Maßnahmenvorschlag	Energieträger	Verbrauchsreduzierung	THG-Minderung	Ökonomischer Nutzen	Amortisationszeit
Effiziente Stallbelüftung MVA	Strom	13.104 kWh/a	7,4 t CO ₂ /a	2.507 €/a	2,3 Jahre
Effiziente Güllerpumpen MVA	Strom	10.950 kWh/a	6,2 t CO ₂ /a	2.095 €/a	10,8 Jahre
Erneuerung/Umbau Lüftungsanlage Kartoffellagerhaus	Strom	40.500 kWh/a	22,9 t CO ₂ /a	7.749 €/a	2,7 Jahre

Quelle: STF (2017)

Fazit des Betriebs

»Die Analyse unserer Kostenstrukturen und das Erkennen von Einsparpotenzialen sind für uns in der derzeit schwierigen wirtschaftlichen Situation von besonderer Wichtigkeit. Um dabei den Faktor »Betriebsblindheit« ausklammern zu können, haben wir uns für eine externe Energieeffizienzberatung entschieden. Unser Ziel, dadurch einen Fahrplan zum effektivsten Einsatz von investiven Maßnahmen erstellen zu können, wurde in vollem Umfang erreicht.«



Abbildung 38: Ralf Helmert, Vorstandsvorsitzender der Mildenauer Agrar AG



6.5 Schweinezucht Pappendorf GmbH

Zahlen und Fakten

- Schweinezucht Pappendorf GmbH & Co. KG
Mühlstraße 12, 09661 Striegistal, OT Pappendorf
- Kontakt: Marten-Sipke Tigchelaar, martensipke@hotmail.com,
Tel.: +49 37207 3918
- Betriebsart: Veredlungsbetrieb
- Mitarbeiterzahl: 12
- Tierhaltung: 1.600 Zuchtsauen, ca. 2.000 Saugferkel,
ca. 4.500 Aufzuchtferkel, ca. 500 Jungsau
- Zertifizierungen/QM: QS-Schwein
- Gesamtenergieverbrauch im Jahr 2015: 0,84 Mio kWh
(ca. 101.000 €)

Kurzporträt

Als der gebürtige Niederländer Marten-Sipke Tigchelaar den Betrieb im Jahr 2009 übernahm, war die Schweinezuchtanlage am Rand des Striegistaler Ortsteils Pappendorf in einem maroden Zustand. Die insgesamt sieben Ställe und weitere Betriebsgebäude mussten komplett entkernt, umfassend gereinigt und nach gültigen Normvorgaben saniert werden. Etwa 8.600 Tiere aller Altersklassen, die sich in der Anlage seitdem sichtlich wohlfühlen, finden ausreichend Fress- und Tränkplätze sowie Beschäftigungsmöglichkeiten. Eine Besonderheit, welche sich vor allem in den Sommermonaten als sehr vorteilhaft für die Tiere erweist, ist die Tröpfchenbewässerungsanlage. Bei sommerlichen Außentemperaturen wird die Tropfanlage, die sich ca. 1,5 m versetzt über dem Futtertrog der Tiere befindet, eingeschaltet. Die Tiere können sich je nach Empfinden in die Fressboxen legen und bekommen Wasser in den Nackenbereich getropft. Die sich ebenfalls über den Trögen befindliche Zuluftführung erzeugt dann im Zusammenhang mit der Tropfanlage eine Kühlung der Tiere. Das System wird von den Tieren gern angenommen.

Auch wenn es sich formal um eine gewerbliche Tierhaltungsanlage ohne zugehörige landwirtschaftliche Nutzflächen handelt, wird diese regional gut akzeptiert. So wird beispielsweise die komplette Gülle an Agrargenossenschaften sowie private Bauern der Region geliefert. Im Gegenzug bezieht der Betrieb fast 90 % des Tierfutters von regionalen Erzeugern – eine sinnvolle Kooperation.

Im Jahr 2012 wurde auf den nach Südwesten ausgerichteten Dächern der Stallanlagen eine PV-Anlage mit einer Leistung von rund 400 kW_p installiert. Mit der Errichtung eines modernen Güllelagerbehälters mit emissionsmindernder Folienhaube anstelle offener Erdbecken im Jahr 2016 ist die Modernisierung des Betriebs vorerst abgeschlossen. Im nächsten Schritt soll die Stallbeleuchtung auf moderne LED-Technik umgestellt werden. Ob die PV-Anlage erweitert und zur Eigenbedarfsdeckung genutzt werden soll, ist noch offen. Auch das Thema elektrisches Lastmanagement steht noch auf der Agenda von Herrn Tigchelaar.

Energieeffizienzmaßnahmen

Maßnahmenvorschlag	Energieträger	Verbrauchsreduzierung	THG-Minderung	Ökonomischer Nutzen	Amortisationszeit
Beleuchtungsoptimierung: LED-Retrofit	Strom	62.100 kWh/a	34,9 t CO ₂ /a	10.210 €/a	0,9 Jahre
Wärmerückgewinnung Ferkelstall	Propan	140.000 kWh/a	30,9 t CO ₂ /a	5.894 €/a	4,4 Jahre
PV-Anlage 340 kW _p	Strom	36,3 % solare Deckung Stromverbrauch	167,6 t CO ₂ /a		11,2 Jahre

Quelle: IBfrE (2016)

Fazit des Betriebs

»Ein externer Energieberater betrachtet das Unternehmen, ohne voreingenommen zu sein. Das zwingt den Betreiber, sich mit Themen zu beschäftigen, die im Tagesgeschäft häufig untergehen (Beispiel: elektrisches Lastmanagement). Schon allein deshalb macht eine solche Beratung Sinn.

Wenn der Energieberater im Nachgang noch bei der Umsetzung und Fördermittelbeantragung unterstützt – umso besser.«



Abbildung 39: Marten-Sipke Tigchelaar, Geschäftsführer Schweinezucht Pappendorf GmbH & Co. KG mit Familie

