Energietechnik

Energieeffizienzverbesserung in der Landwirtschaft











Verband der Landwirtschafts-kammern

Herausgeber:

Verband der Landwirtschaftskammern e. V.
Claire-Waldoff-Straße 7
10117 Berlin
Telefon: 030 31904-512
Telefax: 030 31904-520
E-Mail: info@vlk-agrar.de
www.landwirtschaftskammern.de

Landwirtschaftskammer Niedersachsen
Mars-la-Tour-Straße 1-13
26121 Oldenburg
Telefon: 0441 801-0
Telefax: 0441 801-319
E-Mail: info@lwk-niedersachsen.de
www.lwk-niedersachsen.de

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen
Nevinghoff 40
48147 Münster
Telefon: 0251 2376-0
Telefax: 0251 2376-521
E-Mail: info@lwk.nrw.de
www.landwirtschaftskammer.de



Bundesministerium für
Ernährung, Landwirtschaft
und Verbraucherschutz

Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

Diese Broschüre wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit unter Federführung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

© Verband der Landwirtschaftskammern e. V.,
Landwirtschaftskammern Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen, 2009

Alle Rechte vorbehalten.
Nachdruck, auch auszugsweise, verboten.
Kein Teil des Werkes darf ohne Einwilligung der Herausgeber in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), auch nicht zum Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
Einleitung	5
Betriebsübersicht	6
Fragebogen Betriebsübersicht	8
Rindviehstall	10
Fragebogen Rindviehstall	15
Schweinestall	16
Fragebogen Schweinestall	22
Geflügelstall	26
Fragebogen Geflügelstall	31
Außenwirtschaft	34
Fragebogen Außenwirtschaft	44
Körnerkonservierung	48
Fragebogen Körnerkonservierung	52
Kartoffellagerung	54
Fragebogen Kartoffellagerung	58
Biomassefeuerung	62
Biogasanlagen	66
Solarthermie	70
Blockheizkraftwerk	74
Fragebogen Erneuerbare Energien	76
Impressum	78

Vorwort



Arendt Meyer zu Wehdel



Johannes Frizen

Der effiziente und möglichst sparsame Einsatz von Energie ist heute in allen Wirtschaftsbereichen ein ebenso selbstverständliches wie herausragendes Ziel. Die Umsetzung in der landwirtschaftlichen Produktion ist ein wichtiger Beitrag zum Klimaschutz und zur Senkung der Energiekosten angesichts deutlich gestiegener Preise für Diesel, Heizöl, Gas und Strom.

Beide Aspekte führen zur gleichen Konsequenz: Die eingesetzte Energie muss mit möglichst hoher Effizienz genutzt werden. Hierzu gehören auch die Aspekte Energieeinsparung und Substitution fossiler Energieträger durch nachwachsende Rohstoffe. Gerade bei letzterem nimmt die Landwirtschaft mit ihrer Flächenbewirtschaftung eine herausragende Position ein.

Um Energie effizient und sparsam in der Landwirtschaft einzusetzen, aber auch um Alternativen zu prüfen, haben die Landwirtschaftskammern Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen ein neues Angebot für landwirtschaftliche Unternehmen erarbeitet - die Energieeffizienzberatung.
Über die Inhalte des Angebotes und die Möglichkeiten für den Unternehmer möchten wir Sie mit dieser Broschüre informieren. Die wichtigste Aufgabe des Energieeffizienzberaters ist die systematische Analyse des Betriebes hinsichtlich seines Energieverbrauchs und die Erarbeitung von Maßnahmenvorschlägen. Dabei wird natürlich Wert auf ein vernünftiges Verhältnis von Energieeinsparung und Kosten bei der Umsetzung der Sparmaßnahmen gelegt.

Die vorliegende Broschüre wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit unter Federführung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz gefördert. Dafür möchten wir an dieser Stelle herzlich danken.

Unser Dank gilt aber auch den Fachberatern der Landwirtschaftskammern, die als Autoren für diese Broschüre gearbeitet haben. Durch ihr Wissen und den intensiven Kontakt zur praktischen Landwirtschaft ist es ihnen gelungen, ein hochaktuelles, wichtiges Thema praxisnah aufzuarbeiten.

Arendt Meyer zu Wehdel
Präsident der Landwirtschaftskammer
Niedersachsen

Johannes Frizen
Präsident der Landwirtschaftskammer
Nordrhein-Westfalen

Einleitung

So vielfältig wie die landwirtschaftliche Produktion ist, so vielfältig sind auch die Orte des Energiebedarfs. Da ist zum Beispiel der Kraftstoffbedarf für die Maschinen der Außenwirtschaft zu nennen. Weiter geht es mit der Konservierung des geernteten Getreides. Zur Getreidetrocknung wird Warmluft benötigt. Üblicherweise wird die Luft mit Öl- oder Gasöfen erwärmt. Es gibt aber auch alternativen wie Biomasse oder die Abwärme einer Biogasanlage. Zum Fördern des Getreides und zum Antrieb der Trocknungs- bzw. Belüftungsgebläse wird elektrische Energie benötigt.

Ein weiterer Aspekt ist die Innenwirtschaft. Beispielhaft seien hier die Wärmeintensiven Bereiche Geflügel- und Schweineproduktion angesprochen. Neben der Wärme wird Strom zum Füttern, Belüften und Entmisten benötigt.

Ganz gleich welche Beispiele noch angeführt werden, für alle gilt der gleiche Grundsatz:
Das Einsparen von Energie und die Verbesserung der Effizienz der Energienutzung sind die besten Möglichkeiten zur Vermeidung von Klimabelastungen und auch zur Kostensenkung in der landwirtschaftlichen Produktion. Wer sich heute mit der Energieeffizienz seines Betriebes auseinandersetzt, hat sich damit besser auf die Herausforderungen von Morgen vorbereitet. Potenziale finden sich in nahezu jedem Betrieb!

Die Landwirtschaft ist zudem in einer besonderen Position. Denn neben dem Sparen und der Effizienzsteigerung ist auch die Substitution fossiler Energieträger durch Biomasse oder Pflanzenöle ein wichtiger Aspekt. Da die landwirtschaftlichen Betriebe wie kaum ein anderer Bereich über die notwendigen Flächenpotenziale zur Biomasseproduktion verfügen, spielt die Frage nach der Energiesubstitution in der Landwirtschaft eine besondere Rolle.

Um die betriebsspezifischen Möglichkeiten und Chancen zur Energieeinsparung, Effizienzsteigerung und auch der Substitution ermitteln zu können, ist das Instrument der Energieeffizienzberatung erarbeitet worden. Die vorliegende Broschüre zeigt Ihnen für verschiedene Produktionsrichtungen die Vorgehensweise der Effizienzberatung auf. In einem erläuternden Textteil wird auf die wesentlichen Verbrauchsstellen eingegangen und es werden entsprechende Handlungsempfehlungen abgeleitet. Dafür sind Checklisten zur systematischen Durchleuchtung des jeweiligen Produktionszweiges erarbeitet worden.
Mit den so erfassten Daten und Informationen kann der spezifische Energieverbrauch für Wärme und Strom interpretiert werden und mit dem Berater Ihres Vertrauens können Verbesserungsmaßnahmen erarbeitet werden.

Auf das Wohnhaus wird in dieser Broschüre nicht gesondert eingegangen, da es für diesen Bereich bereits vielfältige Beratungsangebote gibt. Hier steht die landwirtschaftliche Produktion im Mittelpunkt.

Bei der praktischen Durchführung einer Effizienzberatung sollte mehrstufig vorgegangen werden. Die **erste Stufe** ist die Erfassung des Gesamtbetriebes hinsichtlich seiner Produktionsstruktur und den vorliegenden Daten zum Energieeinsatz und Verbrauch. Ziel ist dabei eine spezifische Auswertung des Energieverbrauchs des jeweiligen Produktionsverfahrens.

Betriebsübersicht

Damit auch die von Jahr zu Jahr schwankenden Energieverbräuche (Intensität des Winters, in Produktion genommener Stallneubauabschnitt ...) mit berücksichtigt werden, sollten die Verbrauchsdaten für drei Jahre zusammengestellt werden. Beim Eintragen der Verbrauchsdaten z. B. für Strom, ist auch auf die sorgfältige Angabe des jeweiligen Abrechnungszeitraums zu achten, da bei möglicherweise erfolgtem Tarifwechsel die Änderung mit dem richtigen Abrechnungszeitraum berücksichtigt werden kann. Gleiches gilt auch für die Angaben zum Verbrauch von Flüssiggas und Heizöl. Selbstverständlich müssen darüber hinaus auch alle anderen im Betrieb eingesetzten Energieträger mit aufgelistet werden.

Bereits an dieser Stelle wird häufig das Problem der Zuordnung des Stromverbrauches und des Wärmebedarfs zu den verschiedenen Verbrauchsstellen auftreten. Deshalb sei hier schon die generelle Empfehlung gegeben, bei Neuinstallationen oder Veränderungen an den Systemen zur Energieversorgung (Wärme und Strom) für die Teilbereiche einen Wärmemengenzähler oder Stromzähler mit zu installieren. Die etwas aufwändigere Nachrüstung in bestehenden Systemen kann beispielsweise vom Ergebnis der ersten Stufe der Effizienzberatung abhängig gemacht werden (siehe dazu Checkliste „Betriebsübersicht“ am Ende des Kapitels).

Verschiedene Energieträger - einheitliche Basis schaffen

Damit der für Ihren Betrieb ermittelte spezifische Energiebedarf (z. B. je Mastschweineplatz) mit einer großen Grundgesamtheit von gleichartigen Betrieben verglichen werden kann, müssen alle eingesetzten Energiequellen hinsichtlich ihres Energiegehaltes einheitlich dargestellt und ausgewertet werden. Die Vergleichsbasis ist beispielsweise der Wärmeverbrauch in kWh/Mastschweineplatz. Gleiches gilt natürlich auch für Strom. Da vielfältige Energieträger in der Landwirtschaft eingesetzt werden, sind in folgender Tabelle Hinweise zur Umrechnung aufgeführt.

Erst wenn die verschiedenen Angaben zu Flüssiggas in Liter (l) oder Kilogramm (kg) bzw. zum Holzverbrauch in Raummetern (rm) oder bei Holzhackschnitzeln in Schüttraummetern (srm) auf das einheitliche Maß Kilowattstunde (kWh) umgerechnet worden sind, ist eine Vergleichbarkeit gegeben.

Umrechnungen von Energiearten		
Heizöl	1 kg = 11,87 kWh 1 l = 0,85 kg	Heizwert 10 kWh/l
Erdgas	1 m^3 (L- oder H-Gas)	Heizwert 10,4 kWh/m^3
Flüssiggas	1 l = 0,51 kg 1 kg = 1,96 l	Heizwert 6,57 kWh/l Heizwert 12,87 kWh/kg
Scheitholz	1 rm Hartholz = 500 kg, 1 rm Weichholz = 400 kg Heizwert = 3,5 - 4,0 kWh/kg	Hartholz (bei 3,5 kWh/rm) Heizwert 1.750 kWh/rm Weichholz (bei 3,5 kWh/rm) Heizwert 1.400 kWh/rm
Holz-Hackschnitzel	1 srm Hartholz = 270 kg, 1 srm Weichholz = 200 kg Heizwert = 3,5 - 4,0 kWh/kg	Hartholz (bei 3,5 kWh/kg) Heizwert 945 kWh/m^3 Heizwert 3.500 kWh/t (3,7 m^3) Weichholz (bei 3,5 kWh/kg) Heizwert 700 kWh/m^3 Heizwert 3.500 kWh/t (5 m^3)
Holzpellets	1 t = 1.000 kg Heizwert = 4,3 kWh/kg	Heizwert = 4.300 kWh/t

Umrechnungen von Energiearten		
Stroh	Heizwert = 3,5 - 4,0 kWh/kg	Stroh (bei 3,5 kWh/kg) Heizwert 3.500 kWh/t
Strohpellets	Heizwert = 4,9 kWh/kg	Heizwert 4.900 kWh/t
Getreide	Heizwert = 4,7 kWh/kg	Heizwert 4.700 kWh/t
Rapsöl	1 kg = 0,92 l	Heizwert 10,4 kWh/kg Heizwert 9,56 kWh/l
Palmöl	1 kg = 0,92 l	Heizwert 10,2 kWh/kg Heizwert 9,45 kWh/l
Braunkohle-briketts	Heizwert = 6,0 kWh/kg	Heizwert 6.000 kWh/t
Anthrazit-kohle	Heizwert = 9,0 kWh/kg	Heizwert 9.000 kWh/t

Auf Basis dieser nun einheitlichen Energieverbrauchsdaten wird der spezifische Verbrauch für die jeweilige Produktionsrichtung errechnet. Häufig muss an dieser Stelle erst das Wohnhaus mit Hilfe von Durchschnittswerten herausgerechnet werden. Da für das Wohnhaus aber vielfältige Daten zur Verfügung stehen ist dies im ersten Schritt mit hinreichender Genauigkeit gut möglich. Schwieriger wird es bei der Zuordnung weiterer betriebszweigspezifischer zusätzlicher Energieverbraucher, wie z. B. der Werkstatt oder einer betriebseigenen Mahl- und Mischanlage. Das Ergebnis der Auswertung ist der spezifische Energieverbrauch des Produktionszweiges. Dieses Ergebnis wird nun mit den in folgender Tabelle aufgeführten Orientierungswerten verglichen. Wenn sich dabei ein über dem Durchschnitt liegender Energiebedarf ergeben hat, sollte die **zweite Stufe** der Effizienzberatung erfolgen. Darüber hinaus stellt sich an dieser Stelle aber die grundsätzliche Frage, ob wirklich erst bei einem überdurchschnittlichem Energieverbrauch Handlungsbedarf besteht. Eigentlich sollte die Orientierung an den besten Ergebnissen eines Betriebszweigvergleiches erfolgen. Bemerkenswert ist hierbei auch, dass die Durchschnittswerte in der Praxis eine erhebliche Schwankungsbreite von mehr als 50 Prozent aufweisen.

Diese zweite Stufe der Effizienzberatung ist eine detaillierte und systematische Erfassung sämtlicher zu dem jeweiligen Betriebszweig gehörenden Aggregate und Verbraucher. Nur diese Vorgehensweise ermöglicht es die Vielzahl der verschiedenen Verbraucher in einem Betriebszweig auswertbar nebeneinander zu stellen. Das Ergebnis dieser Mühe ist eine differenzierte Aufteilung des ermittelten Gesamtverbrauches auf alle relevanten Verbraucher. Dadurch werden die Schwachstellen identifiziert. Jetzt kann mit entsprechenden Spezialisten die richtige Handlungsempfehlung erarbeitet werden.

∅ Energieverbrauch* in der Innen- und Aussenwirtschaft			
Betriebszweig	∅ Strom-verbrauch pro Jahr	∅ Heizenergie-verbrauch pro Jahr	∅ Diesel-verbrauch pro Jahr
Sauenhaltung (inkl. Ferkel bis 28 kg)	270 kWh/ Sau	950 kWh/ Sau	–
Mastschweine-haltung	35 kWh/ Platz	50 kWh/ Platz	–
Milchvieh-haltung	400 kWh/ Kuh	–	–
Kälbermast	100 kWh/ Platz	400 kWh/ Platz	–
Hähnchenmast	0,3 kWh/ Tier	1,1 kWh/ Tier	–
Acker	–	–	100 l/ha
Grünland	–	–	80 l/ha

*Orientierungswerte aus Praxisbetrieben - keine abgesicherten Meßwerte

Selbstverständlich muss neben den aufgelisteten Verbrauchern auch die bauphysikalische Seite mit berücksichtigt werden. Denn nur in der Kombination von Bedarfsreduzierung (z. B. Dämmung) mit Effizienzsteigerung ist eine dauerhafte Minderung des Energiebedarfs je produzierter Einheit darstellbar. Ebenso sollte auch erst das Ergebnis dieser Bemühungen die Grundlage für die Prüfung der Frage nach den Einsatzmöglichkeiten regenerativer Energiequellen sein.

Zu der in dieser Einleitung vorgestellten Vorgehensweise bei der Energieeffizienzberatung finden Sie auf den folgenden Seiten dieser Broschüre vielfältige Informationen und Handlungsempfehlungen zu fast allen landwirtschaftlichen Produktionsrichtungen. Dennoch sollte die umfassende und ins Detail gehende Beratung in Zusammenarbeit mit einem erfahrenen Energieberater erfolgen.

Anschrift

Name	Vorname
Straße/Haus-Nr.	
PLZ	Ort

EU-Registriernummer	
Telefon	Fax
Mobil-Telefon	E-Mail

Betriebsspiegel

	Beheizte Wohnfläche in m²	Baujahr	Anzahl Personen
Betriebsleiterhaus			
Sonstige Häuser			

Viehhaltung	Milchvieh	Stallplätze	
	Mastkälber	Stallplätze	
	sonstiges Rindvieh	Stallplätze	
	Sauen	Stallplätze	
	Ferkelaufzucht	Stallplätze	
	Mastschweine	Stallplätze	
	Legehennen	Stallplätze	
	Masthähnchen	Stallplätze	
	Mastputen	Stallplätze	

Betriebsfläche	Ackerfläche	ha	
	Grünlandfläche	ha	
	Forstfläche	ha	
	Sonderkulturfläche	ha	
	Sonderkulturart		

Sonstige Produktionszweige	Produktionsart		
	Produktionsfläche	ha	

Fragebogen Betriebsübersicht

Jahresenergieverbrauch gesamt

Angaben möglichst für drei Jahre mit entsprechender Jahresangabe

	Verbrauch				Kosten in €		
Jahr							
Strom (HT)				kWh			
Strom (NT)				kWh			
Diesel				Liter			
Heizöl				Liter			
Erdgas				kWh			
Flüssiggas				l oder kg			
Holz				rm oder t			
Holzart							
Holzhackschnitzel				m^3 oder t			
Sonstiger Verbrauch							



Rindviehstall

Energieeinsatz in der Milchproduktion

Ein Großteil der Energie, insbesondere der Elektroenergie, wird für die Milchgewinnung eingesetzt. Grundlage für einen effizienten Energieeinsatz ist hierbei eine passend dimensionierte Melkanlage. Sie muss zur Herdengröße und zur angestrebten Melkzeit passen.

Überdimensionierung mit zu großen Aggregaten wie Pumpen oder Milchkühltanks, aber auch zu große Leitungsquerschnitte, fressen unnötig Energie. Im Bereich Melken ist eine passend dimensionierte Vakuumpumpe auszuwählen. Überschüssige Luftleistung muss durch das Regelventil „vernichtet“ werden. Seit einiger Zeit werden frequenzgesteuerte Vakuumpumpen angeboten. Ihre Drehzahl kann stufenlos geregelt werden, so dass theoretisch immer die passende Luftmenge zur Verfügung gestellt werden kann.

Praktisch stellt die Abstimmung von Drehzahlregelung und Vakuumventil schon erhöhte Anforderungen an die Installation. Im Mittel kann mit frequenzgesteuerten Vakuumpumpen eine Energieeinsparung von 40 Prozent im Vergleich zu einer konventionellen Vakuumpumpe erreicht werden. Der höhere Anschaffungspreis kann mit langen täglichen Laufzeiten durch die Einsparung von Stromkosten kompensiert werden. Das Rechenbeispiel macht aber deutlich, dass hierfür schon Laufzeiten von 2 x 3 Stunden Melkzeit am Tag notwendig sind.

		Konventionelle Vakuumpumpe 2.000 l/min. 5,5 kW		**Drehzahlgesteuerte Vakuumpumpe** 2.000 l/min. 5,5 kW	
Preis	€	4.000		6.500	
Tägliche Melkdauer	h	3	6	3	6
Feste Kosten*, Wartung, Reparatur	€	640	800	1.040	1.300
Strombedarf/Jahr	kWh	6.000	12.000	3.600	7.200
Stromkosten/Jahr	€	1.200	2.400	720	1.440
Gesamtkosten/Jahr	**€**	**1.840**	**3.200**	**1.760**	**2.740**

*10 % Afa; 4 % Zins; 2 % Wartung und Reparatur



Kühlung

Im Bereich Milchkühlung gibt es ebenfalls einige Ansätze zum effizienten Energieeinsatz. Auch hier gilt der Grundsatz, dass die richtig dimensionierte Anlage der erste Schritt zur Energieeinsparung ist. Bei zu großen Kühlanlagen muss zuviel ungenutztes Volumen vom Tank mitgekühlt werden und erhöht den Energieverbrauch.

Die Aufstellung des Kälteaggregates an einem kühlen Platz senkt den Energieverbrauch ebenfalls. Eine Umgebungstemperatur von 32 °C statt 25 °C erhöht den Energiebedarf um 25 Prozent. Bei winterlichen 5 °C ist der Energieverbrauch um 30 bis 40 Prozent geringer als bei 25 °C. Die Kälteanlage selber sollte regelmäßig gewartet werden. Dazu gehört, dass die Luftwärmetauscher gereinigt werden und das ausreichend Kältemittel in der Anlage vorhanden ist.

Das angewendete Kühlverfahren beeinflusst ebenfalls den Energieverbrauch. Sehr effizient ist die Vorkühlung der Mich mit kaltem Wasser in einem Platten- oder Rohrkühler. Mit 1 bis 2 Litern Kaltwasser je Liter zu kühlender Milch wird die Milchtemperatur um ca. 50 Prozent auf 16 bis 18 °C abgekühlt. Dadurch braucht nur die Hälfte der Abkühlung mit der elektrischen Kältemaschine zu erfolgen.

Ein sehr effizientes Verfahren zur Senkung des Energiebedarfs und zur Reduktion der Stromkosten. Darüber hinaus kann das angewärmte Kühlwasser gut für die Tränke der Tiere genutzt werden.

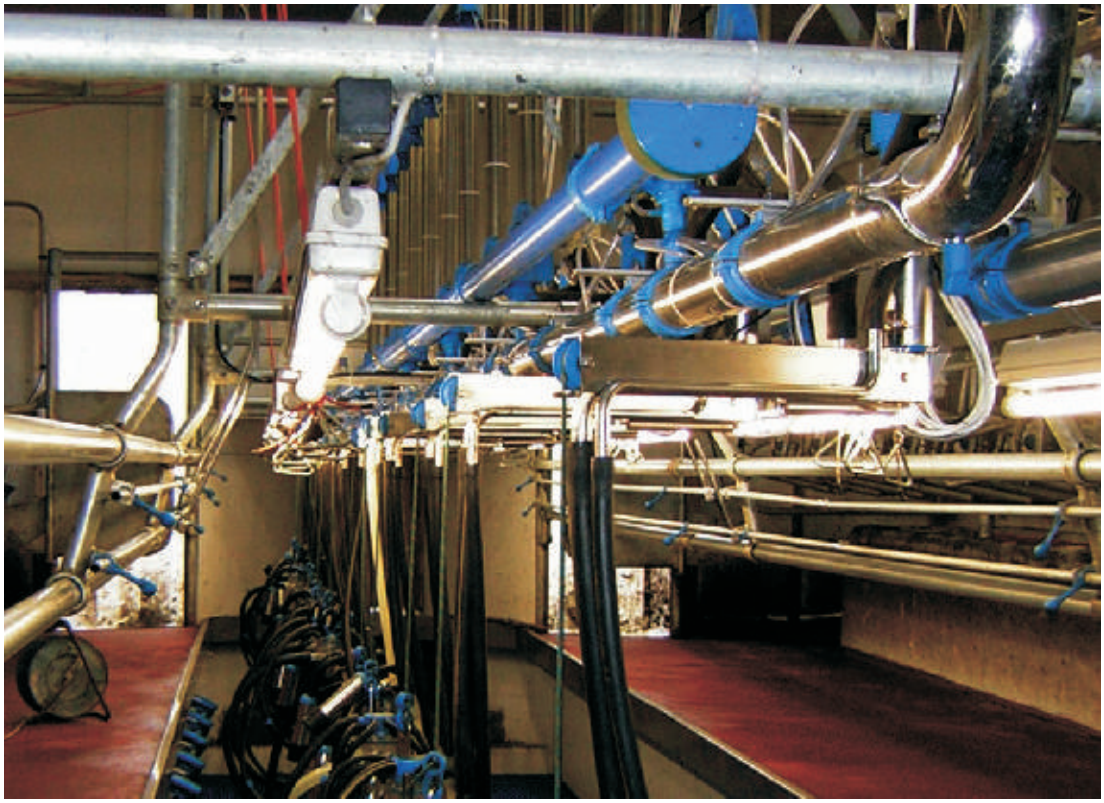
Die elektrisch betriebenen Kühlsysteme werden in Direkt- und Eiswasserkühlung unterschieden. Bei der Eiswasserkühlung wird ein Eiswasservorrat mit der Kältemaschine produziert und dieses Eiswasser wird bei der eigentlichen Milchkühlung an die Innenwand des Milchkühltanks gespritzt.



