



Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Energieeinsparung in der Schweinehaltung

Lüftung



LfL-Information

1 Einleitung

Angesichts knapper werdender fossiler Energieträger, steigender Energiekosten und um die Emissionen klimaschädlicher Kohlendioxid- und Treibhausgas-Emissionen aus der Tierhaltung zu vermindern, ist ein effizienter Energieeinsatz unerlässlich. Voraussetzung hierfür sind einerseits optimale technische und bauliche Lösungen und andererseits auch ein abgestimmtes betriebliches Management. Eine Verringerung des Primärenergiebedarfs erleichtert zudem die Umstellung der Energieerzeugung und -bereitstellung auf regenerative Energiequellen.

Der größte Anteil der in der Schweinehaltung benötigten Elektroenergie entfällt auf die Stallklimatisierung. Die Lüftungstechnik beansprucht in der Ferkelerzeugung ca. 59 % und in der Mastschweinehaltung ca. 74 % der elektrischen Gesamtenergie. (siehe Abb. 1) Demnach kann durch die Optimierung der Lüftungsanlage ein enormes Einsparpotential erzielt werden.

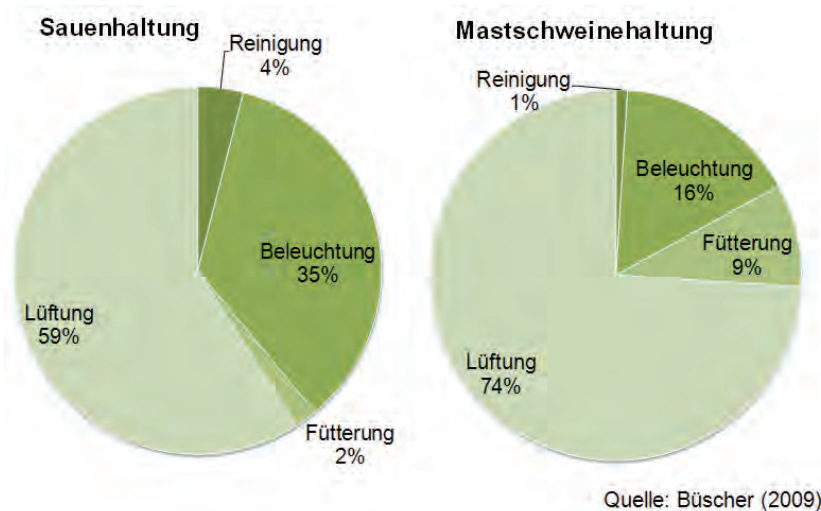


Abb. 1: Anteil der Verbrauchsbereiche am Elektroenergieverbrauch

2 Stand der Technik und Planungshinweise

An die Lüftungstechnik von Stallgebäuden werden besonders hohe technische Anforderungen gestellt, um für die Tiere und die dort arbeitenden Menschen optimale Bedingungen sicherzustellen. Die Lüftungsanlage muss so ausgelegt sein, dass im Winter Wasserdampf (Vermeidung von Kondenswasserbildung) und Schadgase bei minimalen Wärmeverlusten abgeführt werden können. Im Sommer werden dagegen hohe Luftvolumenströme benötigt, um die Ableitung überschüssiger Wärme aus dem Stallraum sicherzustellen. Im Tierbereich darf eine mittlere Luftgeschwindigkeit von 0,2 m/s nicht überschritten werden. Bei hohen Stalltemperaturen im Sommer kann auch eine höhere Luftgeschwindigkeit toleriert werden.

Aus Kosten- und Umweltschutzgründen (gezielte Abfuhr der Schadgase) sind in Schweinställen fast ausschließlich Unterdrucklüftungen in Betrieb. Dabei sollte aus Effizienzgründen gewährleistet sein, dass die Abluftventilatoren bei Unterdruckanlagen die Frischluft nicht unkontrolliert durch Undichtigkeiten in der Gebäudehülle ansaugen.

Zuluftführung



Abb. 2: Zuluftöffnung am Gebäude



Abb. 3: Zuluftkanal im Dachraum

Bei der Zuluftführung sind die Strahl- und Verdrängungslüftung sowie eine Kombination aus beiden Systemen zu unterscheiden.