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Anteil der Energiekosten an den Gesamtkosten untersuchter sächsischer Betriebe im Wirtschaftsjahr 2014/15, Quelle: SMUL (2016)	07
Abb. 2: Mittlerer Gesamtniederschlag in Sachsen, Quelle: LfULG (2009)	08
Abb. 3: Anteil des Dauergrünlands an der landwirtschaftlich genutzten Fläche (LF), Quelle: StaLa SN (2011)	09
Abb. 4: Bodengüte in Sachsen anhand der Ertragsmesszahlen, Quelle: Institut für Länderkunde, Leipzig (2002)	09
Abb. 5: Beispielhaftes Typenschild eines Asynchronmotors	13
Abb. 6: Mindestwirkungsgrade für die Energieeffizienzklassen IE1 – 4 für Elektromotoren mit vier Polen (50 Hz) nach IEC 60034-30-1 sowie Richtwerte für Altmotoren (EFF3) nach topmotors.ch (2014)	14
Abb. 7: Anschluss mobiler Strommesszangen an einen Verbraucher	15
Abb. 8: Ungeordneter Jahresgang des elektrischen Wirkleistungsbezugs (»Lastgang«) eines modernen Milchviehbetriebs	16
Abb. 9: Strompreisbestandteile eines Landwirtschaftsbetriebs mit ca. 400.000 kWh Jahresverbrauch im Jahr 2015	16
Abb. 10: Geordnete Jahresdauerlinie des Wirkleistungsbezuges eines Praxisbetriebs	17
Abb. 11: Messtechnikeinsatz bei der Energieberatung (Ultraschall-Durchfluss-/Wärmemengenmessgerät)	19
Abb. 12: Verbraucherstruktur Elektroenergieeinsatz eines modellhaften Milchviehbetriebs mit 492 TP, ohne Kleinverbrauch, Quelle: KTBL (2014 a)	21
Abb. 13: Milchvorkühler im Praxiseinsatz: Unter dem Edelstahlzylinder ist eine doppelwandige Rohrwendel untergebracht, die Milch fließt im Innenrohr.	21
Abb. 14: Außen aufgestellte Verflüssiger der Kältemaschinen eines Milchtanks	23
Abb. 15: Axialventilatoren zur Hitzestressvermeidung in einem Kuhstall	25
Abb. 16: Schlauchbelüftungssystem zur Vermeidung von Hitzestress im Milchviehstall	25
Abb. 17: Jährlicher spezifischer Energiebedarf von Modellställen der Schweinehaltung, Quelle: KTBL (2014 b)	27
Abb. 18: Drehzahlabhängige Leistungsaufnahme eines Ventilators mit unterschiedlichen Motor- und Regelkonzepten, Datenquelle: Fa. Ziehl-Abegg	28
Abb. 19: Frequenzumrichter von Abluftventilatoren, rechts im Bild ein Gerät mit Stromverbrauchsanzeige	28
Abb. 20: Messventilator mit Drosselklappe im Bestand	30
Abb. 21: Hocheffiziente Nassläuferpumpen einer Heizungsverteilung in einem Schweinehaltungsbetrieb	31
Abb. 22: Jährlicher tierplatzspezifischer Energiebedarf von Modellställen der Geflügelhaltung, Quelle: KTBL (2014 b)	32
Abb. 23: Nachgerüsteter Abluft-Wärmetauscher an einem Hühnermaststall	33
Abb. 24: Raumluftunabhängiges Gasheizgerät mit Rauchgasabfuhr im Geflügelmaststall	34
Abb. 25: LED-Leuchte im Geflügelstall	34
Abb. 26: »Repowering« einer Biogasanlage zur Flexibilisierung der Stromproduktion durch Vergrößerung des Gasspeichervolumens, Zubau eines hocheffizienten BHKW und Nachrüstung eines Wärmepufferspeichers	35
Abb. 27: Normierte spezifische Kraftstoffverbräuche DLG-geprüfter Traktoren im »Powermix«-Test, Quelle: DLG (2017)	36
Abb. 28: Mechanismen des Bodeneingriffs von Schlepperreifen, Quelle: Volk (2014 a)	39
Abb. 29: Traktor mit nachgerüsteter Reifendruckanlage	39
Abb. 30: Unerwünschte Spuren in der Grasnarbe – verursacht durch 20 % Schlupf bei schwerer Zugarbeit	40
Abb. 31: Durchschnittliche Eigenverbrauchs- und solare Deckungsanteile nach Betriebstyp und in Abhängigkeit der Jahresstromerzeugung im Verhältnis zum Jahresstromverbrauch für PV-Anlagen mit Südausrichtung, Quelle: KTBL (2016)	42
Abb. 32: Tageslastgang des Schweinestalls mit Betrieb der Güllepumpe	44
Abb. 34: Lastmanagementsystem	45
Abb. 33: Wochenlastgang der Milchviehanlage mit Betrieb der Gülletechnik	45
Abb. 35: Ondrej Kunze, Leiter des LVG Köllitsch	49
Abb. 36: Marcus Gallasch und Lisa Rußig, Vorstände der Agrargenossenschaft Gnaschwitz e. G.	51
Abb. 37: Frank Schröder, Geschäftsführer Schweineproduktion Schröder Eckert GmbH & Co. KG	53
Abb. 38: Ralf Helmert, Vorstandsvorsitzender der Mildenaer Agrar AG	55
Abb. 39: Marten-Sipke Tigchelaar, Geschäftsführer Schweinezucht Pappendorf GmbH & Co. KG mit Familie	57

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Energiepreisentwicklung im Langzeitvergleich	06
Tab. 2: Standortbedingungen Sachsens, Quelle: SMUL (2002)	08
Tab. 3: Beispiel einer einfachen Erfassungsliste für den Energiebezug	10
Tab. 4: Näherungsweise Heizwerte ausgewählter Energieträger	11
Tab. 5: Typische Elektroenergie-Verbrauchergruppen nach KTBL (2014 a/b), ergänzt	12
Tab. 6: Berechnung von Leistungs- und Wirkungs- gradangaben von Elektromotoren	13
Tab. 7: Leistungs- und Arbeitspreise Netznutzung Strom für unterschiedlichen Anschlussebenen, Quelle: ENSO NETZ (2017) für 2017 (Jahresbenutzungsdauer von 2.500 h/a oder mehr)	17
Tab. 8: Struktur und Elemente eines Energieaudits nach DIN EN 16247-1	19
Tab. 9: Literaturübersicht zum spezifischen Energieverbrauch in der Milchviehhaltung, Angaben in kWh/(TP*a) bzw. kWh/ (Kuh*a)	20
Tab. 10: Vor- und Nachteile von Ventilationssystemen zur Hitzestressvermeidung	25
Tab. 11: Literaturübersicht zum spezifischen Energieverbrauch in der Schweinemast	26
Tab. 12: Literaturübersicht zum spezifischen Energiever- brauch in der Ferkelerzeugung/-aufzucht	26
Tab. 13: Empfohlene Stalltemperaturen in einzelnen Haltungsabschnitten, Quelle: LfULG (2017)	27
Tab. 14: Abschätzung der Einsparpotenziale bei FU-Betrieb oder Einsatz von EC-Ventilatoren in der Schweinehaltung für verschiedene Drehzahlregel- systeme (gerundete Werte)	28
Tab. 15: Korrekturfaktoren zum Einfluss der Kaminbauart auf den Energieverbrauch der Abluftventilation bei vergleichbarer Effizienz der Ventilatortechnik, Quelle: KTBL (2014 b, nach Pedersen)	29
Tab. 16: Spezifischer Energiebedarf in der Geflügel- haltung, Angaben in kWh/(TP*a)	32
Tab. 17: Kraftstoffeffizienzpotenziale bei Ackerschleppern	37
Tab. 18: Kraftstoffverbrauch von Schleppern bei Transportaufgaben, Quelle: KOWALEWSKY (2009)	38

Abkürzungsverzeichnis

BGA	Biogasanlage
BHKW	Blockheizkraftwerk
BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
DLG	Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft
DWD	Deutscher Wetterdienst
EC	elektronisch kommutiert
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EVG	elektronisches Vorschaltgerät
GV	Großvieheinheit
HEL	Heizöl (EL), Heizöl extra leicht
HS	Hochspannung
IBN	Inbetriebnahme
KVG	konventionelles Vorschaltgerät
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
LMS	(elektrisches) Lastmanagementsystem
LPG	Landwirtschaftliche Produktionsgenossenschaft
MS	Mittelspannung
MVA	Milchviehanlage
NN	Normalnull
NS	Niederspannung
PV	Photovoltaik
RLM	Registrierende Leistungsmessung
SMUL	Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft
THG	Treibhausgas
TP	Tierplatz
TRIAC	Triode For Alternating Current (Zweirichtungsthyristortriode)
VG	verlustarmes Vorschaltgerät
WRG	Wärmerückgewinnung