Bei der Direktkühlung sind die Rohrleitungen des Verdampfers der Kältemaschine für die Wärmeaufnahme direkt an der Innenwand des Milchtanks angebracht. Weil der Wärmeaustausch hier einstufig ist (Milch - Kältemittel), bei der Eiswasserkühlung aber zweistufig (Milch - Eiswasser, Eiswasser - Kältemittel) und die Umwälzpumpe für das Eiswasser auch Strom verbraucht, hat das Verfahren der Eiswasserkühlung einen um ca. 20 Prozent höheren Strombedarf. Dagegen kann man das Eiswasser produzieren, wenn günstige Stromtarife angeboten werden (Nachtstrom). Das folgende Rechenbeispiel verdeutlicht die finanzielle Vorzüglichkeit der Vorkühlung.

Vergleichender Überblick verschiedener Kühlverfahren hinsichtlich Energieverbrauch und Kosten				
Direktkühlung	1.000.000 kg Milch a 20 Wh/kg	20.000 kWh HT*	**4.000 €**	*Strompreise: 20 ct/kWh HT, 13 ct/kWh NT
Eiswasserkühlung	500.000 kg Milch a 24 Wh/kg 500.000 kg Milch a 24 Wh/kg + Vorteile für Betriebe mit Leistungstarif	12.000 kWh HT* 12.000 kWh NT*	2.400 € 1.560 € **3.960 €**	
Vorkühlung mit Direktkühlung	Wasser für Vorkühlung 2.000 m³ Entzug der Restwärme aus der vorgekühlten Milch mit 10 Wh/kg + warmes Tränkwasser	10.000 kWh HT*	100 € 2.000 € **2.100 €**	

Die Nutzung der Abwärme bei der Milchkühlung durch Wärmerückgewinnungsanlagen zur Warmwasserbereitung ist heute Standard. Je nach Kühlverfahren können 0,3 bis 0,6 Liter Wasser je Liter Milch auf etwa 50 °C erwärmt werden. Man benötigt zusätzlich zur Milchkühlung nur einen externen Wärmetauscher und einen Warm-Wasser-Speicher (ca. 3.000 €). Für das so produzierte Warmwasser muss keine Energie mehr im Rahmen der normalen Warmwasserbereitung z. B. über die Heizungsanlage oder Elektrospeichergeräte aufgewendet werden. Diese Energiekostenersparnis amortisiert die Investition in Wärmerückgewinnungsanlagen in wenigen Jahren.



Reinigung

Für die Reinigung von Melkanlagen werden Zirkulations- oder Kochendwasserreinigung eingesetzt. Die weit verbreitete Zirkulationsreinigung arbeitet in 3 Phasen:

- Vorspülen mit kaltem Wasser, um Milchreste zu entfernen
- Hauptspülen bei ca. 55 °C mit alkalischen und sauren Reinigungs- und Desinfektionsmitteln im Wechsel
- Nachspülen mit kaltem Wasser zum Entfernen der Reinigungs- und Desinfektionsmittelreste.

Bei der Kochendwasserreinigung wird ein Heißwasservorrat produziert und zur Reinigung einmalig durch die Melkleitungen gepumpt. Dabei werden die Milchreste ausgespült und die Desinfektionswirkung wird dadurch erzielt, dass das Reinigungswasser für mindestens zwei Minuten eine Temperatur von 77 °C behält. Bei besonders kalkhaltigem Wasser ist es erforderlich, durch zeitweilige Säurezugabe Kalkablagerungen zu vermeiden.

Welche Variante der Melkanlagenreinigung energetisch und finanziell vorteilhaft ist, kann nur beurteilt werden, wenn Größe der Anlage, Leitungslänge und -querschnitte sowie die Stromtarife bekannt sind.

Lüftung

Auch in der Milchviehhaltung wird zunehmend die Unterstützungslüftung bei sommerlichen Temperaturen diskutiert, evtl. sogar zusammen mit dem Versprühen von Wasser. Die erhöhte Luftgeschwindigkeit im Tierbereich führt die Tierwärme ab, vermeidet Hitzestress und führt so zu stabilerer Milchleistung und verbesserter Fruchtbarkeit. Die Planung von Lüftungsanlagen sollte immer mit einem erfahrenen Berater erfolgen, denn die einzelnen Ventilatortypen haben sehr unterschiedliche Luftleistungen und Wurfweiten. Deshalb ist es wichtig die Ventilatoren optimal zu platzieren, um im ganzen Stall eine gleichmäßige Luftgeschwindigkeit zu erzielen. Das in der Praxis häufig Fehler gemacht werden, zeigt die große Spanne des Energiebedarfs zur Belüftung von 50 bis 250 kWh/Kuhplatz und Jahr auf.

Beleuchtung

Lichtprogramme für Milchkühe werden in der Praxis diskutiert, da positive Auswirkungen auf die Milchleistung und die Fruchtbarkeit erwartet werden.

Für die Umsetzung sollte während der Hellphase (16 Stunden/Tag) eine Beleuchtungsstärke von 200 Lux eingehalten werden. Insgesamt erfolgen bei den Lichtprogrammen oft Beleuchtungszeiten von mehr als 2.000 Stunden pro Jahr. Deshalb ist der Einsatz energiesparender Lampen sehr zu empfehlen. Während moderne Leuchtstofflampen mit elektronischem Vorschaltgerät ca. 80 Lux erzeugen, kommen Halogen- oder Natriumdampflampen auf die doppelte Lichtausbeute.

Eine umfassende Beleuchtungsplanung zur Auswahl und Platzierung der Lampen ist daher dringend zu empfehlen.





Fütterung

Für die Grund- und Kraftfuttervorlage können verschiedene Fütterungsverfahren eingesetzt werden. Bei der Kraftfuttervorlage werden in Laufställen überwiegend Abrufstationen eingesetzt. In Anbindeställen können neben der Vorlage von Hand auch schienengeführte Systeme verwendet werden. Die positiven Effekte der mehrmaligen Kraftfuttervorlage auf die Tiergesundheit überwiegen bei weitem die Unterschiede im Energieverbrauch.

Anders verhält es sich bei der Grundfuttervorlage. Im Vergleich zur mechanisierten Grundfuttervorlage, verursachen Mischrationen einen deutlich höheren Dieselverbrauch. Der Unterschied kann bis zu 40 Liter Diesel pro Kuh und Jahr betragen.

Für Betriebe, die einen Futtermischwagen einsetzen wollen, ist insbesondere auf eine gute räumliche Zuordnung der Silolagerfläche zum Stall, befestigten Wegen und Siloplätzen sowie ausreichend Wendeplatz vor den Stallanlagen zu achten, um den Dieselverbrauch zu reduzieren.

Entmistung

Im Bereich der Entmistung gibt es eine Vielzahl von Verfahren zum Abschieben, Pumpen und Rühren. Schleppergetriebene Verfahren sind häufig sehr leistungsstark, binden aber Arbeitskraft. Elektrisch angetriebene Verfahren kommen meistens mit weniger Antriebsleistung aus, haben dafür aber eine längere Einsatzzeit und funktionieren automatisch. Angesichts dieser funktionalen Auswahlkriterien tritt der Energieverbrauch, auch wegen der absoluten Höhe, meistens in den Hintergrund. Allerdings kann bei der konkreten Geräteauswahl der Energieverbrauch als ein Auswahlkriterium berücksichtigt werden.

Fragebogen Rindviehstall

Brauchwasser

Separater Warmwasserbereiter	Standspeicher Erdgas
	Strom Boiler/Standspeicher
	Strom Durchlauferhitzer
	Wärmerückgewinnung
	Gastherme mit Wärmetauscher
	Sonstige

Stallklima

Zwangslüftung	Stall - ganzjährig
	Stall - sommerliche Zusatzlüftung
	Melkstand
Ventilator	Phasenanschnittsteuerung
	Frequenzsteuerung
	Trafosteuerung
	Energiesparventilator
Alter der Ventilatoren	unter 5 Jahre
	5 bis 10 Jahre
	über 10 Jahre

Melken

Melkanlage	Eimermelkanlage
	Absauganlage
	Melkstand
	Melkkarussell
	Melkautomat
Vakuumpumpe	nicht drehzahlgesteuerte Pumpe
	drehzahlgesteuerte Pumpe
Reinigung der Melkanlage	Zirkulationsreinigung
	Kochendwasserreinigung
Milchkühlung	Vorkühler
	Direktkühlung
	Eiswasserkühlung

Beleuchtung

Art der Beleuchtung	Glühlampen
	Leuchtstofflampen
	Energiesparlampen
	Quecksilberdampfleuchten
	Natrium-Hochdruckdampfleuchten

Fütterung

Grundfutter	nicht gemischt
	gemischt
Mischration	eine Ration
	mehrere Rationen
Mischsystem	Vertikal- und Haspelmischer
	liegende Mischschnecke



Schweinestall

Energieeffizienz im Schweinestall verbessern

Bei Betriebszweigauswertungen werden oft beachtliche Einsparpotenziale für den Verbrauch von Wärme und Strom festgestellt. Für den Einzelbetrieb bedeutet dies aber Kenntnis darüber, in welchen Bereichen wie viel Energie gebraucht wird. Erst mit dem Wissen wie viel Wärme oder Strom in kWh je Sau, je Mastschwein oder Ferkel im Laufe des Jahres aufgewendet wird, kann eine Aussage über einen tendenziell zu hohen Energieverbrauch gemacht werden.

Strom und Wärme

Grundsätzlich wird in unseren Schweineställen Energie in Form von Strom und Wärme benötigt. Strom wird normalerweise fern vom Betrieb erzeugt und über die Energieversorgungsunternehmen (EVU) dem Betrieb verkauft. Die Eigenstromerzeugung spielt nur bei wenigen Betrieben mit Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen eine Rolle.



Zum Ausgleich der Wärmeverluste die durch das Stallgebäude selbst, durch die Lüftung oder durch den Wärmebedarf in den Ferkelnestern entstehen, ist eine Heizungsanlage unerlässlich. Charakteristisch für den Wärmebedarf ist ein relativ geringer Bedarf im Sommer und ein hoher Bedarf im Winter. Die notwendige Heizleistung im Winter wird eigentlich bestimmt durch die niedrigste Außentemperatur, die in den Wintermonaten auftreten kann. Die größte Heizleistung wird aber nur wenige Stunden im Laufe des Jahres benötigt. Damit ist schon ein Problem für Heizungsanlagen im Schweinestall beschrieben. Die notwendige Heizleistung schwankt zwischen dem Bedarf im Sommer und dem Bedarf im Winter um mehr als den Faktor 1 : 10. Ein wirtschaftlicher Betrieb von nur einer Heizungsanlage ist damit nur schwierig darzustellen.



Neben den grundsätzlichen Unterschieden des Energieverbrauchs, die sich aus den unterschiedlichen Bauformen und -ausführungen des Stallgebäudes und zum Beispiel der Lüftungsanlage ergeben, sind wesentliche Unterschiede auch im Management, also im Betrieb eines Stalles, gegeben.
Hier spielen subjektive Einschätzungen der Luftqualität bei der Einstellung der Lüftungsanlage und die Pflege und Kontrolle der technischen Einrichtungen eine wesentliche Rolle.

Lüftungsanlage verursacht den höchsten Strombedarf

Der Stromverbrauch der Lüftungsanlage ist mit einem Anteil von fast zwei Dritteln am Gesamtstromverbrauch beteiligt. Falsche Einstellung der Solltemperatur, der notwendigen Mindestluftrate oder eine schlechte Abstimmung zwischen Heizung und Lüftung führen zu erhöhtem Wärme- und Stromverbrauch. Wird zum Beispiel statt der notwendigen Mindestluftrate in einem Ferkelaufzuchtstall mit 8 Abteilen und 200 Ferkeln pro Abteil die Luftrate nur um rund 0,8 m³/h je Tier erhöht (entspricht einer Erhöhung von rund 20 Prozent der Mindestluftrate) und wird diese erhöhte Luftrate nur über einen Zeitraum von rund 10 Prozent der Jahresstunden gefahren, bedeutet dies einen Mehrverbrauch von rund 1.000 Liter Heizöl im Laufe des Jahres. Es kommt also darauf an, nur die Luftrate zu fördern, die notwendig ist, um eine optimale Stallluftqualität zu erreichen. Ein Problem dabei ist, dass die Ventilatoren in ihrem Regelverhalten nur im Verhältnis 1 : 5 angepasst werden können, der Lüftungsbedarf aber in einem Verhältnis von ungefähr 1 : 10 bis 1 : 20 angepasst werden muss. Eine alleinige Einstellung der Regelgeräte nur über den prozentualen Wert ist besonders für Ferkelaufzuchtställe nicht mehr ausreichend. Das Problem besteht darin, dass in kaum einem Stall bekannt ist, wie hoch die aktuelle Luftrate tatsächlich ist. Genau ermitteln kann man die tatsächlich geförderte Luftmenge jedoch nur über einen Messventilator. Bei Zentralabsaugung oder bei großen Abteilen mit mehreren Lüftern je Abteil besteht die Möglichkeit über eine Gruppenschaltung der Ventilatoren den Regelbereich zu vergrößern, in dem einfach einzelne Ventilatoren zu- oder abgeschaltet werden.

Häufig werden dabei besonders energiesparende Ventilatoren im Regelbereich mit Dauerläufern kombiniert. Dies führt aber nicht zwangsläufig zu einem geringeren Energieverbrauch. Denn wenn der Lüfter mit der vollen Leistungsfähigkeit arbeitet, muss der geregelte Lüfter im abgeregelten Bereich arbeiten.

Dabei muss dieser Lüfter aber einen relativ hohen Gegendruck überwinden und seine Stromaufnahme wird im Verhältnis zur geförderten Luftmenge höher sein als erwartet. Besser ist es daher, in einer Gruppenschaltung von Ventilatoren bei Erreichen der Leistungsgrenze des ersten Ventilators den zweiten zuzuschalten, aber beide parallel zu regeln.

Luftstrom mit geringen Widerständen

Weitere Ansatzpunkte sind die Optimierung der Widerstände des Luftstroms in den Zu- und Abluftkanälen, die Sauberkeit der Lüftungsanlage, die Art der Regelung sowie der Einsatz von energiesparenden Ventilatoren.

Jeder Lüftungskanal setzt dem Luftstrom einen gewissen Widerstand entgegen. Dieser Widerstand ist umso größer, je höher die Luftgeschwindigkeit bei gleichem Querschnitt ist. Wichtig ist, dass bei der Planung einer Lüftungsanlage beachtet wird, dass der Gegendruck in einem Zu-/Abluftsystem mit steigender Luftgeschwindigkeit potenziell anwächst. Dies kann zu enormen Widerständen in den Anlagen führen. Die Folge davon sind sehr hohe Stromverbräuche. Zu beachten ist hier aber nicht nur die richtige Planung und Ausführung, sondern auch die Pflege und Wartung der Lüftungsanlagen. Denn durch Verschmutzungen können sich Querschnitte verengen, Stellklappen schwergängig werden oder festsitzen. Besonders auffällig wird dies bei zugestaubten Zuluftlochplatten oder an den Schutzgittern der Abluftventilatoren.

Besondere Beachtung muss man aus diesem Grund auch der Abluftseite einer Lüftungsanlage zuwenden. Denn hier wird mit sehr hohen Geschwindigkeiten von 10 und mehr m/s gearbeitet. Wichtige Ansatzpunkte sind die Abrundung des Lufteintritts durch eine Einströmdüse und das Aufsetzen eines Diffusors auf dem Abluftkamin. Durch diese Erweiterung des Abluftschachtes kann der Widerstand mit dem der Abluftstrom in die Umgebung abgegeben wird deutlich verringert werden. Jede zusätzliche Störung des freien Abluftaustrittes führt zu einer Erhöhung des Strömungswiderstandes und damit zu einer erhöhten Stromaufnahme der Ventilatoren.

Bei Zentralabsaugungen bestimmen die Anzahl der notwendigen Umlenkungen und die vorliegenden Strömungsquerschnitte den Stromverbrauch der Anlage.

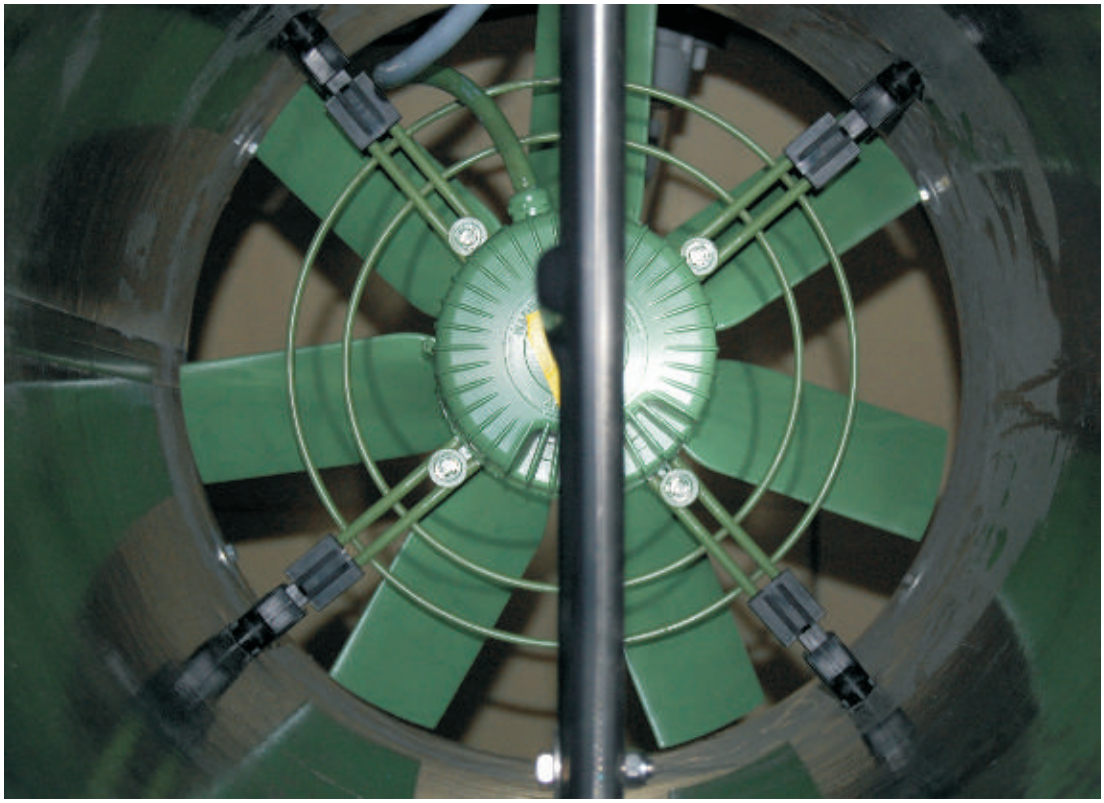


Allgemein wird immer davon ausgegangen, dass eine Zentralabsaugung auch hinsichtlich der Energiekosten günstiger einzustufen ist als ein Stall mit Einzelabsaugung. Dies ist aber nicht grundsätzlich so. Gründe dafür sind die vielfältigen Strömungswiderstände in den Zu- und Abluftkanälen und die Kennlinien der Ventilatoren. Wird ein bestimmter Lüfter für ein Abteil auf Mindestluftrate heruntergeregelt, so sinkt auch seine Leistungsaufnahme.

Regelung und Lüfter müssen zueinander passen

Die Art der Regelung hat einen direkten Einfluß auf den Energiebedarf. So ist bei einer Traforegelung die Stromaufnahme um rund 10 bis 15 Prozent geringer als bei einer Phasenanschnittsteuerung. Eine weitere Einsparung bedeutet der Einbau von Frequenzsteuerungen, oder der Einbau von Ventilatoren mit EC-Technik. Mit dieser Technik kann die Stromaufnahme im Regelbereich der Ventilatoren um mehr als 40 Prozent gesenkt werden. Dies ist deshalb besonders wichtig, weil aus verschiedenen Untersuchungen bekannt ist, dass im Schweinebereich die Lüftungsanlagen zu über 80 Prozent ihrer Jahresstunden nur bis zu 40 Prozent der Gesamtluftrate gefahren werden.





Die maximale Luftrate wird lediglich zu etwa zwei Prozent der Jahresstunden benötigt. Daher ist es wichtig bei dem Neukauf und dem Ersatz von Ventilatoren genau die Kennlinien und den spezifischen Stromverbrauch des Lüfters zu beachten. Für DLG geprüfte Lüfter können die Prüfberichte auf deren Internetseite abgerufen werden (www.dlg.org). Entscheidend für die Auswahl des Ventilators ist nämlich nicht nur die Stromaufnahme im Volllastbereich, sondern auch der Stromverbrauch im Regelbereich.

Viele Betriebe denken bei dem Stichwort Energiekosten vor allem an die Bereitstellung der Wärme. Bei jedem Befüllen der Heizöltanks oder beim Nachfüllen des Flüssiggastanks wird der Betriebsleiter an gestiegene Kosten für Heizenergie erinnert. Unbekannt ist aber oft wie viel Wärme in welchem Produktionsabschnitt gebraucht wird. Es fehlen auch Vergleichszahlen, mit denen einzelne Betriebe sich vergleichen können. Das Problem dabei liegt sicher auch darin begründet, das auf den Betrieben keine exakte Trennung zwischen dem betrieblichen und dem privaten Verbrauch erfolgt.

Die Dämmung des Stalls entscheidet über den Wärmebedarf. Im Allgemeinen wird auf eine gute Dämmung der Außenwände Wert gelegt.

Dabei sollte jedoch berücksichtigt werden, dass die Bedeutung der Wärmeverluste über die Außenwand oft überschätzt werden. Im Verhältnis zum Wandanteil ist der Deckenanteil deutlich höher. Deshalb ist die Ausgestaltung der Decke und deren Dämmung von größerer Bedeutung. Noch Bedeutender sind die Wärmeverluste über die Lüftungsanlage. Immerhin werden 80 Prozent der Gesamtwärmeverluste durch die Lüftungsanlage verursacht.

Vor Beginn der Heizperiode sollten Heizungs- und Lüftungsanlage überprüft werden. Auch der Fühler des Regelgerätes ist von der Staubkruste zu befreien. Ganz wichtig ist der Abgleich des Fühlers mit einem geeichten Thermometer, um sicherzugehen, dass er die tatsächliche Raumtemperatur anzeigt.

Auch die Anordnung des Fühlers im Raum sollte auf den Prüfstand. Hängt er nah unter der Decke, wo die Luft immer wärmer ist als im Tierbereich, wird tendenziell eine zu hohe Temperatur angezeigt. Hängt der Fühler dagegen im Zuluftstrom, wird immer eine zu geringe Temperatur angezeigt. Folge: Die Heizung wird zu oft und zu lange eingeschaltet.





Welche Folgen haben hohe Temperaturen im Zentralgang?

Die Luftanwärmung im Zentralgang auf mehr als 10 °C ist aus folgenden Gründen kritisch zu beurteilen:
Bei den Endmastschweinen wird die Luftrate über die Minimumeinstellung hinaus hochgefahren, da die Eigenwärme der Tiere plus die Wärme aus der Zuluft die eingestellte Solltemperatur überschreiten. Damit wird teuer erwärmte Zuluft sofort wieder aus dem Abteil gefördert.

Genau das Gegenteil passiert im Abteil mit den leichtesten Tieren. Dort kann die Wärme gar nicht wirksam werden, weil die Luftraten zu gering sind. Deshalb ist es immer richtig, die Wärme, die im Abteil benötigt wird, auch im Abteil zu erzeugen. Der Zentralgang ist der falsche Ort dafür.