Bei der **Strahl­lüftung** vermischt sich die durch Wand- oder Deckenventile einströmende Frischluft mit der Raumluft. Dieser physikalische Vorgang wird als Luftinduktion bezeichnet. Je nach Eintrittsgeschwindigkeit und Temperaturdifferenz dringt der Luftstrahl mehr oder weniger tief in den Stallraum ein. Eine deckennahe Luftführung und glatte Oberflächen erhöhen die Eindringtiefe (Coanda-Effekt). Die Regelung der in der Schweinehaltung eingesetzten Wand- oder Deckenventile kann gleichzeitig oder differenziert erfolgen.



Abb. 4: Wandventile



Abb. 5: Deckenventile

Bei der **Verdrängungslüftung** gelangt die Zuluft durch Poren- oder Rieselkanäle/-decken in den Stallraum. Aufgrund ihres modularen Aufbaus sind Poren- bzw. Rieselkanäle/-decken

für fast jeden Stalltyp mit Zwischendecke geeignet. Sie gewährleisten eine gleichmäßige Luftzufuhr in den Tierbereich und stellen gleichzeitig eine kostengünstige Deckenisolierung dar. Als diffuses Zuluftsystem verteilen sie die Frischluft gleichmäßig über die gesamte Stalldecke, ohne dabei die maximal zulässige Luftgeschwindigkeit im Tierbereich zu überschreiten.



Abb. 6: Zuluftführung über Porenkanäle



Abb. 7: Schnitt Porenelement

Um die Vorteile von Strahl- und Verdrängungslüftung zu nutzen, können beide Lüftungssysteme miteinander kombiniert werden. In der Praxis kommen Zuluftkanäle mit perforiertem Boden und seitlichen Zuluftelementen zum Einsatz. Für kleinere Stallabteile ist auch die Futterganglüftung eine gute Alternative. Wird die Zuluft als Unterflurzuluftführung über den Spaltenboden in den Stallgang geleitet, so gelangt sie im Sommer leicht abgekühlt und im Winter leicht angewärmt in die Stallabteile. Da bei der Verdrängungslüftung insgesamt höhere Strömungswiderstände als bei der Strahl- oder bei kombinierten Systemen überwunden werden müssen, ist ihr Energiebedarf tendenziell größer.

Abluftführung

Die Abluftführung in Schweineställen erfolgt je nach umwelt- oder stallspezifischen Anforderungen entweder *zentral* oder *dezentral* mit *Unter- oder Oberflurabsaugung*.

Bei zentraler Abluftführung werden mehrere Stallabteile zentral geregelt, was einen vergleichsweise geringeren anlagentechnischen Aufwand bedeutet als bei dezentralen Regelungssystemen. Bei dezentralen Lüftungsanlagen wird jedes Abteil getrennt geregelt, was v.a. bei größeren Stalleinheiten leichter zu handhaben ist und zu einer zunehmenden Verbreitung in der Praxis führt. Die Höhe der Investitionskosten hängt einerseits von Anzahl und Ausführung der benötigten Einzelkomponenten (Zentralsteuerung, Ventilatorregler, Ventilatoren, Zuluftkanäle, Zuluftelemente, Abluftkanäle und Abluftelemente) und andererseits von Ausstattung und Bedienungskomfort der gesamten Lüftungsanlage ab. Dies führt zu erheblichen Unterschieden hinsichtlich der Anschaffungskosten.

Die Oberflurabsaugung stellt das am weitesten verbreitete Absaugsystem dar. Die Raumluft wird dabei über Deckenventilatoren unmittelbar in den Abluftkamin gesaugt und gelangt

anschließend direkt ins Freie. Bei der Unterflurabsaugung werden Stallluft und Schadgase aus dem Flüssigmist unter dem perforierten Stallboden abgesaugt.



Abb. 8: Zentrale Luftabsaugung



Abb. 9: Dezentrale Abluftführung

Hinsichtlich des Elektroenergieverbrauchs ist die dezentrale Oberflurabsaugung gegenüber anderen Systemen im Vorteil. Eine vergleichbare Lüftungsanlage mit zentraler Oberflurabsaugung benötigt um bis zu 75 Prozent mehr Strom, bei zentraler Unterflurabsaugung sind es sogar bis zu 150 Prozent.