Literaturverzeichnis

- BLE (2010): Berechnungen zum Kraftstoffverbrauch der pflanzlichen Produktion und Abschätzung von Einsparpotenzialen unter Berücksichtigung verschiedener Anbauverfahren. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Bonn
- BOEHRINGER INGELHEIM (2017): Wasser – das wichtigste Futtermittel für Kühe. Tiergesundheit und mehr. Online-Ressource unter: www.tiergesundheitundmehr.de/wasser-fuer-kuhe.pdf (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- BRÖSE, C. (2012): Den Schlepper richtig ballastieren: Theorie und Praxis. Profi 04/2012, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster
- BRÜCKNER, C. (2017): Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Referat 24 (Betriebs-, Umweltökonomie, Markt), schriftliche Mitteilung vom 10.05.2017
- C.A.R.M.E.N. e. V. (2017): Marktübersicht Batteriespeicher – Informationsangebot. C.A.R.M.E.N. e. V., Centrales Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk, Straubing. Online-Ressource unter: www.carmen-ev.de/files/Sonne_Wind_und_Co/Speicher/Markt%C3%BCbersicht-Batteriespeicher_2016.pdf (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- CLEARINGSTELLE EEG (2015): Empfehlung 2014/31 betreffend der Einzelfragen zur Anwendung des § 61 EEG20141 bei Anlagen i. S. d. EEG. Online-Ressource unter: www.clearingstelle-eeg.de/files/Empfehlung_2014_31.pdf (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- DASSLER, L. (2013): Sächsischer Landeskontrollverband e. V., persönliche Mitteilung vom 28.10.2013
- DENKER, S.; ROSE, S.; VOLK, L. (2009): Reifen und Dieseleffizienz. Bodenschädigenden und dieselizehenden Schlupf vermeiden. Neue Landwirtschaft 6 (2009), S. 44–46. Online-Ressource unter: www4.fh-swf.de/media/downloads/fbaw_1/reifenregler/pdfs/veroeffentlichungen_3/Artikel_Reifen_und_Dieseleffizienz_Neue_Landwirtschaft_62009_15_MB.pdf (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- DESTATIS (2010): Ausgewählte Zahlen der Landwirtschaftszählung/Agrarstrukturerhebung Statistisches Bundesamt, Wiesbaden. Online-Ressource unter: www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/LandForstwirtschaft/Betriebe/Argrarstrukturerhebung.html (letzter Zugriff: 04.01.2018)
- DESTATIS (2017): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Viehhaltung der Betriebe. Agrarstrukturerhebung 2016 Fachserie 3 Reihe 2.1.3. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden. 2017. Online-Ressource unter: www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/LandForstwirtschaft/ViehbestandTierischeErzeugung/Viehhaltung2030213169004.pdf?__blob=publicationFile (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTSVERLAG GMBH (2002): Mit der richtigen Einstellung. Maschinen optimal demonstrieren. Agrartechnik Juli/August 2002. Online-Ressource unter: www.agrarheute.com/sites/default/files/media/525100/525100.pdf (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- DIN EN 16247-1:2012-10, Energieaudits – Teil 1: Allgemeine Anforderungen; Deutsche Fassung EN 16247-1:2012
- DIN EN 60034-30-1:2014-12; VDE 0530-30-1:2014-12, Drehende elektrische Maschinen – Teil 30-1: Wirkungsgrad-Klassifizierung von netzgespeisten Drehstrommotoren (IE-Code) (IEC 60034-30-1:2014); Deutsche Fassung EN 60034-30-1:2014
- DIN 18910-1:2017-08, Wärmeschutz geschlossener Ställe – Wärmedämmung und Lüftung – Teil 1: Planungs- und Berechnungsgrundlagen für geschlossene zwangsbelüftete Ställe
- DIN ISO 5707:2010-04, Melkanlagen – Konstruktion und eistung (ISO 5707:2007)

- DLG (2005): Vermeidung von Wärmebelastungen bei Milchkühen. DLG-Merkblatt 336: Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V., Fachbereich Landtechnik, Ausschuss Technik in der tierischen Produktion, Frankfurt am Main, Autoren: Heidenreich, T.; Büscher, W.; Cielejewski, H. Online-Ressource unter: www.dlg.org/dlg-merkblatt_336.html (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- DLG (2006): Dieseleinsparung in der Landwirtschaft. DLG-Merkblatt 339. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V., Testzentrum Technik und Betriebsmittel, Ausschuss für Technik in der Pflanzlichen Produktion, Frankfurt am Main, Autor: Uppenkamp, N. Online-Ressource unter: www.dlg.org/dlg-merkblatt_339.html (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- DLG (2008): Bodenschonender Einsatz von Landmaschinen. DLG-Merkblatt 344. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V./Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft, Frankfurt am Main/Freising. Online-Ressource unter: www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iab/dateien/boden_dlg_merkblatt.pdf (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- DLG (2011): DLG-Prüfbericht 6140F. Big Dutchman International GmbH. Wärmetauscher Earny Typ 40.000. Wärmerückgewinnungseffizienz unter Praxisbedingungen. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V., Testzentrum Technik und Betriebsmittel, Groß-Umstadt. Online-Ressource unter: www.dlg-test.de/tests/6140F.pdf (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- DLG (2016a): Beleuchtung und Beleuchtungstechnik im Rinderstall. DLG-Merkblatt 415. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V., DLG-Ausschuss Technik in der Tierproduktion, Frankfurt am Main, Autoren: Werner, D.; Schneider, M.; Schwenzfeier-Hellkamp, E.; Müller, M.; Reiter, K.; Pelzer, A. Online-Ressource unter: www.dlg.org/dlg-merkblatt_415.html (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- DLG (2016b): Reinigung von Solaranlagen auf Ställen. DLG-Merkblatt 414. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V., DLG-Ausschuss für Technik in der Tierproduktion, Frankfurt am Main, Autoren: Voss, M.; Holzwarth, W.; Weiss, B.; Wolf, J.; Beckert, I.; Schwick, S. Online-Ressource unter: www.dlg.org/dlg-merkblatt_414.html (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- DLG (2017): Powermix-App. Online-Ressource unter: www.dlg-test.de/powermixapp/ (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- ENSO NETZ (2017): Preisblätter Netznutzung Strom ab 01.01.2017, ENSO NETZ GmbH. Online-Ressource unter: www.enso-netz.de/ensonetz/home_netz.nsf/enso/Netznutzer/Strom_Netzzugang.html (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- FELLER, B. (2011): Energieeinsatz in der Schweinehaltung – Strom und Wärme effizient einsetzen. Vortrag am 13.01.2011 in Uedem-Keppeln. Online-Ressource unter: www.gfs-topgenetik.de/services/files/vortragstagungen/Feller%20Energieeinsatz%20in%20der%20Schweinehaltung.pdf (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- FELLER, B. (2016a): Energieeffizienz in der Schweine- und Geflügelhaltung. Unveröffentlichtes Vortragsskript der Weiterbildungsveranstaltung »Energieeffizienzberatung in der Landwirtschaft, Basisqualifikation« des Sächsischen Landesamts für Landwirtschaft, Umwelt und Geologie in Zusammenarbeit mit der Landesanstalt für Entwicklung der Landwirtschaft und der Ländlichen Räume und der Sächsischen Energieagentur – SAENA GmbH, Köllitsch, 26.04.2016
- FELLER, B. (2016b): Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Fachbereich Betriebsentwicklung, Bauen, Energie, schriftliche Mitteilung vom 08.05.2017