Trotzdem darf die Lufttemperatur im Zentralgang nicht unter den Gefrierpunkt absinken. An Extremtagen ist eine Temperaturdifferenz von über 15 bis 20 Kelvin zu überwinden, um die Zuluft von -15 °C auf +5 °C anzuheben. Pro 1.000 m³ Zuluft muss dafür eine Wärmemenge von rund 8 kWh bereitgestellt werden.

Gaskanonen zur Erwärmung des Zentralgangs

Zum Anwärmen des Zentralgangs werden häufig Gaskanonen oder Gasstrahler eingesetzt. Dabei besteht die Gefahr, dass der erwärmte Luftstrom durch die Zuluftöffnungen in den Dachraum entweicht. Denn warme Luft hat das Bestreben, nach oben zu strömen. Sind die Zuluftöffnungen deckengleich eingebaut, kann die Warmluft an der Kaltluft vorbei in den Dachraum abfließen. Damit ist sie für die Stallerwärmung verloren. Das Mischen der beiden Luftströmungen ist nicht ganz einfach, da Kaltluft immer nach unten absinkt, Warmluft dagegen aufsteigt. Der Warmluftstrom der Gaskanone soll in gleicher Richtung wie die Zuluftströmung erfolgen. Erfolgt die Zuluft über Rieselkanäle, sollte der Warmluftstrom eine nach unten gerichtete Strömungsrichtung haben. Beim Einsatz von Warmwasserheizungen führt die Anordnung der Heizkörper oder der Heizstränge direkt unter den Zuluftöffnungen ebenfalls zu Wärmeverlusten. Wichtig ist auch eine ausreichende Dämmung der Vor- und Rücklaufleitungen. Besonders bei langen Zentralgängen und bei weiten Wegen von der Heizungsanlage zum Stall können sonst sehr hohe Wärmeverluste auftreten.





Ferkelnestbeheizung

In neuen Ferkelaufzuchtställen setzen sich Zonenheizungen mit Warmwasser durch. Unter Abdeckungen finden die Ferkel warme Liegezonen mit Temperaturen um 30 °C vor. Die Raumtemperatur bleibt kühler. Wichtig ist dabei, das Liegeverhalten der Ferkel sehr genau zu beobachten. Verlassen die Ferkel mit zunehmendem Alter die Liegezone, ist die Temperatur in diesem Bereich abzusenken. Denn sonst heizt die Zonenheizung die Raumluft mitunter so stark auf, dass die Lüftung oberhalb der Mindestluftrate läuft.

Im Abferkelstall tragen elektrische Infrarotstrahler erheblich zu überhöhten Energiekosten bei. Ein 150 Watt Strahler verbraucht am Tag 3,6 kWh Strom. Dies entspricht bei einem Strompreis von 15 Cent/kWh rund 54 Cent pro Tag. Bei 20 Einsatztagen pro Wurf macht das schon mehr als 1 € pro Ferkel aus. Deshalb sollten Elektrostrahler nur dann zum Einsatz kommen, wenn sie unbedingt notwendig sind. Auch der Einspareffekt von Sparschaltern ist nicht so hoch wie häufig vermutet. Zwar verringert sich die Leistungsaufnahme der Lampe, doch setzt die eingebaute Spule viel Strom direkt in Wärme um. Aus diesem Grunde haben sich für die Heizung der Ferkelnester Fußbodenheizungen durchgesetzt.

Doch auch zwischen elektrisch oder mit Warmwasser betriebenen Ferkelnestheizungen bestehen erhebliche Unterschiede bei den anfallenden Energiekosten, da Wärme aus Strom immer kostenintensiver ist als Wärme von einer Warmwasserheizung.

Fazit

Falsche Einstellung von Lüftung und Heizung steigern den Energieverbrauch im Stall erheblich. Zu hohe Temperaturen im Zentralgang, das Verpuffen von Strahlungswärme und der unnötig lange Einsatz von Infrarotlampen gehen ins Geld. Insbesondere die falsche Anordnung von Heizkörpern und Heizelementen kann Warmluft von den Tieren weg in den Dachraum „vernichten“. Bevor bei bestehenden funktionsfähigen Heizungsanlagen in eine neue Technik investiert wird, sollte zunächst die vorhandene Technik auf ihre Schwachstellen untersucht und optimiert werden. Denn alle Energiesparmaßnahmen wirken auch bei günstigerer Bereitstellung von Strom oder Wärme kostensenkend. Bei Neu- und Ersatzinvestitionen sollte der spezifische Energieverbrauch der einzelnen Geräte, aber auch des Gesamtsystems mit betrachtet werden.

Heizungsanlage

Bauart der Heizungsanlage	Anschluss an die Wohnhausheizung	
	Öl-/Gaskanone	
	Gastherme (Konvektor)	
	Dunkelstrahler	
	Öl/Gas-Kessel	
	Öl/Gas-Niedertemperaturkessel	
	Öl/Gas-Brennwertkessel	
	Festbrennstoffkessel	
	BHKW	
	Sonstige	
Pufferspeicher		
Abgasverluste	in % der Abgasmessung	
Vorlauftemperatur	unter 55 °C	
	55 bis 70 °C	
	über 70 °C	

Wärmeverteilung

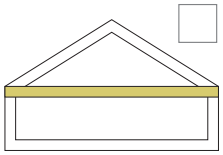
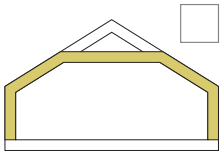
Temperaturbereich	ohne Zonenheizung	
	mit Zonenheizung/Regelung von Hand	
	mit Zonenheizung/Temp. gesteuert	
Wärmeeintrag Sauenbereich	Wickelfalzrohre	
	Glattrohre	
	Delta-Rohre/Twin-Rohre	
	Radiatoren	
	Fußbodenheizung elektrisch	
	Fußbodenheizung mit Warmwasser	
Wärmeeintrag Ferkelnest	Infrarotlampe	
	Gasstrahler	
	Fußbodenheizung elektrisch	
	Fußbodenheizung mit Warmwasser	
Abdeckung des Ferlenestes	Ferkelnest abgedeckt	
	Ferkelnest nicht abgedeckt	
Dämmung der Heizungsrohre	keine	
	nur Vorlaufleitung	
	Vor- und Rücklaufleitung	

Fragebogen Schweinestall

Stallklima

Zuluft	Türganglüftung	
	Strahllüftung	
	Rieseldecke	
	Rieselkanäle	
	Schlitzlüftung	
	Sonstige	
Sauberkeit Zuluftbereich	sauber	
	verschmutzt	
Zuluftkühlung	Verdunstungskühlung	
	Erdwärmetauscher	
Lüftungsregelung	Regelung von Hand	
	Regelung automatisch	
Regelbereich im Winterbetrieb	Regelbereich unter 2,5 K	
	Regelbereich über 2,5 K	
Ventilator	Phasenanschnittsteuerung	
	Frequenzsteuerung	
	Trafosteuerung	
	Energiesparventilator	
	Messventilator	
Alter der Ventilatoren	unter 5 Jahre	
	5 bis 10 Jahre	
	über 10 Jahre	
Verminderung der Luftrate	Drosselklappe	
	Gruppenschaltung	
	Intervallbetrieb	
Abluftanlage	dezentral	
	zentral	
	Überflur	
	Kombination mit Unterflur	
Abluftführung	Einströmbereich abgerundet	
	Abdeckung Abluftschacht	
	Weitwurfdüse	
	Diffusor	
Abluftreinigung	einstufige Anlage	
	zweistufige Anlage	
	dreistufige Anlage	
Sauberkeit Abluftbereich	sauber	
	verschmutzt	
Wärmerückgewinnung	Zumischen von Abluft	
	Plattenwärmetauscher	
	Röhrenwärmetauscher	
	Erdwärmetauscher	
	Sonstige	

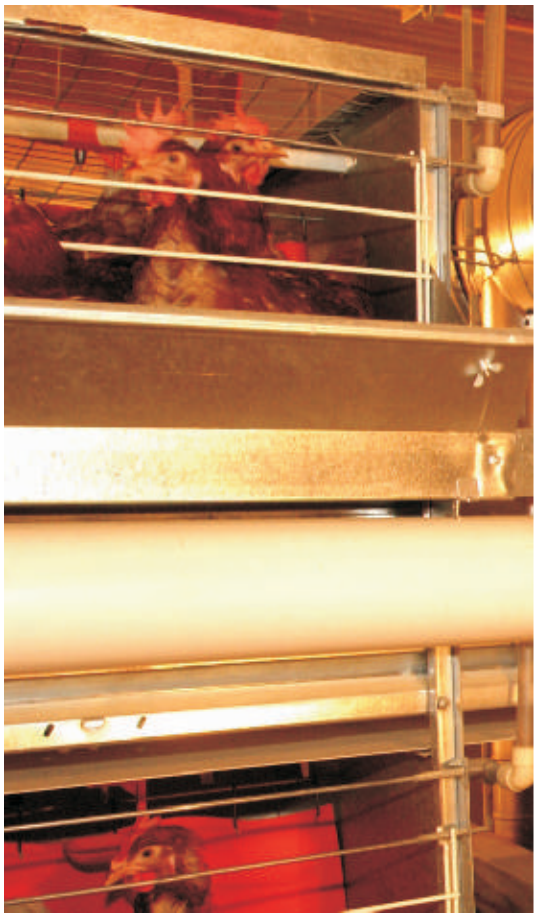
Dämmung

Wandfläche	Angabe in m^2	
Wandmaterial		
Wandaufbau	einschalig ohne Dämmung	
	einschalig mit Dämmung	
	mehrschalig ohne Dämmung	
	mehrschalig mit Dämmung	
	Sonstige	
Wandstärke (gesamt)	unter 25 cm	
	25 - 35 cm	
	35 - 45 cm	
	über 45 cm	
Dämmstoffdicke **Wand**	unter 5 cm	
	5 - 10 cm	
	über 10 cm	
Dach bzw. Decke	ohne Dämmung	
	unter 5 cm	
	5 - 10 cm	
	über 10 cm	
Bereich der Dachdämmung		
		
Fenster	Fensterfläche vorhanden	
	Verglasung einfach	
	Verglasung zweifach	
	Zustand der Fenster = gut	
	Zustand der Fenster = schlecht	
Außentüren	ungedämmt	
	gedämmt	

Futteraufbereitung

Mahlen	Hammermühle (Trockenvermahlung)	
	Hammermühle (Nassvermahlung)	
	Scheibenmühle	
Mischen	Trockenfuttermischer	
	Feuchtgetreidemischer	
	Lohnmischer	
	kein Mischen (Fütterung mit Fertigfutter)	





Geflügelstall

Energieeinsparung in der Geflügelhaltung

Die Situation auf den Energiemärkten macht es unumgänglich in der Geflügelhaltung alle Möglichkeiten zur Energieeinsparung auszunutzen. Hierzu trägt eine geeignete Dämmung der einzelnen Bauteile sowie eine optimierte Lüftungs- und Heizungssteuerung und Beleuchtung bei.

Der Heizenergieverbrauch ergibt sich aus dem Wärmeanspruch der Tiere sowie aus den Wärmeverlusten durch Bauteile und Lüftungsanlage. In der Hähnchenmast beträgt der durchschnittliche Verbrauch etwa 1,1 kWh/Tier. Für einen Stall mit 40.000 Plätzen (7,8 Durchgänge, 1,8 kg LG) ergibt sich ein Energiebedarf von 340.000 kWh pro Jahr. 25 Prozent aller Betriebe verbrauchen jedoch deutlich mehr Energie und deshalb muss hier gehandelt werden. In der Legehennenhaltung wird in der Regel auf eine Zusatzheizung verzichtet, da die Tiere genügend Wärme produzieren, um geeignete Stalltemperaturen zu gewährleisten. In der alternativen Legehennenhaltung ist es hingegen viel wichtiger, geeignete Decken-, Wand- und Bodenaufbauten zu wählen, um eine trockene Einstreu zu erzielen.

Viel Wärme entweicht über Stalldecken

Die Decken müssen in wärmegedämmten Geflügelställen höchste Ansprüche an den Dämmwert erfüllen, da hier aufgrund der Flächengröße besonders hohe Wärmeverluste entstehen.

Eine mangelhafte Deckendämmung hat zudem negative Einwirkung auf das Stallklima während der Sommermonate. Insbesondere bei älteren Stallanlagen sollte daher auf den Zustand der Deckendämmung geachtet werden. Bei mangelhaften Dämmeigenschaften der Decke (etwa durch Beschädigung) entstehen an dieser Stelle bis zu 40 Prozent Wärmeverluste. Vergleicht man den Flächenanteil der Wandkonstruktion mit dem der Decke, so ergibt sich bei den meisten Geflügelställen ein Verhältnis von annähernd 1 : 2. Die Wärmeverluste über die Deckenkonstruktion dürfen daher nicht unterschätzt werden.
Heutzutage sollte ein U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) der Gesamtdeckenkonstruktion von 0,4 W/m²K oder besser angestrebt werden. Dies entspricht einer Dämmstoffdicke von 80 mm der Wärmeleitgruppe WLG 035. Zum Vergleich: Dämmmaterialien mit einer Dicke von 60 mm der gleichen Wärmeleitgruppe WLG 035 haben schon einen U-Wert zwischen 0,52 und 0,55 W/m²K.

Für die gesamte Wandkonstruktion wird ein U-Wert von mindestens 0,5 W/m²K oder besser angestrebt. Wärmedämmmaßnahmen sind, sofern keine homogene Konstruktion verwendet wird, grundsätzlich an der Außenseite anzubringen, um bauphysikalische Schäden durch Frost und Kondensation in der Wand zu vermeiden. Bei nachträglich angebrachten





Innendämmungen ist darauf zu achten, dass eine Dampfsperre das Eindringen von Feuchtigkeit in den Dämmstoff verhindert. Vornehmlich sind es jedoch Aussteifungsstützen, Fenster mit schlechten Dämmeigenschaften sowie die Übergänge Sohle/Wand sowie Wand/Dachkonstruktion, die immer wieder Schwachstellen darstellen.
Wenn der Wandaufbau und die Dämmung stark beschädigt sind, sollte unbedingt geprüft werden, ob eine neue Wandkonstruktion wirtschaftlicher ist. Bei der Neukonstruktion kommen vielfach die Vorteile der besseren Reinigungsmöglichkeit sowie der bessere Schutz vor Schadnagern hinzu.



Der alte Wandaufbau wurde demontiert und gegen Sandwichpanellen ersetzt

Wandbauteile nicht vernachlässigen

Insbesondere bei der Auswahl der Fenster und Türen wird vielfach zu wenig Wert auf einen geringen Wärmedurchgang gelegt. Energieberatungen mit Wärmebildkameras zeigen dies mehr als deutlich. Fenster und Außentüren müssen wärmegedämmt und mit Isolierverglasung ausgeführt sein. Ansonsten bedeuten sie wärmetechnische Schwachpunkte des Gebäudes, da der U-Wert wesentlich größer ist als zum Beispiel bei Wand- oder Deckenbauteilen.

Die üblichen im Stallbau verwendeten Fenster haben einen U-Wert von nur 1,0 bis 1,2 W/m²K, die Türen von 0,8 bis 1,0 W/m²K. Großflächige Stalltüren in den Giebeln sind vielfach noch deutlich schlechter zu beurteilen.

Der „Löwenanteil“ der Wärmeverluste (mehr als 50 %) ergibt sich jedoch durch die Klimasteuerung, die gezwungener Maßen erforderlich ist, um genügend Luftwechsel für die Tiere zu gewährleisten.

Heizungssysteme

Die überwiegende Zahl der Geflügelmastställe wird nach wie vor mit konventionellen Gaskanonen beheizt. In den letzten Jahren gewinnen aber Alternativen wie die indirekte Gaskanone mit Rauchgasabführung oder der Dunkelstrahler zunehmend an Bedeutung.

Konventionelle Gaskanonen saugen die Verbrennungsluft aus dem Stallinnenraum an und geben mit der Abluft die Verbrennungsprodukte wie CO_2 und H_2O wieder in den Stallinnenraum ab. Die Abgabe der Verbrennungsprodukte in den Stall verschlechtert das Stallklima und erfordert deshalb eine erhöhte Luftumwälzung (Lüftungsrate). Insbesondere zu Beginn der Mastperiode, das heißt bei höheren Temperaturen treten dadurch höhere Wärmeverluste auf.

Um diese zusätzlichen Wärmeverluste zu vermeiden, werden in jüngerer Vergangenheit häufiger indirekt wirkende Gaskanonen, also solche mit Rauchgasabführung, eingebaut. Die Installation dieses Systems erfolgt analog der herkömmlichen Gaskanone. Der technische Unterschied besteht in der geschlossenen Brennkammer, die es ermöglicht, die Verbrennungsrückstände über ein Abgasrohr direkt nach außen abzuleiten. Die Stallluft kommt dann nicht mit den Abgasen in Berührung. Die derzeit auf dem Markt angebotenen Gaskanonen mit Rauchgasabführung verfügen über Nennleistungen von 100 kW und sind somit für Stallanlagen mit mehr als 30.000 Tierplätzen geeignet.

Dunkelstrahler

Der Dunkelstrahler stammt aus dem industriellen Bereich und ist dort seit vielen Jahren im Einsatz. Dunkelstrahler bestehen aus einem Strahlungsrohr und einem Reflektor.



Hierdurch wird die Strahlung gebündelt, in den Tierbereich geleitet und erst beim Auftreffen auf einen festen Körper in fühlbare Wärme umgewandelt. Die Umgebungstemperatur bleibt dabei kühler als die vom Tier empfundene Wärme. Das bedeutet, die Raumlufttemperatur kann niedriger gehalten werden. Ebenso wie bei der Gaskanone mit Rauchgasabführung, werden der Stallluft bei diesem System keine Abgase zugeführt. Die Wärmeverteilung erfolgt analog der Fußbodenheizung ohne zusätzliche Luftumwälzung.

Werden die vorgestellten Systeme miteinander verglichen, bleibt zunächst festzuhalten, dass alle Systeme als Heizungssystem für die Masthähnchen eingesetzt werden können. Hinsichtlich der Produktionsergebnisse ergeben sich keine Unterschiede, die allein auf ein Heizungssystem zurückgeführt werden können.

Während mit den genannten gängigen Systemen gleichermaßen das Wärmedefizit ausgeglichen werden kann, unterscheiden sie sich durch die jeweiligen Energieverbräuche. Der Energieverbrauch in sehr gut geführten Stallanlagen mit konventionellen Gaskanonen (direktes Heizsystem) beträgt etwa 0,85 bis 0,95 kWh je Tier.





Indirekte Heizungssysteme, also Gaskanone mit Rauchgasabführung oder Dunkelstrahler führen dagegen nur zu einem Verbrauch von 0,65 bis 0,75 kWh je Tier. In ähnlicher Größenordnung liegt auch der Verbrauch bei warmwassergeführten Systemen.

Kosten wichtiger als Verbrauch

Betrachtet man die gesamten Kosten der einzelnen Verfahren, muss neben dem Energieverbrauch auch der Anschaffungspreis (Anlagekosten) mit berücksichtigt werden. Anhand abgerechneter Stallanlagen wird deutlich, dass die Stallgröße (20.000 bis 40.000 Tiere/Stall) einen erheblichen Einfluss auf die Anschaffungskosten hat und somit auch auf die Verfahrenskosten.

Beim Einsatz von konventionellen Gaskanonen, bei Gaskanonen mit Rauchgasabführung sowie bei Dunkelstrahlern ergeben sich bei einer Stallgröße von 20.000 Tieren Verfahrenskosten in Höhe von 7.500 bis 8.000 € pro Jahr (5 ct/kWh; acht Durchgänge). Die Unterschiede bei den Anschaffungskosten werden hier durch die unterschiedlichen Energieverbräuche wieder ausgeglichen.

Mit steigenden Stallgrößen verändern sich die Verfahrenskosten für die Heizkanonen mit Rauchgasabführung und dem Dunkelstrahler zum Positiven. Bei einer Stallanlage mit 40.000 Tierplätzen ergeben sich bei der konventionellen Gaskanone Kosten von etwa 16.000 € pro Jahr. Beim Einsatz indirekter Systeme können rund 2.000 bis 2.200 € pro Jahr eingespart werden.

Strom ist teuer

Der Elektroenergieverbrauch in der Hähnchenhaltung beträgt durchschnittlich 0,3 kWh/Tier, was etwa 0,005 €/kg Lebendgewicht entspricht. Dies ergibt für einen Stall mit 40.000 Plätzen einen Betrag von ca. 3000,- € pro Jahr. In der Legehennenhaltung ergeben sich Kosten in Höhe von 0,15 bis 0,19 Cent/Ei in der Boden- und Freilandhaltung. Auch hier müssen 25 Prozent der Betriebe mehr bezahlen!

Die Wahl der Beleuchtungsmittel hat erheblichen Einfluss auf die Energiekosten der Stallanlage. So lassen sich beim Einsatz von Energiesparlampen mit 7 bis 9 Watt gegenüber vergleichbaren 40 Watt Glühlampen hohe Einsparpotentiale realisieren.





Diese ergeben sich aus dem geringeren Stromverbrauch von 30 Watt je Lampe und Stunde, was bei einer maximalen Beleuchtungsdauer von 16 Stunden am Tag 0,48 kWh entspricht. Da die Auflösung des Auges beim Geflügel deutlich höher ist als beim menschlichen Auge, ist jedoch bei der Auswahl der Beleuchtungsmittel darauf zu achten, dass diese dimmbar und vor allem „flackerfrei“ sind.

„Löwenanteil“ über Klimasteuerung

Um Elektroenergie zu sparen, ist es gleichermaßen sinnvoll, hohe Strömungswiderstände zu vermeiden und auf die Wirkungsgrade der eingesetzten Steuergeräte und Ventilatoren zu achten. So können durch geeignete Bauformen der Abluftschächte mehrere hundert Euro im Jahr eingespart werden!

Damit die jeweiligen Leistungen der eingesetzten Ventilatoren voll genutzt werden können, ist bei der Montage darauf zu achten, dass die Ventilatoren genau in die dafür vorgesehene Öffnung (Abluftschächte) passen. Werden Ventilatoren mit einem zu kleinen Durchmesser montiert, kommt es zu Luftverwirbelungen, zu einem unnötigen Druckaufbau oder zu Luftkurzschlüssen. Die Folge sind Leistungseinbußen, die sich letztlich auch im Energieverbrauch bemerkbar machen.

In der Geflügelhaltung werden fast ausschließlich Axialventilatoren eingesetzt. Sie haben sich aufgrund der hohen Lebensdauer, der guten Regelbarkeit und des hohen Wirkungsgrades bewährt. Die Entwicklung energiesparender Ventilatoren oder Kombinationen aus Standardventilatoren mit Frequenzumrichtern hat enorme Vorteile beim Verbrauch ergeben. Langzeitmessungen haben gezeigt, dass die Einsparungen an Elektroenergie bei diesen Systemen im Durchschnitt bei über 50 Prozent gegenüber Standardventilatoren mit Phasenanschnittsteuerung liegen.

Gruppenschaltung spart Strom

Da in den Stallanlagen mehrere Ventilatoren eingesetzt werden müssen, ist eine Gruppenschaltung am wirtschaftlichsten. Bei einer optimal aufeinander abgestimmten Steuerung können hiermit bis zu 30 Prozent Stromkosten gespart werden.

In den Wintermonaten bzw. zu Beginn der Haltungsperiode, wenn nur eine geringe Luftrate erforderlich ist, werden dann in der Regel nur die Lüfter zur Abdeckung der Mindestluftrate angesteuert. Damit die Funktionsfähigkeit der übrigen Ventilatoren im Stall sichergestellt ist, sollten diese allerdings mindestens einmal pro Woche kurz anlaufen. Hierfür hat sich der Einbau einfacher, kostengünstiger Zeitschaltuhren bewährt.

Ist ein Stall mit einer Zentralabsaugung ausgestattet, gibt es verschiedene Variationen bei der Zusammenstellung der Ventilatoren. So können beispielsweise mehrere Ventilatoren mit geringerer Leistung miteinander kombiniert werden. Der einzelne Ventilator läuft dann nahezu immer im Leistungsbereich über 70 Prozent und erreicht somit einen hohen Wirkungsgrad.

