

Energiesparen und Emissionsminderung in landwirtschaftlichen Betrieben (Möglichkeiten zur rationellen Energienutzung und zur Minderung der Emissionen klimarelevanter Spurengase landwirtschaftlicher Betriebe)

ZUSAMMENFASSUNG

1. Einleitung

In der vorliegenden Studie werden Möglichkeiten zur Emissionsverminderung und Senkung des Energieverbrauches analysiert und bewertet. Die Ergebnisse der Studie werden in drei sich ergänzenden Unterlagen dokumentiert:

1. Das **Faltblatt** dient im wesentlichen dazu, auf die Problematik hinzuweisen und auf das kompetente Beratungsangebot aufmerksam zu machen.
2. Mittels der umfassenden **Checkliste** ist es dem versierten Landwirt und Allgemeinberater möglich, den Betrieb nach energetischen Gesichtspunkt zu durchleuchten, um mögliche „Energie-Schwachpunkte“ aufzuzeigen.
3. In der vorliegenden **Broschüre** werden Möglichkeiten zur Emissionsverminderung und Senkung des Energieverbrauches analysiert und bewertet. Die aufgeführten Kennzahlen helfen bei der Beurteilung des Einzelbetriebes.

Bei den Arbeiten im Rahmen der Studie wurde von der Prämisse ausgegangen, daß Sparen nach wie vor die „wichtigste Energiequelle“ ist. Fragebogen, Checkliste und Broschüre bauen daher auf den nachfolgenden Grundsätzen auf:

- Aufdecken energetischer Schwachstellen durch systematische Analyse des Einzelbetriebes;
- Optimierung der Wärmedämmung in allen beheizten Bereichen;
- Einsatz intelligenter Regelungstechnik überall dort, wo dies möglich ist;
- Verwendung energiesparender Technik bei Neuanschaffungen.

An der Studie waren eine Vielzahl von Experten unterschiedlicher Institutionen beteiligt. Von Beginn an wurde eng mit dem Umweltbundesamt zusammengearbeitet, ohne dessen finanzielle Förderung das Vorhaben nicht hätte realisiert werden können. Besonderer Dank gilt dem Umweltbundesamt auch dafür, daß bei der gemeinsamen Arbeit die Rahmenbedingungen praktischer Landwirtschaft stets berücksichtigt wurden. Dadurch ist es gelungen, konstruktive Lösungsansätze zur Emissionsminderung und Energie-/kostensenkung in der Landwirtschaft aufzuzeigen. Die Hauptautoren der einzelnen Kapitel der vorliegenden Broschüre sind: Von der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein die Herren Eggersgluß (Grundlagen der Energienutzung) und Holz (Energieeinsparung in der Außenwirtschaft) sowie von der Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe die Herren Kuhn (Kapitel Bauphysik und Stallklima), Dr. Matthias (Getreidelagerung und Aufbereitung sowie Kartoffellagerung) sowie Dr. Cielejewski (Fütterung von Rindvieh und Energieeinsatz in der Milchproduktion). Die grundsätzliche Verantwortung für die fachliche Richtigkeit sowie die inhaltliche Gestaltung der

Broschüre, der Checkliste sowie des Faltblattes übernehmen die Herren Dr. Ratschow und Dr. Traulsen.

2. Grundlagen der Energienutzung

Die im landwirtschaftlichen Bereich vorwiegend genutzten Energieträger sind die fossilen Rohstoffe Heizöl, Flüssig- und Erdgas. Nachwachsende Rohstoffe werden - mit Ausnahme von Restholz - wegen hoher Kosten für die Anlagentechnik bisher kaum eingesetzt.

Ein Vergleich verschiedener Energieträger zeigt eine klare Überlegenheit von Erdgas gegenüber Heizöl bezüglich der entstehenden Emissionen. Aber auch Holz kann mit neuer Technik auf einem ähnlichen Emissionsniveau wie Heizöl verwertet werden.

Für die Gewinnung von Energie aus Öl und Gas sind im Bereich der Kesseltechnik verschiedene Faktoren für ein optimales und damit energiesparendes Funktionieren verantwortlich. Diese reichen von der Verwendung der auf den jeweiligen Energieträger abgestimmten Spezialkessel über eine bedarfsgerechte Regeltechnik sowie Verwendung von Anlagen, die nicht älter als 10 Jahre sein sollten. Eine optimale Aufbereitung des Brennstoffs wird durch Gebläsebrenner bzw. gebläseunterstützte Brenner erreicht.

Energieverluste in Verbrennungsanlagen können durch Abgas- und Betriebsbereitschaftsverluste entstehen. Abgasverluste lassen sich durch das richtige Zusammenspiel der verschiedenen Komponenten einer Heizanlage (Brenner, Kessel, Schornstein, Brennereinstellung, Kesselverschmutzung) minimieren. Betriebsbereitschaftsverluste können durch Oberflächen- und Auskühlungsverluste entstehen. Beide lassen sich u. a. durch eine niedrige Kesseltemperatur und eine Verringerung der Betriebsbereitschaftszeiten vermindern. Grundsätzlich vermindert eine optimale Dimensionierung des Kessels weitere Verluste. Die Anforderungen bezüglich Emissionen und Energieverlusten an Anlagen dieser Art sind in der Verordnung über Kleinfeuerungsanlagen (1. BimSchVO) festgelegt.

Einen Nutzungsgrad von über 100% läßt sich mit Hilfe von Brennwertgeräten erreichen, die durch freiwerdende Kondensationswärme 5-15% Brennstoffeinsparung gegenüber Niedertemperaturkesseln ermöglichen. Dazu sind allerdings spezielle Schornsteine notwendig.

Holz kann in Form von Stückholz oder Hackschnitzeln verfeuert werden. Beim Bau und Betrieb von Anlagen mit Feststofffeuerung müssen ebenso wie bei Öl- oder Gaskesseln bestimmte Anforderungen erfüllt werden, die in der 1. BimSchVO festgelegt sind.

Durch technische Neuerungen können Stückholzkessel (Unterbrandkessel bzw. Sturzbrandkessel) heute die aktuellen Emissionsvorschriften erfüllen. Hackschnitzelfeuerungsanlagen arbeiten nach dem Stoker - oder Vorofenprinzip und ermöglichen einen vollautomatischen Betrieb. Eine Kombination von Feststoffkesseln mit Öl- oder Gaskesseln ist unter bestimmten Voraussetzungen möglich.

Als wichtiger Bestandteil einer Heizungsanlage müssen bei einer Anlageumstellung oder -modernisierung vorhandene Schornsteine auf ihre weitere Benutzbarkeit überprüft werden. Anpassungen können durch Einbau von Keramik- oder Edelstahlrohren und Zugbegrenzern sowie über eine Querschnittsverringering vorgenommen werden.

Die produzierte Wärme gelangt über Heizkörper in die Innenräume. Den höchsten Nutzungsgrad für die Wärmeabgabe in den Raum erreichen Niedertemperaturkessel und Brennwertgeräte bei Verwendung sehr großer Heizkörper bzw. Fußbodenheizung.

Die Regelung der Raumtemperatur erfolgt durch Thermostatventile an den Heizkörpern. Neuanlagen müssen per Gesetz mit Thermostatventilen ausgerüstet werden. Auch bei alten Anlagen lohnt sich

die Nachrüstung und ist im Normalfall leicht durchführbar. Die richtige Anbringung und Einstellung sorgt für eine hohe Regelgenauigkeit.

Bei zusätzlichem Heizbedarf können z. B. Direkt-Heizgeräte, Heizkamine, Kaminöfen oder Kachelöfen verwendet werden. Der Nachteil von Direkt-Heizgeräten liegt in dem im Vergleich zu Öl und Gas bis zu dreifach höherem Energieverbrauch und damit höheren ökologischen und ökonomischen Kosten. Heizkamine, Kaminöfen und Kachelöfen werden hauptsächlich mit dem erneuerbaren Energieträger Holz betrieben und reduzieren den Einsatz der fossilen Energieträger Öl und Gas. Der Nachteil von Holz liegt in der höheren Emissionsbelastung und einer durch die niedrigere Schornsteinhöhe dieser Anlagen bedingten eventuellen Belästigung der Nachbarschaft. Durch richtige Leistungsdimensionierung und richtige Auswahl des Brennstoffes kann eine gute Brennstoffausnutzung bei Zusatzheizungen erreicht werden.

Der Energieverbrauch für Raumheizungen läßt sich durch eine Vielzahl von Maßnahmen senken. Neben einer entsprechenden Dämmung der Gebäude und Einsatz energiesparender Technik läßt sich der Brennstoffverbrauch auch mit einfachen Mitteln senken (z. B. richtige Verwendung von Thermostatventilen, Kessel- und Vorlauftemperaturen durch Außentemperaturregelung anpassen, Fenster und Türen abdichten, zusätzliche Wärmedämmung in Heizkörpernischen).

Für die Warmwasserbereitung werden zentrale und dezentrale Systeme unterschieden. Zentrale Systeme sind meist an die Heizanlage gekoppelt, dezentrale Geräte haben einen eigenen Anschluß. Die Entfernungen zwischen dem Warmwasserspeicher und den Endverbrauchern sollten kurz sein, um Heizenergie und Pumpenstrom zu sparen. Ist aufgrund längerer Entfernungen eine Zirkulationsleitung erforderlich, muß auf eine gute Rohrdämmung geachtet werden, um Wärmeverluste zu vermeiden.

Bei der Herstellung von Strom in herkömmlichen Dampfkraftwerken kommt etwa nur ein Drittel der Brennstoffenergie in Form von elektrischem Strom beim Verbraucher an. Sowohl im landwirtschaftlichen Betrieb als auch im Haushalt ist die Verwendung von Strom allgegenwärtig geworden. Gerade im Haushaltsbereich kann Strom durch einfach durchzuführende Maßnahmen eingespart werden (wie z. B. Verwendung von Energiespargeräten und -leuchten, nur volle Waschmaschinen und Geschirrspüler in Gang setzen, Wäsche auf der Leine trocknen statt im Wäschetrockner).