- FENDT (2017): Fendt 800 Vario. VarioGrip für den richtigen Druck im Reifen. Ergebnisse vergleichender Untersuchungen zum Einfluss des Reifendrucks auf Dieselverbrauch und Leistungskennzahlen der Fachhochschule Südwestfalen, Fachbereich Agrarwirtschaft, Soest. AGCO GmbH, Marktoberdorf. Online-Ressource unter: <http://www.fendt.com/de/14609.asp> (letzter Zugriff: 16.05.2017)
- FNR (o. J.): Faustzahlen. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., Online-Ressource unter: <https://biogas.fnr.de/daten-und-fakten/faustzahlen/> (letzter Zugriff: 23.02.2018)
- FÜBBEKER, A. (2014): Stromeinsparung bei der Milchkühlung. Landwirtschaftskammer Niedersachsen. Online-Ressource unter: <https://www.lwk-niedersachsen.de/download.cfm/file/27040.html> (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- GASTEINER, J. (2014): Hitzestress bei Milchkühen. Nutztierschutztagung Raumberg-Gumpenstein 2014, S. 25 – 28. Online-Ressource unter: www.raumberg-gumpenstein.at/cm4/de/forschung/publikationen/downloadsveranstaltungen/finish/1905-nutztierschutztagung-2014/16737-hitzestress-bei-milchkuehen.html (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- GICON (2016 a): Energieaudit nach DIN EN 16247-1 für die Agrargenossenschaft Gnaschwitz e. G. GICON Großmann Ingenieur Consult GmbH, Dresden, Oktober 2016, unveröffentlicht
- GICON (2016 b): Energieaudit nach DIN EN 16247-1 für die Schweineproduktion Schröder Eckert GmbH & Co. KG. GICON Großmann Ingenieur Consult GmbH, Dresden, September 2016, unveröffentlicht
- GLATZ, J. (2013): Hitzestress im Milchviehstall vermeiden. Zellanzahlanstieg, geringere Milchinhaltstoffe, Milchmengenabfall - die Auswertung von Milchkontrolldaten zeigt die Folgen von Hitzestress bei Milchkühen. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen. Online-Ressource unter: www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/technik/haltungsverfahren/hitze-milchviehstall.htm (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- GÖT/BAT (2003): Verhalten, artgerechte Haltungssysteme und Stalleinrichtungen für Rind, Schwein und Huhn. Schlussberichte (Teil I und II) vom BLE geförderten Vorhaben »Lieferung von Inhalten für ein Modul artgerechte Tierhaltung im Rahmen des Zentralen Internetportals« (Förderkennzeichen: 514-43.70/020E433). Gesellschaft für Ökologische Tierhaltung e. V. (GÖT), Verein Beratung artgerechter Tierhaltung e. V. (BAT), Witzenhausen. Online-Ressource unter: <http://orgprints.org/8907/1/8907-020E433-goet-bat-2003-haltungssysteme.pdf> (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- HEIDENREICH, T. (2012): Beleuchtung von Ställen für hohen Kuh- und Arbeitskomfort, Vortrag auf der Tagung »Licht und Lichtprogramme in der Rinderhaltung«, 02.02.2012 in Grub
- HEIDENREICH, T.; PACHE, S. (2014): Belüftungskonzepte für Milchviehställe/Einsatz von Ventilatoren. In: Beiträge zum Thema Stallklima in der Tierhaltung. Arbeitsgruppe »Stallklima und Emissionen« der Koordinierungsgruppe Tierhaltung, Dummerstorf. Online-Ressource unter: www.proplanta.de/web/download/get.php?dateiname=Stallklima.pdf&dateinamedownload=14219262855_download.pdf (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- HEIDENREICH, T. (2017): Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, persönliche Mitteilung am 12.06.2017
- HUBAL, M. (2013): Melken: Bis zu 3.000 € an Stromkosten sparen. Elite-Magazin Online. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster. Online-Ressource unter: www.elite-magazin.de/technik/Eine-Umruestung-ist-immer-rentabel-1145055.html (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- IBfrE (2016): Beratungsbericht zur Erschließung von Energieeinsparpotenzialen im Programm des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) zur Förderung von Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz in der Landwirtschaft und im Gartenbau. Ingenieurbüro für rationale Energieanwendung, Berlin, Oktober 2016, unveröffentlicht
- JÄKEL, K. (2003): Analyse der Elektroenergieverwendung und Einsparpotentiale am Beispiel sächsischer Milchviehanlagen. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades doctor agriculturarum (Dr. agr.) am Institut für Agrartechnik und Landeskultur der Landwirtschaftlichen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle/Saale
- KETTNER, T. (2013): Die Ökodesign-Richtlinie in der Pumpenpraxis. Vortragspräsentation auf der ISH 2013 in Frankfurt am Main. Online-Ressource unter: http://ish2013.bdh-koeln.de/pdf/vortrag_207.pdf (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- KLIMA:AKTIV (2009): Sprintsparen mit Traktoren. Trainerhandbuch »Traktoren«. Eine gemeinsame Initiative des Lebensministeriums und der FJ-BLT Wieselburg. Online-Ressource unter: <https://ooe.lko.at/media.php?filename=download%3D%2F2017.04.25%2F1493105043809545.pdf&rn=Sprintsparen%20mit%20Traktoren%20-%20Trainerhandbuch%20-%20Version%201.0.pdf> (letzter Zugriff: 21.12.2017)

- KOWALEWSKY, H. (2009): Potenziale der Energieberatung im Ackerbau. Vortrag im Rahmen des Expertenhearing Energieberatung in der Landwirtschaft der Landesanstalt für Entwicklung der Landwirtschaft und der Ländlichen Räume Schwäbisch-Gmünd am 21.9.2009 in Boxberg. Online-Ressource unter: www.lml-bw.de/pb/site/lml/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/mlr/pdf/2/2009_007_Expertenhearing_Energieberatung_Dr_Kowalewsky.pdf (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- KTBL (2012): Anbau und thermische Nutzung von Miscanthus. KTBL-Heft 95. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V., Darmstadt, Autoren: Ruiz Lorbacher, F.; Fritz, M.; Stolzenburg, K.; Mastel, K.
- KTBL (2014 a): Energiebedarf in der Milchviehhaltung. KTBL-Heft 104. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V., Darmstadt, Autoren: Pommer, R.; Eckel, H.; Hartmann, W.; Kämper, H.
- KTBL (2014 b): Energiebedarf in der Schweine- und Hühnerhaltung. KTBL-Heft 105. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V., Darmstadt, Autoren: Eckel, H.; Büscher, W.; Feller, B.; Fritzsche, S.; Gaio, C.; Kämper, H., Neiber, J.
- KTBL (2016): Strom speichern, Eigenverbrauch steigern. Technik – Auslegung – Kosten. KTBL-Heft 110. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V., Darmstadt, Autoren: Graf, J.; Hartmann, S.; Neiber, J.; Puchta, M.; Reinhold, G.; Remmersmann, T.; Wilms, D.
- LfL (2007 a): Wirtschaftlichkeitsbericht Milch. Wirtschaftlichkeitsbericht zur sächsischen Milchproduktion 2005/06. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. Online-Ressource unter: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/15273/documents/18476> (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- LfL (2007 b): Schweine-Report 2006. Wirtschaftlichkeitsbericht zur sächsischen Schweineproduktion. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. Online-Ressource unter: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/15149> (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- LfL (2012): Energieeinsparung im Schweinestall – Wärmetauscher. LfL-Information. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weißenstephan, Autoren: Bonkoß, K.; Neiber, J.; Neser, S. Online-Ressource unter: www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/p_44893.pdf (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- LfULG (2009): Atlas der Nährstoffeinträge in sächsische Gewässer. Sächsisches Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und Geologie, Autoren: Halbfaß, S.; Gebel, M.; Friese, H.; Grunewald, K.; Mannsfeld, K.; Bürger, S.; Kaiser, M.; Uhlig, M.; Dehnert, J.; Dimmer, R.; Engelmann, U.; Kuhn, K.; Ihling, H.; Rohde, S.; Ziegler, K.; Kurzer, H.J.; Ernst, H.; Bufe, J. Online-Ressource unter: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/11725/documents/12318> (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- LfULG (2014): Minderung von Treibhausgas-Emissionen der Landwirtschaft. Schriftenreihe 31/2014. Sächsisches Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und Geologie, Autoren: von Buttlar, C.; Dobmaier, A.; Eulenstein, F.; Freitag, T.; Ilg, B.; Müller, B.; Rebbe, F.; Zorn, S. Online-Ressource unter: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/23196> (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- LfULG (2015 a): Energiebedarf von Melk- und Kühlanlagen. Energiebedarf von konventionellen Melkanlagen und Gesamtenergieeffizienz von Anlagen zur Kühlung von Milch. Schriftenreihe 01/2015. Sächsisches Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und Geologie, Autor: Pommer, R.; Online-Ressource unter: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/23799> (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- LfULG (2015 b): Beleuchtungskörper in der Legehennenhaltung. Einfluss des Lichtspektrums von Beleuchtungskörpern in der Legehennenhaltung. Schriftenreihe 16/2015. Sächsisches Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und Geologie, Autoren: Wehlitz, R.; Müller, U.; Huhnstock, C.; Schneider, A. Online-Ressource unter: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/24785> (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- LfULG (2017): Orientierungswerte für die Planung von Schweineställen. Sächsisches Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und Geologie, Autor: Pommer, R. Online-Ressource unter: www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/Stallplanung_Schwein_2016_12.pdf (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- LOEBSIN, C.; FIEDLER, M.; TOBER, O.; HOFFMANN, G.; HEMPEL, S.; AMON, T. (2014): Minderungsmöglichkeiten von Hitzestress am Beispiel von Zusatzlüftung. In: Beiträge zum Thema Stallklima in der Tierhaltung. Arbeitsgruppe »Stallklima und Emissionen« der Koordinierungsgruppe Tierhaltung, Dummerstorf. Online-Ressource unter: http://www.proplanta.de/web/download/get.php?dateiname=Stallklima.pdf&dateinamedownload=14219262855_download.pdf (letzter Zugriff: 21.12.2017)