Bei einer Zentralabsaugung kann aber auch der Einbau von größeren Energiesparventilatoren sinnvoll sein. Dann müssen weniger Ventilatoren installiert werden. Dies wirkt sich positiv bei den Investitionskosten aus, denn Ventilatoren mit stärkerer Leistung sind im Verhältnis günstiger als kleinere Ventilatoren.

Fragebogen Geflügelstall

Heizungsanlage

Bauart der Heizungsanlage	Gaskanone ohne Rauchgasabführung	
	Gaskanone mit Rauchgasabführung	
	Gasstrahler	
	Dunkelstrahler	
	Gastherme (Konvektor)	
	Öl/Gas-Kessel	
	Öl/Gas-Niedertemperaturkessel	
	Öl/Gas-Brennwertkessel	
	Festbrennstoffkessel	
	BHKW	
	Sonstige	
Abgasverluste	in % der Abgasmessung	
Vorlauftemperatur	unter 55 °C	
	55 bis 70 °C	
	über 70 °C	

Wärmeverteilung

Dämmung der Heizungsrohre	keine	
	nur Vorlaufleitung	
	Vor- und Rücklaufleitung	
Wärmeeintrag	Warmwasserkonvektor	
	Strahler	
	Delta-Rohre	
	Fußbodenheizung	

Stallklima

Zuluft	Strahllüftung Unterdruck	
	Strahllüftung Gleichdruck	
Sauberkeit Zuluftbereich	sauber	
	verschmutzt	
Zuluftkühlung	Verdunstungskühlung	
Lüftungsregelung	Regelung von Hand	
	Regelung automatisch	
Ventilator	Phasenanschnittsteuerung	
	Frequenzsteuerung	
	Trafosteuerung	
	Energiesparventilator	
	Messventilator	
Alter der Ventilatoren	unter 5 Jahre	
	5 bis 10 Jahre	
	über 10 Jahre	

Stallklima (Fortsetzung)

Verminderung der Luftrate	Drosselklappe	
	Gruppenschaltung	
	Intervallbetrieb	
Abluftanlage	dezentral	
	zentral	
Abluftführung	Einströmbereich abgerundet	
	Abdeckung Abluftschacht	
	Weitwurfdüse	
	Diffusor	
	Prall- bzw. Leitblech	
Abluftreinigung	einstufige Anlage	
	zweistufige Anlage	
	dreistufige Anlage	
Sauberkeit Abluftbereich	sauber	
	verschmutzt	
Wärmerückgewinnung	keine	
	Umluftventilator	
	Plattenwärmetauscher	
	Röhrenwärmetauscher	
	Sonstige	

Geflügelmast

Bodenplatte	geglättet	
	rau/rissig	
	ungedämmt	
	gedämmt	

Legehennenstall

Art der Beleuchtung	Glühlampen	
	Leuchtstofflampen	
	Energiesparlampen	
	Leuchtdioden	
Entmistung	mit Schlepper/Lader	
	Schubstangen	
	Kot- und Querförderband	
	Sonstiges	
Eiersammlung	von Hand	
	Eierband	
Sortierung/Abpacken	von Hand	
	Sortieranlage im Betrieb	
	zentrale Packstelle	
Lagerung der Eier	Kühlkammer vorhanden	





Außenwirtschaft

Der Dieselverbrauch der landwirtschaftlichen Betriebe liegt im Mittel bei etwa 110 Liter pro Hektar und Jahr. Die Spanne um diesen Mittelwert ist groß und bei der Suche nach den Ursachen geht es um eine Vielzahl von Aspekten rund um den Kauf und den Einsatz von Schleppern, Selbstfahrern und gezogenen Maschinen und Geräten.

Am meisten Diesel wird in der Landwirtschaft von den Schleppern verbraucht. Deshalb werden in der Praxis die Unterschiede im Dieselverbrauch zwischen verschiedenen Schlepperfabrikaten immer wieder heiß diskutiert. Bei den dazu von den Landwirtschaftskammern durchgeführten Schleppertests wurde festgestellt, dass diese Unterschiede meist überschätzt werden. Festgestellt wurde außerdem, dass die Unterschiede zwischen verschiedenen Fabrikaten im Laufe der Zeit immer geringer wurden. Das überrascht nicht, denn die Schleppertechniken gleicht sich immer mehr an.
Während verbrauchssenkende Techniken wie z. B. die Common-Rail-Einspritzung, Turbolader oder die Abgasrückführung früher nur in wenigen Fabrikaten zu finden waren, gehören sie heute zum Standard.

Ein erhöhter Dieselverbrauch bei Schleppern kann entstehen, wenn für leichte Arbeiten leistungsstarke Schlepper zum Einsatz kommen. Wird allerdings bei schwereren Arbeiten eine höhere Schlepperleistung auch in eine höhere Arbeitsleistung umgesetzt, hat die Schleppergröße nur wenig Einfluss auf den spezifischen Dieselverbrauch für die zu verrichtende Arbeit.

Schlepperpflege und -wartung nicht vernachlässigen

Verringern lässt sich der Dieselverbrauch von Schleppern durch regelmäßige Pflege und Wartung. Vernachlässigt werden häufig die älteren Schlepper, die allein schon aufgrund ihres Alters teilweise erhebliche Dieselmengen verbrauchen. Zur Pflege und Wartung gehört nicht nur, den Schlepper regelmäßig von einer Fachwerkstatt inspizieren zu lassen, sondern auch das häufigere, - wenn notwendig sogar mehrmals tägliche - Reinigen von Kühler und Luftfilter.

Von der technischen Ausstattung her gibt es außer dem Motor noch drei besonders wichtige Bereiche, wenn es um Dieseleinsparungen bei Schleppern geht: Das sind die Zapfwelle, das Getriebe und die Bereifung. Bei der Zapfwelle ist die Ausrüstung mit einer so genannten „Sparzapfwelle“, die auch als „750er-Zapfwelle“ bezeichnet wird, sinnvoll. Bei dieser Zapfwelle kann die oftmals geforderte Drehzahl von 540 Umdrehungen pro Minute bereits bei geringerer Motordrehzahl erreicht werden.
Da Schlepper heute bereits bei geringerer Motordrehzahl über eine relativ hohe Leistung verfügen, lässt sich mit der Sparzapfwelle nicht nur bei den leichten Zapfwellenarbeiten etwa 20 Prozent des Dieselverbrauchs einsparen.





Die regelmäßige Durchführung von Pflege- und Wartungsarbeiten ist unerlässlich, um einen unnötig hohen Dieselverbrauch zu vermeiden



Der Dieselverbrauch lässt sich durch gezielte Wahl des Schlepperfabrikates, der Schleppergröße und der Bereifung sowie durch überlegten Schleppereinsatz reduzieren

Mindestens so wichtig wie die Sparzapfwelle ist ein gutes Getriebe, wenn es um die Verringerung des Dieselverbrauchs geht. Theoretisch gilt zwar, dass ein aufwändiges Getriebe mit vielen Gängen zu einem minimal größeren Dieselverbrauch führt, in der Praxis sieht das aber anders aus. Wenn sich ein Getriebe gut schalten lässt und nur geringe Gangsprünge aufweist, passt man sich als Fahrer eher und besser an die aus der Sicht des Dieselverbrauchs optimale Geschwindigkeit an. Getriebe mit Lastschaltstufen und insbesondere stufenlose Getriebe bieten deshalb immer dann Verbrauchsvorteile, wenn nicht nur ein niedriger Verbrauch, sondern auch eine hohe Arbeitsleistung gefragt ist. Bei Transportfahrten ist darüber hinaus zu beachten, dass die Höchstgeschwindigkeit bei reduzierter Motordrehzahl erreicht wird. Auch das trägt zur Verminderung des Dieselverbrauchs bei.

Nicht an der Bereifung sparen

Bei vielen Arbeiten wird die Motorleistung des Schleppers ganz oder teilweise über das Fahrwerk in produktive Arbeit umgesetzt. Nur bei den wenigen Zapfwellenarbeiten im Stand, wie z. B. beim Güllerühren, spielt das Fahrwerk keine Rolle. Nachdem sich der Allradantrieb durchgesetzt hat, sind es in erster Linie die Reifen, die im Fahrwerksbereich den Dieselverbrauch beeinflussen. Auf dem Acker gilt, dass ein Reifen dann zu einem niedrigen Dieselverbrauch führt, wenn er wenig Schlupf verursacht. Ein möglichst hoher und breiter Reifen mit hohen und schmalen Stollen, der außerdem bei niedrigem Luftdruck eine große Aufstandfläche auf dem Boden erreicht und sich gut verzahnt, bietet hier Vorteile. Das bedeutet, dass die Reifen von Schleppern, die in starkem Umfang schwere Zugarbeiten leisten, bereits erneuert werden sollten, wenn das Profil eine Stollenhöhe von weniger als 2 cm aufweist. Der Reifen bringt dann nur noch 80 Prozent seiner maximalen Zugkraft, es tritt mehr Schlupf auf und der Dieselverbrauch steigt.

Das Problem bei Reifen besteht darin, dass vieles von dem, was auf dem Acker zu einer Minderung des Dieselverbrauchs führt, den Verbrauch bei Straßenfahrten erhöht. Auf der Straße ist ein schmalerer Reifen, der breitere und niedrigere Stollen aufweist und mit relativ hohem Luftdruck gefahren wird, verbrauchsgünstiger und verschleißärmer.

Da die Reifeneigenschaften in starkem Maße vom Luftdruck im Reifen bestimmt werden, kann durch Anpassen des Luftdrucks (z. B. 1,0 bar auf dem Acker und 2,0 bar auf der Straße) eine deutliche Minderung des Dieselverbrauchs und des Verschleißes herbeigeführt werden. Diese Anpassung von Hand durchzuführen ist mühsam und unterbleibt meist. Es gibt aber automatische Reifendruckregelanlagen, die auch nachgerüstet werden können. Diese Anlagen lohnen, wenn die Schlepper viele Betriebsstunden pro Jahr leisten und ein häufiger Wechsel zwischen Acker- und Straßeneinsatz stattfindet.



Auf dem Acker sind hohe und breite Reifen vorteilhaft, die mit niedrigem Reifeninnendruck gefahren werden können



Reifendruckregelanlagen ermöglichen es, sowohl auf dem Acker als auch auf der Straße mit optimalem Reifeninnendruck und damit sehr dieselsparend zu fahren

Energieeinsparung bei der Bodenbearbeitung

Im Mittel aller Ackerbaubetriebe in Deutschland wird etwa die Hälfte des Diesels für die Bodenbearbeitung und Aussaat verbraucht. Abhängig ist der Dieselverbrauch bei diesen Arbeiten in erster Linie von der Arbeitstiefe. Als grobe Faustzahl kann hier z. B. für Lößstandorte bei ganzflächiger Bearbeitung ein Verbrauch von ca. 0,8 Liter pro Hektar und pro cm Arbeitstiefe angesehen werden.

Vor dem Hintergrund, dass mit zunehmender Arbeitstiefe der Kraft- und damit auch der Dieselverbrauch deutlich ansteigt, ist zu überlegen, ob z. B. eine Tiefenlockerung sinnvoll ist. Wenn die Frage zu bejahen ist, weil z. B. Bodenschadverdichtungen zu stauender Nässe führen, sollte man nur den Problembereich (z. B. Vorgewende) bearbeiten und nicht die ganze Fläche. Von Seiten der Technik sind zur Tiefenlockerung Geräte mit pflugähnlichen Scharen besser geeignet als Geräte mit grubberartigen Scharen. Sie lockern intensiver und verursachen einen geringeren Dieselverbrauch. Außerdem können sie bei günstigen Bodenbedingungen auch kurz nach der Aussaat von Wintergetreide auf der bestellten Fläche eingesetzt werden. Das hat den Vorteil, dass der gelockerte Boden erst bei der nächstjährigen Ernte außerhalb der Fahrspuren wieder befahren wird.

Im Hinblick auf den Dieselverbrauch bringt es die meisten Vorteile, wenn man auf bestimmte Arbeitsgänge ganz verzichtet. Das gilt nicht nur für die tiefere Lockerung, sondern auch für das nachträgliche Stroh verteilen. Selbst wenn die dazu angebotenen Strohstriegel nur einen Dieselverbrauch von 4 bis 5 Liter pro Hektar verursachen, lohnt der Einsatz meist nicht, weil die Verteilung von ungleich abgelegtem Häckselstroh nachträglich nicht wesentlich verbessert werden kann.

Ein Arbeitsgang, auf den nicht verzichtet werden sollte, stellt die Stoppelbearbeitung dar. Bei der Stoppelbearbeitung gilt es u. a., organisches Material in den Boden einzuarbeiten, Unkräuter zum Keimen zu bringen und den Boden einzuebnen. Techniken wie die Spatenrollegge, die relativ flach arbeiten, führen zu einem relativ geringen Dieselverbrauch. Ihre geringe Arbeitsintensität hat aber oftmals zur Folge, dass die Stoppelbearbeitung noch ein zweites Mal durchgeführt werden muss. Dann ist die Spatenrollegge im Hinblick auf den Dieselverbrauch schlechter zu beurteilen als Grubber oder Scheibenegge, die in einem Arbeitsgang eine befriedigende Arbeitsqualität erzielen.



Auch beim Pflügen kann Diesel eingespart werden.
Pflüge mit integrierten Packern bieten hierzu gute Möglichkeiten

Der Dieselverbrauch ist hier, wie auch bei vielen anderen Arbeiten, in Verbindung mit der Arbeitsqualität zu sehen. Das bedeutet auch, dass bei großen Mengen organischen Materials trotz höherem Dieselverbrauch tiefer gearbeitet werden muss.

Deutliche Einsparungen beim Pflügen möglich

Über die Arbeitstiefe lässt sich auch beim Pflügen der Dieselverbrauch maßgeblich beeinflussen. Wird beispielsweise die Arbeitstiefe von 35 cm auf 25 cm verringert, hat dies eine Einsparung von etwa 8 Liter pro Hektar zur Folge. Eine flachere Pflugfurche ist in der Regel mit keinerlei pflanzenbaulichen Nachteilen verbunden. Das gilt zumindest dann, wenn nicht generell, sondern vielleicht in vier von fünf Jahren flacher gepflügt wird. Vorteilhaft ist dabei außerdem, dass deutlich höhere Flächenleistungen beim Pflügen erzielt werden können. Inzwischen werden sogar spezielle Pflugkörper angeboten, die auch bei Pflugtiefen um 20 cm gute Arbeit leisten.

Erstaunlich große Dieselmengen lassen sich durch eine optimale Pflugeinstellung einsparen. Das haben entsprechende Versuche in Nordrhein-Westfalen gezeigt. Im Vergleich zur praxisüblichen Einstellung sind Einsparungen im Bereich um 20 Prozent realisierbar. Voraussetzung ist allerdings die Ausrüstung des Schleppers mit einer Anzeige des Dieselverbrauchs. Nur so kann man feststellen, wie sich beispielsweise eine Verstellung des Zugpunktes beim Pflug auf den Dieselverbrauch des Schleppers auswirkt. Erleichtert wird die Optimierung der Pflugeinstellung, wenn diese hydraulisch oder elektrisch vom Schlepersitz aus möglich ist.

Wer tief pflügt, muss einen hohen Aufwand betreiben, um den gelockerten Boden wieder ausreichend rückzuverfestigen. Das hat einen zusätzlichen Dieselverbrauch beim Pflügen von etwa 4 bis 5 Liter pro Hektar zur Folge. Wenn flacher gepflügt wird, reicht unter Umständen auch ein hydraulisch belastbarer Frontreifenpacker für eine ausreichende Rückverfestigung aus. Der Einsatz eines Frontreifenpackers führt im Vergleich zum angehängten Packer mit Gussringen zu einer Einsparung von ca. 1,5 Liter pro Hektar. Zu beachten ist allerdings, dass dieser Packer bei tieferem Pflügen nicht ausreicht, weil der untere Bodenbereich zu locker bleibt. Außerdem ist die klutenzerkleinernde Wirkung des Frontreifenpackers gering. Insbesondere für aufgesattelte Pflüge, bei denen zusätzliches Gewicht keine Rolle spielt, bieten an den Pflug angebaute und hydraulisch belastbare Packer eine interessante Alternative. Das gilt sowohl im Hinblick auf den Arbeitseffekt als auch im Hinblick auf den Dieselverbrauch.

Für Betriebsleiter, die bei einer tieferen Grundbodenbearbeitung bleiben wollen, könnte die Spatenmaschine eine interessante Alternative zum Pflug darstellen. Die Spatenmaschine ähnelt in ihrem Aufbau einer Bodenfräse. Sie ist nur stabiler gehalten und die Spaten als eigentliches Arbeitswerkzeug sind größer ausgeführt und drehen langsamer als die Messer einer Fräse. Bei gleicher Arbeitstiefe beträgt die Dieseleinsparung im Vergleich zum Pflug nach ersten Praxisbeobachtungen 10 bis 15 Prozent. In der Regel wird mit der Spatenmaschine aber flacher gearbeitet, weil sie organisches Material besser als der Pflug in den Boden einmischt. Das reduziert den Verbrauch weiter. Und letztlich kann die Spatenmaschine kombiniert mit einer Drillmaschine eingesetzt werden. Durch die Kombination von Grundbodenbearbeitung und Aussaat lassen sich im Vergleich zum Pflugverfahren weiter 2 bis 3 Liter Diesel pro Hektar einsparen. Bei dieser Kombination ist allerdings das hohe Gewicht der Gerätekombination von Nachteil. Dies in Verbindung mit dem für 3 m Arbeitsbreite erheblichen Antriebsbedarf setzt Schlepper mit mehr als 250 PS/184 kW voraus.



Saatbettbereitung und Aussaat

Die Saatbettbereitung erfolgt mit gezogenen (passiven) oder zapfwellenangetriebenen (aktiven) Geräten. Bei den gezogenen Geräten kann zwischen relativ einfachen Kurzgrubber-Walz-Techniken und aufwändigen, oftmals mit gesondertem Fahrwerk ausgestatteten Gerätekombinationen unterschieden werden. Die Kurzkombinationen kommen in erster Linie auf den leichteren Böden zum Einsatz. Dabei werden etwa 6 bis 8 Liter Diesel pro Hektar verbraucht. Das ist deutlich weniger als z. B. bei zapfwellenangetriebenen Kreiseleggen. Wenn allerdings die Arbeitsintensität der Kurzkombination nicht ausreicht, um bei einer Überfahrt ein fertiges Saatbett zu erstellen, dies aber mit der Kreiselegge zu schaffen ist, bietet letztere vom Dieselverbrauch her Vorteile. Günstig sind deshalb immer die Saatbettbereitungsgeräte, die den Boden soviel wie nötig aber so wenig wie möglich bearbeiten. Geräte, deren Arbeitsintensität bei unterschiedlichen Böden den unterschiedlichen Einsatzbedingungen angepasst werden können, bieten deshalb im Hinblick auf den Dieselverbrauch Vorteile.



Bei Mulchsaatverfahren wird nur der obere Bodenbereich bearbeitet. Dadurch lassen sich zwischen 15 und 35 Liter Diesel pro Hektar im Vergleich zu Pflugverfahren einsparen

Noch deutlich größer sind die Einsparungen im Dieselverbrauch, wenn statt der konventionellen Aussaat nach Pflug und Saatbettbereitung die Mulchsaat- oder die Direktsaatverfahren zur Anwendung kommen. Die Nutzung des hier gegebenen Einsparpotentials von etwa 20 bis 30 Liter Diesel pro Hektar ist aber nur dann sinnvoll, wenn bei diesen reduzierten Verfahren gleichhohe Erträge erzielt werden wie bei der konventionellen Bodenbearbeitung. Das ist bei der Mulchsaat häufiger als bei der Direktsaat (ohne jegliche Bodenbearbeitung) der Fall. Zu bedenken ist hier, dass 25 Liter Diesel etwa dem Wert von 3 dt Getreide entsprechen (Stand 2009).

Besonders hoch ist das Energieeinsparpotential durch Mulchsaat, wenn die Böden, wie z. B. in der Marsch, sehr tonhaltig und damit schwer zu bearbeiten sind. Auf diesen Böden zur Mulchsaat überzugehen und dabei das Ertragsniveau beizubehalten, erfordert viel pflanzenbauliches Wissen und ist auch nicht auf allen Standorten und bei allen Fruchtfolgen machbar.

Dieselverbrauch bei Pflege und Düngung

In Bezug auf den Einsatz von Pflanzenschutzmittel ist der direkte Dieselverbrauch bei der Ausbringung nur von geringer Bedeutung. Etwas wichtiger ist da der Diesel- oder besser gesagt der Energieverbrauch zur Herstellung der Pflanzenschutzmittel. Der liegt im Durchschnitt bei umgerechnet etwa 10 Liter Diesel pro Hektar. Diesen indirekten Verbrauch ohne Ertragseinbußen zu reduzieren, ist in der Praxis sicherlich schwer machbar. Auch eine Umstellung vom chemischen auf den mechanischen Pflanzenschutz bringt da wenig, weil das nur bei der Unkrautbekämpfung möglich ist und weil auch jetzt auf vielen Betrieben bereits integrierter Pflanzenschutz mit geringen Aufwandmengen betrieben wird.

Bei Mineraldüngern ist aufgrund des geringen Zugkraftbedarfs und der großen Arbeitsbreite der direkte Dieselverbrauch bei der Ausbringung ebenfalls nur gering.
Er schlägt mit weniger als zwei Liter pro Hektar gedüngter Fläche zu Buche. Sehr viel größer ist dagegen der Energieaufwand bei der Herstellung der mineralischen Dünger. Das gilt zumindest für den Stickstoff. Hier muss mit dem aufwändigen Haber-Bosch-Verfahren der Luftstickstoff in pflanzenverfügbaren Ammonium- oder Nitratstickstoff umgewandelt werden. Bei diesem Verfahren entsteht ein Energieaufwand von umgerechnet etwa 1 Liter Diesel pro kg erzeugtem Stickstoff. Geht man von einer Stickstoffgabe von 170 kg pro Hektar (ausgebracht in zwei Gaben) aus, werden zur Herstellung 170 Liter Diesel und zur Ausbringung 4 Liter Diesel benötigt. Ein wichtiger Ansatz zur Verbesserung der Energieeffizienz im Ackerbau besteht darin, den Einsatz von Mineraldüngerstickstoff zu verringern. Das ist durchaus möglich, wenn die organischen Stickstoffdünger wie Gülle und Festmist besser genutzt werden. Dazu müssen ausreichend Lagerkapazität und emissionsmindernde Verteiltechniken (Schleppschlauch, Schleppkufe, Schleppscheibe oder Injektion) vorhanden sein, um Stickstoffverluste zu vermeiden.

Ernte und Transport

Wie viel Diesel z. B. bei der Getreideernte benötigt wird, hängt nur zu einem geringen Teil von der eingesetzten Technik ab. Zwar kann hier durch Mähdrescher mit Schüttlern ein etwas geringerer Dieselverbrauch erzielt werden als mit Rotordreschern. Erkauft wird dieser Vorteil aber durch eine geringere Leistung.

Welche Technik insgesamt die richtige ist, hängt von der Auslastung des Mähdreschers ab. Gewisse Einsparungen lassen sich bei breiten Schneidwerken durch automatische Spurführungssysteme erzielen. Sie sorgen dafür, dass die Schneidwerksbreite immer vollständig genutzt wird. Mehr Einfluss hat aber der Zustand der Messer bzw. Klingen am Strohhäcksler. Sie rechtzeitig zu tauschen, spart nicht nur Diesel, sondern verbessert auch die Häckselqualität. In Bezug auf Wartung und Pflege gilt für Erntemaschinen das gleiche wie beim Schlepper.

Nur wenig Diesel kann beim Transport der Ernteprodukte eingespart werden. Auch der Einsatz von Überladewagen beim Getreidetransport bietet da nur geringe Möglichkeiten. Bei größeren Transportentfernungen ist es energetisch oft vorteilhaft mit LKWs zu arbeiten. Letztere verbrauchen insbesondere bei Transporten auf gut ausgebauten Straßen deutlich weniger Diesel als Schlepper.