Der Strombedarf im Betrieb richtet sich nach dem Betriebstyp. Am stromintensivsten sind die Sauenhaltung und die Rindviehhaltung, Schweinemast- und Ackerbaubetriebe haben einen geringeren Strombedarf.

In der Sauenhaltung verbraucht die Klimatisierung des Ferkelbereichs die meiste Energie. Zur rationalen Energieanwendung sollte im Abferkelbereich eine Zonenheizung für die Ferkel eingesetzt werden. Durch die Beheizung der Ferkelnester mit einer elektrisch bzw. warmwasserbetriebenen Fußbodenheizung kann der Strombedarf wesentlich verringert werden. Zwar ist der Einbau von elektrischen Fußbodenheizungen kostengünstiger als der von Warmwasserheizsystemen, aber die reinen Energiekosten sind bei strombetriebenen Heizungen ca. 3 mal so hoch wie bei Öl- oder gasbefeuerten Warmwasserheizungen.

In der Rindviehhaltung kann die Stromrechnung u. a. dadurch verringert werden, indem die Leistungsmessung und Abrechnung nicht nach Leistungsspitze erfolgt. In der Schweinemast hat die Stallklimatisierung den größten Anteil am Strombedarf. Durch eine optimale Regelung, den Einsatz stromsparender Lüfter und die regelmäßige Reinigung der Ventilatoren bestehen Möglichkeiten zur Stromeinsparung. Bei Ackerbaubetrieben verteilt sich der Strombedarf ungleichmäßig über das Jahr. Während im Winter nur wenig Strom verbraucht wird, kann der Bedarf im Sommer z. B. durch Getreidetrocknung oder Beregnungsanlagen kurzzeitig auf hohe Leistungswerte ansteigen.

Unter bestimmten Voraussetzungen lohnt sich für den Landwirt die Anschaffung eines eigenen Block-Heiz-Kraft-Werkes (BHKW). Die Eigenstromerzeugung kann sich aufgrund des gleichmäßigen

Strombedarfs für Ferkelerzeuger und Schweinemäster, aber auch für Gartenbaubetriebe mit Gewächshäusern lohnen. BHKW's können mit Heizöl, Erd- oder Flüssiggas, Biogas oder Rapsöl betrieben werden. Die entstehende Wärme im Kühlwasser und im Abgas sollte zur Wärmeversorgung von Stall und Wohnhaus genutzt werden können. Für den Bau und Betrieb eines Block-Heiz-Kraft-Werkes müssen eine Vielzahl von Gesetzen und Verordnungen beachtet werden.

3. Bauphysik

Beim Neu- oder Umbau von Gebäuden, die beheizt oder gekühlt werden sollen, müssen zur Vermeidung von Energieverlusten bestimmte Auflagen erfüllt werden. Im Rahmen des Energieeinsparungsgesetzes (EnEG) regeln die Wärmeschutzverordnung (WSVO) und die Heizungsanlagen-Verordnung (HeizAnlVO) die Anforderungen an den Wärmeschutz. Zur Beurteilung der Heizenergieverluste stehen zwei Bewertungsverfahren zur Verfügung, deren Wahl freigestellt ist:

1. Das Bauteilverfahren: hier dürfen einzelne Bauteile einen bestimmten k-Wert nicht überschreiten
2. Das Wärmebilanzverfahren: ein bestimmter Jahresheizwärmebedarf für das gesamte Gebäude darf nicht überschritten werden (übliches Verfahren).

Der Jahreswärmebedarf eines Gebäudes errechnet sich aus Transmissions- (d. h. Wärmeverluste über die Außenhülle eines Gebäudes) und Lüftungsverlusten sowie solaren und internen Wärmege winnen. Dabei verursachen Fenster und Türen trotz ihres relativ geringen Anteils an der Außenfläche eines Gebäudes einen Transmissionsverlust von fast 1/3 des Gesamtheizungsenergieverlustes. Die Gebäudeaußenwand trägt dagegen nur zu 1/5 zu den Energieverlusten bei. Eine Verbesserung der Wärmedämmung bei Fenstern und Türen ist deshalb ein vorrangiges Ziel zur Verminderung von Energieverlusten. Als Maßstab für Energieverluste durch Transmission dient der k-Wert [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$], der den Wärmeverlust eines Bauteils pro m^2 Oberfläche und 1 K Temperaturdifferenz „Innen-Außen“ beschreibt. Für Neubauten wird von den Energieberatungsverbänden ein k-Wert von 0,60 bis $0,35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ vorgegeben, obwohl ein k-Wert bis $0,90 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ gesetzlich erlaubt ist.

Eine Fensterisolierung kann durch die Verwendung von Zweifach-Isolierglas, Wärmeschutzglas oder Dreifachverglasung vorgenommen werden. Die Zweifachverglasung ist die kostengünstigste Möglichkeit, Wärmeschutzglas ist ab einer Fenstergröße von über 5 m^2 sinnvoll. Bei Neubauten leistet die Anordnung und Größenausführung der Fenster unter Beachtung der Himmelsrichtungen einen zusätzlichen Beitrag zur Energieeinsparung.

Zur Vermeidung von Wärmeverlusten durch Türen können diese mit Mehrfachfalzdichtungen ausgestattet werden. Mit Verwendung von Metallverbundtüren, Isolierverglasung oder Verbundfenstertüren kann ein weiterer Dämmeffekt erreicht werden.

Um Wärmeverluste durch die Wände eines Gebäudes herabzusetzen, kann eine Wanddämmung in Form einer Außenwand- oder Innenwanddämmung vorgenommen werden. Steigende Bedeutung für die Außenwanddämmung von Gebäuden hat die zweischalige Außenwand. Diese besteht aus der tragenden Innenwand aus festen Steinen und der davorgesetzten Verblendschale. Dazwischen befindet sich eine Dämmschicht, die eine Luftschicht aufweisen oder als luftschichtlose Platte verarbeitet werden kann. Aus Kostengründen und wegen der einfacheren Verarbeitung hat sich die Verwendung der luftschichtlosen Dämmung durchgesetzt. Neben Mineralwollfilzmatten und Schaumstoffdämmplatten gibt es Dämmungen aus Hartschaumplatten, Leichtbauschüttungen aus aufgeblähten Materialien, Kork-, Papier- und Wollpreßplatten oder verblasener Mineralwolle.

Eine andere Möglichkeit zur Außenwanddämmung ist das Aufbringen eines als „Thermohaut“ bezeichneten Dämmputzes. Er wird in mehreren Schritten auf das Rohmauerwerk aufgelegt und kann,

wie andere Putze auch, gestrichen werden. Die Thermohaut eignet sich auch gut für die Sanierung von Altbauten, wobei hier ein eventuell vorhandener alter Putz vor dem Aufbringen des Dämmputzes entfernt werden muß. Für Gebäude mit hoher innerer Feuchte, wie Stallungen, ist Dämmputz nicht zu empfehlen.

Eine preisgünstige Alternative zur Außenwanddämmung stellt die Innenwanddämmung dar. Sie kann einfach und ohne Fachkenntnisse angebracht werden, indem Hölzer auf die vorhandene Mauerwand gesetzt werden, der Zwischenraum mit Dämmplatten aus Hartschaum- oder Mineralwollplatten ausgefüllt, eine Dampfsperre eingebaut und anschließend eine Innenverkleidung aufgesetzt wird. Nachteile der Innenwanddämmung sind ein geringfügiger Verlust an Wohnfläche, der Verlust der wärme-speichernden Baumasse sowie die geringe Stabilität der Innenwand.

Decken werden als Wärmeabschluß eines Gebäudes ebenfalls mit einer Wärmedämmung versehen. Dies kann bei Neubauten durch einen Dämmestrich auf der letzten Betonfläche in Form eines schwimmenden Estrichs geschehen. Für Holzbalkendecken bestehen andere Alternativen. Entweder wird eine zweite Laufschrift mit dazwischenliegender Dämmung aufgebracht oder die vorhandenen Dielenbretter werden aufgenommen und der Zwischenraum der Holzbalken mit Dämmmaterialien wie Blähton oder Lava aufgefüllt. Der Vorteil dieser Dämmungen besteht in ihrem geringen Gewicht und ihrer Widerstandsfähigkeit gegenüber Nagetieren.

Dachböden können sowohl in Neu- als auch in Altbauten relativ einfach und kostensparend gedämmt werden. Geeignete Materialien sind Hartschaumdämmungsplatten, Mineralwolle-Rollfilzmatten und Glasschaumplatten, die in den Sparrenzwischenräumen angebracht werden. Verkleidungen aus Gipskartonplatten, Holzvertäfelungen oder Putzträgerplatten bilden den inneren Raumabschluß.

Eine Dämmung des Kellerbereiches kann durch einen Dämmestrich der Kellersohle und/oder durch eine Perimeterdämmung der Kelleraußenwände erreicht werden. Perimeterdämmplatten sind Hartschaumplatten mit doppelwandiger Kaschierung, hoher mechanischer Festigkeit und guten Wärmedämmeigenschaften. Eine nachträgliche Perimeterdämmung von Altbauten ist möglich, indem die Kellerwände abschnittsweise freigelegt werden. Bei fehlendem Keller sollte eine besonders gute Dämmung zum Erdreich vorgenommen werden. Eine nachträgliche Dämmung des Fußbodens ist bei fehlendem Keller sehr kostenintensiv und lohnt sich nur im Rahmen einer geplanten Renovierung der Fußbodenbeläge. Besteht ein Zwischenraum bzw. ein Kriechkeller zwischen Erde und Fußbodenplatte, kann dieser mit Glasasche, Lavabruch oder Glasschaumplatten aufgefüllt werden. Zu beachten ist, daß das verwendete Dämmmaterial nicht feuchtigkeitsführend sein darf.