Ventilatorentechnik

Bei Stalllüftungsanlagen in Schweineställen (Niederdruckbereich) kommen fast ausschließlich *Axialventilatoren* (Lufteintritt und -austritt liegen in Richtung der Rotationsachse) zum Einsatz. Axialventilatoren können als *Langsamläufer* mit ca. 900 Umdrehungen pro Minute oder als *Schnellläufer* mit etwa 1.400 Umdrehungen pro Minute ausgeführt sein. Schnellläufer haben gegenüber Langsamläufern den Vorteil, dass sie druckstabiler arbeiten. Beide Bauarten können sowohl mit Wechsel- als auch mit Drehstrommotoren betrieben werden. Schnellläufer werden in Anlagen mit höherem Strömungswiderstand und Langsamläufer in Anlagen mit geringem Strömungswiderstand (bis ca. 60 Pa) eingebaut. Bei höherem Leistungsbedarf kommen Drehstrommotoren zum Einsatz, bei geringerem Leistungsbedarf eher Wechselstrommotoren. Ventilatoren, die mit 400 Volt betrieben werden, besitzen zwar einen größeren Wirkungsgrad, sind jedoch in der Anschaffung teurer als Anlagen mit 230 Volt.

Durch den Einsatz von Energiesparventilatoren können im abgeregelten Bereich Einsparpotentiale von 50 Prozent und mehr realisiert werden. Ihre Anschaffung verursacht zwar höhere Kosten, diese amortisieren sich aufgrund der niedrigeren Betriebskosten aber innerhalb von 3 bis 5 Jahren.

Regelungstechnik

Die Regelung der Lüftungsanlage kann durch unterschiedliche Methoden erfolgen, wobei diese durch unterschiedliche Stromaufnahmen im Teillastbereich gekennzeichnet sind.

- *Phasenanschnittsteuerung*
- *Transformator*
- *Frequenzsteuerung*
- *EC-Technik*



Abb. 10: Lüftungsregelung - Lüftungscomputer

Bei der **Phasenanschnittsteuerung** wird die Ventilatorenleistung durch eine verzögerte Schaltung gedrosselt. Diese erfolgt mittels eines Triacs nach dem Nulldurchgang des sinusförmigen Spannungsverlaufs bei Wechselspannung. Ein entscheidender Vorteil dieser Regelungstechnik liegt in den sehr geringen Investitionskosten, der Wirkungsgrad im Teillastbereich ist jedoch äußerst ineffizient.

Ein **Transformator** regelt die Höhe der Wechselspannung dadurch, dass er die maximale Auslenkung der Sinuskurve verändert. Im Vergleich zur Phasenanschnittsteuerung weist die Traforegelung eine um ca. 10 bis 15 Prozent geringere Stromaufnahme auf und verfügt über ein höheres Drehmoment im unteren Drehzahlbereich. Allerdings liegt ein erheblicher Nachteil des Transformators darin, dass die Anpassung der Leistung in Stufen erfolgt.

Bei der **Frequenzsteuerung** wird die Wechselstromspannung sowohl in ihrer Amplitude als auch in ihrer Frequenz verändert. Ein Gleichrichter speist in einen Gleichstrom-Zwischenkreis ein. Aus dem Gleichstrom des Zwischenkreises erzeugt ein eingebauter Wechselrichter eine pulsweitenmodulierte Spannung, mit der in der Regel ein nachgeschalteter Drehstrommotor betrieben wird. Von Nachteil sind die um ca. fünfmal so hohen Anschaffungskosten eines Frequenzumrichters im Vergleich zu entsprechenden mechanischen Schaltungen. Die dadurch entstehenden Mehrkosten amortisieren sich jedoch aufgrund einer um bis zu 40 Prozent reduzierten Stromaufnahme im Teillastbereich innerhalb einer angemessenen Frist. Außerdem reagiert die Frequenzsteuerung empfindlich auf Spannungsschwankungen im Stromnetz. Die Vorteile der Frequenzsteuerung liegen dagegen in ihrer exakten, stufenlosen Regelung und der Einsatzmöglichkeit als Einzel- oder Gruppensteuerung von Ventilatoren.