Das Mähen mit Aufbereitern ermöglicht eine deutliche Dieseleinsparung, wenn das Gras breitflächig abgelegt wird

Energieeinsparung in der Grünlandbewirtschaftung

Auch bei der Grünlandbewirtschaftung lassen sich durch die bei den Schleppern aufgezeigten Maßnahmen erhebliche Dieseleinsparungen erreichen. Es geht auch hier darum, die richtigen Geräte, richtig eingestellt und zum richtigen Zeitpunkt einzusetzen. So kann man die Grasnarbe beispielsweise durch regelmäßiges Striegeln in Verbindung mit einer Gras-Übersaat, durch eine Gras-Durchsaat oder durch eine Neuansaat leistungsfähig erhalten. Von Seiten des Dieselverbrauchs bietet die Übersaat Vorteile, weil dabei nur etwa 2 bis 3 Liter Diesel pro Hektar verbraucht werden. Das ist weniger als die Hälfte des Verbrauchs bei einer Durchsaat und nur etwa ein Zehntel des Verbrauchs bei einer Neuansaat.

Wenn allerdings die Narbe bereits stark geschädigt ist, sollte aus Ertrags- und Qualitätsgründen die Durchsaat trotz des höheren Dieseleinsatzes bevorzugt werden.

Die noch wesentlich aufwändigere Neuansaat, das heißt das Umpflügen der alten Narbe und die anschließende Grasaussaat mit einer Bestellsaatkombination ist dagegen nur dann erforderlich, wenn große Bodenunebenheiten eingeebnet werden müssen. Allein das Nivellieren des Bodens kann einen Dieselaufwand von 5 bis 10 Liter pro Hektar verursachen.

Zu den Pflegemaßnahmen im Grünlandbereich zählen das Walzen, das Striegeln, das Abschleppen und das Entfernen von Aufwuchsresten nach Beweidung. Jede dieser Maßnahmen ist für sich allein betrachtet nicht sonderlich energieaufwändig. Da bei den Pflegemaßnahmen die Schlepperleistung meist nur zu einem geringen Teil ausgenutzt wird, lassen sich Dieseleinsparungen hier durch eine größere Arbeitsbreite der eingesetzten Geräte verwirklichen. Eine Verdoppelung der Arbeitsbreite führt nicht selten zu einer Dieselersparnis von 30 bis 40 Prozent.





Allein durch stumpfe Messer im Ladewagen kann der Dieselverbrauch bei der Grasbergung um 15 Prozent erhöht werden

Mähen und Bearbeitung in einem Arbeitsgang

Die heute dominierenden Scheiben- und Trommelmäher haben sich im Hinblick auf den Dieselverbrauch angeglichen. Durch abgenutzte, stumpfe Klingen kann der Antriebsbedarf des Mähwerks um bis zu 15 Prozent höher sein als bei scharfen Klingen. Rechtzeitig die Klingen zu wechseln ist deshalb eine wichtige Maßnahme zum energiesparenden Mähen.

Noch mehr Diesel lässt sich einsparen, wenn das Mähwerk mit einem Aufbereiter ausgestattet ist. Aufbereiter knicken und quetschen das Mähgut, was zunächst einmal einen höheren Dieseleinsatz erfordert. Wenn die Aufbereiter dann aber das Gut nicht im Schwad sondern breitflächig ablegen, wird der Arbeitsgang des Zettens eingespart. Betrachtet man Mähen und Breitverteilen gemeinsam, ist beim ersten Schnitt durch Aufbereiter eine Dieselersparnis von etwa zwei Litern pro Hektar realisierbar. Ähnlich groß dürfte auch die Einsparung beim Einsatz von Schwadablegern an Großmähwerken sein.

Weniger Einsparpotential gibt es dagegen beim Wenden und Schwaden. Nur über größere Arbeitsbreiten lässt sich hier der Dieselverbrauch verringern. Größere Arbeitsbreiten sind aus betriebswirtschaftlicher Sicht aber nur vertretbar, wenn die breiteren und damit auch teureren Geräte entsprechend ausgelastet werden. Von daher ist es besser, gemeinsam größere Geräte zu nutzten als einzeln kleinere.



Bei der Ernte die gesamte Kette vergleichen

Der Einsatz von Ladewagen führt zu einem relativ geringen Dieselverbrauch pro Tonne Erntegut, weil das Gras nicht so kurz geschnitten wird wie beim Häckseln. Außerdem geschieht das Schneiden des Grases und das Befüllen des Wagens in einem Zuge. Für das Aufnehmen und Zerkleinern des Grases auf der Fläche muss beim ersten Schnitt mit einem Verbrauch von etwa 0,60 Liter pro Tonne Erntegut gerechnet werden. Hinzu kommen dann noch 0,10 Liter pro Tonne für jeden Transportkilometer und 0,15 Liter pro Tonne für das Festwalzen. Bis das Gras unter der Plane liegt, summiert sich der Dieselverbrauch bei einem Ertrag von 15 Tonnen pro Hektar und einer Transportentfernung von 3 km auf insgesamt rund 15 Liter pro Hektar.

Höher liegt der Verbrauch, wenn statt eines Ladewagens ein Häcksler zum Einsatz kommt. Das ist auf die kürzere Schnittlänge beim Häckseln zurückzuführen. Hierbei wurde bereits berücksichtigt, dass der Dieselaufwand für das Festwalzen etwas geringer ist, weil sich gehäckseltes Material leichter verdichten lässt. Erst wenn darüber hinaus noch der geringere Aufwand für die Erstellung von Futtermischungen mit gehäckseltem Material einbezogen wird, sind kaum noch Unterschiede zwischen Ladewagen- und Häckslersilage zu finden.

Neben Ladewagen und Feldhäckslern werden auch Rund- und Quaderballenpressen zur Grasbergung eingesetzt. Bei Rundballenpressen werden etwa 0,60 Liter Diesel pro Tonne Anwelkgut für das Pressen benötigt, bei Quaderballenpressen liegt der Verbrauch mit 0,40 Liter pro Tonne doch deutlich niedriger. Der Dieselverbrauch steigt bei beiden Pressenbauarten an, wenn sie mit einer Schneideinrichtung ausgerüstet werden. Die Ballen werden dann aber auch besser verdichtet.

Rund- und Quaderballen müssen mit Folie luftdicht eingewickelt werden, um sie dauerhaft zu konservieren. Geschieht dieses Einwickeln mit einem an den Schlepper angebauten Wickelgerät, führt dieser gesonderte Arbeitsgang zu einem zusätzlichen Dieselverbrauch von 0,25 Liter pro Tonne. Nur etwa halb so hoch ist der Verbrauch für das Einwickeln, wenn mit einem in die Presse integrierten Wickelgerät gearbeitet wird. Die so ausgerüsteten Pressen gewinnen auch aus arbeitswirtschaftlichen Gründen zunehmend an Bedeutung.

Für den Transport der Ballen sind pro Kilometer und Tonne etwa 0,12 Liter bei den Rundballen und etwa 0,10 Liter bei den Quaderballen aufzuwenden. Der geringere Wert bei den Quaderballen hängt mit deren höherer Verdichtung zusammen.

Aus den genannten Einzelpositionen ergibt sich für die Bergung von Grassilage bei einer Transportentfernung von 3 km der höchste Dieselverbrauch beim Einsatz von Feldhäckslern und der niedrigste bei beim Einsatz von Quaderballenpressen. Ladewagen und Rundballenpressen liegen dazwischen.



Rundballenpressen mit integriertem Ballenwickler verringern im Vergleich zum getrennten Pressen und Wickeln sowohl den Dieselverbrauch als auch den Arbeitszeitbedarf

Fazit

Die Möglichkeiten zur Reduktion des Kraftstoffverbrauchs in der Landwirtschaft können in kurz-, mittel- und langfristige Maßnahmen untergliedert werden. Kurzfristige Maßnahmen können ohne Investitionen und ohne großen Aufwand vor oder während der Arbeit umgesetzt werden. Hier bestehen folgende Möglichkeiten:

- Sorgfältige Wartung und Pflege der Schlepper und Geräte
- Anpassung des Schleppers an die Einsatzbedingungen
- Anpassung der Geräte an die Einsatzbedingungen
- Fahren mit reduzierter Motordrehzahl bei Schleppern

Mittelfristig lassen sich folgende Möglichkeiten zur Reduktion des Kraftstoffverbrauchs nutzen:

- Auswahl sparsamer Schlepper
- Ausrüstung der Maschinen mit Techniken zum Kraftstoffsparen
- Auswahl von Geräten mit geringem Leistungsbedarf
- Reduktion der Bearbeitungsintensität

Nur langfristig und in eingeschränktem Umfang können infrastrukturelle Maßnahmen umgesetzt werden, welche die Kraftstoffeffizienz erhöhen. Zu nennen sind:

- Größere Schläge
- Günstige Schlagform
- Günstige innerbetriebliche Verkehrslage

Verbrauch von Kraftstoffen

Verbräuche	Jahr	Jahr	Jahr	
+ Dieselkraftstoff (DK)				l/Jahr
+ Biodiesel				l/Jahr
+ Rapsöl				l/Jahr
+ Verbrauch von anderen im eigenen Betrieb				l/Jahr
– Verbrauch für Arbeiten in anderen Betrieben				l/Jahr
= Verbrauch für Betriebsbewirtschaftung				**l/Jahr**

Eingesetzte betriebseigene Schlepper/Lader/Selbstfahrer

Motoreinstellung	Motoreinstellung (Ventile, Düsen)	☐
	Motoreinstellung selten	☐
	Motoreinstellung nach Herstellerangabe	☐
Kühlerreinigung	Kühlerreinigung von Hand	☐
	Kühlerreinigung selten	☐
	bei Bedarf bis mehrfach täglich	☐
	Kühlerreinigung automatisch	☐
Luftfilterreinigung	Luftfilterreinigung regelmäßig	☐
	Luftfilterreinigung selten	☐
	bei Bedarf bis mehrfach täglich	☐
Leichtlauföl	Leichtlauföl verwendet	☐
Technische Angaben	Dieselverbrauchsanzeige	☐
	Sparzapfwelle (750er)	☐
	Höchstgeschw. bei reduzierter Drehzahl	☐
	Automatisches Lenksystem	☐
	Reifendruckregelanlage	☐

Eingesetzte betriebseigene Maschinen

Tiefenlockerung ja ☐ nein ☐

Stoppelbearbeitung	Bearb. Fläche/ Jahr in ha	Arbeitsbreite in m	Arbeitstiefe in cm	Bemerkungen
Schlegelmulcher				
Spatenrollegge				
Scheibenegge				
Grubber				
Gerätekombination				
zapfw. Gerät				

Fragebogen Außenwirtschaft

Eingesetzte betriebseigene Maschinen (Fortsetzung)

Grundbodenbearbeitung	Bearb. Fläche/ Jahr in ha	Arbeitsbreite in m	Arbeitstiefe in cm	Bemerkungen
Pflug mit Packer				
Pflug ohne Packer				
Grubber				

Saatbettbereitung	Bearb. Fläche/ Jahr in ha	Arbeitsbreite in m	Arbeitstiefe in cm	Bemerkungen
gezogenes Anbaugerät				
gezogenes Anhängegerät				
zapfwellengetriebenes Anbaugerät				
zapfwellengetriebenes Anhängegerät				

Aussaat Ackerland	Bearb. Fläche/ Jahr in ha	Arbeitsbreite in m	Bemerkungen
Solodrillmaschine (Getreide)			
Solosägerät (Mais/Rüben)			
Sololegegerät (Kartoffeln)			
Bestellsaatkombination für gepflügten Acker			
Bestellsaatkombination Mulchsaatgerät			
Direktsaatgerät			

Düngung organisch		ausgebrachte Menge m³/Jahr	Bemerkungen
Organische Düngung mit Güllewagen			
Reifendruckregelanlage	ja / nein		
gesonderter Gülletransport mit LKW			
gesonderter Gülletransport mit angehängtem Wagen			
Organische Düngung mit Miststreuer			
Reifendruckregelanlage	ja / nein		
gesonderter Gülletransport mit LKW			
gesonderter Gülletransport mit angehängtem Wagen			

Eingesetzte betriebseigene Maschinen (Fortsetzung)

Getreideernte	Bearb. Fläche/ Jahr in ha	Bemerkungen
mit Überladewagen		
Stroh gehäckselt		
Stroh geborgen		

Maisernte		Bearb. Fläche/ Jahr in ha	Arbeitsbreite in m	Bemerkungen
Häcksellänge	_____ mm			
CCM-Mühle				
Häckseltransportwagen	Größe _____ m^3			

Kartoffelernte	Bearb. Fläche/ Jahr in ha	Bemerkungen
mechanische Krautzerkleinerung		
einreihiger Roder		
mehrreihiger Roder		
getrenntes Ernteverfahren		

Rübenernte	Bearb. Fläche/ Jahr in ha	Bemerkungen
einreihiger Roder		
mehrreihiger Roder		

Grasernte		Bearb. Fläche/ Jahr in ha	Arbeitsbreite in m	Bemerkungen
Mähwerk mit Aufbereiter				
Mähwerk ohne Aufbereiter				
Ladewagen	Größe _____ m^3			
Presse mit Ballenwickler				
Presse ohne Ballenwickler				
Häckseltransportwagen	Größe _____ m^3			
direktes Umladen auf Transportwagen				
Überladewagen				
Zwischenlagerung Feldrand				

Eingesetzte betriebseigene Maschinen (Fortsetzung)

Transportanhänger	transportierte Menge/Jahr in t	Fahrzeuge Anzahl	Nutzlast in t	Nutzlast in t	Nutzlast in t	Nutzlast in t
Einachser						
Zweiachser						
Dreiachser						
Doppelachsen						
Dreifachachsen						
LKW-Anhänger						



Körnerkonservierung

Bei der Ernte von Getreide, Raps, Körnermais und Leguminosen kann häufig nicht davon ausgegangen werden, das ohne weitere Maßnahmen eine lagerstabile Ware vorliegt. Besonders gilt dies für den Körnermais, der bei unseren Klimaverhältnissen generell getrocknet oder mit einer anderen Methode konserviert werden muss.

Die Konservierungsverfahren

Wenn an Konservierung gedacht wird, steht die Trocknung im Vordergrund. Bei getrockneter Ware gibt es keine Einschränkungen hinsichtlich der Verwertungsmöglichkeiten. Die Ware kann sowohl als Futtermittel als auch als Marktfrucht genutzt werden. Anders ist es bei den Verfahren der Feuchtgetreidekonservierung. Bei diesen Verfahren ist eine Nutzung als Futtermittel vorgegeben.
Aus energetischer Sicht bestehen bei den Verfahren der Feuchtgetreidekonservierung allerdings Einsparpotenziale.



Die Trocknungsverfahren

Bei der Trocknung wird dem Erntegut so lange Wasser entzogen, bis es seine spezifische lagerstabile Feuchte (Getreide 15 %, Raps 8 %) erreicht hat. Die Trocknungsluft wird zur Erhöhung des Sättigungsdefizits - und damit des Wasseraufnahmevermögens - erwärmt. Die maximale Zulufttemperatur wird durch die Verwertung des jeweiligen Getreides begrenzt; Eiweißveränderungen bzw. Schädigungen der Keimfähigkeit (Saatgut) müssen vermieden werden.

Um die Energie möglichst effizient zu nutzen, müssen Heizleistung, Luftmenge und die Bauart des Trockners aufeinander abgestimmt sein. Zu große Luftmengen führen zu einer hohen Luftgeschwindigkeit und damit nur zu einer teilweisen Sättigung der Trocknungsluft mit Wasser. Zu geringe Temperaturen der Trocknungsluft verlängern hingegen den Trocknungsprozess erheblich, was zu qualitativen Einbußen beim Trocknungsgut und unnötig langen Lagerzeiten im Trockner führt. Dies bedeutet, dass zu jedem Trocknungsverfahren spezifische Planungsdaten für einen energieeffizienten Betrieb gehören (siehe Tabelle rechts oben).



Kenndaten der Satz-/Umlauf und Durchlauftrocknung		
Satz- und Umlauftrocknung	Heizleistung zur Getreide- und Rapstrocknung	10 – 12 kW/m³
	Heizleistung zur Körnermaistrocknung	15 – 18 kW/m³
	Luftleistung	1.000 – 1.200 m³ Luft je m³ Getreide u. Stunde
	Spezifischer Heizölbedarf zur Getreidetrocknung von 18 auf 14 %	0,8 – 1,0 l/dt
Durchlauf-trocknung	Luftleistung	3.000 – 5.000 m³ Luft je m³ Getreide u. Stunde
	Spezifischer Heizölbedarf zur Getreidetrocknung von 18 auf 14 %	0,6 – 0,8 l/dt



Hinzu kommen immer bessere Systeme die zugeführte Energie effizient zu nutzen. Das Ziel ist ein möglichst geringer spezifischer Energiebedarf je Liter herausgetrockneten Wassers. Die Unterteilung des Trockners in verschiedene Zonen bei gleichzeitiger Nutzung von Wärmerückgewinnung sind hier beispielsweise zu nennen.

Neben der Technik der Trocknungsanlage müssen auch die physiologischen Eigenschaften des Trocknungsgutes für einen möglichst energiesparenden Wasserentzug berücksichtigt werden. Dies betrifft sowohl die optimale Lagerfeuchte als auch den Ablauf des Trocknungsvorgangs. Bei der Konservierung von Körnermais muss beispielsweise der Trocknungsprozess unterbrochen werden, damit Wasser aus dem Korninneren nachdiffundieren kann. Andernfalls verschlechtert sich die energetische Bilanz des Trocknungsprozesses.

Die Satztrocknung ist ein absetziges Verfahren, bei dem das Trocknungsgut während des gesamten Trocknungsprozesses nicht bewegt wird. Bei Schütthöhen von einem Meter (z. B. Wagentrocknung) ist das Erntegut an der Lufteintrittsseite bereits trocken, an der Luftaustrittsseite aber noch feucht. Um die Trocknung zu optimieren und nur soviel Wasser wie erforderlich zu entziehen, muss der Trocknungsvorgang beendet werden, sobald die Gesamtpartie eine Durchschnittsfeuchte von 15 Prozent aufweist. Um dieser Forderung zu entsprechen und der Unsicherheit bezüglich des Trocknungsendes entgegenzuwirken, weisen moderne Trockner daher eine abnehmende Schütthöhe des Trocknungsgutes zwischen Zu- und Abluft auf.

Dächertrockner sind derzeit der Stand der Technik. Die Getreideschüttung wird von Zu- und Abluftkanälen durchzogen, die durchschnittlich 25 bis 30 cm voneinander entfernt sind. Ein noch gleichmäßigeres Trocknen des Erntegutes wird durch eine Mischung während des Trocknungsvorganges erreicht. Dazu wird beispielsweise der Satztrockner mit einer Austragvorrichtung und einer Fördertechnik zur Wiederbefüllung versehen und so zu einem Umlauftrockner ausgebaut.

Bei größeren Ackerbaubetrieben kommen heute überwiegend Durchlauftrockner zum Einsatz. Bei diesen technisch und finanziell aufwändigen Anlagen kann die Abluft zur Vorwärmung des bereits in der Vorratszone des Trockners befindlichen Getreides genutzt werden. Damit hat dieser Trocknertyp die effizienteste Nutzung der zugeführten Energie.

Die Lagerbelüftungstrocknung ist eine Alternative zu den Verfahren der Schnelltrocknung (Satz-, Umlauf- und Durchlauftrockner). Bei diesem Verfahren wird das Getreide direkt im Endlager konserviert. Einlagerungsfeuchten bis 20 Prozent sind möglich, da durch spezifische Luftraten von 80 bis 100 m³ Luft je m³ Getreide und Stunde die Belüftung intensiv genug zum Kühlen und zum Trocknen des Getreides ist.

Ein weiteres, auch energetisch interessantes Verfahren, ist die Silotrocknung. Bei diesem Verfahren sind Lagerung und Konservierung von mehreren hundert Tonnen Getreide in einem Außensilo kombiniert.

Verfahren der Feuchtgetreidekonservierung

Bei der Getreidekühlung wird je nach Verwendungszweck und Feuchte auf Temperaturen von 6 bis 10 °C abgekühlt. Bei diesen Temperaturen ist Getreide auch mit Erntefeuchten von 18 Prozent lagerstabil. Einmal abgekühlte Ware ist wegen des großen Luftporenvolumens einer Getreideschüttung (Dämmung) über Wochen lagerstabil. Das Kühlaggregat sollte so dimensioniert sein, dass die Tagesdruschleistung in 24 Stunden abgekühlt werden kann. Der spezifische Energiebedarf beträgt durchschnittlich 0,5 kWh pro dt. In der kalten Jahreszeit kann das Getreide mit kalter Umgebungsluft gekühlt und so der spezifische Energiebedarf der Getreidekühlung gesenkt werden.



Weitere Verfahren der Feuchtgetreidekonservierung sind die gasdichte Lagerung im Hochsilo, die Einlagerung von geschrotetem Getreide im Flachsilo sowie die Konservierung mit Säureeinsatz zu nennen. Obgleich sich diese Verfahren hinsichtlich ihres Energiebedarfes kaum unterscheiden, hat dennoch die Säurekonservierung zur betriebseigenen Futtermittelkonservierung eine herausragende Bedeutung erlangt. Ein Grund dafür ist vermutlich der Umstand, das bei diesem Verfahren die Investition für eine leistungsstarke Konservierungstechnik (Mischschnecke und Säuredosiergerät) vergleichsweise gering ist. Die variablen Kosten für Säure fallen nur an, wenn das Mittel benötigt wird. Zudem ist der Säurebedarf je Tonne von der Kornfeuchte abhängig.

Lagerung und Fördertechnik

Ein weiterer grundsätzlicher Aspekt ist die Lagerpflege. Bezogen auf die Trocknung bedeutet dies den Zusammenhang von Kornfeuchte und -temperatur. Obgleich ein mit 15 Prozent Feuchte geerntetes Getreide nicht mehr zwingend getrocknet werden muss, besteht aber die Notwendigkeit des Belüftens und Kühlens. Nur die Kombination von niedriger Feuchte mit mäßiger Temperatur führt zu Lagerstabilität. Übrigens ein Aspekt der auch bei säurekonserviertem Feuchtgetreide beachtet werden sollte.



An die bauliche Ausführung der Lagerstätte werden keine besonderen Anforderungen hinsichtlich der Dämmung gestellt. Voraussetzung für eine optimale Getreidelagerung ist eine trockene Raumluft. Aufsteigende Bodenfeuchtigkeit muss ebenso vermieden werden wie das Tropfen von Kondensat auf das Lagergut. Bei Altbauten ist der nicht vermeidbare Luftdurchsatz von Ziegeldächern im Allgemeinen ausreichend, wo hingegen bei Neubauten bzw. Stahlhallensystemen zusätzliche Öffnungen in die Dachhaut oder in die Wände eingefügt werden müssen.

Konservierungsverfahren müssen daher sowohl einzeln als auch im Zusammenhang mit den Produktionsverfahren und sonstigen elektrischen Verbräuchen analysiert und bewertet werden. So kann es beispielsweise für einen Veredlungsbetrieb der sein Getreide als Futtermittel verwertet trotz höherer variabler Kosten vorteilhaft sein das Erntegut mit organischen Säuren zu konservieren anstatt es zu trocknen.

Zur Förderung von Schüttgütern in der Landwirtschaft stehen pneumatische und mechanische Fördereinrichtungen zur Verfügung. Hinsichtlich des spezifischen Energiebedarfs sind die mechanischen Fördereinrichtungen den pneumatischen deutlich überlegen. Die Auswahl des Förderelementes ist jedoch häufig von den räumlichen Gegebenheiten abhängig.

Dabei zeigt die pneumatische Förderung deutliche Vorteile hinsichtlich Sortenreinheit und Flexibilität. Dennoch sollte aus energetischer Sicht immer nach Möglichkeiten gesucht werden eine mechanische Förderung einsetzen zu können.