Unter Kosten-Nutzen Gesichtspunkten ergibt sich für Dämmmaßnahmen folgende Reihenfolge:

1. Einbau von Isolierglasfenstern und -türen
2. Dämmung von Dachschrägen- und -fußboden
3. Außenwandinnendämmung
4. Außenwandverfüllung bei vorhandener Luftschicht
5. Kelleraußenwanddämmung mit Perimeterdämmung
6. Fußbodendämmung bei fehlendem Keller
7. Außenverblendung mit Kerndämmung

Bezogen sowohl auf die Energieeinsparung als auch auf die aufzuwendenden Kosten ist der Einbau von Isolierglasfenstern gegenüber der Anbringung einer Außenwanddämmung die günstigste Alternative.

Die WSVO trifft auch auf Neubauten im Stallbereich zu, die beheizt werden sollen (z. B. Schweine- und Geflügelhaltung). Heute übliche Stallungen werden, ebenso wie Wohnhäuser, in zweischaliger Bauform ausgeführt. In der Praxis haben sich k -Werte von $0,60 - 0,50 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ bewährt.

Auch für den Stallbereich ist eine Dämmung von Fenstern, Türen und vor allem Decken am effektivsten.

Fenster sollten sowohl bei Neubauten als auch bei Altbauten in isolierverglaster Ausführung eingebaut bzw. erneuert werden. Türen sollten dichtschießend sein und besonders ins Freie führende Türen sollten wärme gedämmt sein.

Ist eine Wanddämmung dennoch erforderlich, sollte diese auf der Außenseite erfolgen, um die Wärmespeicherfähigkeit der Wände nutzen zu können. Die Art der Dämmung hängt von der Bauweise des Mauerwerks ab (Luftschicht- oder luftschichtlose Bauweise). Seit der Einführung von Kerndämmplatten (aus hydrophobierten, d. h. wasserdampfundurchlässigen Mineralwoll- oder Polystyrolprodukten) hat sich die luftschichtlose Bauweise durchgesetzt, da sie sowohl dünnere Außenwände des Gebäudes als auch dünnere Kanalaußenwände der Flüssigmistkanäle erlaubt und damit Baukosten eingespart werden können.

Soll eine nachträgliche Dämmung der Stallwand angebracht werden, kann dies bei zweischaliger Bauform mit Luftschicht relativ einfach und kostengünstig durchgeführt werden, sofern die Luftschicht eine Mindeststärke von 5 mm hat. Die Luftschicht wird mit einer Schüttdämmung aus aufgeblähter Lava oder Ton aufgefüllt oder verblasen. Bei einschaliger Bauform wird zunächst eine Dämmung aufgebracht und anschließend verblendet. Eine nachträgliche Außenverblendung ist allerdings sehr teuer.

Bei ausreichendem Platz im Stall kommt auch eine Innenwanddämmung mit Kerndämmplatten in Frage. Steht nur wenig Platz zur Verfügung, können Dämmsteine aus Ziegelmaterial, Gasbeton- oder Kalksandsteine verwendet werden. Die Dämmsteine sollten nach der Anbringung mit einer Schutzschicht ausgestattet werden, um das Eindringen von Wasserdampf aus dem Stallraum zu verhindern. Die einfachste Form der nachträglichen Dämmung besteht im Ansetzen von Hartschaumdämmplatten von innen an die vorhandene Wand. Nachteile der innenliegenden Dämmung sind der Verlust der Wärmespeicherung des Mauerwerkes und die Anfälligkeit gegen mechanische Beschädigungen.

Der angestrebte k -Wert von Deckendämmungen beträgt $0,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Der Deckenanteil macht einen wesentlichen Teil der Umhüllungsfläche eines Stallgebäudes aus. Deshalb ist es sinnvoll, den k -Wert noch weiter zu verringern, denn eine gute Deckendämmung kann eine fehlende oder schlechte Wanddämmung ausgleichen.

Die Möglichkeiten einer Deckendämmung werden von der Art der Deckenkonstruktion bestimmt. Moderne Stallgebäude bestehen entweder aus einer Stahlhallenkonstruktion oder aus einem gestützen Betonrahmenbau mit einer Dachkonstruktion aus Bretter-, Kantholz- oder Bohlenausführung. Zur Dämmung können hier großflächige Dämmplatten aus Hartschaum in unterschiedlichen Dämmstärken und Materialien verwendet werden. Sie sind kostengünstig und einfach zu montieren. Aufgrund des fallenden Preises für Bauholz kommt auch eine Verkleidung der Deckenunterseite mit Holzbrettern in Nut und Federbauweise mit aufliegenden Mineralwoll- Rollfilzmatten in Frage, zumal diese Art der Dämmung sehr langlebig ist. Bei massiven Deckenkonstruktionen besteht die einfachste Art der Wärmedämmung im Auflegen von zwei Lagen dichtgepackten Stroh. Bei Nutzung des Dachraums kann eine massive Decke von oben mit einer Dämmestrichschicht versehen werden. Soll die Decke schwere Lasten tragen, kann die Decke von unten gedämmt werden, indem eine Binderkonstruktion oder – bei glatter Deckenunterseite – Hartschaumdämmplatten angebracht werden..

Altbauten verfügen meist über einen großen, ungenutzten Dachboden, so daß hier ohne Probleme nachträglich eine Dämmung mit 2 Lagen Strohbällen vorgenommen werden kann. Bei Nutzung des

Dachbodens können an der Deckenunterseite großflächige Dämmtafeln angebracht werden. Dabei kann bei hohen Stallgebäuden gleichzeitig die Decke abgehängt werden, was wiederum zur Energieeinsparung führt.

Für den Fußboden ist eine Dämmung nicht erforderlich, wenn die Stallung auf Höhe des Erdreichs beginnt. Besteht aus bautechnischen Gründen, z. B. bei einem Flüssigmistlagerkeller, ein freier Bereich zwischen Erdreich und Stallboden, sollte dieser hingegen gedämmt werden. Sofern die Stallanlagen freistehen, kann dies durch Anschüttung mit Erdreich erfolgen. Anderenfalls muß die Verblendung mit der Wärmedämmung bis Frosttiefe in die Erde hineingeführt werden, um einen Kälteeintrag in den Stallbereich zu unterbinden. Sind die Liegeflächen der Tiere an der Außenwand oberhalb des Erdreiches angeordnet, sollte eine Dämmung unterhalb des Liegebereiches bestehen.

Die Reinigung von Stallanlagen mit den heute üblichen Hochdruckreinigern verbraucht einen erheblichen Anteil an Wasser und Energie. Eine Möglichkeit zur Energieeinsparung besteht im Einweichen des zu reinigenden Stallabteils mit kaltem Wasser über Nacht (bes. bei Schweinehaltung). Dadurch läßt sich die Einsatzzeit des Hochdruckreinigers für die eigentliche Reinigung verkürzen. Einweichanlagen können mit Hilfe von Gartensprüheräten relativ einfach und preisgünstig installiert werden.

Bei der Reinigung von Melkständen, Fahrzeugen und Hofflächen kann auf einfache Art Energie gespart werden. Melkstände können mit kaltem Wasser völlig ausreichend gereinigt werden, sofern die Reinigung direkt nach dem Melken erfolgt. Ist warmes Wasser notwendig, kann dieses energiesparend durch die Wärmerückgewinnung der Milchkühlung erwärmt werden. Fahrzeuge sollten sofort nach Gebrauch gereinigt werden, da der Schmutz dann noch nicht angetrocknet ist und leicht mit kaltem Wasser entfernt werden kann. Bei häufiger Reinigung von Fahrzeugen und/oder Hofflächen kann eine Regenzysterne sinnvoll sein, die das Regenwasser von den großen Dachflächen der Betriebsgebäude auffängt. Mittels relativ preisgünstiger Schmutzwasserpumpen wird das Wasser aus den Zisternen zum Endverbraucher gepumpt.

4. Stallklima

Das Stallklima wird durch das Zusammenspiel von Lüftung, Heizung und Dämmung bestimmt, wobei die Dämmung eine feststehende Größe ist. In der Stallklimanorm DIN 18910 wird die erforderliche Bauausführung für unterschiedliche Bauteile vorgeschrieben und gibt Berechnungsgrundlagen an, mit denen der Dämmwert einzelner Gebäudeteile bestimmt und ausgelegt werden kann.

Lüftungsanlagen werden heute üblicherweise als Unterdrucklüftungsbauweise ausgeführt. Sie setzen sich aus Zu- und Abluftsystem zusammen. Der Antrieb der mechanischen Lüftung erfolgt mittels Ventilatoren auf der Abluftseite. Um einen möglichst niedrigen Strömungswiderstand zu erreichen, sollten die Zu- und Abluftführungen geradlinig sein und einen ausreichenden Querschnitt haben. Zu enge Querschnitte und häufige Luftumlenkungen verursachen über einen höheren Strömungswiderstand eine energieintensivere Laufleistung der Ventilatoren. Eine Stromeinsparung von ca. 15% ermöglicht der Einsatz eines Diffusors, der statt zylindrischer Abluftführungen benutzt wird.

Ventilatoren werden im allgemeinen als Axialventilatoren in Schachteinbauform verwendet, und sind sowohl für Dreh- als auch für Wechselstrom erhältlich. Mit der Einführung von energiesparenden Wechselstromventilatoren unterscheiden sich diese beiden Typen kaum noch in ihrer Leistung.