- MAHLKOW-NERGE, K. (2012): Hitzestress auch im Offenstall!. Elite-Magazin Online. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster. Online-Ressource unter: www.elite-magazin.de/dossiers/Hitzestress-auch-im-Offenstall-849456.html (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- MICHELIN (2014): Diesel sparen. Vortragspräsentation beim »Aktionstag Bodendruck« am 16.4.2014 bei den Landwirtschaftlichen Lehranstalten Bayreuth. Online-Ressource unter: www.lla-bayreuth.de/files/3_Landmaschinenschule/vorfuehrungen/2014-Dieselsparen.pdf (letzter Zugriff: 11.05.2017)
- MÖLDER, R. (2005): Was bringen größere Häcksellängen beim Silieren von Mais? Profi, 3/2005. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster
- NEIBER, J. (2017): Heizenergieeinsatz und Einsparpotenziale in Ferkelerzeugungsbetrieben. Ergebnisse vergleichender Untersuchungen in 20 Praxisbetrieben. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung, unveröffentlicht, schriftliche Information per E-Mail am 04.07.2017
- NESER, S. (2014): Energiebedarf und Einsparmöglichkeit in der Rinderhaltung. In: Energieverbrauch im Milchviehbetrieb – Effizienz und Einsparpotential. LfL-Information. Bayerisches Landesanstalt für Landwirtschaft, Grub. Online-Ressource unter: www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/energieverbrauch_im_milchviehstall_065687.pdf (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- NESER, S.; NEIBER, J.; BONKOSS, K. (2012): Stromverbrauch und Energieeffizienz in der Tierhaltung. SUB 11-12/2012. Online-Ressource unter: www.lfl-bw.de/pb/site/pbs-bw-new/get/documents/MLR.Energieberatung/Unterlagen/03_Wissensbasis/Archiv%20Fachartikel/Rinderhaltung/Stromverbrauch%20und%20Energieeffizienz%20in%20der%20Tierhaltung_sub_1112_2012.pdf (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- RÖSEMANN, C.; HAENEL, H.-D.; DÄMMGEN, U.; FREIBAUER, A.; DÖRING, U.; WULF, S.; EURICH-MENDEN, B.; DÖHLER, H.; SCHREINER, C.; OSTERBURG, B. (2017): Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990 – 2015. Report zu Methoden und Daten Berichterstattung 2017. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Report 46, Braunschweig. Online-Ressource unter: www.thuenen.de/de/ak/arbeitsbereiche/emissionsinventare/ (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- RÖSMANN, P. (2012): Einsatz von regenerativen Energiequellen zum Heizen und Kühlen von zwangsgelüfteten Tierställen. Dissertation Universität Bonn. Forschungsbericht Agrartechnik des Fachausschusses Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI (VDI-MEG), Heft 509, Selbstverlag Peter Rösmann, Bonn
- RÖSMANN, P.; BÜSCHER, W. (2010): Untersuchung eines Luft-Luft-Wärmetauschers unter Praxisbedingungen. Landtechnik Band 65, Heft 64 (2010), S. 418 – 420. Online-Ressource unter: www.landtechnik-online.eu/ojs-2.4.5/index.php/landtechnik/article/view/2010-6-418-420 (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- SAUTER, J.; DÜRR, L. (2005): Einfluss der Messerschärfe auf den Leistungsbedarf von Mähwerken und Ballenpressen. FAT-Bericht 625, Agroscope FAT Tänikon, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, Ettenhausen, 2005
- SCHNEIDER, T.; BÜSCHER, W. (2006): Heizenergiebedarf in der Hähnchenmast. Landtechnik Band 61, Heft 4 (2006), S.220–221. Online-Ressource unter: www.landtechnik-online.eu/ojs-2.4.5/index.php/landtechnik/article/view/2006-4-220-221 (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- SCHREIBER, M. (2006): Kraftstoffverbrauch beim Einsatz von Ackerschleppern im besonderen Hinblick auf CO₂-Emissionen. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades doctor agriculturarum (Dr. agr.) am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim, Marktoberdorf. Online-Ressource unter: https://opus.uni-hohenheim.de/volltexte/2012/643/pdf/Diss_MS.pdf (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- SMUL (2002): Sächsischer Agrarbericht 2001. Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Dresden. Online-Ressource unter: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/11372> (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- SMUL (2009): Entwicklungsprogramm für den ländlichen Raum im Freistaat Sachsen. Förderperiode 2007–2013. Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Dresden. Online-Ressource unter: www.smul.sachsen.de/foerderung/download/1_EPLR_2007-2013_genehmigte_Fassung_v._2009.12.15_3.Aenderung.pdf (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- SMUL (2016): Buchführungsergebnisse der Landwirtschaft im Wirtschaftsjahr 2014/2015. Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Dresden