Das Funktionsprinzip der **EC-Motoren** (elektronisch kommutierte Motoren) basiert auf einem mit Permanentmagneten versehenen Läufer. Im laufenden Betrieb ermittelt ein Sensor die jeweilige Lage des Läufers und schaltet mittels elektronischer Steuerung das Magnetfeld entsprechend. Zur Stromübertragung auf den Kommutator werden keine Bürsten benötigt. Die Energieaufnahme von EC-Motoren ist im Vergleich zu Motoren mit Frequenzsteuerung um 5 Prozent geringer. Außerdem zeichnet sich die EC-Technik durch hohe Systemwirkungsgrade, konstante Drehmomente und vollständige Regelbarkeit aus. Die Investitionskosten sind allerdings aufgrund der Einzelsteuerung der Ventilatoren (Mehrpreis 200 bis 250 Euro pro Ventilator) im Gegensatz zu frequenzgeregelten Anlagen mit Gruppensteuerung höher. Da bei größeren Ventilatoren das Energieeinsparpotential im Verhältnis zu den hohen Investitionskosten größer ist, amortisiert sich deren Anschaffung in der Regel früher.

In der *Tabelle Regelungstechnik* wurden die verschiedenen Regelungstechniken für Axialventilatoren vergleichend bewertet.

Tab. 1: Vergleich verschiedener Regelungsverfahren

Regelungstechnik				
	Wirkungsgrad unter Teillast	Regelbarkeit	Investitionskosten	Stromverbrauch
Phasenanschnittsteuerung	-	0	++	-
Transformator	+	-*	+	0
Frequenzsteuerung	+	++	0	+
EC-Technik	++	++	-	++
++ = sehr niedrig/gut + = niedrig/gut 0 = durchschnittlich - = hoch/ungünstig * nur in Stufen möglich				

3 Strom sparende Maßnahmen und Einsparpotential

Durch folgende Maßnahmen lässt sich bei der Lüftung der Elektroenergiebedarf vermindern:

- *Bauliche Maßnahmen*
- *Technische Maßnahmen*
- *Betriebliches Management*
- *Einsatz von Wärmerückgewinnungssystemen*

Bauliche Maßnahmen

- *strömungstechnisch günstige Gestaltung der Zu- und Abluftführung*

Da der Luftdurchsatz von Ventilatoren durch Strömungswiderstände abgesenkt wird, erhöhen sich dadurch der Energieverbrauch und die Stromkosten für den Luftwechsel. Der spezifische Volumenstrom [m³/h] wird durch die Gestaltung der Abluftrohre erheblich beeinflusst: Bei der ungünstigsten Variante (Abluftrohr mit Weitwurfdüse oder Abdeckhaube)

verringert sich der spezifische Volumenstrom auf bis zu 70 Prozent im Vergleich zum typischen, runden Abluftrohr (entspricht 100 %). Die spezifische Leistungsaufnahme [W/1.000 m³ h⁻¹] steigt dabei auf über 140 Prozent an. Bei den strömungstechnisch günstigsten Lösungen (Abluftrohr mit Anströmdüse und Diffusor) kann der spezifische Volumenstrom dagegen auf 135 Prozent gesteigert bzw. die spezifische Leistungsaufnahme auf nahezu 75 Prozent reduziert werden.



Abb. 11: Runde Abluftkamine



Abb. 12: Abluftkamine mit Abdeckhaube bzw. Diffusor

- *Dämmung und Abdichtung der Gebäudeteile*

Durch fachgerechte Dämmung und Abdichtung der Stallgebäude und des Dachraums lassen sich Wärmeverluste im Winter und eine starke Zuluftanwärmung im Sommer vermeiden. Dadurch reduziert sich der Heizenergiebedarf und die Lüftungsregelung wird nicht durch unkontrollierten Lufteintritt aufgrund von Undichtigkeiten erschwert.

Technische Maßnahmen

- *richtige Dimensionierung von Lüftungsanlagen und Gruppenschaltung von Ventilatoren*

Bei Zentralabsaugung können Ventilatoren mit größeren Durchmessern und entsprechend höherem Wirkungsgrad eingebaut werden. Diese ermöglichen vergleichsweise hohe Volumenströme bei geringeren Druckdifferenzen als kleinere Axialventilatoren. Die Wirkungsgrade sind je nach Größe und Bauart, sehr unterschiedlich. Durch Gruppenschaltung von Ventilatoren kann der Energiebedarf optimiert werden.

- *Einsatz frequenzgesteuerter Regelsysteme oder EC-Ventilatoren*

Im abgeregelten Leistungsbereich benötigen frequenzgesteuerte und EC-Ventilatoren mit elektronisch geregelter Gleichstrommotor im Vergleich zu herkömmlichen Ventilatoren mit Phasenanschnittsteuerung deutlich weniger Strom.

- *optimale Auslegung der Steuerung*

In Abferkelställen verursacht die Lüftung im Winter bis zu 85 Prozent der gesamten Wärmeverluste. Durch eine optimal an die Lüftungsrate angepasste Regelung werden der Heizbedarf reduziert und Temperaturschwankungen im Stall auf ein Minimum begrenzt. Durch den Einsatz von Klimacomputern werden sowohl Zentralabsaugungsanlagen als auch Abteile mit Einzelabsaugung geregelt. Bei der Zentralabsaugung werden der Grundlastventilator anhand des vom Computer berechneten Gesamtvolumenstroms geregelt und nach Bedarf weitere Ventilatoren zugeschaltet.

Bei Neu- und Ersatzinvestitionen einzelner technischer Komponenten sollte der spezifische Energieverbrauch der Einzelkomponenten berücksichtigt werden.

Betriebliches Management

- *Regelmäßige Reinigung, Wartung und Überprüfung der Lüftungsanlage einschließlich der Temperaturfühler*

Mindestens zweimal pro Jahr sollte eine Überprüfung der Lüftungsanlage erfolgen. Dabei müssen die Temperaturfühler ggf. kalibriert und alle Regler optimal eingestellt werden. Durch regelmäßige Reinigung aller Zu- und Abluftkanäle, -ventilatoren und Lüftungsklappen lassen sich unnötige, von der Lüftungsanlage auszugleichende Druckverluste, die zu einer Erhöhung des Stromverbrauchs führen, vermeiden.



Abb. 13: Zu kleine, verschmutzte Zuluftkanäle und verstopfte Porenplatten erhöhen neben der Staubbelastung den Energieverbrauch der Lüftungsanlage.

- *Anpassung der Klimasollwerte an jahreszeitliche Luftwechselschwankungen und die Wachstumskurve der eingestellten Tiere*

Um einerseits Zugluft zu vermeiden, andererseits aber ausreichend hohen Luftwechsel bei hohen Stalltemperaturen im Sommer zu gewährleisten, müssen die Klimasollwerte regelmäßig überprüft und ggf. geändert werden.

Einsatz Wärmerückgewinnungssystemen

- *Einbau von Luft-Luft- oder Erdwärmetauschern*

Durch den Einsatz von *Luft-Luft-Wärmetauschern* oder *Erdwärmetauschern* kann der Heizenergieverbrauch in der kühlen Jahreszeit deutlich reduziert werden.

Die Rentabilität ist von der Höhe des entstehenden Druckverlustes und den Anschaffungskosten abhängig. Aufgrund stetig steigender Energiepreise und technischen Weiterentwicklungen mit einhergehenden Wirkungsgradsteigerungen kann eine Investition in Wärmerückgewinnungssysteme sowohl ökonomisch als auch ökologisch als vorteilhaft betrachtet werden.

Einsparpotential

Unter Ausschöpfung sämtlicher Strom sparender Maßnahmen lässt sich im Bereich der Lüftung ein Energieeinsparpotential von 20 bis 50 Prozent realisieren.

Modellbetrachtung:

Im Rahmen des LfL-Projektes Energieeffizienz in der Landwirtschaft in Bayern konnte der Stromverbrauch von 1.051 bayerischen Zuchtsauenbetrieben ausgewertet werden.

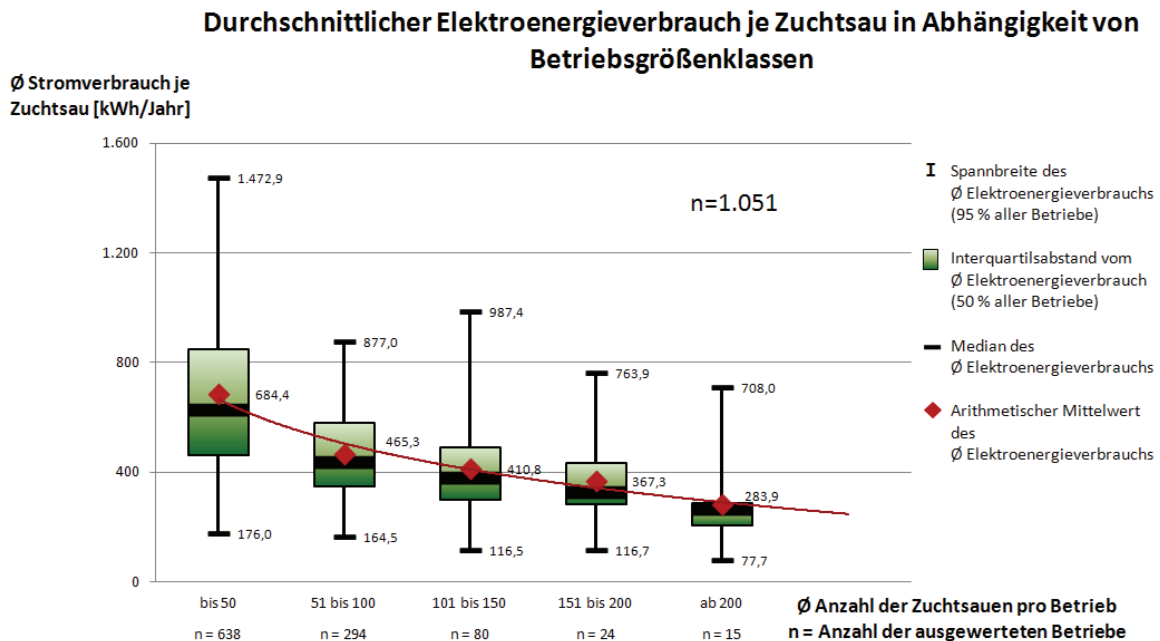


Abb. 14: Elektroenergieverbrauch in Abhängigkeit von der Betriebsgröße

Der durchschnittliche Sauenbestand der ausgewerteten Betriebe lag bei 53,5 Zuchtsauen, der durchschnittliche Gesamtenergiebedarf der Betriebe lag bei ca. 26.600 kWh bzw. bei

500 kWh pro Zuchtsau und Jahr. Bei einem angenommenen Verbrauchsanteil der Stalllüftung von 59 Prozent und einer Verbrauchsminderung um 35 Prozent ergäbe sich somit ein theoretisches Energieeinsparpotential von 175 kWh pro Zuchtsau und Jahr. Bei einer Bestandsgröße von 100 Zuchtsauen könnten demnach theoretisch 17.500 kWh pro Jahr eingespart werden. Bei einem Strompreis von 0,2 €/je kWh (Nutzung von Sondertarifen) entspricht dies einer Reduzierung der Stromkosten um 3.500 €/pro Jahr. Bei 0,22 €/je kWh sind es bereits 3.850 €/pro Jahr.

In *Abb 14* ist der durchschnittliche Elektroenergieverbrauch je Zuchtsau in Abhängigkeit von der Betriebsgröße dargestellt. In der Betriebsgrößenklasse bis 50 Zuchtsauen sind die meisten Betriebe (61%) vertreten. Betriebe mit über 100 Zuchtsauen machen nur einen Anteil von 9 % aus. Die Streubreite der Energieabnahme innerhalb der einzelnen Betriebsgruppen ist enorm hoch. Die Spannbreite des Stromverbrauchs bei den unter 50 Zuchtsauen haltenden Betrieben ist am größten. Der durchschnittliche Stromverbrauch liegt zum Beispiel in der Betriebsgrößengruppe bis 50 Zuchtsauen bei über 680 kWh/ZS/Jahr, der Minimalwert bei 176 kWh/ZS/Jahr, der Maximalwert bei 1473 kWh/ZS/Jahr. Mit steigender Betriebsgröße nimmt der durchschnittliche Elektroenergieverbrauch je Zuchtsau bei Betrieben mit mehr als 200 Zuchtsauen auf 285 kWh/ZS/Jahr ab.

Datengrundlage für die in *Abb. 15* berechnete mögliche Kosteneinsparung bei unterschiedlichen Betriebsgrößen und Strompreisen ist ebenfalls der Verbrauchsanteil der Stalllüftung von 59 Prozent bei einer Verbrauchsminderung um 35 Prozent und der durchschnittliche Elektroenergieverbrauch je Zuchtsau in Abhängigkeit von der Betriebsgröße aus *Abb. 14*. Es lässt sich feststellen, dass mit zunehmender Größe der Schweinebestände und steigenden Energiekosten die Stromkosteneinsparung deutlich zunimmt.