Üblicherweise werden Axialventilatoren mit Wechselstrommotoren verwendet. Sie sind druckschwächer als Drehstromventilatoren, aber durch die heute übliche vereinfachte Bauform der Zuluftführungen mit niedrigen Strömungswiderständen völlig ausreichend. Dazu kommt die einfache Rege-

lung einphasiger Motoren und die niedrigen Anschaffungskosten für Wechselstrommotoren, so daß sich stromsparende Wechselstromventilatoren am Markt sehr schnell durchgesetzt haben.

Drehstrommotoren werden heute hauptsächlich für große Ventilatoren mit hohen Luftfördermengen (wie bei Zentrallüftungsanlagen) verwendet sowie bei Abluftsystemen mit hohen Strömungswiderständen.

Eine deutliche Stromeinsparung kann mit Ventilatoren in moderner EC-Technik erreicht werden. Ihr Stromverbrauch entspricht bei voller Laufleistung den herkömmlichen Wechselstromventilatoren, bei verminderter Drehzahl sinkt ihr Stromverbrauch jedoch im Vergleich erheblich ab. Nachteil dieser Ventilatorarten ist ihr derzeit noch sehr hoher Preis. Ein Austausch vorhandener, funktionierender Ventilatoren lohnt sich deshalb zur Zeit noch nicht. Bei Neuanlagen läßt sich jedoch durch einen gezielten Vergleich von Stromverbrauch zu Investitionskosten prüfen, ob sich die Anschaffung dieser Ventilatoren rechnet.

Neben Axialventilatoren gibt es auch Radialventilatoren. Axialventilatoren besitzen hohe Luftförderleistungen bei geringem statischen Druck, Radialventilatoren überwinden einen hohen Strömungswiderstand mit verhältnismäßig geringer Luftfördermenge. Durch relativ einfache Maßnahmen lassen sich bei Ventilatoren die Energiekosten senken: Wird der Ventilator tief in den Röhrenschacht eingebaut, kann das leistungsmindernde Schutzgitter entfallen. Eine regelmäßige Reinigung trägt ebenfalls zur Senkung der Energiekosten bei.

Ventilatoranlagen können dezentral oder zentral angeordnet werden. Bei dezentraler Anordnung der Ventilatorschächte sind die Einzelschächte über die Stallfläche verteilt. Entsorgen mehrere Ventilatoren einen gemeinsamen Stallraum, werden sie an eine gemeinsame Regelung angeschlossen und parallel gesteuert. Da sie ihren höchsten Wirkungsgrad bei Vollast besitzen, sollte bei mehr als drei Ventilatoren geprüft werden, ob ihre Schaltung in Gruppensteuerung möglich ist. Auf diese Weise können einzelne Ventilatoren nacheinander zu- oder abgeschaltet werden, um den guten Wirkungsgrad der einzelnen Ventilatoren bei Vollast auszunutzen und so den Strombedarf zu reduzieren.

Zentralabluftanlagen werden über einen oder mehrere an einem Punkt vereinigte Ventilatorschächte betrieben. Die Stallklimaanforderungen der einzelnen Stallabteile werden über eine zentrale Computerregelung erfaßt und über Stellklappensteuerung auf den gewünschten Wert eingestellt. Die Abluft wird über die angeschlossenen Ventilatoren in Gruppenschaltung entsorgt, wobei die gesamte Abluftführung aller Einzelabteile über Abluftsammlerkanäle verbunden ist. Durch eine in etwa konstante Abluftaustrittsgeschwindigkeit am zentralen Kaminende können umweltschonende Abluftbedingungen erreicht werden. Bei Einzelschachtanlagen ist dies nur schwer und unter hohem Kostenaufwand möglich.

Der Energieverbrauch von Heizungs- und Lüftungsanlagen kann durch eine kombinierte, bedarfsgerechte Regelung bis zu 30% gesenkt werden. Eine geeignete Lüftungssteuerung verhindert darüber hinaus feuchtebedingte Bauschäden und schont somit die Bausubstanz. Zur Anpassung der Ventilatoren an die gewünschten Lüftungsraten erhält eine Regelung über Stallsensoren Werte für Temperatur oder Feuchtigkeit. Nach einem Ist-Soll-Vergleich wird bei einer Abweichung durch geänderte Drehzahl/Spannung der Ventilatoren bzw. eine Zuheizung der Soll-Wert wiederhergestellt. Eine Regelung kann als Trafo-, elektronische- und Frequenzregelung oder über einen Klimacomputer erfolgen. Traforegelungen in Verbindung mit elektronischen Thermostaten sind relativ teuer. Eine preisgünstigere Alternative sind Ventilatoren mit elektronischer Drehzahlregelung. Sie sind allerdings deutlich lauter und können zu Überhitzung neigen und dadurch Kurzschlüsse verursachen. Die Frequenzregelung ist relativ kostenaufwendig und wird überwiegend bei großen Ventilatoren mit hohen Luftfördermengen (Zentralluftanlagen) eingesetzt.

Ein Klimacomputer steuert das Stallklima unter Einbeziehung verschiedener Meßdaten und variiert je nach Bedarf Heizung, Ventilatoren und Stellklappen. Der Einsatz eines Klimacomputers lohnt sich auch bei kleineren Betrieben.

Zu den energieintensivsten Betriebszweigen gehört die Sauenhaltung. Möglichkeiten zur Energieeinsparung liegen hier vor allem im Wärmebereich der Ferkel. Durch eine Zonenheizung kann den unterschiedlichen Temperatursprüchen von Sau und Ferkeln besser Rechnung getragen werden. Eine Zonenheizung kann aus Infrarot- oder Gasstrahlern oder einer Warmwasser-Fußbodenheizung bestehen. Infrarotstrahler sind wegen der hohen Stromkosten als alleinige Ferkelnestheizung nicht zu empfehlen und kommen ausschließlich im Stroheinstreubereich als Dauerheizlampen zum Einsatz. Wegen der Dämmwirkung des Stroh hätte eine Fußbodenheizung hier keine Wirkung. Um den Wärmeverlust bei Verwendung von Infrarotlampen zu reduzieren, sollte eine Ferkelnestabdeckplatte mit seitlichem Rand als Wärmestau eingesetzt werden. Mit steigendem Wärmeregulierungsvermögen der Ferkel kann die Heizleistung vermindert werden.

Die Regulierbarkeit von Gasstrahlern ist begrenzt. Dadurch kann ein höherer Energieverbrauch verursacht werden. Auch ist ihr Einsatzbereich im Stall wegen der Brandgefahr eingeschränkt. In größeren Betrieben ist die Warmwasser-Fußbodenheizung meist kostengünstiger als Einzelheizquellen. Hier ist auf eine ausreichende Dämmung nach unten und auf eine gleichmäßige Erwärmung der gesamten Liegefläche des Ferkelnestes zu achten. Dies kann gegebenenfalls durch ein Wasserbett erreicht werden.

Bei zusätzlichem Wärmebedarf kann eine Raumheizung eingesetzt werden. Alternativ sollte bei Um- und Neubauten zuerst an eine Verbesserung der Dämmung gedacht werden.

Für eine Raumheizung finden Lufterhitzer, Radiatoren für Warmwasserbetrieb oder Wärmetauscher Verwendung. Lufterhitzer werden mit Flüssig- oder Erdgas betreiben. Durch die Entwicklung verbesserter Strahlertypen ist ihr Einsatz wieder zu einer Alternative für kleine Stallbereiche geworden. Nachteil von allen gasbetriebenen Heizgeräten ist die Entstehung von CO₂ und Wasser, die aus dem Stallbereich abgeführt werden müssen. Dies führt wiederum zu einem Mehrbedarf an Energie.

Eine Warmwasserheizung mit Radiatoren ist wegen ihrer hohen Investitionskosten eher die Ausnahme. Mit dem Einsatz von Luft-Wärmetauschern kann in der Übergangszeit und im Winter das Stallklima verbessert werden; es können aber nur kleine Wärmedefizite ausgeglichen werden. In der Landwirtschaft werden vorwiegend rekuperative Wärmetauscher eingesetzt. Wirkungsgrad und Heizleistung sind Parameter für die Beurteilung der verschiedenen Wärmetauscher. Allerdings herrscht oft eine starke Diskrepanz zwischen Prüfstandsergebnissen und Praxisuntersuchungen. Diese Art der Heizung wird unter den verbesserten Bedingungen heutiger Heiztechnik aber nur noch wenig eingesetzt.

5. Lagerung und Aufbereitung landwirtschaftlicher Güter

Um Getreide lagerfähig zu machen, muß es konserviert werden. Dies kann durch Trocknung oder – bei Verfütterung des Getreides – mit organischen Säuren geschehen. Bei Trocknung wird dem Erntegut Wasser bis zum Erreichen einer fruchtartspezifischen, lagerstabilen Feuchte (Getreide 15%, Raps 8%) entzogen. Dies geschieht über eine Anwärmung der umgebenden Luft. Heizleistung, Luftmenge und Bauart des Trockners müssen aufeinander abgestimmt sein, um die notwendige Energie möglichst effizient zu nutzen. Eine Schnell Trocknung ist mit Satz-, Umlauf- oder Durchlauftrocknern möglich. Satz- und Umlauftrockner sind derzeit Standard. Durchlauftrockner sind technisch und f-

nanziell sehr aufwendig sind und werden üblicherweise nur bei großen gewerblichen Trocknungsanlagen eingesetzt.

Eine Alternative zu den Verfahren der Schnelltrocknung ist die Lagerbelüftungstrocknung. Hier wird das Getreide direkt im Endlager konserviert. Bei Konservierung des Getreides durch Kühlung bleibt das Erntegut bei 6 – 10°C auch mit Erntefeuchten von 18% über Wochen lagerstabil. In der kalten Jahreszeit kann das Getreide mit kalter Umgebungsluft gekühlt und so der spezifische Energiebedarf der Getreidekühlung gesenkt werden.