- StaLa SN (2011): Bodennutzung im Freistaat Sachsen. Statistisches Landesamt Freistaat Sachsen, Kamenz. Online-Ressource unter: www.statistik.sachsen.de/download/100_Berichte-C/C_LZ_2010_1.pdf (letzter Zugriff: 09.05.2017)
- STF (2017): Energieeinsparkonzept zur Energieeffizienzberatung in der Landwirtschaft für die Gebirgsland Agrar GmbH Mildena. STF Energy GmbH, Radebeul, Mai 2017, unveröffentlicht
- TierSchNutztV (2001): Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 22. August 2006 (BGBl. I S. 2043), zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 14. April 2016 (BGBl. I S. 758) geändert
- TOPMOTORS.CH (2014): Effizienzklassen IE1, IE2, IE3 und IE4: Wirkungsgrade. Technische Daten – Merkblatt 13. Online-Ressource unter: www.topmotors.ch/_data/13_Merkblatt_Wirkungsgrade.pdf (letzter Zugriff: 26.04.2017)
- TPC (2017): Energieaudit nach DIN EN 16247 für das Lehr- und Versuchsgut Köllitzsch. Therm-Process-Consulting, Freiberg, April 2017, unveröffentlicht
- TRÖGER, F., DASSLER, L. (2005): Vakuumpumpen. Ist die Drehzahlsteuerung schon praxisreif? top agrar 01/2005. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster
- UBA (2012): Hintergrund: Ökodesign-Richtlinie Ventilatoren. Umweltbundesamt, Dessau. Online-Ressource unter: www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/481/dokumente/datenblatt_327-2011_ventilatoren.pdf (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- VdLWK (2009): Energieeffizienzverbesserung in der Landwirtschaft. Verband der Landwirtschaftskammern e.V./Landwirtschaftskammer Niedersachsen/Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Berlin/Oldenburg/Münster. Online-Ressource unter: <https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/technik/pdf/energieeffizienzverbesserung.pdf> (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- VOLK, L.; DENKER, S.; ROSE, S. (2011): Möglichkeiten zur Steigerung der Deseffizienz in der Landwirtschaft. Landtechnik Band 66 Nr. 4 (2011), S. 140 – 143. Online-Ressource unter: www.landtechnik-online.eu/ojs-2.4.5/index.php/landtechnik/article/viewFile/2011-2-140-143/513 (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- VOLK, L. (2011): Energiecheck für landwirtschaftliche Betriebe. Präsentation. Online-Ressource unter: www4.fh-swf.de/media/downloads/fbaw_1/reifenregler/pdfs/vorlesungenvolk/2012_2/LEnergieberatung201112.pdf (letzter Zugriff: 12.10.2013)
- VOLK, L. (2014 a): Variabler Reifendruck für mehr Bodenschutz. Weniger Verdichtung, mehr Fahrkomfort und Zugkraft. Bauernblatt GmbH, Rendsburg. Online-Ressource unter: www.lksh.de/fileadmin/dokumente/Bauernblatt/PDF_Toepfer_2014/BB_35_30.08/39-41_Volk.pdf (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- VOLK, L. (2014 b): Reifendruck regeln: Anlagen zum Nachrüsten. Agrar heute. 30.10.2014. Online-Ressource unter: www.agrarheute.com/news/reifendruck-regeln-anlagen-nachruesten (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- VOLK, L. (2016): Gute Fahrer denken voraus. Motorkraft besser auf den Boden bekommen. In: Bauernblatt. 26.3.2016, Bauernblatt GmbH, Rendsburg. Online-Ressource unter: www.lksh.de/fileadmin/dokumente/Bauernblatt/PDF_Toepfer_2016/BB_12_26.03/44-49_Volk.pdf (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- VOLK, L. (2017): schriftliche Information vom 04.09.2017
- WEISS, J. (2003): Zugkraftbedarf bei verschiedenen Pflugscharen und gängigen Abwandlungen an Verschleißteilen. RKL-Schrift, Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft, Rendsburg, April 2003
- WEISSBACH, M. (2011): Wie lassen sich ≥ 200 kW effizient in Zugleistung umsetzen? Landtechnik Band 66 Nr. 4 (2011). Online-Ressource unter: www.landtechnik-online.eu/ojs-2.4.5/index.php/landtechnik/article/view/2011-4-294-296 (letzter Zugriff: 21.12.2017)
- ZVEI (2015): Leitfaden Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung. Begriffe, Definitionen und Messverfahren: Grundlagen für Vergleichbarkeit. 2. Ausgabe. ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e.V., Fachverband Licht, Frankfurt am Main. Online-Ressource unter: www.licht.de/fileadmin/Publikationen_Downloads/ZVEI-Schriften/1512_ZVEI-LED-Leitfaden_2._Ausgabe.pdf (letzter Zugriff: 21.12.2017)

Anhang

Anhang 1: Elektroverbraucherliste

Erläuterung zur korrekten Nutzung

- Spalte 4: Zuordnung zu vordefinierten Verbrauchergruppen (Auswahlfeld), z. B. nach Systematik aus Tabelle 5
- Spalte 5: Mittelwert der elektrischen Wirkleistungsaufnahme einer temporären Messung, ggf. ermittelt aus Verbrauch in kWh : Betriebsstunden im Messzeitraum
- Spalte 6: Herstellerangabe bei Maschinen, Leuchten (inkl. Verlustleistung des Vorschaltgerätes!), Ventilatoren, Nassläuferpumpen u. a. (alternativ zu Spalte 5 und 7)
- Spalte 7: Leistungsangabe auf dem Typenschild eines Elektromotors (alternativ zu Spalte 5 und 6), mechanische Leistung an der Motorwelle
- Spalte 8: Typenschildangabe eines (modernen) Elektromotors. Wenn nicht vorhanden, aus Nennleistung (Spalte 7) und Wirkungsgrad (Spalte 9) über Abbildung 6 abschätzen.
- Spalte 9: Berechnung aus Nennleistung Motor (Spalte 7): elektrische Motorleistung (Spalte 10)
- Spalte 10: Berechnung aus Typenschildangaben (Nennspannung, Nennstrom und $\cos \varphi$)
- Drehstrommotoren (400 V):
 $0,4 \text{ kV} \times \text{Nennstrom (A)} \times \cos \varphi \times \sqrt{3} = \dots \text{ kW}$
- Wechselstrommotoren (230 V):
 $0,23 \text{ kV} \times \text{Nennstrom (A)} \times \cos \varphi = \dots \text{ kW}$
- Spalte 12: Gibt an, wie viele der Verbraucher gleichzeitig betrieben werden. Werte zwischen > 0 und 1
- Spalte 13: Faktor zur Berücksichtigung von Unterlast (Überdimensionierung), Effekten bei drehzahlvariablem Betrieb oder Teilauslastung komplexer Maschinen. Werte zwischen 0 und 1 . Wert ist 1 , wenn die Verbrauchsberechnung über Messwerte (Spalte 5) erfolgt oder angenommen wird, dass der Motor oder die Maschine tatsächlich mit Nennleistung betrieben wird.
- Spalte 14: Elektrische Leistung (Wert aus Spalten 5 oder 6 oder 10) \times Betriebsstunden (Spalte 11) \times Anzahl Verbraucher (Spalte 3) \times Gleichzeitigkeit (Spalte 12) \times Lastfaktor (Spalte 13) = Jahresverbrauch in kWh
- Spalte 15: Prozentualer Anteil der ermittelten Gesamtsumme, berechnet aus Verbrauchswert des Einzelverbraucher (Spalte 14): summarischen Verbrauch aller Verbraucher (Spalte 14 unten) $\times 100$ (%)

Beispiel

Lfd. Nr.	Verbraucher	Anzahl	Verbrauchergruppen	Messwert mittlere Wirk- leistungs- aufnahme	6 [kW _e]	7 [kW]	Angaben zu Elektromotoren				11 [Bh/a]	12 [0 - 1]	13 [0 - 1]	14 [kWh/a]	15 [%]
							8 [E.]	9 [%]	10 [kW _e]	Elektrische Leistung					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Sauggebläsemöhlen	2	Futteraufbereitung	-	-	15	IE0	84,7	17,7	1.200	1	0,5	21.240	37,9	
2	Güllerührwerk	1	Entmischung	-	-	15	IE1	87,7	17,1	500	1	0,6	5.130	9,1	
3	Leuchstoffröhren KVG	150	Stallbeleuchtung	-	0,071	-	-	-	-	2.920	0,95	1	29.543	52,6	
4	Heizungspumpe Büro	1	Betriebsstrom Heizung	-	0,06	-	-	-	-	3.360	1	1	202	0,4	
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
Summe:													56.115		

Anhang 2: Aktuelle Förderprogramme

(Stand: Oktober 2017)