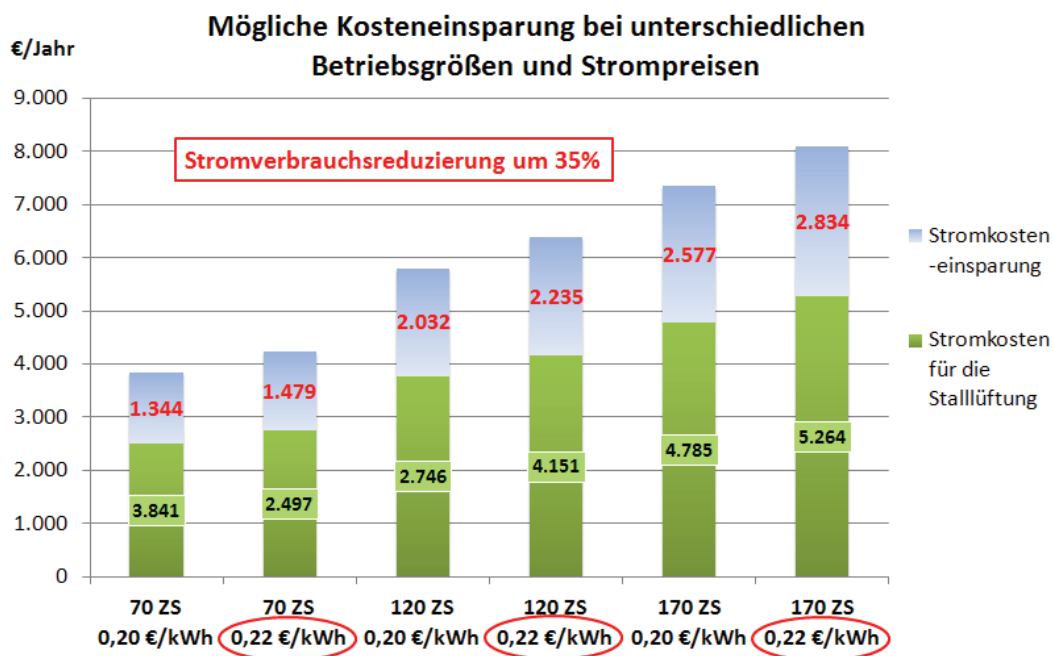


Abb. 15: Modellbetrachtung – Kosteneinsparung bei einer Stromverbrauchsreduzierung für die Lüftung

Um die Rentabilität Energie sparender baulicher und technischer Maßnahmen im Einzelfall zu prüfen, müssen jedoch die daraus entstehenden zusätzlichen Investitions- und Wartungskosten gegengerechnet werden.

4 Fazit

Ein Hauptansatz für Energieeinsparungsmöglichkeiten in schweinehaltenden Betrieben liegt im Bereich Lüftung.

Durch strömungstechnisch günstige Gestaltung der Luftführung und optimale Dimensionierung der Lüftungsanlage sowie durch moderne Regelungstechnik wie Frequenzregelung und EC-Technik lässt sich der Stromverbrauch erheblich reduzieren.

Bei Neu- und Ersatzinvestitionen sollte insbesondere der spezifische Energieverbrauch der einzelnen Komponenten berücksichtigt werden.

Literatur:

Dönselmann-Theile, H. (2007): Genug Frischluft für den Schweinestall, hdt Anlagenbau GmbH & Co. KG, Diepholz.

Fachverband Gebäude-Klima e.V. (2011): FGK Statusreport 10, Regenerative Energien in der Klima- und Lüftungstechnik, Bietigheim-Bissingen.

Neiber, J. (2012): Vortrag in Schwäbisch Gmünd, „Energieeffizienz in der Landwirtschaft, Energiebedarf landwirtschaftlicher Produktionsverfahren“, LfL Freising.

Neiber, J. und Nesper, S. (2011): Die Lüftungstechnik, die Energie spart, Landwirt Heft 2/2011, S. 18-20, LfL Freising.

Sächsisches Landeskuratorium Ländlicher Raum e.V.(2008): Ratgeber für Stallklimatisierung, Nebelschütz OT Miltitz.

Impressum

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan
Internet: www.LfL.bayern.de

Redaktion: Institut für Landtechnik und Tierhaltung
Vöttinger Str. 36, 85356 Freising-Weihenstephan
E-Mail: TierundTechnik@LfL.bayern.de
Telefon: 08161/71-3450

Text: Bonkoß, K.; Neiber, S.; Nesper, S

1. Auflage: September 2012

Druck: Druckerei Lerchl, 85354 Freising

Schutzgebühr: 1,00 Euro

© LfL