Verfahren der Feuchtgetreidekonservierung sind die gasdichte Lagerung im Hochsilo, die Einlagerung von Getreide im Flachsilo und die Konservierung durch organische Säuren. Energetisch besteht zwischen diesen Verfahren kein Unterschied.

Die Förderung von Schüttgütern kann über pneumatische oder mechanische Fördereinrichtungen erfolgen. Zwar benötigen die mechanischen Fördereinrichtungen weniger Energie, die Auswahl des Förderelements ist jedoch häufig von räumlichen Gegebenheiten abhängig. Pneumatische Förderungen zeigen hinsichtlich Sortenreinheit und Flexibilität deutliche Vorteile.

Der energetische Aufwand für die Getreideaufbereitung unterscheidet sich je nach verwendetem Gerät. Hammermühlen haben, verglichen mit Getreidequetschen einen 3-4fach höheren Energiebedarf. Sie werden dennoch hauptsächlich eingesetzt, weil sie Leerlauf- und Fremdkörperunempfindlich sind und Getreidequetscher einen für Schweine ungenügenden Getreideaufschluß haben.

Ein weiteres Beispiel für die energetischen Erfordernisse bei Lagerung landwirtschaftlicher Produkte ist die in verschiedenen Temperaturstufen erfolgende Einlagerung von Kartoffeln.

Um den klimatischen Ansprüchen von Kartoffeln mit möglichst geringen technischem Aufwand gerecht zu werden, ist eine ausreichende Wärmedämmung des Lagerraumes einer der wichtigsten Faktoren. Abhängig von der Bausubstanz können 4 - 8 cm dicke PU-Platten an den Wänden angebracht und die Decke mit 10 cm starken PU-Platten ausgekleidet werden. Wegen der im Lager notwendigen hohen Luftfeuchte von 92 - 95% müssen die Dämmplatten mit einer Dampfsperre versehen werden, um eine Zerstörung der Dämmplatten durch Wasserdampf zu vermeiden. Bei Einhaltung von k-Werten von $0,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{k}$ im Deckenbereich und $0,35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{k}$ im Wandbereich kann allein durch die Belüftung des Lagers mit Außenluft die geforderte Lagertemperatur von 3,5 – 5°C bis ins Frühjahr gehalten werden. Bei ausreichender Dimensionierung des Lagers reicht bei gefülltem Lager die durch Atmungsverluste der Knollen erzeugte Wärme aus, um das Lager im Winter frostfrei zu halten. Auf diese Weise entstehen keine Heizkosten.

Die Lagerbelüftungstechnik hängt davon ab, ob die Kartoffeln in Boxen oder Großkisten gelagert werden. Boxen werden gezielt mit Luft durchströmt und erfordern eine deutlich höhere Lüfterleistung als die Belüftung von Großkisten mittels Raumlüftung. Die richtige Auswahl der Lüftungsanlage kann die Zuschaltung eines Kälteaggregats unnötig machen. Eine Lüftungssteuerung kann über Lüftungscomputer oder durch die Temperaturdifferenzmethode geschehen.

6. Fütterung

Die Fütterung von Schweinen erfolgt über Flüssig- oder Trockenfütterung. Hinsichtlich des Energiebedarfs für das Zuführen der einzelnen Futterkomponenten und der Verteilung der Futtermischungen besteht kein großer Unterschied.

Die Grundfuttermittel in der Rindviehhaltung kann durch eine Vielzahl unterschiedlicher Verfahren durchgeführt werden. Hinsichtlich ihres Energiebedarfs sind die Verfahren schlecht miteinander vergleichbar, wobei der Energiebedarf hier auch nicht das wesentliche Entscheidungskriterium ist. Es

kommt vielmehr auf die einzelbetriebliche und arbeitswirtschaftliche Situation, die Gebäudeabmessungen und –zuordnungen sowie die eingesetzten Futtermittel an.

7. Energieeinsatz in der Milchproduktion

Energie wird in der Milchproduktion hauptsächlich für die Melkanlage sowie die Kühlung und Lagerung der Milch gebraucht.

Die Kühlung der Milch findet üblicherweise durch eine Direktkühlung statt. Um unnötigen Stromverbrauch zu vermeiden, sollte das Kühlaggregat regelmäßig gewartet werden (Überprüfung der optimalen Einstellung und genügend Kältemittel). Hat das Kältemittel im Verdampfer eine zu tiefe Temperatur, geht die Kälteleistung um 20% zurück und erhöht dadurch den Stromverbrauch. Ebenso trägt eine zu hohe Temperatur im Kondensator zu erhöhtem Stromverbrauch bei. Ebenso wie bei Kühlschränken erhöht eine hohe Raumtemperatur den Stromverbrauch der Kühlung. Die Dimensionierung des Milchtanks sollte gut an die betrieblichen Bedürfnisse angepaßt werden.

Die indirekte Kühlung hat einen schlechteren Wirkungsgrad und verbraucht im Vergleich zur Direktkühlung 15-20% mehr Strom.

Ökonomisch interessant können – auch für kleine Herden – Rohrschlangen- oder Plattenkühler sein. Sie benötigen nur etwa 50% des sonst üblichen Energiebedarfs.

Die Reinigung der Melkanlage kann über die Zirkulations- Stapel- und Kochendwasser-Reinigung erfolgen.

Die Zirkulationsreinigung besteht aus drei Schritten: Vorreinigung, Hauptspülgang und Nachspülgang. Ein hoher Anteil an Wasser und Energie läßt sich einsparen, wenn das Wasser aus dem Hauptspülgang in wärmegeprägten Behältern aufgefangen und für den nächsten Vorspülgang genutzt wird. Das Wasser aus dem Nachspülgang wird ebenfalls aufgefangen und für den nächsten Hauptspülgang verwendet.

Bei der Stapelreinigung wird das Wasser des Hauptspülendes bis zu 14mal wiederverwendet und dadurch viel Wasser und Energie gespart. Allerdings ist hier der Einsatz spezieller Reinigungs- und Desinfektionsmittel erforderlich, die bei jedem Reinigungsgang nachdosiert werden müssen. Das Nachspülwasser wird auch hier aufgefangen und dient zum Vorspülen nach der nächsten Melkzeit.

Die Kochendwasser-Methode benötigt keine Desinfektionsmittel, da hier kochend heißes Wasser durch die Anlage gesaugt wird. Die Desinfektionswirkung beruht auf der Erwärmung aller milchführenden Anlagenteile auf über 77°C für mehr als zwei Minuten, wobei alle für die Milchqualität relevanten Keime absterben.

Die Wahl der Reinigungsverfahren hängt wesentlich von der tariflichen Einordnung durch das zuständige EVU ab.

Eine gute Möglichkeit zur Energieeinsparung in der Milchproduktion stellt die Abwärmenutzung bei der Milchkühlung dar. Der Brauchwasserbehälter sollte an die pro Jahr produzierte Milchmenge angepaßt sein. Die Leitungen zwischen Behälter und Zapfstelle sollten möglichst kurz sein, da andernfalls zuerst viel Wasser ablaufen muß, bis das warme Wasser nachkommt bzw. viel warmes Wasser in der Leitung abkühlt, wenn das Wasser abgestellt wird. Der Brauchwasserbehälter benötigt eine gute Dämmung von bis zu 100 mm Dicke. Die Warmwasserbereitung aus der Abwärme der Milchkühlung erfordert Investitionen für den Speicherbehälter, den Wärmetauscher und den Anschluß an die Milchkühlung.

8. Energieeinsparen in der Außentechnik

Kraftstoff hat generell an den Produktionskosten nur einen geringen Anteil, so daß seine Einsparung betriebswirtschaftlich kaum von Bedeutung ist.

Durch die richtige technische Ausnutzung des technischen Leistungsverhaltens eines Schleppers läßt sich in der Außentechnik ohne Beeinträchtigung des Ertrages oder der Erntegutqualität Kraftstoff sparen. Es wird zwischen direkter und indirekter Kraftstoffeinsparung unterschieden. Erstere bezieht sich auf den direkten Verbrauch von Kraftstoff, während letztere sich auf den Bedarf an Hilfsstoffen wie Motor-, Getriebe- und Hydrauliköl bezieht. Unterschiede im Kraftstoffverbrauch ergeben sich hauptsächlich aus der Betriebsorganisation, den Arbeitsverfahren und der Bodenbeschaffenheit. Spezialkulturen mit intensiv zu bearbeitenden Kulturen haben einen höheren Kraftstoffverbrauch je ha. Ebenso erhöht eine schwerer Boden durch intensivere Bearbeitungsgänge den Kraftstoffverbrauch. Durch Verwendung ausgereifter Techniken bei Motoren, Getriebe und Hydraulik und eine energiesparende Arbeitsweise des Fahrers kann der absolute Kraftstoffverbrauch herabgesetzt werden.

Energy and emission reducing in agricultural farms (part 1) (Abridged Version)

1. Introduction

The present study will analyse and evaluate ways of cutting emissions and reducing energy consumption. The results of the study are recorded in three complementary documents:

1. The **flyer** is broadly designed to identify the problem and to draw attention to the excellent advice available.
2. The comprehensive **checklist** permits the well-versed farmer and general adviser to investigate operations with regard to energy so that any “energy weaknesses” can be identified.
3. The **brochure** analyses and evaluates ways to cut emissions and reduce energy consumption. The key data listed help in analysing individual farms.

The work within the context of the study was based on the premise that saving continues to be the “most important source of energy”. The questionnaire, checklist and brochure therefore build upon the following principles:

- Identifying energy weaknesses by a systematic analysis of the individual farm;
- Optimising thermal insulation in all of the heated areas;
- Use of intelligent control technology wherever possible;
- Use of energy-saving technology with new acquisitions.