Lfd. Nr.	Kurzbezeichnung Förderprogramm	Förderstelle	Bundes- oder Landesprogramm	Rechtsgrundlage	Laufzeit bis	Antragsberechtigte (nur zutreffende Auswahl)	Fördergegenstände
1	Bundesprogramm Energieeffizienz	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE)	Bundesprogramm	Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz in der Landwirtschaft und im Gartenbau vom 22. August 2016	31.12.2018	Landwirtschafts- und Gartenbauunternehmen	qualifizierte Energieberatung; Einzelmaßnahmen (z. B. Pumpen, Motoren, Ventilatoren, Wärmespeicher, Wärmerückgewinnung, zusätzlicher Energieschirm oder Mehrfachbedachung Gewächshaus); systemische Optimierung; Neubau Niedrigenergiegebäude (z. B. Gewächshäuser)
2	Heizungsoptimierung	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)	Bundesprogramm	Richtlinie über die Förderung der Heizungsoptimierung durch hocheffiziente Pumpen und hydraulischen Abgleich vom 13. Juli 2016	31.12.2020	Unternehmen	Anschaffung und Einbau hocheffizienter Heizungspumpen; Durchführung des hydraulischen Abgleichs inkl. Anschaffung und Einbau hierfür notwendiger Anlagentechnik
3	Marktanreizprogramm	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)	Bundesprogramm	Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt vom 11. März 2015	derzeit nicht begrenzt	Landwirtschafts- und Gartenbauunternehmen	Errichtung und Erweiterung von Biomasseanlagen für die thermische Nutzung von 5 bis 100 kW Nennwärmeleistung inkl. Planungskosten und Messtechnik
4	KfW-Kredit 275 »Erneuerbare Energien – Speicher«	KfW	Bundesprogramm	Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt vom 11. März 2015	31.12.2018	Landwirtschafts-/Gartenbaubetriebe Primärproduktion (eingeschränkt, nur*); gewerbliche Landwirtschafts-/Gartenbaubetriebe (mit Gewerbeanmeldung) uneingeschränkt	Neuinstallation PV-Anlage bis 30 kWp mit stationärem Batteriespeicher*; Nachrüstung eines stationären Batteriespeichers an einer PV-Anlage bis 30 kWp ab IBN-Jahr 2013
5	Kälte- und Klimaanlageanlagen	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)	Bundesprogramm	Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen an Kälte- und Klimaanlageanlagen im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (Kälte-Klima-Richtlinie) vom 1. Dezember 2016	31.12.2019	Landwirtschaftsbetriebe nur im Einzelfall, wenn sie zusätzlich gewerbliche Tätigkeiten nachweisen können und damit in den Geltungsbereich der De-minimis-Regelung fallen	Sanierung oder Neuinstallation energieeffizienter Kompressions- und Absorptionskältemaschinen mit geringem oder 0-GWP-Wert
6	Elektromobilität (Umweltbonus)	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)	Bundesprogramm	Richtlinie zur Förderung des Absatzes von elektrisch betriebenen Fahrzeugen (Umweltbonus) vom 29. Juni 2016	30.06.2019	Unternehmen	Erwerb (Kauf oder Leasing) eines neuen, erstmals zugelassenen, elektrisch betriebenen Fahrzeugs (reines Batterie-, Plug-In Hybrid- oder Brennstoffzellenfahrzeug)

Förderhöhe (Nettokosten)	Antrags- und Nachweisverfahren	Abwicklungsaufwand für den Antragsteller (subjektive Bewertung)	Besonderheiten	Kumulierbarkeit mit anderen Programmen	De-minimis-Regelung	Informationsquelle
<ul style="list-style-type: none"> ■ 80 %, max. 6.000 € (Energieberatung) ■ 30 % (Einzelmaßnahmen) ■ 20 – 30 % (systemische Optimierung mit mindestens 25 % bzw. 35 % Einsparung) ■ 30 – 50 % (Neubau Niedrigenergiegebäude mit Unterschreitung Energieverbrauch Referenzgebäude um 40 – 60 %) ■ max. Zuschuss bei investiven Maßnahmen: 500.000 € 	elektronisch über Online-Portal und postalisch	mittel	Maßnahmeumsetzung mit gültigem Bewilligungsbescheid, vorzeitiger Maßnahmebeginn nur in Ausnahmefällen; Antragstellung über Programmteil »Systemische Optimierung« nur mit Energieeinsparbericht eines BLE-gelisteten Energieberaters	teilweise	<ul style="list-style-type: none"> ■ Agrar-De-minimis (max. 15.000 € in den letzten drei Steuerjahren) ■ keine 	www.ble.de/DE/Themen/Klima-Energie/Bundesprogramm-Energieeffizienz/bundesprogramm-energieeffizienz_node.html
30 %, max. 25.000 € pro Standort	elektronisch über Online-Portal	gering	Lieferung/Installation nur durch einen Heizungsfachbetrieb, Antragstellung vor Maßnahmenbeginn	nein	De-minimis (max. 200.000 € in den letzten drei Steuerjahren)	www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Heizungsoptimierung/heizungsoptimierung_node.html
30 %, max. 12.000 € (für Prozesswärmanlagen)	elektronisch über Online-Portal (Formblätter, Angebot, Datenblatt Biomasseanlage, Schema Heizungshydraulik)	mittel	förderfähige Biomasseanlagen sind beim BAFA gelistet	teilweise	keine	www.bafa.de/DE/Energie/Heizen_mit_Erneuerbaren_Energien/Biomasse/Gebaeudebestand/Innovationsfoerderung_Prozesswaerme/prozesswaerme_node.html
zinsgünstiger Kredit (bonitätsabhängig) mit Tilgungszuschuss entsprechend IBN-Datum mit 16 % (2. HJ 2017), 13 % (1. HJ 2018), 10 % (2. HJ 2018)	Antragstellung über die Hausbank, bankübliche Besicherung erforderlich	mittel	bei Landwirtschaftsbetrieben ist Artikel 41 der Allgemeinen Gruppenfreistellungsverordnung (AGVO) anzuwenden, d. h. Beihilfe-Komponente 5; Leistungsabgabe der PV-Anlage ist dauerhaft auf max. 50 % begrenzt	teilweise	max. Beihilfeintensität entsprechend AGVO Artikel 41 (Landwirtschaftsbetriebe)	www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/F%C3%B6rderprodukte/Erneuerbare-Energien-%E2%80%93-Speicher-(275)/#1
Basis- und Bonusförderung: Förderhöhe berechnet sich über Formel und technologie- und größenspezifische Faktoren; max. Zuschuss Basis- bzw. Bonusförderung für Einzelfallregelung (links): 15.000 €	elektronisch über Online-Portal	mittel	Maßnahmeumsetzung mit gültigem Bewilligungsbescheid	teilweise	De-minimis (max. 200.000 € in den letzten drei Steuerjahren)	www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Klima_Kaeltetechnik/klima_kaeltetechnik_node.html
2.000 € (reines Batterie- oder Brennstoffzellenfahrzeug), 1.500 € (von außen aufladbares Hybrid-elektrofahrzeug, Plug-In Hybrid mit weniger als 50 g CO ₂ -Emission pro km)	elektronisch über Online-Portal	gering	förderfähige Fahrzeuge sind beim BAFA gelistet; Förder Voraussetzung: Hersteller gibt äquivalenten Betrag wie Fördersumme als Preisnachlass auf BAFA-Listenpreis	nein	keine	www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Elektromobilitaet/elektromobilitaet_node.html

Lfd. Nr.	Kurzbezeichnung Förderprogramm	Förderstelle	Bundes- oder Landesprogramm	Rechtsgrundlage	Laufzeit bis	Antragsberechtigte (nur zutreffende Auswahl)	Fördergegenstände
7	Mini-KWK-Programm	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)	Bundesprogramm	Richtlinie zur Förderung von KWK-Anlagen bis 20 kWel (Mini-KWK-Richtlinie) vom 15. Dezember 2014	derzeit nicht begrenzt	gewerbliche Landwirtschafts-/Gartenbaubetriebe	strom- und wärmefühbare KWK-Anlagen in Bestandsbauten bis 20 kWel
8	Investitionen in landwirtschaftliche Betriebe einschließlich Garten- und Weinbau	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)	Landesprogramm	Entwicklungsprogramm für den ländlichen Raum im Freistaat Sachsen 2014 – 2020; Förderrichtlinie Landwirtschaft, Innovation, Wissenstransfer – RL LIW/2014), Teil B. II. 1. Investitionen in landwirtschaftliche Betriebe	31.07.2020	Landwirtschaftliche Betriebe und Betriebe des Wein- und Gartenbaus	Investitionen im Bereich der Nutztierhaltung; Investitionen zur pflanzlichen Erzeugung einschließlich des Garten- und des Weinbaus; Investitionen für die Verarbeitung und Vermarktung von landwirtschaftlichen Produkten