Getreideaufbereitung, Mahlen und Mischen

Die Zerkleinerung von Getreide erfolgt durch Schroten, Quetschen oder Mahlen. Aus energetischer Sicht ist der Einsatz von Hammermühlen mit einem spezifischen Energiebedarf von 0,7 bis 1,4 kWh pro dt (bei Kornfeuchte 15 %) eher ungünstig. Aufgrund des mechanischen Aufschlusses sowie der Leerlauf- und Fremdkörperunempfindlichkeit werden sie dennoch nahezu ausschließlich in automatisierten Anlagen eingesetzt. Wie bei der Körnerförderung, so gilt auch für die Mahl- und Mischanlagen, dass mechanischer Transport zur bzw. von der Mühle weniger Energie benötigt als pneumatischer. Deshalb werden zunehmend gebläselose Hammermühlen eingesetzt, die direkt oberhalb des Mischers angeordnet sind und damit das Schrot ohne weitere Förderwege zur Verfügung steht. Auch wird das Korn nach Möglichkeit nicht mehr über einen Luftstrom angesaugt sondern mechanisch zugeführt.

Der Einsatz von energetisch günstigen Getreidequetschen (spezifischer Energiebedarf 0,3 bis 0,4 kWh pro dt) erfolgt wegen ihrer hohen Störanfälligkeit und des für Schweine unzureichenden Getreideaufschlusses nur selten. Das Zerkleinern von Feuchtgetreide durch verbrennungsmotorgetriebene Mühlen ist mit Blick auf den spezifischen Energiebedarf von 0,8 kWh pro dt bei CCM und 1,1 kWh pro dt bei Feuchtgetreide als noch günstig einzustufen. Der energetische Aufwand zum Mischen des Gutes ist dagegen vergleichsweise gering und unterscheidet sich ebenfalls nur unwesentlich zwischen Trockenmischer und Flüssigfütterung. Erhebliche Unterschiede können sich allerdings bei der Verteilung der Futtermischung zu und in den Stallanlagen ergeben.

Lager/Menge/Feuchtigkeitsgehalt

	Lager
Flachlager	m³
Hochsilo innen	m³
Hochsilo außen	m³
Volumen Gesamt	m³
Silozellen Anzahl	Stück

	zu trocknende Menge	mittlerer Feuchtegehalt
Getreide	t/Jahr	%
Raps	t/Jahr	%
Mais	t/Jahr	%
Sonstiges	t/Jahr	%

Fördertechnik

mechanische Fördertechnik	Förderband	☐
	Trogschnecke	☐
	Rohrschnecke	☐
	Trogkettenförderer	☐
	Elevator	☐
	Lader	☐
	Sonstige	☐
pneumatische Fördertechnik	Gebläse ohne Zellenradschleuse	☐
	Gebläse mit Zellenradschleuse	☐
	Gebläse mit Schlepperantrieb	☐

Trocknungstechnik

Bauart der Trocknung	Wagentrocknung	☐
	Satztrockner	☐
	Satzumlauftrockner	☐
	Durchlauftrockner ohne Warmlufthaube	☐
	Durchlauftrockner mit Warmlufthaube	☐
	Lagerbelüftungstrocknung	☐
Warmlufterzeuger	direkt	☐
	indirekt	☐
Alternative Wärmequelle	Holzheizung	☐
	Biogasanlage	☐
	sonstige:	
Luftführung	Sauganlage	☐
	Druckanlage	☐
Trocknergebläse	Elektroantrieb	☐
	Dieselmotorischer Antrieb ohne Wärmerückgewinnung	☐
	Dieselmotorischer Antrieb mit Wärmerückgewinnung	☐

Fragebogen Körnerkonservierung

Kühltechnik

Leistungsaufnahme Kühlaggregat	unter 5 kW	
	5 - 10 kW	
	10 - 20 kW	
	über 20 kW	
Lagerdauer	unter 3 Monate	
	3 - 6 Monate	
	über 6 Monate	

Säurekonservierung

Säurekonservierung	ja		nein	
bisherige Nutzung	bis 20 % der Getreidemenge			
	20 - 50 % der Getreidemenge			
	über 50 % der Getreidemenge			

Futteraufbereitung

Mahlen	Hammermühle (Trockenvermahlung)	
	Hammermühle (Nassvermahlung)	
	Walzenmühle	
	Scheibenmühle	
Mischen	Trockenfuttermischer	
	Feuchtgetreidemischer	
	Lohnmischer	
	kein Mischen (Fertigfutter)	



Kartoffellagerung

Bei der Gebäudelagerung von Kartoffeln wird überwiegend elektrische Energie für die Belüftung und den Einsatz der maschinellen Kühlung benötigt. Dieser Beitrag zeigt verschiedene Maßnahmen zur Energieeinsparung im technischen, baulichen und organisatorischen Bereich der Kartoffellagerung auf.

Belüftungssysteme

Bei der Gebäudelagerung von Kartoffeln stehen unterschiedliche Lagerverfahren sowie verschiedene Belüftungssysteme zur Verfügung, die jeweils mit einem unterschiedlichen Stromverbrauch durch verfahrensbedingte Laufzeiten der Ventilatoren verbunden sind. Dabei stellt die Kistenlagerung mit freier Konvektionslüftung (FKL) ein besonderes Verfahren dar, bei dem die Abtrocknung und Abkühlung der Kartoffeln in offenen Großkisten nur durch die natürliche Luftbewegung über großdimensionierte Klappen in der Außenhaut des Gebäudes, also ohne den Einsatz von Lüftern, erfolgt. Dem geringen Energieverbrauch steht jedoch eine sehr witterungsabhängige Temperaturführung innerhalb des Lagers gegenüber, die zu Qualitätsbeeinträchtigungen der eingelagerten Kartoffeln führen kann. Dagegen können aktive Belüftungssysteme mit Ventilatoren über den kontrollierten Luftaustausch vor allem die Abtrocknung und Abkühlung der eingelagerten Kartoffeln beschleunigen. Dabei weisen die zwangsbelüfteten Verfahren bei der Lose- und Kistenlagerung (Abbildung 1) gegenüber der Raumbelüftung von offenen Kisten (Abbildung 2) energetische Vorteile über geringere Laufzeiten der Ventilatoren auf.



Abbildung 1: Die Kistenzwangsbelüftung, bestehend aus einer Belüftungswand und geschlossenen Großkisten, stellt ein sehr effektives Belüftungssystem dar



Bei der Raumbelüftung, wie auch beim FKL-Lager, erfolgt die Abtrocknung und Abkühlung der Kartoffeln in den Kisten relativ langsam von außen bis ins Kisteninnere, bewirkt durch die notwendige Temperaturdifferenz zwischen der Raumluft und den Kartoffeln. Die Verfahren der Zwangsbelüftung ermöglichen über einen intensiven Luftaustausch auch im Inneren des Kartoffelstapels ein schnelleres Erreichen der Belüftungsziele, welches mit geringeren Lüfterlaufzeiten im Vergleich zur Kistenraumbelüftung verbunden ist (Abbildung 3). Der Umbau eines Kartoffellagers ist vor diesem Hintergrund trotz der Energieeinsparung wenig sinnvoll, bei einem Neubau sollte jedoch neben den belüftungstechnischen Vorteilen der Zwangsbelüftung auch der verfahrensbedingte Energieverbrauch bedacht werden. Bezogen auf ein 1.000-Tonnen-Lager liegt dieser bei der Kistenzwangsbelüftung bei etwa 7.500 kWh/Jahr und bei der Kistenraumbelüftung bei 15.000 kWh/Jahr.



Abbildung 2: Bei der Kistenraumbelüftung umströmt die eingeblasene Luft die offenen Großkisten

Belüftungssteuerung

In einigen alten Kartoffellagern wird die Belüftung noch von Hand betätigt. Mit diesem Vorgehen ist jedoch oftmals eine Überbelüftung der Kartoffeln verbunden, da die Ventilatoren bereits abends bei nicht optimalen Temperaturverhältnissen eingeschaltet werden und die ganze Nacht durchlaufen. Neben den negativen Auswirkungen auf Gewichtsverluste und Lagerdruckstellen führen die vergleichsweise langen Belüftungszeiten zu einem höheren Energieverbrauch. Eine Prozessorsteuerung nach Außentemperatur und -feuchtigkeit gehört zum Standard eines modernen Kartoffellagers, mit deren Hilfe die Belüftung optimiert und auf das notwendige Maß begrenzt werden kann. Dabei ist die separate Steuerung und Belüftung verschiedener Lagerorte sinnvoll, um eine Überbelüftung der unterschiedlichen Partien zu vermeiden. Ein PC-Lagerungsprogramm im Wohnhaus oder Büro mit einer Verbindung zum Lagerprozessor erleichtert insbesondere bei weiter entfernt liegenden Lagern die tägliche Kontrolle der relevanten Belüftungsdaten. So können Belüftungsprobleme schnell erkannt und über die Anpassung verschiedener Parameter behoben werden. Dadurch lassen sich unnötige Lüfterlaufzeiten vermeiden.

Neuerdings gibt es eine Belüftungssteuerung mit integrierter regionaler Wettervorhersage. Dabei wird zum Beispiel bei einer zu erwartenden Abkühlung nach einer Warmphase über den Verzicht des Einsatzes der maschinellen Kühlung eine Energieeinsparung ermöglicht. Darüber hinaus können vorhergesagte wärmere Witterungszeiträume durch ein begrenztes Abkühlen unterhalb der Soll-Lagerungstemperatur über Außenluft überbrückt werden, ohne die maschinelle Kühlung einzusetzen. Ziel dieses Programms ist das Aufrechterhalten einer gleich bleibenden Lagerungstemperatur mit möglichst geringem Energieaufwand.

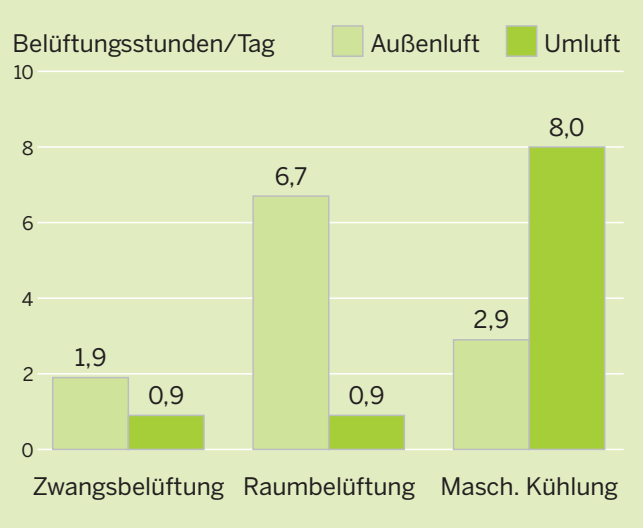


Abbildung 3: Belüftungsstunden mit Außen- und Umluft bei unterschiedlichen Belüftungsverfahren

Ventilatoren

Ventilatoren neuerer Bauart weisen über eine optimierte Form und Anordnung der Lüfterflügel bei vergleichbarer Luftleistung einen geringeren Energieverbrauch auf. Von den Belüftungsfirmen werden vermehrt auch Frequenzregelungen für Ventilatoren angeboten, mit denen über die Veränderung der Drehzahl ein Energieeinsparpotenzial in Abhängigkeit von den Belüftungsbedingungen gesehen wird. Der Stromverbrauch nimmt in der dritten Potenz zur Reduzierung der Drehzahl ab, so dass der Energieverbrauch deutlich sinkt. Jedoch ist bei einer geringeren Drehzahl des Ventilators mit der Reduzierung der Luftmenge auch eine Verringerung des statischen Luftdrucks verbunden, die zu einer veränderten Luftverteilung im Belüftungssystem führt und somit eine effektive und gleichmäßige Belüftung beeinträchtigt. Beim Einsatz einer maschinellen Kühlung in Kombination mit einer Außenbelüftung werden vergleichsweise viele Umluftstunden zur Verteilung der Kälte im Kartoffelstapel benötigt (Abbildung 3). Für diesen Einsatzbereich reichen reduzierte Luftmengen aus, so dass hier frequenzgeregelte Ventilatoren zu einer Energieeinsparung beitragen können.

Maschinelle Kühlung

Der Einsatz der maschinellen Kühlung bei der Kartoffellagerung erfordert einen hohen Einsatz an elektrischer Energie. Bei einer unterstützenden Kühlung in Kombination mit einer Außenbelüftung wird eine Kälteleistung von etwa 60 bis 70 W/t benötigt, so dass sich für ein 1.000-Tonnen-Lager eine Gesamtkälteleistung von etwa 70 kW ergibt.

Der thermische Wirkungsgrad (COP) beschreibt das Verhältnis zwischen Kälteleistung und aufgenommener elektrischer Energie, wobei ein sehr weites Verhältnis von mindestens 3 : 1 einen vergleichsweise geringeren Energieverbrauch zur Erzeugung der benötigten Kälteleistung beschreibt. Für den Betrieb einer mechanischen Kühlung in einem 1.000-Tonnen-Lager ist bei einer sechsmonatigen Lagerungsdauer und einer Laufzeit der Kälteanlage von etwa 1.000 Stunden ein Verbrauch an elektrischem Strom von etwa 23.000 kWh zu veranschlagen. Aufgrund dieses sehr hohen Energiebedarfs beim Betrieb einer maschinellen Kühlung fallen energiesparende Maßnahmen sehr wirtschaftlich aus.

Von der kältetechnischen Industrie und den Belüftungsfirmen werden verschiedene technische Lösungen zur Energieeinsparung bei bestehenden oder neuen Kälteanlagen angeboten. Sauggaswärmetauscher reduzieren die Temperaturunterschiede zwischen der Saug- und Druckleitung. Dieses führt zu einer besseren Ausnutzung der Verdampferoberfläche. Neben dem Abkühlen des flüssigen Kältemittels auf der Druckseite wird der Saugdampf überhitzt, welches zu einer Erhöhung der volumetrischen Kälteleistung des Kompressors von etwa 3 Prozent führt. Durch die höhere Kälteleistung bei gleich bleibender Stromaufnahme wird eine Energieeinsparung durch kürzere Laufzeiten der Kälteanlage erreicht.

In modernen Kälteanlagen werden schrittgesteuerte elektronische Expansionsventile verwendet. Ältere thermostatische Expansionsventile benötigen aufgrund ihrer Funktionsweise einen festgelegten Differenzdruck zwischen Verdampfereintritt und -austritt, der auch bei nicht benötigter Kälteleistung eine hohe Verdichterleistung mit entsprechendem Stromverbrauch nach sich zieht. Sie arbeiten mit einer statischen Überhitzung von bis zu 10 K. Dagegen können elektronische Expansionsventile über die laufende Erfassung der Druck- und Temperaturverhältnisse die Überhitzung des Saugdampfes bedarfsabhängig bis auf 4 K reduzieren, so dass die Verdampferoberfläche besser ausnutzbar ist. Zum anderen läßt sich die Verflüssigungstemperatur in Abhängigkeit von den Außentemperaturen reduzieren. Die damit verbundene Erhöhung der Kälteleistung kann über die Verringerung der Laufzeit der Kälteanlage zu einer Energieeinsparung von bis zu 15 Prozent beitragen.



Abbildung 4: Größere Kälteanlagen werden mit mehreren Verdichtern ausgerüstet

Größere Kartoffellager werden mit Kälteanlagen ausgestattet, die oftmals über mehrere Verdichter einen gleichzeitigen Kühlbetrieb der verschiedenen Kühlräume ermöglichen (Abbildung 4). In diesen Anlagen kann ein internes Lastmanagement bei Teillastbetrieb, zum Beispiel nach Erreichen der Dauerlagerungstemperatur, die Abschaltung einzelner Verdichter übernehmen sowie die zeitversetzte Kühlung einzelner Lagerorte regeln. Beim Betrieb nur eines Verdichters ist eine bedarfsabhängige Kälteproduktion durch die Abschaltung einzelner Zylinder oder eine Frequenzregelung des Kompressors möglich.

Ein externes Energiemanagement wird zur Vermeidung von den Stromtarif beeinflussenden Leistungsspitzen eingesetzt. Dazu muss die Leistungsaufnahme an elektrischer Energie auf dem gesamten Hof erfasst werden, um den parallelen Betrieb verschiedener Verbraucher zu vermeiden. Dabei können Prioritäten, wie zum Beispiel bei der Kühlung von einzelnen Lagerorten, eingerichtet werden.

Wärmeeinträge in das Lager

Im baulichen Bereich sind Energieeinsparungen vor allem durch eine angepasste Dämmung des Lagers zu erreichen. Durch die Verringerung des Wärmeeintrages können zusätzliche Laufzeiten der Belüftung mit Außenluft sowie die Betriebsstunden der maschinellen Kühlung zur Wärmeabfuhr verringert werden.

Beim Einsatz einer Kühlanlage sollte der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert, früher k-Wert) im Decken- und Wandbereich 0,20 bzw. 0,35 W/(m^2K) betragen, dem eine Dämmstärke zum Beispiel mit PU-Hartschaumplatten von 100 bis 120 mm bzw. 80 mm entspricht.

Zur weiteren Verminderung der Wärmeeinträge in das Lager ist ein möglichst schnelles Befüllen des Lagers bzw. einzelner Lagersektionen anzustreben. Dadurch wird die Einhaltung einer einheitlichen Kartoffeltemperatur im Stapel erleichtert und eine Überbelüftung von Teilmengen verhindert. Ein häufiges Befahren des Lagers sollte ebenfalls unterbleiben, um Wärmeeinträge in das Lager über das Öffnen der Tore zu vermeiden. Auch die fehlende Trennung von Lager- und Aufbereitungsraum führt zu einem erhöhten Wärmeeintrag bzw. zu einer vergleichsweise hohen Wärmeproduktion innerhalb des Lagers.

Fazit

Bei der Kartoffellagerung stehen eine Vielzahl von technischen Möglichkeiten zur Energieeinsparung überwiegend bei der Belüftung und maschinellen Kühlung zur Verfügung. Insbesondere bei der Umrüstung bestehender Belüftungs- und Kälteanlagen sollte die Beratung autorisierter Fachbetriebe eingeholt werden, um das Kosten-Nutzen-Verhältnis der einzelnen Maßnahmen einzelbetrieblich zu ermitteln. Zum Erreichen möglichst umfangreicher Energieeinsparungen müssen die verschiedenen Maßnahmen aufgrund möglicher Wechselwirkungen aufeinander abgestimmt werden.

Gebäude

Maße

Länge in m	Breite in m	Grundfläche in m²

Traufhöhe in m	Firsthöhe in m	Lagerhöhe in m

Dämmung

Wandfläche — Angabe in m² ☐

Wandmaterial

Wandaufbau
- ☐ einschalig ohne Dämmung
- ☐ einschalig mit Dämmung
- ☐ mehrschalig ohne Dämmung
- ☐ mehrschalig mit Dämmung
- ☐ Sonstige

Wandstärke (gesamt)
- ☐ unter 25 cm
- ☐ 25 - 35 cm
- ☐ 35 - 45 cm
- ☐ über 45 cm

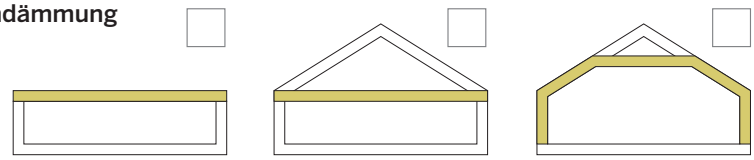
Dämmstoffdicke

Wand
- ☐ unter 5 cm
- ☐ 5 - 10 cm
- ☐ über 10 cm

Dach bzw. Decke
- ☐ ohne Dämmung
- ☐ unter 5 cm
- ☐ 5 - 10 cm
- ☐ über 10 cm

Dämmmaterial

Bereich der Dachdämmung



Zu- und Abluftklappen
- ☐ ungedämmt — ☐ Anzahl
- ☐ gedämmt — ☐ Anzahl

Außentüren/-tore
- ☐ ungedämmt — ☐ m²
- ☐ gedämmt — ☐ m²

Fragebogen Kartoffellagerung

Gebäudenutzung

Nutzung

Lagerkapazität in t	Boxen Anzahl

- [ ] nur Lagerung
- [ ] nur Aufbereitung
- [ ] Lagerung und Aufbereitung

- [ ] Flachlager
- [ ] Boxenlager
- [ ] Kistenlager

Lagergut

- [ ] Kartoffeln
- [ ] Sonstiges

Lagerdauer

< 3 Monate in t	3 - 6 Monate in t	> 6 Monate in t

Einlagerung

- [ ] Heckannahme
- [ ] Seitenannahme
- [ ] Kistenfeldbefüllung

Kistenhofbefüllung

- [ ] mit Befüllgerät
- [ ] mit Förderband

- [ ] Enterdung
- [ ] Vorsortierung

Kühlaggregat

Bauart

- [ ] Kompressionsanlage
- [ ] Kompressionsanlage + Kaltwassersatz

Technik

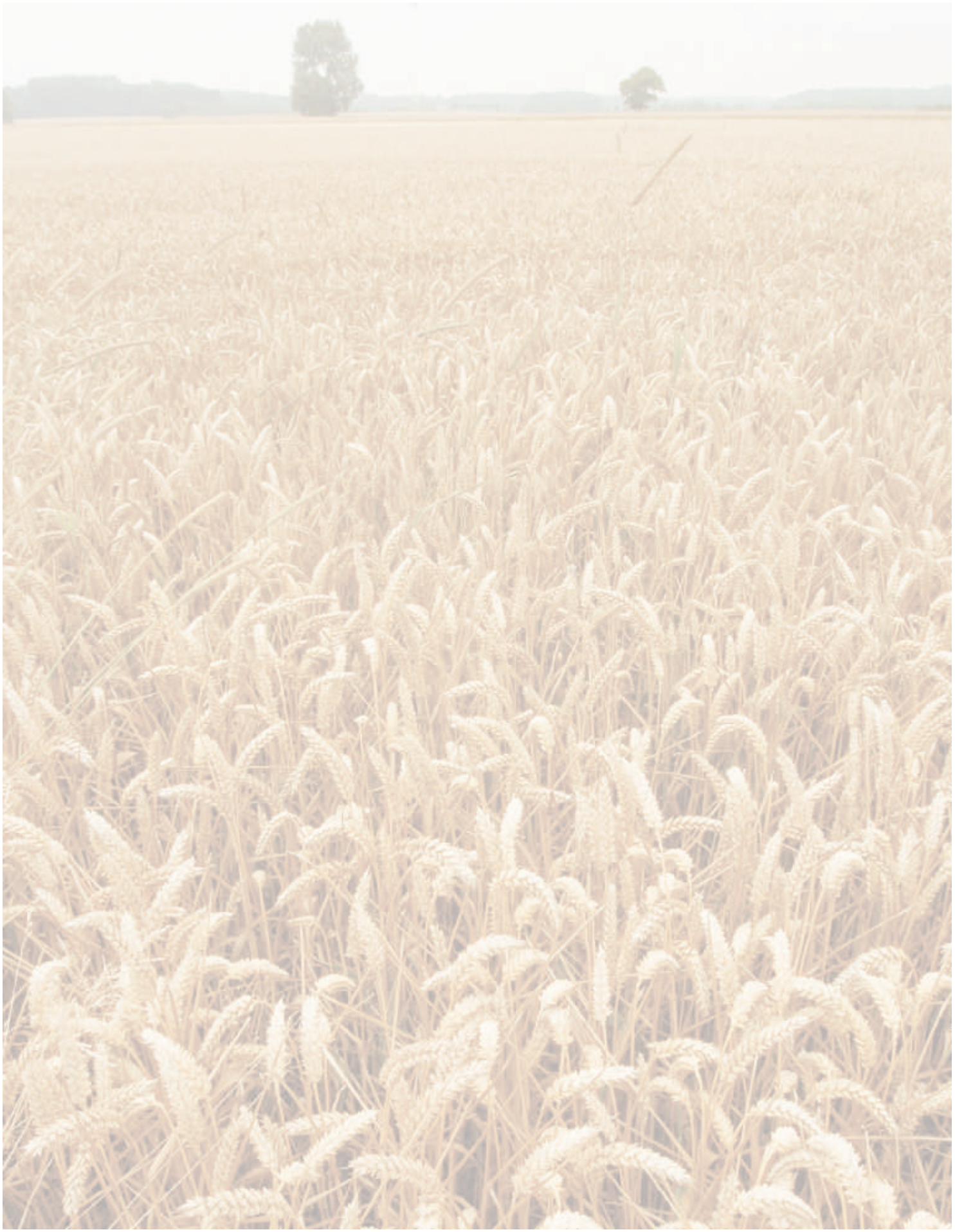
- [ ] elektronische Expansionsventile
- [ ] frequenzgeregelter Kompressor
- [ ] Sauggaswärmetauscher

Belüftung

Bauart	Zwangsbelüftung (mit Gebläse)	
	Raumbelüftung (mit Gebläse)	
	Raumbelüftung (ohne Gebläse)	
Regelung	Steuerung von Hand	
	Außentemperatur gesteuert	
	Außentemperatur u. -feuchte gesteuert	
	Steuerung einzelner Lagerorte	
	PC-Lagerungsprogramm	
	Sonstige	
Ventilatoren	Frequenzregelung	

Aufbereitung

Annahme	Enterdung	
	Förderbänder	
	Bürstenmaschine	
	Sortierer	
	Verlesebänder	
	Kistenbefüllung	
	Absackwaage	
	Palettierer	
	Palettierschrank	
	Wiegemaschine	
	Sonstige	





Biomassefeuerung



Wärmebereitstellung auf Basis von Festbrennstoffkesseln

Etwa 6,6 Prozent des deutschen Wärmebedarfs werden durch erneuerbare Wärmequellen bereitgestellt. Hierbei liefert Biomasse über Biogas, Pflanzenöle oder Festbrennstoffe wie Holz, Stroh und strohähnliche Erzeugnisse mit 94 Prozent den größten Beitrag zur erneuerbaren Wärmebereitstellung.