A number of experts from various institutions were involved in the study. From the very beginning there was close co-operation with the Federal Environmental Agency – in fact this study would not have been possible without this institution’s financial support. Special thanks are due to the Federal Environmental Agency for ensuring that the framework conditions of practical agriculture were always taken into account in the joint work. In this way it was possible to identify constructive solutions for cutting emissions and reducing energy consumption or costs in agriculture. The principal authors of the individual chapters in this brochure are: Messrs Eggersgluß (Basic Elements of Energy Use) and Holz (Energy Saving in Outdoor Operations) from the Schleswig-Holstein Chamber of Agriculture and Mr Kuhn (Construction Physics and Controlled Environment in the Livestock Buildings), Dr Matthias (Storing and Preparing Agricultural Produce) and Dr Cielejewski (Feeding Cattle and Energy Use in Milk Production) of the Westphalia-Lippe Chamber of Agriculture. The heads of the mechanisation advisory services in Westphalia-Lippe and Schleswig-Holstein, Dr Rat-schow and Dr Traulsen, bear fundamental responsibility for the correctness and the content of the brochure, the checklist and the flyer.

1. Basic Elements of Energy Use

The fuels primarily used in the agricultural sector are the fossil raw materials heating oil, liquid and natural gas. Regenerative raw materials – with the exception of waste wood – have been used very rarely to date due to the high costs for the installations required.

A comparison of various fuels reveals that natural gas is clearly superior to heating oil in terms of the emissions released. But with new technology wood, too, can be used with similar emission levels to heating oil and, what is more, it is largely CO₂ neutral because it is a regenerative raw material.

As far as the generation of energy from oil and gas is concerned, in the field of boiler technology various factors are responsible for optimum and economical functioning. These range from the use of the special boilers for the fuel in question, control technology tailored to need and the use of installations that should be no older than 10 years. Optimum preparation of the fuel is achieved by means of blast burners or burners with blast support.

Energy losses in firing installations are brought about by losses of exhaust gases and readiness for service. Losses of exhaust gases can be minimised by the correct interaction of the various components of a heating installation (burner, boiler, flue, burner setting, dirt accumulation in the boiler). Losses in readiness for service are surface and cooling losses. Both can be reduced by, among other things, a low boiler temperature and a reduction in the times of readiness for service. Optimum boiler dimensions always reduce the losses. The requirements as regards emissions and energy losses for installations of this kind are laid down in the Ordinance on Small Firing Installations (1st Ordinance implementing the Federal Immission Control Act).

A utilisation ratio of over 100% can be achieved with the aid of condensing boilers that allow fuel savings of 5 – 15% in comparison to low-temperature boilers as a result of the condensation thermal energy released. However, special flues are required for this.

Wood can be burned in the form of logs or woodchips. When installations fired by solid fuel are being constructed and operated, certain requirements that are laid down in the 1st Ordinance implementing the Federal Immission Control Act have to be fulfilled, just as they do for oil and gas boilers.

As a result of technical innovations log burning boilers (boilers fired from below or inverted fire boilers) can now meet the current emission requirements. Woodchip firing installations work according to the stoker principle and allow fully automatic operation. A combination of solid fuel boilers with oil or gas boilers is possible subject to certain conditions.

Whenever an installation is being converted or modernised, existing flues – as an important component of a heating installation – have to be inspected for their suitability for further use. Adjustments can be made by installing ceramic or stainless steel pipes and draft limiters as well as reducing the areas of cross sections.

The heat of standard hot water/central heating systems reaches indoor rooms via radiators. Low temperature boilers and condensing boilers achieve the highest utilisation ratio for heat emission in the room if very large radiators or underfloor heating are used.

Room temperature can be controlled by thermostatic valves on the radiators. By law, new systems have to be equipped with thermostatic valves in Germany. This renovation is also worthwhile with older systems and is usually easy to implement. The correct installation and setting ensures a high degree of control accuracy.

If extra heating is required, direct heaters, open fires, wood-burning stoves or tile stoves can be used. The disadvantage of electric direct heaters is the high consumption of primary energy – up to three times higher than that of oil or gas – and thus higher ecological and economic energy costs. Open fires, wood-burning stoves and tile stoves are usually operated with the renewable fuel wood and reduce the use of the fossil fuels oil and gas. The disadvantage of wood is the higher pollution

from emissions and the possible nuisance caused to the neighbourhood by the lower heights of the chimneys of these installations. By means of correct sizing and the use of dry wood, good fuel exploitation can also be achieved with additional heaters.

The energy consumption for indoor heating can be reduced by a number of measures. In addition to the correct insulation of the buildings and the use of energy-saving technology, fuel consumption can also be cut with simple measures (e.g. the correct use of thermostatic valves, adjusting boiler and flow temperature by means of external temperature control, sealing windows and doors, additional thermal insulation in radiator niches).

A distinction is made between central and decentralised systems for water heating. Central systems are usually linked to the heating system, decentralised equipment has its own connection. The distance between the hot-water supply tank and the final consumers should be short in order to save heating energy and pumping electricity. If a circulation line should be required due to long distances, attention should be paid to good pipe insulation in order to avoid heat loss.

In the generation of electricity in conventional steam power stations only about one third of the fuel energy reaches the consumer in the form of electricity. Both in agricultural operations and in households the use of electricity has become ubiquitous. In household uses in particular electricity can be saved by very simple measures (such as the use of energy-saving appliances and lamps, only switching on full washing machines and dishwashers).

Electricity demand on the farm depends on the type of farm. Sow housing and cattle raising are the most electricity-intensive types of agriculture, arable farms have lower electricity demand.

In sow housing the controlled environment of the piglet area uses most energy. Zone heating for the piglets should be used in the farrowing area for the efficient use of energy. Heating the piglets' nests with electric or hot-water underfloor heating can considerably reduce electricity demand. Although the installation of electric underfloor heating is cheaper than that of hot-water systems, the pure energy costs are approx. three times as high for electric systems as for oil or gas-fired hot-water heating systems.

In dairy farming one way of reducing electricity costs is to shift the times of peak demand (e.g. by cooling the milk at a different time to cleaning the milking machine). In pig fattening, the controlled environment in the livestock buildings accounts for the largest share of the electricity demand. Ways of saving electricity include optimum control, using energy-efficient fans and regularly cleaning the ventilators. On arable farms electricity demand is unevenly distributed over the year. Whereas only small amounts of electricity are used in the winter, demand in the summer – e.g. for grain drying or sprinkler irrigation systems – can in the short term reach peak levels.

Under certain circumstances it is worth the farmers' while to generate electricity himself with the aid of a block-type thermal power station. Self-generated electricity can be worthwhile for pig producers and pig fatteners due to their regular demand for electricity, as well as for horticulturists with greenhouses. Block-type thermal power stations can be operated with heating oil, natural gas, liquid gas, biogas or rapeseed oil. It should be possible to use the resultant heat in the cooling water and in the exhaust gas to supply heat to the livestock buildings and the farmhouse. In Germany a number of laws and ordinances must be observed when a block-type thermal power station is built.

2. Construction Physics

When constructing new buildings or renovating existing ones that have to be heated or cooled, certain conditions have to be met in order to avoid energy loss. Within the framework of the Energy Saving Act (*Energieeinsparungsgesetz* – EnEG), the Thermal Insulation Ordinance (*Wärmeschutzverordnung* – WSV) and the Heating Systems Ordinance (*Heizungsanlagen-Verordnung* – HeizAnlVO) govern thermal insulation requirements. There are two evaluation methods available for assessing heating energy losses. Farmers are free to choose either of these methods:

1. The building section method: here the individual sections of a building may not exceed a specific calorific value
2. The thermal balance method: a specific seasonal heating requirement for the entire building may not be exceeded (standard method).

The annual heating requirement of a building is calculated from the transmission losses (i.e. heat losses via the external shell of a building) and ventilation losses as well as solar and internal heat gains. In this context, windows and doors are responsible for a transmission loss of almost 1/3 of the total heating energy loss, in spite of their relatively small proportion of the external surface of a building. By way of contrast, the external wall of a building only contributes to about 1/5 of the energy loss. As a yardstick for energy loss by transmission, the calorific value [$\text{H}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$] can be used. It describes the heat loss of a section of a building per m^2 surface and 1K temperature difference between indoors and outdoors. For new buildings the energy advice associations recommend a calorific value of 0.60 to 0.35 $\text{H}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ although a calorific value of up to 0.90 $\text{H}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ is allowed under law in certain circumstances.

Using double glazed insulation glass, heat protection glass or triple glazing can prevent heat loss via windows. Double-glazing is the cheapest method, heat protection glass is practical for windows of 5 m^2 and over. For new buildings the placement and size of the windows, taking account of the direction they are facing, also helps to save energy. Thus, for example, placing large glazed areas in a south facing direction is an additional energy gain as a result of the solar radiation.

Multi-grooved seals can be fitted in order to prevent heat loss through doors. If metal doors are used, further insulation can be achieved with insulation glazing and composite window doors.

In order to reduce heat loss through the walls of a building, external or internal wall insulation can be fitted. Cavity walls have increasing significance for external wall insulation. These cavity walls are made up of load-bearing internal walls and the facing wall in front of it. Between these two layers there is a layer of insulation that is made up with or without a layer of air. Without a layer of air only authorised insulating slabs without layers of air may be used. For reasons of cost and due to the simpler processing, the use of insulation without a layer of air has become the standard. In addition to mineral wool felt mats and foam insulation boards, insulation can be made up of high-resistance foam boards, lightweight bottoming made up of bloated materials, cork, paper and wool hardboard or blown mineral wool.

Another method of external wall insulation is to apply insulating plaster known as a “thermal skin”. It is applied to the bare brickwork in several stages and can, just like other types of plaster, be painted. The thermal skin is also highly suitable for renovating old buildings although any old plaster on the walls has to be removed before the insulating plaster can be applied. Insulating plaster cannot be recommended for buildings with high levels of indoor moisture, such as livestock buildings.