Alle Angaben ohne Gewähr. Stand: Oktober 2017

Förderhöhe (Nettokosten)	Antrags- und Nachweisverfahren	Abwicklungsaufwand für den Antragsteller (subjektive Bewertung)	Besonderheiten	Kumulierbarkeit mit anderen Programmen	Deminimis-Regelung	Informationsquelle
gestaffelt nach Leistung (4 Stufen): 1.900 €/kWel (< 1 kWel) -> 10 €/kWel (>10 < 20 kWel) + Bonusförderung	per Fax, E-Mail oder postalisch	gering	es gelten weitere fachliche Anforderungen und Bonusregelungen	teilweise	De-minimis (max. 200.000 € in den letzten drei Steuerjahren)	www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Kraft_Waerme_Kopplung/Mini_KWK/mini_kwk_node.html
allgemeiner Fördersatz: 25 %; Gebäude/Anlagen Nutztierhaltung (bes. tiergerechte Gestaltung): 40 %; Gartenbau: 35 %; 5 % Fördersatzbonus für Antragsteller aus benachteiligten Gebieten; max. 3 Mio. € in der Förderperiode pro Betrieb	elektronisch (Datenträger-CD) per Post (elektronische Formulare)	hoch	jährliche Fristen zur Einreichung von Fördermittelanträgen; das förderfähige Investitionsvolumen muss mind. 20.000 Euro je Vorhaben (Förderantrag) betragen	nein	keine	www.smul.sachsen.de/foerderung/4769.htm

Anhang 3: Energieeffizienzberater für die Landwirtschaft in Sachsen

(Stand: Dezember 2017)

- **01069 Dresden**
Stephan Mücke
Energie – Solar – Beratung
Tel.: +49 351 4793462
info@esb-muecke.de
www.esb-muecke.de
- **01219 Dresden**
Dr. Hagen Hilse
GICON Großmann Ingenieur Consult
GmbH
Tel.: +49 351 4787842
h.hilse@gicon.de
www.gicon.de
- **01219 Dresden**
Stefan Zorn
GICON Großmann Ingenieur Consult
GmbH
Tel.: +49 351 4787884
s.zorn@gicon.de
www.gicon.de
- **01445 Radebeul**
Axel Heuwold
STF ENERGY GmbH
Tel.: +49 351 41888-494
axel.heuwold@stf-gruppe.de
www.stf-energy.de
- **01728 Bannewitz**
Ralf Kempe
Effectio GmbH
Tel.: +49 351 85188834
ralf.kempe@effectio.de
www.effectio.de
- **04275 Leipzig**
Michel H. Matke
conaudit
Tel.: +49 341 12573338
matke@conaudit.de
www.conaudit.de
- **04539 Groitzsch**
Olaf Güldner
etaKonzept Güldner
Tel.: +49 34296 49146
olaf.gueldner@etakonzept.de
www.etakonzept.de
- **04651 Bad Lausick**
Udo Müller
Delta Energy GmbH
Tel.: +49 34345 24399
u.mueller@delta-energy.de
www.delta-energy.de
- **04720 Döbeln**
Heinz Böhle
Ingenieurbüro für unabhängige
Energieberatung
Tel.: +49 3431 625880
boehle@energiebuero.de
www.energiebuero.de
- **08058 Zwickau**
Dr. Tilo Elfruth
SEF-Energietechnik GmbH
Tel.: +49 375 2119325
elfruth@sef-energietechnik.de
www.sef-energietechnik.de
- **08280 Aue**
Steffen Klug
Ing.-Büro Energietechnik Dipl.-Ing.
Steffen Klug
Tel.: +49 3771 20811
sk@klug-energietechnik.de
www.klug-energietechnik.de
- **09116 Chemnitz**
Matthias Türpe
Ingenieure Türpe & Flach
Partnerschaft
Tel.: +49 371 309974
energieberater@chemonline.de
www.heizungsklima.com
- **09376 Oelsnitz**
Dr. Thomas Freitag
STZ Energie und Umwelttechnik
Tel.: +49 37296 93878
thomas.freitag@stz-energie.de
www.stz-energie.de
- **09599 Freiberg**
Dr.-Ing. Jens Strack
Therm-Process-Consulting
Tel.: +49 3731 7731325
strack@thermpro.de
www.thermpro.de
- **13359 Berlin**
Sebastian Ertl
Ingenieurbüro für rationelle
Energieanwendung
Tel.: +49 151 25264502
ib@ib-energie.com
www.ib-energie.com
- **29476 Gusborn OT Zadrau**
Andreas Kötter
creative umwelt energie +
klimakonzepte (cuekk)
Tel.: +49 5861 8049718
koetter@cuekk.de
www.cuekk.de
- **39126 Magdeburg**
Klaus Breitenstein
Ingenieurbüro Energiededektiv
Tel.: +49 391 40597124
energiededektiv@gmail.com
www.energiededektiv.de

Die Aufzählung enthält diejenigen Berater, die aufgrund ihrer nachgewiesenen Qualifikation in die Sachverständigenliste der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) aufgenommen wurden und in Sachsen tätig sind. Dazu gehören auch Berater, deren Sitz sich außerhalb Sachsens befindet, die aber im SäGEP-Beraternetzwerk (SäGEP – Sächsischer Gewerbeenergiepass) bei der sächsischen Energieagentur SAENA GmbH gelistet sind.

**Herausgeber:**

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: + 49 351 2612 - 0
Telefax: + 49 351 2612 - 1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.lfulg.sachsen.de

Diese Veröffentlichung wird finanziert mit Steuermitteln auf Grundlage des von den Abgeordneten des Sächsischen Landtags beschlossenen Haushaltes.

Autoren:

Stefan Zorn, Dr. Hagen Hilse
GICON Großmann Ingenieur Consult GmbH, Dresden
René Pommer, LfULG, Köllitsch
Unter Mitwirkung von:
Dr. Claudia Brückner, Dr. Kerstin Jäkel, Dr. Uwe Bergfeld, Anja Schmidt

Redaktion:

LfULG, Referat 75: Tierhaltung, Tierfütterung
Am Park 3, 04886 Köllitsch
Telefon: + 49 34222 46-2210
Telefax: + 49 34222 46-2099
E-Mail: rene.pommer@smul.sachsen.de

Fotos:

Titelbild: LfULG
S. 07 o.: LfULG · S. 09 u.: Mühlhausen, Landpixel · S. 15, Abb. 7: Institut für Energiemanagement an der Hochschule Mittweida · S. 25, Abb. 15 LfULG · S. 25, Abb. 16: Dr. Knopf und Oswald GmbH · S. 33, Abb. 23: Schönhammer Wärmetauscher und Lüftungstechnik GmbH · S. 34, Abb. 24/25: Big Dutchman · S. 39, Abb. 29: PTG Reifendruckregelsysteme GmbH · S. 40, Abb. 30: Prof. Ludwig Volk · S. 43 o.li.: Erzgebirgische Agrargenossenschaft Forchheim e.G. · S. 43 o.re.: REEG Regenerative Energien GmbH · S. 45, Abb. 34: HERMOS-Systems GmbH Dresden · S. 46 m.: LfULG · S. 46 u.: Gebirgsland Agrar GmbH Mildena u · S. 47 o.: Agrargenossenschaft Gnaschwitz e.G. · S. 47 u., S. 48, S. 49, Abb. 35: LfULG · S. 50, S. 51, Abb. 36: Agrargenossenschaft Gnaschwitz e.G. · S. 54: Gebirgsland Agrar GmbH Mildena u · S. 56 o.re.: Schweinezucht Pappendorf GmbH & Co. KG · S. 56 u.re.: LfULG · S. 57, Abb. 39: Schweinezucht Pappendorf GmbH & Co. KG · alle weiteren Fotos: GICON

Gestaltung und Satz:

Sandstein Kommunikation GmbH

Druck:

Lößnitz-Druck GmbH

Redaktionsschluss:

05.01.2018

Auflage:

3.000 Exemplare

Papier:

gedruckt auf 100% Recycling-Papier

Bezug:

Diese Druckschrift kann kostenfrei bezogen werden bei:
Zentraler Broschürenversand
der Sächsischen Staatsregierung
Hammerweg 30, 01127 Dresden
Telefon: + 49 351 2103 - 672
Telefax: + 49 351 2103 - 681
E-Mail: publikationen@sachsen.de
www.publikationen.sachsen.de

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.

*Täglich für
ein gutes Leben.*

www.lfulg.sachsen.de