Ziel der Bundesregierung ist es, den erneuerbaren Wärmeanteil bis 2020 auf 14 Prozent zu steigern. Bei diesem ehrgeizigen Ziel kommt einerseits der Effizienzsteigerung durch Gebäudesanierung und verbesserte Heizungstechnik sowie andererseits dem verstärkten Ausbau von erneuerbaren Energien im Wärmebereich eine zentrale Bedeutung zu.

Für eine umweltschonende Ausnutzung der Holzenergie gilt es, eine vollständige Verbrennung des Gases zu erzielen, um somit die Emissionen an Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffen und Russ zu minimieren. Daher läuft die Verbrennung zweistufig ab. Die Feuerungsleistung einer Holzheizungsanlage muss an einen wechselnden Wärmebedarf angepasst werden können. Deshalb ist es erforderlich, die Feuerung zwischen < 30 und 100 Prozent ihrer Leistung regeln zu können.

Scheit- und Stückholz

Der Heizkessel für moderne Stückholzfeuerungen fasst ganze Holzscheite mit Längen bis zu 110 cm, die dem Feuerraum von Hand zugeführt und verbrannt werden. Holzvergasungskessel sind weiterentwickelte Unterbrandkessel, bei denen die Verbrennungsphasen räumlich stark voneinander getrennt wurden. In den Spezialkesseln wird der Brennstoff unter Sauerstoffmangel verschwelt. Die Holzgase werden nach unten oder seitlich abgeleitet, mit Verbrennungsluft vermischt und nochmals verbrannt. Die Rauchgase werden dann über Tauscherflächen geführt. Die Kessel regeln sich mit Hilfe von ein oder zwei Gebläsen, die bedarfsgerecht Verbrennungsluft in zwei Strömen in Vergasungsbereich und Nachverbrennungszone dosiert. Mit Hilfe elektronischer Regelung und Steuerung der Luftzufuhr über Lambdasonde erreichen die Kessel gute Verbrennungsqualitäten und hohe Wirkungsgrade.

Die Stückholzkessel werden vorwiegend im Leistungsbereich von 15 bis 50 kW und auch gern als Zweitkessel in der Heizungsnachrüstung auf den landwirtschaftlichen Betrieben eingesetzt. Eine Leistungsregulierung über die Brennstoffdosierung ist bei Stückholzkesseln nur sehr begrenzt möglich. Hier muss in jedem Fall ein entsprechender Wärme-Pufferspeicher nachgeschaltet werden, um die bereitgestellte und nicht benötigte Wärme aufzunehmen und nach Bedarf dosiert wieder abgeben zu können. Die Pufferspeichergröße muss nach den Förderrichtlinien mindestens 55 l/kW betragen, er sollte aber für eine Hauptheizung besser mit 100 l/kW dimensioniert sein.



Heiztechnik für Hackschnitzel

Die Vorteile von Hackschnitzeln gegenüber der Stückholzverbrennung liegen vor allem in ihrer Schüttfähigkeit, was die Verfeuerung in vollautomatischen Heizungsanlagen ermöglicht. Da sie aber einen höheren technischen und baulichen Aufwand erfordert, ist sie oft erst oberhalb einer Leistung von 50 kW wirtschaftlich. Für eine gute Auslastung im Jahresgang ist zudem ein hoher Wärmebedarf notwendig (z. B. in der Ferkelaufzucht).

Waldholz, Sägerestholz, Holz aus der Ver- und Bearbeitung, Energieholz aus schnell wachsenden Baumarten, Landschaftspflegeholz sowie Resthölzer können durch mobile Hacker zu Holzhackschnitzeln verarbeitet werden. Bei Hackschnitzelheizungen ist es wichtig, dass das gesamte System vom Hacken, über Lagerung und Förderung bis zur Feuerung gut geplant und aufeinander abgestimmt ist. In landwirtschaftlichen Anlagen, die mit einem Frontlader beschickt werden können, kommen in der Regel Eintragskreisel (Rührwerke) zum Einsatz.

Aus dem Vorratslager wird der Brennstoff durch einen Kreisel mit Blattfedern aus Stahl ausgetragen und mittels Schnecken der Feuerung zugeführt. In großen Anlagen mit entsprechend größerem Vorratsbedarf werden Schubböden eingesetzt. Hier sollte der Transport über Kratzböden und die Dosierung über Hydraulikzylinder erfolgen, die weniger störanfällig sind als Schnecken.

Pufferspeicher werden von den Herstellern oft als entbehrlich angesehen. Sie sind bei automatisch beschickten Holzheizungen dennoch sehr sinnvoll, da die Kessel nicht so gut regelbar sind, wie Öl- oder Gasheizungen. Sie verhindern, dass der Kessel in den Sommermonaten und Übergangszeiten zu oft starten muss und sie können im Winter Bedarfsspitzen abfangen. Dies ermöglicht geringere Feuerungsleistungen mit einem höheren Jahresnutzungsgrad.





Mehr Komfort mit Holzpellets

Holzpellets sind normierte Presslinge aus naturbelassenem Restholz. In der Regel werden Sägemehl, Fräs- und Hobelspäne aus der holzverarbeitenden Industrie zu Holzpellets verarbeitet. Ein Kubikmeter Holzpellets enthält etwa vier Mal so viel Energie wie die gleiche Menge an Hackschnitzeln. Die Presslinge haben einen Durchmesser von 4 bis 10 mm und eine Länge von 20 bis 50 mm.
Der genormte Brennstoff in Deutschland sollte den Qualitätsanforderungen nach DIN plus entsprechen.
Der Transport erfolgt bei größeren Mengen mit Silozügen, die den Brennstoff in die entsprechenden Lagerbehälter einblasen.

Die Pellet-Heizsysteme werden als Einzelöfen mit Vorratstank und als automatische Zentralheizungsanlagen mit Saug- oder Schneckenförderung angeboten. Die Pellets werden durch die Lagerraumaustragung über eine Dosiereinrichtung je nach Brennstoffbedarf in den Feuerraum befördert. Wichtig für den praktischen Betrieb ist der Entaschungs- und Reinigungsaufwand.

Während im land- und forstwirtschaftlichen Bereich eher auf „Eigenbrennstoffe“ zugegriffen wird, bieten sich die Holzpellets als Zentral- oder Raumheizung in gut isolierten, neuen Ein- und Mehrfamilienhäuser mit geringem Wärmebedarf an. Mittlerweile sind schon die ersten Pelletkessel mit Brennwerttechnik auf dem Markt erhältlich.

Holzfeuerungsanlagen sind in den Investitionskosten oftmals doppelt so teuer wie vergleichbare Öl- oder Gasfeuerungsanlagen. Förderungsprogramme für Holzfeuerungsanlagen seitens des Bundes und der Länder gleichen aber einen Teil dieser Differenz aus. Die Brennstoffkosten von Holz sind dagegen immer geringer als die der fossilen Energieträger.

Rechtlicher Rahmen: Heizen mit Holz und anderen Biomassen

Für die Erzeugung von Wärme stellen Holz und Stroh preisgünstige Brennmaterialien bereit. Hochwertige Holzfeuerungen sind heute vielfältig in allen Leistungsbereichen praxisreif. Sie müssen bis 1.000 kW die Anforderungen der 1. BImSchV erfüllen. Bei der Heiztechnik für halmgutartige Biomasse bestehen insbesondere bezüglich der Emissionsanforderungen der Kessel ab 100 kW Leistung bereits die deutlich höheren Anforderungen der 4. BImSchV in Zusammenhang mit der TA-Luft.

Feuerungs-wärmeleistung	Holz	Stroh und Halmgut	Getreide
bis 15 kW	1. BImSchV	1. BImSchV verboten	1. BImSchV verboten
15 - 100 kW	1. BImSchV	1. BImSchV	Je nach Bundesland mit Sondergenehmigung
100 kW - 1 MW	1. BImSchV	4. BImSchV & TA-Luft	4. BImSchV & TA-Luft
über 1 MW	4. BImSchV & TA-Luft	4. BImSchV & TA-Luft	4. BImSchV & TA-Luft

Linkadressen:

- 1. BImSchV: www.gesetze-im-internet.de/bimschv_1_1988/
- 4. BImSchV: 4. BImSchV: www.gesetze-im-internet.de/bimschv_4_1985/index.html
- TA-Luft: www.bmu.de/luftreinhaltung/ta_luft/doc/2594.php

Derzeit befindet sich die 1. BImSchV (1. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz) in der Novellierung. Ab dem Jahr 2015 sollen nach den derzeitigen Vorstellungen 20 mg Staub für Kleinanlagen ab 4 kW Feuerungswärmeleistung unterschritten werden. Dies wäre das Aus für viele Feuerungsanlagen mit Biobrennstoffen oder es bedarf einer aufwändigen Filtertechnik, die nachgeschaltet werden muss.

Die Hauptprobleme bei der Stroh- und Getreideverbrennung sind der hohe Staubanteil, die Verschlackung der Aschen und der Chloranteil bei Stroh, der zu starker Korrosion führen kann bzw. der NOx-Anteil bei Getreide, der aus dem Rohprotein entstammt. Holzheizkessel lassen sich wegen der Verschlackung nicht mit den halmgutartigen Biomassen betreiben, es gibt aber spezielle Kessel, die für diese Brennstoffe konstruiert sind.

Im Bereich kleiner Kesselleistungen ist das Strohpellet in entsprechend entwickelten Heizanlagen eine Alternative zum Holzpellet. Hier besteht für die Landwirtschaft die Chance, einen Markt für Endkunden aufzubauen und zu beliefern. Über Lohnpelletierung des eigenen Strohs ist diese Technik aber auch für den landwirtschaftlichen Betrieb einsetzbar. Der Vorteil der Pellets gegenüber Holzhackschnitzeln oder Strohballen ist die hohe Lagerdichte und die gute Transportlogistik.

Worauf Sie beim Kauf eines Biomasseheizkessels achten sollten!

1. Im Vorfeld mit dem Schornsteinfeger den Kontakt suchen
2. Klären welche Biomassen verbrannt werden sollen
3. Geeignete, zugelassene und geprüfte Heiztechnik ermitteln
4. Arbeitsaufwand prüfen:
   - Holzbereitstellung/-lagerung
   - Betreuungsaufwand
     - handbeschickte oder automatische Befüllung
     - Reinigungsaufwand (Züge/Entaschung)
     - Steuerung der Anlage
5. Richtige Dimensionierung anhand Wärmebedarfsermittlung
6. ausreichender Pufferspeicher (50 bis 100 Liter je kW Feuerungsleistung)
7. hydraulische Einbindung ermöglichen

Gerne unterstützen Sie die Berater der Landwirtschaft in den jeweiligen Ländern bei Ihrer Entscheidung für den landwirtschaftlichen Betrieb.



Biogasanlagen

Seit Jahren nimmt die Anzahl landwirtschaftlicher Biogasanlagen kontinuierlich zu. Der Auslöser ist das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG). Dieses Gesetz wurde im Jahr 2000 eingeführt und wird alle vier Jahre auf die Richtigkeit seiner fördernden Wirkung überprüft. Als Ergebnis dieser Überprüfung traten 2004 und zum Jahresbeginn 2009 novellierte Fassungen des EEG in Kraft.

Seit 2004 gibt es den Nachwachsende Rohstoffe Bonus. Durch diesen Bonus ist es den landwirtschaftlichen Betrieben ermöglicht worden, Biogasanlagen ausschließlich auf Basis ihrer betriebseigenen Stoffströme wie Gülle, Festmist und speziell für die Vergärung angebauter Biomasse (z. B. Silomais) zu betreiben. Die Novelle des EEG von 2009 hat neben der Anpassung von Vergütungen für Strom auch einen Güllebonus eingeführt, welcher erneut zu einer deutlichen Zunahme von Biogasanlagen auf den landwirtschaftlichen Betrieben führen wird.

Biogasanlagen entstehen aber nicht nur im einzelbetrieblichen Maßstab. Größere Gemeinschaftsanlagen und auch Großanlagen mit der technischen Ausstattung zur Einspeisung von Biogas ins Erdgasnetz werden überall im Land geplant. Dabei stellt sich immer als die entscheidende Frage heraus: Welche Biomasse soll in der Anlage verarbeitet werden und stehen entsprechende Flächen zur Verfügung.

Aufbau und Funktion einer Biogasanlage

In einer Biogasanlage wird die zugeführte Biomasse durch einen mikrobiologischen Prozess abgebaut. Dabei entsteht das Biogas. Die Hauptbestandteile des Biogases sind CO_2 und das energiereiche Methangas. Damit dieser biologische Prozess der Biogasbildung mit hoher Effizienz ablaufen kann, müssen Biogasanlagen bestimmte technische Voraussetzungen aufweisen. Das zentrale Element für diesen Prozess ist der Fermenter. In diesem Behälter werden die Bedingungen für die methangasbildenden Bakterien so optimal wie möglich eingestellt. Neben den Grundvoraussetzungen Temperatur, pH-Wert und anaerobe Atmosphäre sind auch die Verweilzeit und die Raumbelastung maßgebende Einflussgrößen auf die Effizienz des Prozesses der Biogasbildung. Da bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen häufig Verweilzeiten von über 75 Tagen angestrebt werden, resultiert das notwendige Fermentervolumen aus der Multiplikation von täglich zugeführter Biomasse mit den Tagen der angestrebten Verweilzeit. Dies macht deutlich, dass Behälter von 1.000 m³ Volumen und auch größer schnell notwendig werden.





Das erzeugte Biogas wird in der Regel in Blockheizkraftwerken verwertet. Neben der elektrischen Energie, welche durch den Generator erzeugt wird, steht auch eine erhebliche Wärmemenge durch den Verbrennungsmotor zur Verfügung. Ein Teil (rund 1/3) der Wärme wird als Prozessenergie zum Beheizen des Fermenters benötigt. Dennoch steht eine erhebliche Wärmeenergie für externe Nutzungszwecke zur Verfügung. Dies ist ein Aspekt der bei der Planung von Biogasanlagen vor dem Hintergrund möglichst hoher Gesamteffizienz der Anlage und selbstverständlich auch für eine nachhaltige Wirtschaftlichkeit berücksichtigt werden muss.

Vergütungen für Biogasanlagen (EEG 2009)

Seit dem 01.01.2009 gelten die in der Tabelle zusammengestellten Vergütungen für Biogasanlagen. Durch das Nebeneinander der Vergütungen von 2004 und der Novelle 2009 werden die wesentlichen Veränderungen deutlich.

Hervorzuheben ist eine besondere Attraktivität bei kleineren hofbezogenen Anlagen bis etwa 250 kW elektrischer Leistung. Hinzu kommt ein Kraftwärmekopplungsbonus für die extern genutzte Wärme. Die für das jeweilige Inbetriebnahmejahr geltenden Zahlungen sind durch das EEG für 20 Jahre garantiert.

Durch die Einführung des Güllebonus werden heute fast ausschließlich Biogasanlagen mit einem Volumenanteil von mindestens 30 Prozent Gülle geplant. Für beispielsweise eine 150 KW-Anlage bedeutet dies neben den eingesetzten nachwachsenden Rohstoffen (2.500 bis 3.000 t) auch einen Güllebedarf von rund 2.000 m³. Für den notwendigen Güllebedarf werden beispielsweise rund 100 Kuhplätze oder gut 1.000 Mastschweineplätze benötigt. Hinsichtlich des Flächenbedarfes für die nachwachsenden Rohstoffe ergibt sich für Mais bei einer Ertragserwartung von 45 Tonnen pro Hektar der Flächenbedarf von ca. 60 Hektar. Daraus wird deutlich, dass der größte Anteil der Energie nicht aus der Gülle sondern aus den nachwachsenden Rohstoffen und damit von der Fläche kommt.

Vergütungssätze nach EEG für Biogasanlagen

alle Angaben in Cent/kWh	Inbetrieb-nahme	bis 150 kWel		bis 500 kWel		bis 5 MWel		über 5 MWel	
		EEG 2004	EEG 2009	EEG 2004	EEG 2009	EEG 2004	EEG 2009	EEG 2004	EEG 2009
Grundvergütung	01.08.2004	11,50		9,90		8,90		8,40	
	01.01.2005	11,33		9,75		8,77		8,27	
	01.01.2006	11,16	11,67	9,61	9,18	8,64	8,25	8,15	7,79
	01.01.2007	10,99		9,46		8,51		8,03	
	01.01.2008	10,83		9,32		8,38		7,91	
Bonus für Einhaltung der TA-Luft (Formaldehydgrenzwert)		—	1,00	—	1,00	—	1,00	-	1,00
NawaRo-Bonus (auch für Altanlagen)		6,00	7,00	6,00	7,00	4,00	4,00	0,00	0,00
Bonus für überwiegenden Einsatz von Landschaftspflegematerial		—	2,00	—	2,00	—	0,00	-	0,00
Güllebonus (Mindestanteil Wirtschaftsdünger 30 Masse-%)		—	4,00	—	1,00	—	0,00	-	0,00
KWK-Bonus (bei Einhaltung der Effizienzkriterien)		2,00	3,00	2,00	3,00	2,00	3,00	2,00	3,00
Technologie-Bonus (für innovative Anlagentechnik)		2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Technologie-Bonus (für Biogasaufbereitung)		bis 350 Nm^3 aufbereitetes Biogas/h	2,00			bis max. 700 Nm^3 aufbereitetes Biogas/h	1,00		
Jährliche Degression auf Grundvergütung und alle Boni 1 %									

Die zentrale Bedeutung der Fläche

Häufig interessieren sich Veredlungsbetriebe für eine Biogasanlage. Die Gründe sind in der Verfügbarkeit von Gülle und z. B. in der Sauenhaltung mit dem erheblichen Wärmebedarf im Stall zu sehen. Gerade diese Betriebe haben häufig aufgrund ihrer Nährstoffbilanz nur noch wenig Fläche für den Anbau nachwachsender Rohstoffe zur Verfügung. Die für den Anbau von beispielsweise Silomais für die Biogasanlage genutzten Flächen stehen der Veredlung des Betriebes nicht mehr als Nachweisflächen für die Nährstoffkreisläufe zur Verfügung!

Da die Fläche für die Planung einer Biogasanlage von zentraler Bedeutung ist, soll diese auch möglichst effizient genutzt werden. Aus diesem Grund werden zunehmend neben den Hauptfrüchten auch Zwischenfrüchte wie z. B. Grünroggen als Winterzwischenfrucht oder die Sonnenblume als Zwischenfrucht nach Gerste in die Gesamtfruchtfolge des Betriebes mit eingeplant. Dabei muss beachtet werden, dass ein nach Grünroggen erzeugter Silomais gegebenenfalls mit Ertragseinbußen durch die Vorfrucht geerntet wird.

Substrateinsatz für 150 kW-Anlagenleistung

Gülle	erforderlicher Tierbestand
1.500 - 2.000 m^3 (t) ca. 35 Masseprozent	75 - 100 Kuhplätze 150 - 200 Mastbullenplätze 1.000 - 1.300 Mastschweineplätze 350 - 460 Sauenplätze 2.500 - 3.300 Ferkelaufzuchtplätze

NawaRo	erforderliche Flächenausstattung
2.500 - 3.000 t ca. 65 Masseprozent	55 - 70 ha Mais bei 45 t/ha 67 - 95 ha GPS bei 37 t/ha 62 - 75 ha Ackergras bei 40 t/ha

Güllebonus bei mindestens 30 Masseprozent

Gründe hierfür können ein verspäteter Aussaattermin, ein höherer Wasserentzug oder eine verlangsamte Bodenerwärmung sein. Als Faustzahl kann man z. B. für die Sommerzwischenfrucht Sonnenblume das Verhältnis von 4 Hektar Zwischenfrucht zu 1 Hektar Silomais mit gutem Ertrag ansetzen. In der Praxis werden Zwischenfrüchte als wichtige und sinnvolle Ergänzung eingeschätzt.





Die betrieblichen Voraussetzungen müssen stimmen

Neben dem Gülleanfall und der Flächenausstattung sind weitere Kriterien bei der Anlagenplanung zu berücksichtigen. Ein Wärmenutzungskonzept erhöht die Gesamteffizienz und damit auch die Wirtschaftlichkeit der Anlage deutlich. Damit die Biogasanlage mit hoher Gesamtauslastung (> 90 %) betrieben werden kann, ist neben den geeigneten technischen und baulichen Voraussetzungen auch die Verfügbarkeit von Arbeitszeit eine sehr wichtige Voraussetzung.
Als Faustwert kann eine Arbeitskraftstunde pro Tag je 100 KW installierter elektrischer Leistung angesetzt werden. Ein Aspekt, der bei den über die Gülle verfügenden Veredlungsbetrieben unbedingt beachtet werden muss.

Abschließend sei vor dem Hintergrund der Investitionshöhe auf die Gesamtliquidität des Betriebes hingewiesen. Biogasanlagen des Leistungsbereichs von 150 bis 250 kW benötigen für das Gesamtprojekt einschließlich sämtlicher Nebenarbeiten, der Netzeinbindung und der Wärmeverteilung häufig eine Gesamtinvestition von rund 1 Mio. Euro. Für viele Betriebe eine Größenordnung bei der auch die Weiterentwicklung bereits etablierter Betriebszweige mit in die Planung einbezogen werden sollte.

Fazit

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz hat mit in Kraft treten der Novelle vom 01.01.2009 sehr interessante Rahmenbedingungen für die Errichtung landwirtschaftlicher hofbezogener Biogasanlagen gesetzt. Wenn die betriebsspezifischen Bedingungen wie Verfügbarkeit von Gülle und Fläche in Einklang mit Arbeitszeit und Kapital ebenfalls gegeben sind, sollte die Investitionsmöglichkeit mit einer neutralen Beratungsinstitution durchgesprochen werden.



Solarthermie

Solarenergie kann zur Stromerzeugung (Fotovoltaik) und zur Warmwassererzeugung (Solarthermie) genutzt werden. Da der Strom aus Fotovoltaikanlagen derzeit fast ausschließlich in das öffentliche Stromnetz eingespeist wird, führt er nicht direkt zu einer Energieeffizienzsteigerung auf dem landwirtschaftlichen Betrieb. Deshalb wird im Folgenden nur auf die Solarthermie eingegangen.

Solarthermische Anlagen werden bisher in Deutschland überwiegend zur Brauchwassererwärmung eingesetzt. Eine Nutzungsform der Sonnenenergie, die insbesondere für Betriebe mit hohem Saisonarbeitskräfteeinsatz interessant ist, da hier in den Monaten hoher Sonnenenergieeinstrahlung ein erhöhter Brauchwasserbedarf besteht.