A low-cost alternative to external wall insulation is internal wall insulation. It can be applied easily with the relevant technical knowledge. Wood panels are placed on the existing brick walls, the gap is filled with insulating boards made of high-resistance foam or mineral foam, a vapour seal is installed and, finally, an internal lining is applied. The disadvantages of internal wall insulation are a slight loss in living space, the loss of heat-storing building mass and the low stability of the internal wall.

To complete the insulation of a building, the ceilings also have thermal insulation applied. For new buildings this can be insulating screed on the last layer of concrete in the form of floating screed. There are other options for wood joist ceilings: either a second layer with insulation underneath it is applied, or the existing deal boards are taken up and the spaces between the wood joists are filled with insulating materials such as swelling clay or lava. The advantages of these insulating methods are their low weight and their resistance to rodents.

Both in new buildings and in old buildings, loft spaces can be insulated relatively easily and cheaply. Suitable materials include high-resistance foam boards, mineral wool or felt mats and mineral wool boards that are laid in the spaces between the rafters. Casings made of plasterboard, wood panelling or plaster base boards seal this internally.

The basement area can be insulated by means of insulating screed on the basement floor and/or by perimeter insulation of the external walls of the basement. Perimeter insulating boards are high-resistance foam boards with double-walled lamination, a high degree of mechanical rigidity and good thermal insulation properties. It is possible to insulate the basement of an existing building by stripping the cellar walls section by section. If there is no cellar, insulation to the ground should be especially good. Subsequent application of insulation to the floor in a building without a basement is very expensive and is only worthwhile if it is done within the context of a planned renovation of the floor coverings. If there is a space between the ground and the floor this space can be filled with glass ash, lav rubble or foam glass boards. It is important to remember that the insulating material used must not carry moisture.

The following order of ranking results for the cost/benefit aspects of insulating measures:

1. Installation of insulating glass windows and doors
2. Insulation of roof slopes and floors
3. Internal insulation of external walls
4. Filling external walls if there is a layer of air
5. Insulation of basement external walls with perimeter insulation
6. Floor insulation if there is no basement
7. External lining with core insulation

Both in terms of energy saving and of the expense involved, the installation of insulating glass windows is the most effective option in comparison to the application of external wall insulation.

The WSVO may also apply to new buildings for livestock housing if they are to be heated (e.g. pig and poultry keeping). Conventional livestock buildings today, just like residential buildings, are built with cavity walls. In practice, calorific values of $0.60 - 0.50 \text{ H/ m}^2 \cdot \text{K}$ have proved to be effective.

In animal housing, too, the insulation of windows, door and – above all – ceilings is the most effective form of insulation. Windows, both in new and in old buildings, should be made of insulation glass. Doors should close tightly and, particularly doors that lead outside should be fitted with thermal insulation.

If wall insulation should prove to be needed after all, it should be applied to the outside so that the heat storage capabilities of the wall can be used. The type of insulation depends on the way in which the brickwork has been built (with or without a layer of air). Since the introduction of core insulation boards (made of waterproofed mineral wool or polystyrene products, i.e. products that are resistant to water vapour) the construction method without the layer of air has become the standard since it permits both thinner external building walls and thinner external channel walls for the liquid manure channels so that construction costs can be saved.

If insulation is to be subsequently applied to the walls of a livestock building, it can be done relatively easily and cheaply in buildings with cavity walls and a layer of air if the layer of air is at least 50 mm thick. The layer of air is filled or blown with rubble insulation made of blown lava or clay. With single wall construction, insulation is applied and then hidden behind a casing. However, subsequent external casing is very expensive.

If there is sufficient space in the livestock building, internal wall insulation with core insulation boards can be considered. If there is not very much space, insulating bricks made of brick material, gas concrete or calcareous sandstone can be used. After they have been applied, they should be given a protective coating in order to prevent the penetration of water vapour from the interior of the livestock building. The simplest form of subsequent insulation is to attach high-resistance foam boards to the inside of existing walls. The disadvantages of this type of insulation are the loss of heat storage in the brickwork and the susceptibility to mechanical damage.

The desired calorific value for ceiling insulation is $0.5 \text{ H/ m}^2 \cdot \text{K}$. The ceiling area accounts for a large part of the enveloping area of a livestock building. That is why it makes sense to further reduce the calorific value because good ceiling insulation can compensate for a lack of, or bad, wall insulation.

The method of ceiling insulation used depends on the type of ceiling construction. Modern livestock buildings are either made of a steel hall construction or a supported concrete frame with a roof construction made of boards, beams or planks. In these cases insulating slabs of high-resistance foam can be used with varying insulating thicknesses and materials. They are relatively cheap and are easy to install. Given the falling price of construction timber, lining the underside of the ceiling with wooden boards with tongue and groove joints and mineral wool felt mats can also be considered, especially as this method of insulation lasts for a very long time. If the ceiling is of solid construction the simplest method of thermal insulation is to affix two layers of densely packed straw. If the loft space is in use a solid ceiling can have a coating of insulating screed applied from above. If the ceiling is to bear

heavy loads, it can be insulated from below with a substructure or – if the underside of the ceiling is smooth – high-resistance farm boards can be applied directly to it.

Old buildings usually have a large, unused loft space so that two layers of straw bales can be used for insulation quite easily. If the loft space is in use, large-area insulating panelling can be applied to the underside of the ceiling. In this way the ceiling can be lowered at the same time, also resulting in energy savings.

Insulation is not necessary for the floor if the livestock building starts at ground level. If for reasons of construction technology, e.g. a liquid manure storage cellar, there is free space between the ground and the floor of the livestock building, insulation is to be recommended. If the stalls are free-standing this can be done by filling the space with earth. Otherwise, the casing has to be laid in the ground, together with the insulation, to frost depth in order to prevent the cold from penetrating into the building. If the surfaces where the animals lie are arranged along the external wall above the ground, there should be insulation below these surfaces.

Cleaning stalls with today's standard high-pressure cleaners uses a considerable amount of water and energy. One way of saving energy is to soak the section of the building to be cleaned with cold water over night (especially suitable if pigs are kept there). This means that the period of time during which the high-pressure cleaner is used for the actual cleaning is much shorter. Soaking equipment can be installed relatively easily and cheaply, e.g. with the assistance of garden sprinklers.

Energy can be saved very easily when cleaning milking parlours, vehicles and yards. Milking parlours can be cleaned very satisfactorily with cold water provided that they are cleaned immediately after milking. If hot water is necessary, it can be heated in an energy-saving manner by heat recovery from the cooling of the milk. Vehicles should be cleaned immediately after use since the dirt has not yet dried and can be easily removed with cold water. If vehicles and/or yards are cleaned frequently a rainwater cistern could make sense. This would catch the rainwater from the large roof surfaces of the farm buildings. By means of relatively low-cost dirty-water pumps the water is pumped from the cistern to the final consumer.

1. Controlled Environment in the Livestock Buildings

The controlled environment in the livestock buildings is determined by the interaction between ventilation, heating and insulation, whereby the insulation is a fixed factor. German DIN standard 18910 on thermal insulation for closed livestock buildings lays down the design criteria for various components and contains the foundation for calculating the insulation value of individual parts of buildings.

Today, ventilation equipment is usually made to a low-pressure design. It is made up of an incoming and exhaust air system. Fans on the exhaust air side drive the mechanical ventilation. In order to achieve as low an impedance as possible, the incoming and exhaust air pipes should be in a straight line and be wide enough. Pipes that are too narrow and frequent twists and turns for the air cause the fans to use more energy because there is higher impedance. The use of a diffuser instead of cylindrical exhaust air pipes leads to an electricity saving of approx. 15%.

There are axial fans and radial fans. Axial fans have powerful ducting properties with low static pressure. Radial fans overcome high impedance with relatively low ducting properties. Relatively simple

measure can be used with fans to reduce energy costs: if the fan is installed deep in the pipe shaft there is no need for the power-reducing protective grid. Regular cleaning also helps to reduce energy costs.

In general, axial fans installed in the shaft are used to control the environment in livestock buildings. These are available both for direct and alternating current. With the introduction of low-energy alternative current fans there is hardly any difference between the performance of these two types.

Axial fans are usually used with alternating current motors. They have lower pressure than direct current motors but they are completely adequate as a result of today's standard simplified design of the incoming air ducts with low impedance. Added to this is the simple control of single-phase motors and the low acquisition costs for alternating current motors, with the result that energy saving alternating current fans have quickly established themselves on the market.

Today, direct current motors are mainly used for big fans with large quantities of air to conduct (such as in central ventilation systems) and in exhaust air systems with high impedance.

Fans with modern EC technology can lead to a considerable saving in electricity. When running at maximum their electricity consumption corresponds to that of conventional alternating current fans, but at lower revolutions their electricity consumption falls considerably compared to other fans. The disadvantage of this type of fan is its current relatively high price. It is therefore not yet worth exchanging existing, working fans. However, for new installations a specific comparison of electricity consumption in relation to investment costs can reveal whether it is worth acquiring these fans.

Fans can be arranged centrally or decentrally. If the fan shafts are arranged decentrally, the individual shafts are spread over the area of the livestock building. If several fans clear the air in one livestock building they are connected to a common control and controlled in parallel. Since they are most efficient when working to full capacity, if there are more than three fans there should always be a check as to whether it is possible to connect them in series. In this way, individual fans can be switched on or off in sequence in order to exploit the efficiency of the individual fans and thus reduce electricity demand.

Central exhaust air systems are operated via one or more ventilator shafts brought together at one point. The requirements of a controlled environment for the individual sections of the livestock building are determined via a central computer control and are set to the desired value via regulating flap control. The exhaust air is disposed of via the connected fans that are connected in series, whereby the entire ducting process for all the individual stalls is linked via exhaust air collecting channels. By means of a roughly constant exhaust air escape speed at the central flue end, environmentally sound exhaust air conditions can be achieved. This is very difficult and expensive with systems based on single shafts.

The energy consumption of heating and ventilation systems can be cut by up to 30% by means of a combined, need-based control. Furthermore, appropriate ventilation control prevents damage to buildings as a result of damp and thus protects the substance of buildings. To adjust the fans to the desired ventilation rates, a control receives values for temperature or moisture via sensors in the stalls. After a variance comparison, if there is any deviation the desired value is re-established by means of changing the speed of the fans or by additional heating. Control in the form of a transfor-

mer, electronic or frequency control can be manual or via an air conditioning computer. Transformer controls in conjunction with electronic thermostats are relatively expensive. A cheaper alternative is fans with electronic speed control. However, they are much louder and tend to overheat thus leading to short circuits. Frequency control is relatively expensive and is mainly used with big fans with large quantities of air to conduct (central ventilation systems).

An air conditioning computer controls the environment in the livestock building using various measured data and varies the heating, fans and flap controls as required. The use of an air conditioning computer is also cost effective for smaller farms.

Sow housing is one of the most energy intensive forms of farming. The main opportunities for saving energy here are in heating the piglets. Zone heating can take better account of the varying temperature requirements of the sow and the piglets. Zone heating can be made up of infrared or gas radiators or hot-water underfloor heating. Due to the high costs of electricity, infrared radiators are not to be recommended as the sole means of heating the piglet nests and are only used in the area strewn with straw as permanent heating lamps. Because of the insulating effect of the straw, underfloor heating would have no effect here. In order to reduce the loss of heat when using infrared lamps a piglet nest cover plate with raised sides should be used as a heat store. As the piglets' need for warmth falls, heating output can be reduced.

The degree to which gas radiators can be regulated is limited. This can result in higher energy consumption. Their use in livestock buildings is restricted due to the risk of fire. Furthermore, they require more maintenance than any other heating sources. In larger farms hot-water underfloor heating is usually cheaper than single heating sources; here attention must be paid to adequate insulation below and to even heating of the entire area of the piglet nest. If necessary, this can be achieved by a waterbed being laid in the nest.

If there is any additional heat required, air heaters, radiators for hot water operations or heat exchangers can be used. Air heaters run on liquid or natural gas. Thanks to the development of improved radiator types their use has once again become an alternative for small areas of livestock buildings. The disadvantage of all gas heaters is the generation of CO₂ and water that has to be conducted out of the livestock building. This, in turn, means that additional energy is required.

Hot water heating with radiators is the exception rather than the rule because of the high investment costs involved. With the use of air-to-air heat exchangers the environment in a livestock building can be improved in early spring, late autumn and winter; but only small heat deficits can be compensated for. In agriculture recuperative heat exchangers tend to be used. Effectiveness and heating capacity are parameters for evaluating the various heat exchangers. Nevertheless, there is often a great discrepancy between the results on the test stand and inspections in practice. However, under the improved conditions of modern heating technology, this type of heating is used very rarely.

2. Storing and Preparing Agricultural Produce

Grain with a moisture content of 15% is capable of being stored (oilseed rape 8%). If crop is harvested at higher levels of moisture, it has to be conserved. This can be done by drying, cooling, gastight storage or the use of organic acids. If the crop is dried, water is removed from it until a level of moisture is reached which ensures stable storage; this level of moisture is specific to each crop. In

order to use the energy required for this as efficiently as possible, heating power, the amount of air and the design of the drier must be compatible with each other. Drying can be subdivided into quick drying (batch dryers, suspension dryers and continuous-flow dryers) and storage drying. The method that is the right one for any particular farm is determined by the annual harvest yields and the size of individual batches. Continuous-flow dryers are used only with harvest yields of 1,000 t per year and above. If the annual harvest yield is lower than this batch dryers and suspension dryers are used. The suspension dryer is preferred over the batch dryer especially for very wet crops (e.g. grain maize). If the grain is conserved by means of cooling, the crop remains stable at 6 - 10°C, even with crop moisture of 18%. In the winter the grain can be cooled with cold ambient air and the specific energy requirement of grain cooling can be reduced in this way.

Methods of moist grain conservation are gastight storage in a tower silo, storing the grain in a bunker silo and conservation by means of organic acids. As far as energy is concerned, there are hardly any differences between these methods.

Bulk goods can be transported on pneumatic or mechanical conveyors. Although the mechanical conveyors consume less energy the choice of the conveying method often depends on the spatial conditions. Pneumatic conveyors have clear advantages in terms of purity of variety and flexibility.

The energy used to grind grain depends on the crushing principle. Hammer mills have an energy requirement 3 – 4 times higher than that of roller mills. Nevertheless, they are the type that is used most often. The reasons for this are their ability to withstand idle running and alien bodies as well as the treatment of the grain, which is much better for pigs than grain that has been crushed in roller mills.

A further example of the energy requirements in storing agricultural products is the storing of potatoes. In order to meet the climatic demands of the potatoes during the actual storage (4°C for cold storage) with as little technical effort as possible, adequate insulation of the storage space is one of the most important measures. A calorific value of 0.2 H/ m² * K should be achieved for the ceiling and of 0.35 H/ m² * K for the walls. Depending on the substance of the building, 4 – 8 cm thick PU slabs can be used for the walls and 10 – 12 cm thick PU slabs for the ceiling. Because of the relatively high humidity of 92 – 95% needed in the store the insulation has to be fitted with a vapour seal. If these calorific values are adhered to, the required store temperature of 3.5 – 5°C can be maintained well into the spring in combination with a ventilation computer by means of only ventilating the store with external air. This insulation is also sufficient to keep a store filled with potatoes free of frost without any additional heating. In this way, heating costs can be avoided.

The additional or sole ventilation of the store with cooling installations should be restricted to store cells that are as small as possible in line with the requirements. Which ventilating system is to be installed depends on whether the potatoes are stored in metal containers or in large crates. Metal containers are flooded with air and require much more ventilation power than the ventilation of large crates by means of room ventilation. However, this energy use advantage has to be weighed up against the disadvantages of quality maintenance during storage. The method must therefore be chosen on a farm-to-farm basis.

3. Feeding

Pigs are fed via liquid or dry feeding systems. There is practically no difference in terms of the energy required for conveying the individual fodder components and the distribution of the food mix.

Basic fodder in cattle farming can be fed by a whole host of different methods. These methods cannot be easily compared with each other in terms of energy requirement, although energy consumption is not the key criterion for making a decision here. Much rather the decision is based on the situation of the individual farm and ergonomics, the building dimensions and layout as well as the type of fodder used.

4. Energy Use in Milk Production

In milk production energy is primarily used for the milking machine and for cooling and storing the milk. The milk is usually cooled by means of direct cooling. In order to avoid unnecessary electricity consumption the cooling machine should undergo regular maintenance (the optimum setting and correct amount of coolant should be inspected). If temperature of the coolant in the refrigeratory is too low, the cooling capacity falls by 20% and thus increases electricity consumption. If the temperature in the condenser is too high it also contributes to increased electricity consumption. Just as with domestic refrigerators, a high ambient temperature increases the electricity consumption of cooling. The size of the milk tank should be well in line with the farm's needs. Indirect cooling has a worse degree of effectiveness and uses 15 – 20% more electricity than direct cooling. Prior cooling of the milk with cool tap water in pipe coils or stave coolers can be of interest economically – even for small herds. In this process, about 50% of the thermal energy from the milk is carried away by cold water, only the remaining heat has to be removed by the conventional electric cooling methods.

Circulation, batch or boiling water methods can be used to clean the milking machine. Circulation cleaning comprises three stages: preliminary cleaning, the main cleaning phase and the rinse. A great deal of water and energy can be saved if the water from the main cleaning phase is intercepted in heat insulated tanks and is then used for the next preliminary cleaning. The water from the rinse is also intercepted and used for the next main cleaning phase.

With batch cleaning, the water from the main cleaning phase is re-used up to 14 times and a great deal of water and energy is saved as a result. However, in this case special cleaning agents and disinfectants have to be used that have to be topped up after every cleaning operation. The rinsing water in this method is also intercepted and is used for preliminary cleaning after the next milking time.

The boiling water method does not need any disinfectants because boiling water is sucked through the milking machine. The disinfectant effect is based on the fact that all the parts of the machine that convey milk are heated to over 77°C for more than two minutes. In this process all the bacteria with a bearing on milk quality die. Electricity costs can be cut by using cheaper night-time electricity and the low connected load of the boil water cleaner.

The choice of a cleaning method is largely dependent on the tariffs of the relevant electricity supply company.

A good way of saving energy in milk production is to use the lost heat from the cooling of the milk. The service water tank should be in line with the amount of milk produced each year. The pipes

between the tank and the tap should be as short as possible because otherwise a lot of water would have to run off until the hot water started to come through or a lot of hot water would cool in the pipes when the water was switched off. The service water tank needs good insulation of up to 100 mm in thickness. Hot water provision from the lost heat of cooling the milk needs investment for the storage tank, the heat exchanger and the connection to the milk cooling.

5. Energy Saving in Outdoor Operations

Fuel generally only accounts for a small proportion of production costs, which means that saving fuel is hardly of any economic effect.

By correctly exploiting the technical capacity of a trailer, fuel can be saved in outdoor operations without affecting yield or the quality of a harvest. A distinction is made between direct and indirect fuel saving. The former refers to the direct consumption of fuel, whereas the latter refers to the need for auxiliaries such as engine, gear and hydraulic oil.

Differences in fuel consumption largely result from the organisation of the farm, the working methods and soil characteristics. Special cultures with crops that have to be worked intensively have a higher fuel consumption per hectare. Heavy soil also increases fuel consumption as a result of more intensive processes. The use of sophisticated technologies for engines, gears and hydraulics and energy-conscious conduct of the driver can reduce absolute fuel consumption.