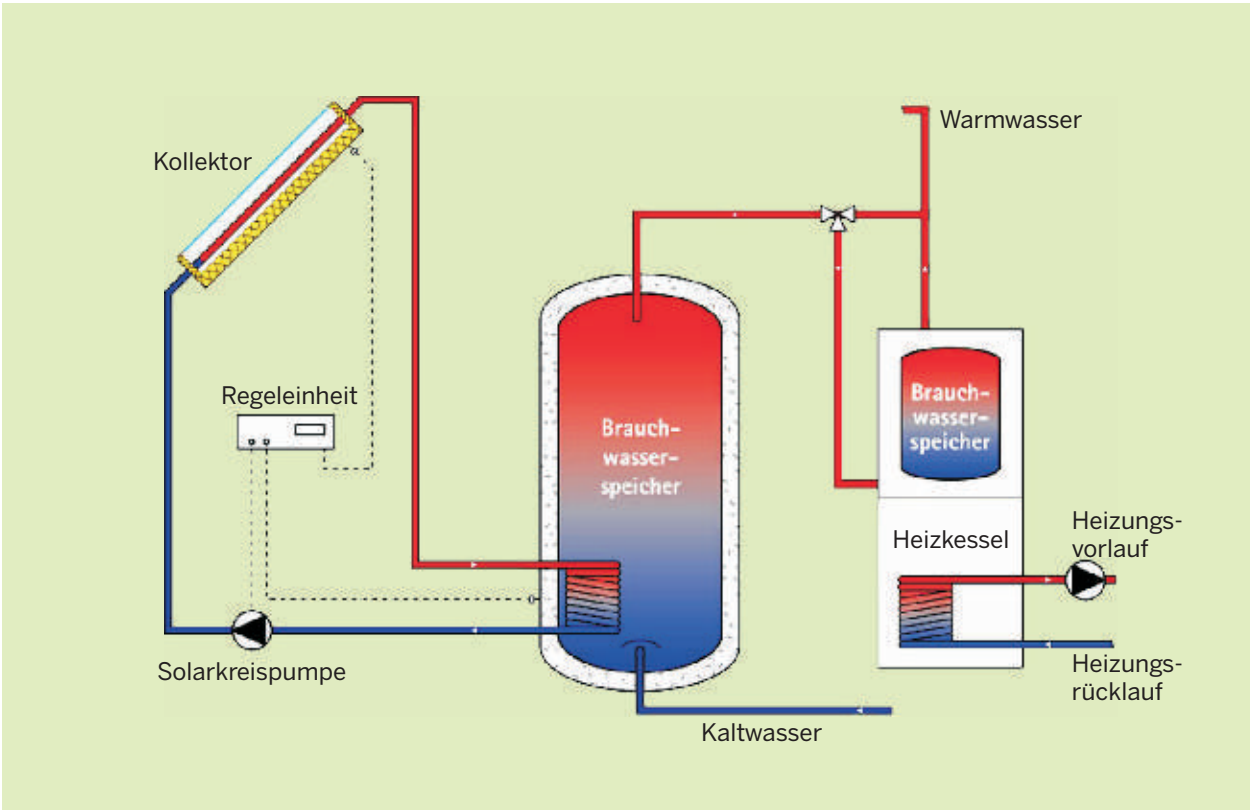
Die Unterstützung der Heizung ist bei älteren Gebäuden noch die Ausnahme. Dabei wird die Machbarkeit hier in hohem Maße von der Wärmedämmung und damit dem spezifischen Energiebedarf des Gebäudes bestimmt. Bei Neubauten mit Niedrigenergiestandard werden zunehmend solarthermische Anlagen zur Heizungsunterstützung installiert.

Bei steigenden Energiepreisen interessieren sich immer mehr landwirtschaftliche Betriebe neben den bekannten Anwendungen der Solarthermie auch für die Möglichkeit der Energieerzeugung zum Beheizen von Ferkelnestern oder zur Erwärmung von Tränkewasser in der Kälbermast. Grundsätzlich werden die solarthermischen Anlagen für den landwirtschaftlichen Betrieb genauso geplant und ausgelegt wie für den Haushalt. Ein spezifischer Vorteil landwirtschaftlicher Betriebe besteht in den oft vorhandenen großen Dachflächen.

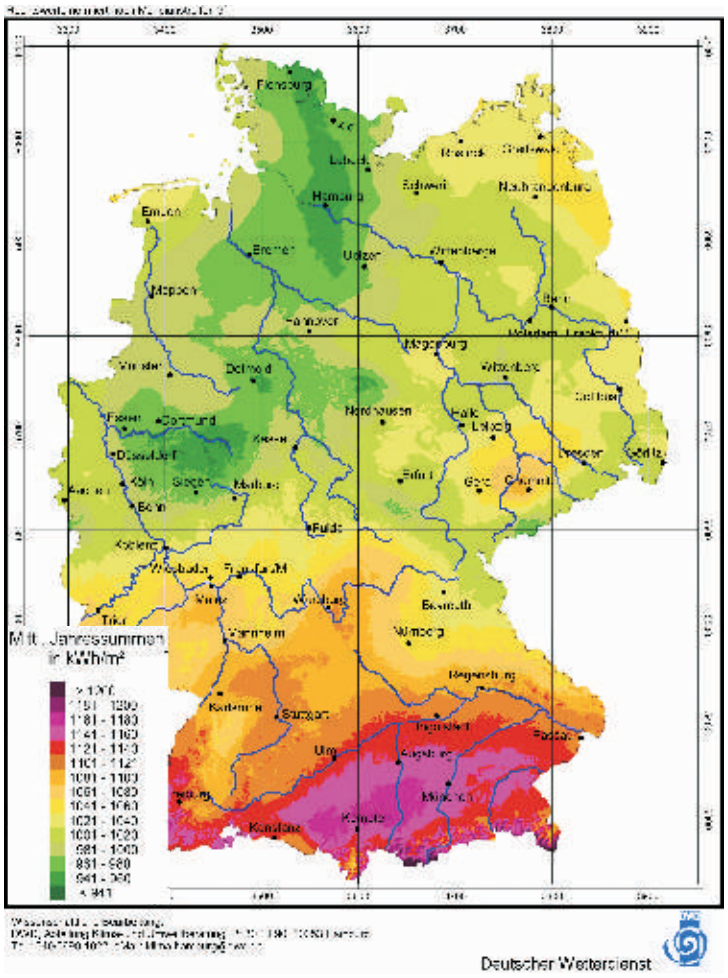
Aufbau und Funktion solarthermischer Anlagen

Die Sonnenenergie erwärmt im Kollektor eine Flüssigkeit. Damit dies dauerhaft mit hoher Effizienz geschieht, wird der Absorber an dem die eigentliche Erwärmung der Flüssigkeit erfolgt, durch eine Glasscheibe vor Umwelteinflüssen geschützt, was zudem noch Wärmeverluste (Gewächshauseffekt) verhindert. Die Kollektoren erzielen den höchsten energetischen Ertrag, wenn sie nach Süden ausgerichtet sind und eine Neigung zwischen 20° und 55° aufweisen. Abweichungen über 45° nach Osten oder Westen verringern den energetischen Ertrag um mindestens 5 Prozent. Der optimale Neigungswinkel beträgt je nach Breitengrad 28° (Freiburg) und 40° (Hamburg). Neigungen zwischen 45° und 60° sorgen für geringeren Überschuss im Sommer und eine bessere Ausnutzung im Winter.





Aufbau und Einbindung einer solarthermischen Anlage (Quelle: ISFH)



Globalstrahlung in Deutschland
(Quelle: Deutscher Wetterdienst)

Strahlungskarten zeigen mögliche Energiemenge

Die von der Sonne emittierte Energie beträgt außerhalb der Erdatmosphäre 1,38 kW pro m^2 (Solarkonstante). Durch Reflektion bzw. Absorbtion geht ein großer Teil dieser Energie in der Atmosphäre verloren. Am Äquator stehen noch durchschnittlich 0,32 kW pro m^2 zur Verfügung. In der Bundesrepublik Deutschland verringert sich diese Energiedichte auf ca. 0,114 kW pro m^2. Diese durchschnittliche Energieeinstrahlung unterliegt zudem im Jahresgang einer erheblichen Schwankung.
Für die Ermittlung der tatsächlich an den Solarkollektoren zur Verfügung stehenden Energie muss die Himmelsrichtung und die Neigung der Kollektorfläche berücksichtigt werden. Für derartige Ermittlungen des tatsächlich verfügbaren Energieangebotes stehen für viele Standorte Strahlungskarten mit monatsspezifischen Angaben zur Verfügung. Für die einzelbetriebliche Anlagenplanung muss im zweiten Schritt das verfügbare Energieangebot mit der genauen Ausrichtung und Neigung der betreffenden Dachfläche verrechnet werden.

Anlagenauslegung

Für die Auslegung werden der jährliche Heizbedarf und Warmwasserbedarf ermittelt. Ein beispielhafter landwirtschaftlicher Betrieb soll zur Beheizung des Wohnhauses 47.000 kWh pro Jahr benötigen. Hinzu kommt der Energiebedarf für die Brauchwassererwärmung. Für einen achtköpfigen Haushalt beträgt dieser 5.000 kWh pro Jahr.

Insbesondere für das Heizen stehen Energieangebot der Sonne und Energiebedarf nicht im Einklang. Deshalb soll der Gesamtenergiebedarf von 52.000 kWh pro Jahr nur zu 25 % durch Sonnenenergie bereitgestellt werden. Dieser Anteil wird solarer Deckungsgrad genannt. Durch diesen Ansatz werden Kollektorfläche und Energieertrag in einem wirtschaftlich sinnvollen Verhältnis berechnet. Wie die Kollektorfläche errechnet wird, ist in der Abbildung (siehe links) dargestellt. Danach ergibt sich für die Beispielsanlage eine Kollektorfläche von rund 24 m².

Berechnung der Anlagendimension
für ein landwirtschaftliches Anwesen mit 8 Personen

$$KF = \frac{SD \times (JH + EBW)}{(WGK \times GS)}$$

KF:	Kollektorfläche	34 m^2
SD:	Solarer Deckungsgrad	25 %
JH:	Jahresheizenergiebedarf	47.000 kWh
EBW:	Energiebedarf Brauchwasser	5.000 kWh
WGK:	Gesamtwirkungsgrad Kollektor/ Solarer Wirkungsgrad	50 %
GS:	Summe Globalstrahlung bei Kollektorausrichtung und Standort	1.100 kWh/m^2

Hinweise zur Anlagenauslegung


Quelle: BSW-Solar/Upmann

Damit das Wärmeangebot und der Wärmebedarf angeglichen werden können, wird ein Wärmespeicher benötigt. Für die Dimensionierung des Wärmespeichers werden 50 Liter Speichervolumen pro m² Kollektorfläche angesetzt. Dies ergibt bei der Anlagengröße von 24 m² ein Speichervolumen von mindestens 1.200 Litern. Zusätzlich muss das Speichervolumen um den täglichen Warmwasser-Verbrauch ergänzt werden (hier 600 l). In der Summe wird somit für diesen Beispielhaushalt ein 1.800 Liter fassender Wärmespeicher benötigt.

Für die landwirtschaftliche Produktion sind Solarthermische Anlagen insbesondere in der Sauenhaltung und in der Kälbermast aufgrund des erhöhten Wärmebedarfes interessant. Hinzu kommen Einsatzmöglichkeiten bei der Trocknung. Ein etwas selten gewordener aber seit langem praktizierter Einsatz ist beispielsweise die Heutrocknung.

Vergleich von Heizkosten und möglicher Investitionshöhe in eine Solaranlage										
Globalstrahlung	kWh/m²*a	1.000,00								
Kollektorwirkungsgrad	%	30,00			50,00			70,00		
Vergleichswärmekosten	€/kWh	0,05	0,10	0,20	0,05	0,10	0,20	0,05	0,10	0,20
Nutzungsdauer	a	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Zins	%	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50
Unterhaltung	%	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Mögliche Investition bei Kostengleichheit	**€/m²**	**181,82**	**363,64**	**727,27**	**303,03**	**606,06**	**1.212,12**	**424,24**	**848,48**	**1.696,97**

Wirtschaftlichkeit

Da die übliche Wirtschaftlichkeitsberechnung aufgrund wechselnder Förderprogramme und noch wesentlich unkalkulierbarerer Energiepreise immer nur eine veraltete Momentaufnahme darstellen kann, wird hier bei wechselnden Parametern die maximal mögliche Investition je m² Kollektorfläche abgeleitet. Damit ergibt sich die Möglichkeit bei wechselnden Rahmenbedingungen eine betriebsspezifische Einschätzung durchzuführen.

In der Tabelle (oben) ist bei unterschiedlichem Wirkungsgrad der solarthermischen Anlage und bei variierenden Kosten der alternativen Wärmequelle die maximale Investition bei Kostengleichheit ausgewiesen.

Dabei ist zu beachten, dass die abgeleiteten Kosten die Gesamtmaßnahme darstellen müssen. Bei einem Wirkungsgrad von beispielsweise 50 Prozent und Vergleichskosten für die Wärme von 0,1 €/kWh könnten demnach 606 € je m² investiert werden. Da es sich hier um die Gesamtanlage handelt, kann dieser Kostenansatz nicht nur auf die Solaranlage bezogen werden.

Des Weiteren ist zu beachten, dass zusätzliche Wärmequellen benötigt werden. Es wird deutlich, dass mit zunehmenden Energiekosten die Versorgungssysteme auf den Betrieben komplexer werden und immer individueller geplant werden müssen.



Blockheizkraftwerk

Blockheizkraftwerke (BHKW) sind Anlagen, die Strom erzeugen und die freigesetzte Wärme über Wärmetauscher als Warmwasser für die Heizung bereitstellen. Bei gleichzeitiger Nutzung von Strom und Wärme gilt der BHKW-Einsatz als besonders rationelle Form der Energieerzeugung und kann damit zur Energiekosteneinsparung beitragen.

Anlagentechnik

BHKW verfügen über einen Antriebsmotor der starr oder über eine Kupplung mit einem Stromgenerator verbunden ist. Bei kleineren Modulen (bis 50 kW_{el}) werden die Anlagen kompakt in Schallschutzgehäusen integriert. Ausgerüstet mit einem Wärmetauscher der das Abgas, den Motor, das Schmieröl und häufig auch den Generator kühlt, wird neben der Stromerzeugung die dabei entstehende Wärme ausgekoppelt und einem Heizkreislauf zugeführt. Die eingesetzte Energie (Heizöl, Erdgas oder Flüssiggas) wird in der Regel zu etwa 30 Prozent in Strom und zu 60 Prozent in Wärme umgewandelt. Die restlichen 10 Prozent sind Abgasverluste, die technisch nicht nutzbar sind.

Um eine optimale Lösung zu finden, sollte sich die Aggregatgröße am tatsächlichen Bedarf des Betriebes orientieren. Häufig ist es richtig, die Anlagengröße so zu bemessen, dass nur die Grundlast abgedeckt werden kann. Verbrauchsspitzen müssen dann beim Strom aus dem Netz zugekauft oder bei der Wärmeenergie über andere Heizungsanlagen ausgeglichen werden.

Bei unregelmäßigem Strom- und Wärmeverbrauch kommen zunehmend Warmwasser-Pufferspeicher oder „intelligente“ Steuerungsanlagen an den BHKW zum Einsatz.

Durch Einsatz von drehzahlvariablen Synchron-Generatoren, ist ein Teillastbetrieb der Anlagen möglich. Auch können die Anlagen „strom-„ und/oder „wärmegeführt“ gefahren werden. Das bedeutet, dass eine Anlage im Sommer bei hohem Strombedarf der Lüftungsanlage ihre Leistungsabgabe am Strombedarf orientiert. Im Winter dagegen wird die Leistung nach dem Wärmebedarf gefahren.

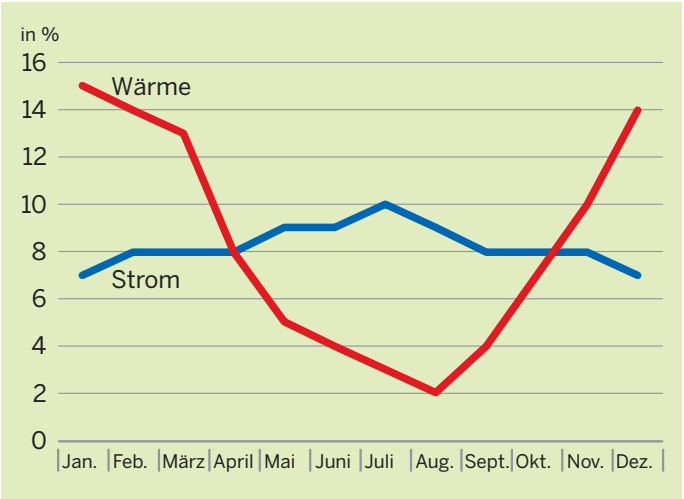
Ideal wäre ein ganzjähriger kontinuierlicher Energiebedarf. In der Landwirtschaft finden sich günstige Einsatzbedingungen in der Sauenhaltung. Schon in der Mastschweinehaltung ist nur auf großen Betrieben ein ausreichend hoher Energieverbrauch zu erwarten. Bereits hier ist der Energieverbrauch mit hohem Strombedarf (Lüftung) im Sommer und hohem Heizenergiebedarf im Winter jahreszeitlich sehr unterschiedlich.

Noch extremere Voraussetzungen liegen in Milchviehbetrieben vor. Die Milchviehhaltung weist zwar einen hohen Stromverbrauch auf. Nachteilig ist aber, dass der Strom an zwei Tagesspitzen für das Melken und zur anschließenden Milchkühlung verbraucht wird. Eine effektive Wärmenutzung ist in aller Regel nicht möglich.



Anlagenauslastung

Ein gleichmäßiger Energieverbrauch im Tages- und Jahresverlauf führt zu hohen Gerätelaufzeiten. Eine gute Geräteauslastung verbessert grundsätzlich bei jeder technischen Investition die Wirtschaftlichkeit. Wie der Verbrauch von Strom und Wärme z. B. im Sauenbetrieb im Jahresverlauf schwankt zeigt die Grafik unten.



Jahreszeitliche Strom- und Heizmengenverteilung
in Prozent je Monat

Der Stromverbrauch unterliegt im Sauenbetrieb nur geringen Schwankungen. In den Wintermonaten sind es jeweils 7 bis 8 Prozent und in den Sommermonaten 9 bis 10 Prozent der Jahresmenge. Beim Heizenergieverbrauch zeigt die Verbrauchskurve ein deutlich ausgeprägteres Bild. In den Wintermonaten sind es deutlich über 10 Prozent und in den Sommermonaten von Mai bis September unter 5 Prozent der Jahresmenge.

Um eine hohe Geräteauslastung zu erreichen, muss anhand dieser Verbrauchskurven in jedem Betrieb das Verbrauchsprofil ermittelt werden. Lange Gerätelaufzeiten lassen sich erreichen, wenn lediglich der Grundlastbedarf über das BHKW abgedeckt wird. Dabei muss immer der Wärmebedarf als Maßstab herangezogen werden.

Bei der Beurteilung des BHKW-Einsatzes auf landwirtschaftlichen Betrieben sollte deshalb eine Prüfung der Energienutzung hinsichtlich folgender Verwendungsmöglichkeiten erfolgen:

Heizenergienutzung	nur Wohnhaus	
	Wohnhaus und Stall	
	nur Stall	
	andere Verbraucher	
Stromnutzung	eigene Nutzung	
	Netzeinspeisung	
	eigene Nutzung und Netzeinspeisung	

Fazit

Blockheizkraftwerke müssen mit der Geräteleistung auf den Energieverbrauch des Betriebes abgestimmt sein. Bei Abdeckung der Grundlast, sind entsprechend lange Gerätelaufzeiten pro Jahr zu erzielen. Bei gleichzeitiger Strom und Wärmeverwertung führen sie zu einer Einsparung bei den Energiekosten. Die Höhe der Einsparung ist abhängig von der jeweiligen Höhe der Treibstoffkosten für das BHKW. Daneben verursachen Blockheizkraftwerke aufgrund ihrer Investitionskosten hohe Betriebskosten pro Jahr. Erkundigen sie sich deshalb vor dem Kauf nach Fördermöglichkeiten (z. B. AFP-Förderung, KWK-Förderung).

Biomassefeuerung

Waldfläche	vorhanden	☐
	nicht vorhanden	☐
energetisch nutzbare Strohfläche	vorhanden	☐
	nicht vorhanden	☐
Flächenpotential für Energiepflanzen	vorhanden	☐
	nicht vorhanden	☐

Biogas

Wärmenutzung	nicht möglich	☐
	teilweise möglich	☐
	vollständig möglich	☐
Güllenutzung	nicht möglich	☐
	möglich	☐
Substrate	Flächen verfügbar	☐
	Kofermente verfügbar	☐
Netzanbindung	ans Stromnetz möglich	☐
	Direktabgabe möglich	☐
	ans Gasnetz möglich	☐

Solarthermie

Dachausrichtung	Dachfläche nicht verschattet	☐
	Dachflächenausrichtung Süd	☐
	Dachflächenausrichtung Südost	☐
	Dachflächenausrichtung Südwest	☐
Dachneigung	unter 20 °	☐
	20 ° bis 30 °	☐
	30 ° bis 40 °	☐
	über 40 °	☐
Wärmenutzung	nur Brauchwasser	☐
	Brauchwasser und Heizung	☐
	nur Heizung	☐

Blockheizkraftwerk (BHKW)

Heizenergienutzung	nur Wohnhaus	☐
	Wohnhaus und Stall	☐
	nur Stall	☐
	andere Verbraucher	☐
Stromnutzung	eigene Nutzung	☐
	Netzeinspeisung	☐
	eigene Nutzung und Netzeinspeisung	☐



Impressum

Liste der Ansprechpartner/Autoren

	Telefon:	E-Mail:
Ulrich Averberg	0251 2376355	ulrich.averberg@lwk.nrw.de
Dr. Karsten Block	02945 989190	karsten.block@lwk.nrw.de
Carsten Brüggemann	0511 36651411	carsten.brüggemann@lwk-niedersachsen.de
Elmar Brügger	0251 2376324	elmar.bruegger@lwk.nrw.de
Dr. Horst Cielejewski	0251 2376348	horst.cielejewski@lwk.nrw.de
Rolf Feldmann	0251 2376459	rolf.feldmann@lwk.nrw.de
Bernhard Feller	0251 2376336	bernhard.feller@lwk.nrw.de
Alfons Fübbeker	0441 801323	alfons.fuebbeker@lwk-niedersachsen.de
Christoph Gers-Grapperhaus	0441 801322	christoph.gers@lwk-niedersachsen.de
Hans-Bernd Hartmann	02945 989195	hans-bernd.hartmann@lwk.nrw.de
Fred Koch	0511 36651417	fred.koch@lwk-niedersachsen.de
Jens Koopmann	0441 801438	jens.koopmann@lwk-niedersachsen.de
Dr. Hans-Heinrich Kowalewsky	0441 801320	hans-heinrich.kowalewsky@lwk-niedersachsen.de
Dr. Joachim Matthias	0251 2376360	joachim.matthias@lwk.nrw.de
Dr. Norbert Uppenkamp	0251 2376288	norbert.uppenkamp@lwk.nrw.de
Arnd Winter	0511 36651524	arnd.winter@lwk-niedersachsen.de
Burkhard Wulf	05192 2282	burkhard.wulf@lwk-niedersachsen.de

Fotos:

Archiv der Landwirtschaftskammern Niedersachsen
und Nordrhein-Westfalen sowie Fotos der o. g. Referenten,
Werksfotos: Claas, ISFH, Paradigma, BSW-Solar/Upmann



Verband der Landwirtschaftskammern e. V.
Claire-Waldoff-Straße 7
10117 Berlin
Telefon: 030 31904-512
Telefax: 030 31904-520
E-Mail: info@vlk-agrar.de
www.landwirtschaftskammern.de

Landwirtschaftskammer Niedersachsen
Mars-la-Tour-Straße 1-13
26121 Oldenburg
Telefon: 0441 801-0
Telefax: 0441 801-319
E-Mail: info@lwk-niedersachsen.de
www.lwk-niedersachsen.de

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen
Nevinghoff 40
48147 Münster
Telefon: 0251 2376-0
Telefax: 0251 2376-521
E-Mail: info@lwk.nrw.de
www.landwirtschaftskammer.de

Landwirtschaftskammer Niedersachsen

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen