



Nachhaltige Energie

Nachhaltige Energieerzeugung und -nutzung in der Landwirtschaft in Deutschland und China



Deutsch-Chinesisches Kooperationsprojekt
für nachhaltige Tierzucht und Tierhaltung

中德畜牧业可持续发展合作项目



Agricultural Policy Briefs



Im Rahmen des Deutsch-Chinesischen Kooperationsprojektes für nachhaltige Tierzucht und Tierhaltung sollen gemäß der Projektziele jeweils 2 Handlungsempfehlungen (Policy Briefs) für jeden der vier zentralen Themenbereiche erstellt und in den Agrarpolitischen Dialog des DCZ und vor allem des Durchführungspartners dem NAHS eingebracht werden. Die Reihe ‚Agricultural Policy Briefs‘ bietet in konzentrierter Form Vorschläge für den politischen Handlungsbedarf für jeden der vier zentralen Themenbereiche:

- Biosicherheit & Tierkennzeichnungssysteme (Biosicherheit auf Betriebsebene, Entwicklung eines Tierkennzeichnungssystems)
- Innovative Zuchtansätze (Stärkung Rinderzucht, Förderung der Verbreitung der Piétrainzucht)
- Tiergerechte Haltungs- und leistungsgerechte Fütterungssysteme (Tiergerechte Haltungssysteme, Reduzierung Antibiotikaeinsatz & Futtererntetechnik)
- Umwelt- und Klimaverträglichkeit (Reduzierung von Geruchsemissionen & Treibhausgasen, Güllemaangement & Stärkung Nährstoffkreisläufe)

Die Policy Briefs bilden die Situation in Deutschland und in China zu Themen der Tierseuchenprävention, Veterinärausbildung, Rinderzucht, Tierwohl, Antibiotikareduktion und zu Themen der nachhaltigen Energieerzeugung in der Tierhaltung ab. Sie sollen aufzeigen, wie beide Länder mit verschiedenen Herausforderungen umgehen und diese im nationalen Kontext bewältigen und welche Mechanismen sich auch in China integrieren lassen.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



中华人民共和国农业农村部

Ministry of Agriculture of the
People's Republic of China



被委托方: GFA农业技术有限公司
General Agent: GFA



全国畜牧总站
National Animal Husbandry Service (NAHS)



德国ADT国际项目管理与咨询公司
ADT Project Consulting GmbH

Über diese Publikation

In diesem Policy Brief geht es um die Bereitstellung von elektrischem Strom und Wärmeenergie in landwirtschaftlichen Anlagen, vor allem der Tierhaltung, unter besonderer Berücksichtigung der im Regelfall üblichen Situation von Anlagen an infrastrukturell technisch mäßig erschlossener Außenbereichsstandorten. Ziel ist es, grundsätzliche Energiebedarfe zu ermitteln und zu adressieren, sowie Lösungen wie netzunabhängige Systeme, Netzanbindungen oder Hybridansätze zu untersuchen und die spezifischen Eigenschaften und Potenziale verschiedener Energiequellen wie Biogas, Photovoltaik und Windkraft zu diskutieren. Darüber werden innovative Projektansätze hervorgehoben und eine vergleichende Analyse der Energiepraktiken zwischen Deutschland und China diskutiert. Dieses Dokument informiert Entscheidungsträger, Praktiker und Interessenvertreter über nachhaltige und praktische Energielösungen für die Landwirtschaft.

**Policy Brief – Nachhaltige Energieerzeugung und -nutzung in der Landwirtschaft in
Deutschland und China**

Ein Vergleich zwischen Deutschland und der Volksrepublik China

Berichtersteller: Prof. Dr. sc. agr. Jörg Oldenburg, 21734 Oederquart

Deutsch-Chinesisches Kooperationsprojekt für nachhaltige Tierzucht und Tierhaltung

(3. Phase - PN: CHN 22-01)

Inhaltsverzeichnis

1	GRUNDSÄTZLICHE BEDARFE	5
1.1	Elektroenergie	5
1.2	Wärmeenergie	6
2	INSELLÖSUNG, NETZBEZUG ODER HYBRIDANSATZ	6
2.1	Insellösung	7
2.2	Netzbezug	7
2.3	Hybridansatz	7
3	EIGENARTEN UND BESONDERHEITEN DER VERSCHIEDENEN ENERGietRÄGER	8
3.1	Biogaserzeugung	9
3.2	Photovoltaik	11
3.3	Windkraft	11
3.4	Regelung	12
3.5	Sonderfälle	14
4	VERGLEICH DER ENERGietRÄGER IN CHINA UND DEUTSCHLAND	15
5	FAZIT	17

1 Grundsätzliche Bedarfe

1.1 Elektroenergie

In einer Tierhaltungsanlage wird elektrischer Strom benötigt für

- die Beleuchtung, vor allem bei nicht ausreichendem Tageslicht – bei nicht fensterlosen Stallabteilen üblicherweise in der Nacht, im sonnenarmen Winter mehr als im Hochsommer.
- die Be- und Entlüftung mit Ventilatoren und die Lüftungssteuerung durch Drosselklappen. Da die Steuerung der Luftdurchsätze im Regelfall von der gewünschten Stallinnentemperatur und der Wärmeaufnahmekapazität der Zuluft abhängt, entsteht der größte Lüftungs- und damit Elektroenergiebedarf für die Lüftung in den warmen Sommermonaten, tagsüber im Regelfall mehr als zu Nachtzeiten.
- die Beheizung von Wärmesenken und Kühlung von stallinternen Wärmequellen. Insbesondere in Stallbereichen mit einem hohen Wärmebedarf, wie zum Beispiel Ferkelnestern oder dem Abferkelbereich insgesamt, ist der Wärmeenergiebedarf relativ hoch, vor allem im Winter bei niedrigen Außentemperaturen oder auch nachts, insbesondere bei hohen Temperaturdifferenzen zwischen den Tageshöchst- und den (Nachts-) Niedrigsttemperaturen, üblicherweise kurz vor Sonnenaufgang (je trockener ein Standort ist, desto größer kann diese Differenz ausfallen – in Wüstenregionen kommen bis zu 40 Kelvin Differenz zwischen Tag und Nacht vor, in humiden Regionen beträgt diese Differenz eher um die 10 Kelvin). Während Raumheizungen wie zum Beispiel im Abferkelbereich und der Ferkelaufzucht oder den Büroräumen häufig über Warmwasserheizungen mit Radiatoren beheizt werden, hat sich für die Punktbeheizung von Ferkelnestern z.B. entweder der Einsatz von Gasstrahlern oder Elektroinfrarotheizungen durchgesetzt. Eine Kühlung, vor allem in den heißen Sommermonaten und insbesondere tagsüber, wäre oft für die gesamte Stallanlage und Büros wünschenswert, wird bislang aber häufig nur im Bereich der Büros eingesetzt. Ob dies insbesondere im Bereich des Deckzentrums und der niedertragenden Sauen zur Erhöhung der Fertilität und der allgemeinen Fruchtbarkeit ökonomisch sinnvoll sein kann, wird relativ selten diskutiert. Ein Sonderfall wäre hier der Einsatz von Erdreichwärmetauschern als Bestandteil der Zuluftanlagen, die im Sommer zur Zuluftkühlung und im Winter zur Zulufterwärmung genutzt werden. Allerdings sind diese Systeme auf Standorte mit feuchten bis nassen Mineralböden beschränkt, denn nur bei diesen ist über das Jahr gesehen ein entsprechender Wärmeenergiepuffer sinnvoll nutzbar.
- die Fütterung mit voll- oder teilautomatisierten Fütterungsanlagen. Je nach Fütterungsregime (rationiert oder ad libitum) und Fütterungsart (trocken, feucht oder flüssig) ist die Laufzeit und damit der Elektroenergiebedarf der Fütterungsanlagen über den Tag unterschiedlich hoch.
- die Futterzubereitung mit einer Anmischung unterschiedlicher Rationen. Insbesondere, wenn

auch Mahl- und Mischanlagen im Betrieb vorhanden sind (zum Beispiel, weil keine Fertigfuttermischungen in ausreichender Menge, Qualität, Preis oder Lieferstabilität zu bekommen sind), ist der relativ hohe Elektroenergieverbrauch von Mahlanlagen bei der Auslegung der Stromversorgung zu beachten.

- die Wasserversorgung für die Tiere und die auf Wasserbasis arbeitenden Reinigungsanlagen, insbesondere bei einer Eigenwasserversorgung, die dann zum Tragen kommt, wenn einerseits keine öffentliche Wasserversorgung vorhanden ist und andererseits am oder in der Nähe des Anlagenstandortes ausreichende Brunnenwasserkapazitäten und -qualitäten realisierbar sind. Der Trinkwasserbedarf ist insbesondere nach der Futteraufnahme erhöht und damit mit einem gewissen Zeitverzug an die Fütterungszeiten gebunden, der Reinigungswasserbedarf ist dann vorhanden, wenn das Stallpersonal und/oder die Reinigungsroboter der Waschtätigkeit nachkommen.
- die Entmistungs-, Separierungs- und (Gülle-) Pumpentechnik. Je nach Automatisierungsgrad entsteht der wesentliche Energiebedarf hier entweder tagsüber (bei einem geringen Automatisierungsgrad während der Arbeitszeit des Personals) oder ganztägig (bei einer Vollautomatisierung).
- elektrische Fahrzeuge.
- alle weiteren betriebsinternen Techniken (Buchhaltung, Pflege des Geländes, Tore, Waagen, Hygieneschleusen etc.).

1.2 Wärmeenergie

In einer Tierhaltungsanlage wird Wärme benötigt für

- die Stall- und Bürobeheizung, vor allem im Winter und nachts. Für die Punktbeheizung von z.B. Ferkelnestern werden entweder Gasstrahler oder Elektroinfrarotheizungen eingesetzt (s.o.). Für die Raumbeheizung kommen im Regelfall Warmwasserzentralheizungen zum Einsatz. Die Wärmeerzeugung erfolgt dann auf Basis von Kohle, Gas, Öl, selten Holz oder Stroh, oder mit Abwärme aus einer Biogasanlage; in der Regel nicht mit elektrisch betriebenen Wärmepumpen oder mit der Wärme aus Fernwärmeheiznetzen, weil diese an den üblichen Standorten von Stallanlagen im ländlichen Raum nicht vorhanden sind.

2 Insellösung, Netzbezug oder Hybridansatz

In China und in Deutschland bestehen grundsätzlich flächendeckend Strom-, Gas- und Straßennetze. Allerdings kann der technische und finanzielle Aufwand, einzelne Anlagen im

Außenbereich von Siedlungszentren an die jeweiligen Netze anzuschließen, relativ groß werden. Dann stellt sich die Frage, ob eine Insellösung zur Energieversorgung eine sinnvolle Alternative zum Netzanschluss sein kann.

2.1 Insellösung

An Anlagenstandorten für die Tierhaltung, an denen keine überörtlichen Energienetze in ausreichender Nähe zum Anlagenstandort vorhanden sind, ist die Schaffung einer Insellösung denkbar, ergo einer eigenbetrieblichen Energieversorgung. Der Vorteil einer Insellösung ist die Schaffung einer örtlich nutzbaren Energiequelle zur Realisierung einer Produktionsanlage an einem Standort, an dem keine Leitungsnetze vorhanden sind. Der Nachteil gegenüber einem Netzanschluss ist die mangelnde Diversität der Energiequellen und Leistungsstabilität: in großen Netzen sind sowohl der sich ständig verändernde Verbrauch durch die Vielzahl der im Netz vorhandenen Nutzer geglättet als auch mehr Möglichkeiten der Einstuerung unterschiedlicher Energiequellen auf der Basis von Grund-, Mittel- und Spitzenlastkraftwerken vorhanden. Bei Insellösungen hingegen muss man sich in der Regel auf die örtlich vorhandene Energiequelle beschränken und sich stärker auf die Harmonisierung von Last- und Ertragskurven fokussieren. In der Regel werden dann auch Speicherlösungen notwendig. Die Folge ist am Standort der Insellösung ein erhöhter Kapital- und Regelungsaufwand des Betreibers der Tierhaltungsanlage gegenüber der Verwendung eines Netzanschlusses.

2.2 Netzbezug

Im Regelfall liegt am Anlagenstandort ein ausreichend dimensionierter Netzanschluss vor. Die Tierhaltung ist im Grunde kein elektro- und wärmeenergieintensiver Wirtschaftszweig (der wesentliche Energieinput erfolgt über die eingesetzten Futtermittel). Die Unterschiede zwischen China und Deutschland sind im Preisniveau zu finden (China gewerblich ~8 €/kWh (gegenüber ~6 €/kWh privat), Deutschland gewerblich ~25 €/kWh (gegenüber ~35 €/kWh privat)). Damit liegen die Kosten für Elektroenergie im gewerblichen Bereich in China ca. 2/3 niedriger als in Deutschland.

2.3 Hybridansatz

Aufgrund der besonderen Gesetzgebung in Deutschland wird die örtliche Erzeugung von elektrischem Strom aus regenerativer Energie (Wasserkraft, Biogasverstromung, Photovoltaik, Windkraft) politisch gefördert. Insbesondere die Themen Biogas, Photovoltaik und Windstrom sind in Deutschland typisch landwirtschaftliche Themen, weil diese Energieformen flächenabhängig sind und insbesondere die Landwirtschaft große Flächen nutzt und Zugriff auf

diese hat. Eine für Deutschland typische Situation ist, den aus einer Biogasanlage durch Blockheizkraftwerke, den durch Photovoltaik auf den Dächern der landwirtschaftlichen Gebäude und in (noch) eher seltenen Fällen den durch hofnahe Kleinwindanlagen mit einer Gesamthöhe von maximal 50 m und bis zu 250 kW installierter Leistung erzeugten elektrischen Strom entweder vollständig ins überörtliche Netz einzuspeisen (das waren die rechtlichen Vorgaben der vergangenen Jahre) oder zunehmend daraus den Eigenbedarf der Tierhaltungsanlage zu decken und nur den überschüssigen Strom ins überregionale Netz einzuspeisen und bei Bedarf resp. bei zeitweiligem Mangel an eigenerzeugtem Strom den Bedarf aus dem überregionalen Netz zu decken. Der dadurch erzeugte technische Regelaufwand ist immens, die Rechtsgrundlagen, die dazu geschaffen worden sind, werden zunehmend unübersichtlicher und der daraus folgende verwaltungstechnische Aufwand für das Strommanagement innerhalb der landwirtschaftlichen Betriebe, sowohl in Sachen know how als auch im reinen Arbeitsaufwand, ist für Betriebe, die im Kern Tierhaltungsbetriebe sind, kaum vertretbar. Dass dieser Weg überhaupt von einigen Betrieben beschritten wird, hat seine Ursache in den grundsätzlich hohen Energiepreisen. In Ländern, die einen signifikant niedrigeren Strompreis als in Deutschland kennen, dürften diese typisch deutschen Ansätze in Summe wirtschaftlich uninteressant sein.

3 Eigenarten und Besonderheiten der verschiedenen Energieträger

Die in Deutschland und in China drei hauptsächlichen Träger von regenerativer Energie im ländlichen Raum sind Biogas, Windkraft und Solarenergie, letztere überwiegend als Photovoltaik und weniger als Solarthermie.

Im Bereich Deutschlands zwischen dem 47. und dem 54. Breitengrad liegen die Elektroenergieerträge beim Anbau von Silomais auf Ackerflächen zur Erzeugung von Biogas bei ca. 25 MWh p.a./ha, bei Photovoltaik um die 1.000 MWh p.a./ha (im Süden mehr, im Norden weniger) und bei Windkraft in Küstennähe und den aktuellen Größen von Windkraftanlagen bei ebenfalls um die 1.000 MWh p.a./ha (im Süden deutlich weniger). Bei der Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen wie zum Beispiel Maissilage ist der Flächenverbrauch bei der Erzeugung von elektrischem Strom aus Biogas unter den deutschen Ertragsbedingungen mit einer Ernte je Kalenderjahr etwa um den Faktor 40 höher als bei Photovoltaik. Beide Energien entziehen die benötigte Fläche anderen Nutzungen, wobei die Zwischenräume zwischen den Photovoltaikmodulen und die mit den Photovoltaikmodulen überdachten Flächen als Flächen für den Naturschutz genutzt werden können, zum Beispiel als Insektenweide oder Fläche für

die pflanzliche Biodiversität, idealerweise als Magerrasen. Aus diesem Grund hat sich die Flächen-Photovoltaik in Deutschland bislang vor allem auf ertragsschwachen Standorten in wasserarmen Regionen etabliert.

Obwohl der flächenbezogene Ertrag von Biogas aus nachwachsenden Rohstoffen eher schlecht ist, hat sich dieses Verfahren Mitte der 2000er Jahre etabliert, weil seinerzeit die staatliche Förderung der in das überregionale Netz eingespeisten Elektroenergie überproportional hoch war und im Getreidebau zu der Zeit auf vielen Standorten nur unzureichende Marktpreise erzielt werden konnten.

In der Tierhaltung macht die Nutzung von Biogasanlagen technisch vor allem deshalb Sinn, weil der Rohstoff (Mist, Gülle und Futterreste) am Standort schon vorhanden ist, nicht als nachwachsender Rohstoff angebaut und mit Fahrzeugen zur Anlage transportiert werden muss und weil bei der Biogaserzeugung aus den vorhandenen Reststoffen noch ein großer Teil der Energie entzogen, der Anteil der organisch gebundenen Stickstofffraktion abgebaut und umgewandelt und so die schnell pflanzenverfügbare Stickstofffraktion (Ammonium) aufkonzentriert wird. Außerdem wird die geruchliche Belastung von Mist und Gülle deutlich reduziert. Trotzdem wird es aus unterschiedlichen Gründen noch nicht flächendeckend gemacht, weil neben den benötigten Investitionssummen im Tierhaltungsbetrieb so ein weiterer Betriebszweig entsteht, der dann zusätzlich noch zu managen ist.

Bei der Nutzung von Windenergie werden dem Ackerbau und der Weidewirtschaft keine landwirtschaftlich nutzbaren Flächen vollständig entzogen (bis auf die notwendigen Stellplätze für die Windkraftanlagen und den dazu notwendigen Wegebau. Die Flächeninanspruchnahme liegt im Bereich von ca. 5 %. Aber anders als Maisflächen und Photovoltaik verursachen Windkraftanlagen im laufenden Betrieb technische Geräusche und möglicherweise Schattenwurf, die von Nachbarn als störend empfunden werden können. Deshalb sind Windkraftanlagen je nach Standort mindestens immer mehrere hundert Meter von der nächsten Wohnbebauung entfernt aufzustellen. Das schränkt die Nutzung in der Fläche je nach Siedlungsstruktur zum Teil deutlich ein.

3.1 Biogaserzeugung

In einer Biogasanlage läuft ein biochemischer Prozess ab. Damit die Mikroorganismen immer in ihrem optimalen Umfeld existieren und arbeiten können, müssen die Prozessparameter ständig kontrolliert und vor allem im optimalen Betriebsbereich gehalten werden. Zu diesen Betriebsparametern gehören vor allem die Betriebstemperatur und der Säuregehalt (der pH-

Wert). Aufgrund der Größe der raumumschließenden Bauteile der Reaktoren resp. Fermenter findet je nach Gradient zwischen Substrat- und Umgebungstemperatur ein Wärmeabfluss aus dem System ins Freie statt. Wenn der Wärmeabfluss größer wird als die im Substrat erzeugte Eigenwärme, fällt die Substrattemperatur aus dem optimalen Temperaturfenster heraus, mit der Folge einer verringerten Stoffumsetzung im Substrat. Dann kommt es zu deutlichen Leistungseinbußen mit der Folge, dass die Kosten der Biogaserzeugung überproportional steigen. Obwohl Gülle, insbesondere Rindergülle (Trockensubstanzgehalte von 8 bis 12 %) oder Hühnermist (Trockensubstanzgehalte bis 25 %), über grundsätzlich gute Substrateigenschaften verfügen, führt eine übermäßige Einleitung von Waschwasser in die Gülle zu einer verringerten Energiekonzentration und zu einem übermäßigen Wärmeabfluss. Bei Schweinegülle, die auch ohne Waschwasser bei Mastschweinen Trockensubstanzgehalte von um die 5-6 % aufweist und bei Sauen nur 2-3 %, ist das Problem noch größer: geringere TS-Gehalte erfordern größere Fermentervolumina, was die spezifischen Investitionskosten steigen lässt, und senken die spezifische Gaseffektivität, was die relativen Wärmeverluste überproportional steigen lässt.

Bei der Produktion von Biogas sind zwei Energiespeicher vorhanden: auch wenn das Rohsubstrat nach der Entstehung im Stall zeitnah, d.h. innerhalb weniger Tage, umgesetzt werden sollte, um keinen atmosphärischen Umwandlungsverlust zu erzeugen, so ist die Gülle- und Mistmenge, die noch nicht verarbeitet ist, ein Energiespeicher. Das gleiche gilt für das erzeugte Biogas. Wird dieses zwischengelagert und später als in situ umgesetzt, kann bei einem ausreichend großen Blockheizkraftwerk (BHKW), zum Beispiel der Tagesertrag an Biogas in zum Beispiel 12 Stunden je Tag umgesetzt werden. Dieser Weg wird aktuell in Deutschland regelmäßig genutzt, um die Stromerzeugung im Tagesgang an den Stromverbrauch anzupassen (sog. „Regelenergie“). Für den Erzeuger verursacht dieser Weg höhere Anlagenkosten, durch eine leistungsabhängige Bezahlung des eingespeisten Stromes sind die Stromerträge unter deutschen Konstellationen derzeit jedoch höher als die zusätzlichen Anlagenkosten.

Mit der überschüssigen Abwärme sind bei Bedarf Wärmesenken zu heizen, wie zum Beispiel nahe Wohnhäuser, betriebliche Büros, vor allem aber in den Tierställen zum Beispiel der Abferkelbereich und die Ferkelaufzucht oder Ställe vor und nach der Einstellung von Masthähnchen- oder Legehennenküken.

Die Eckdaten zum Gülle- und Mistanfall und der daraus erzeugbaren Energie sind im diesbezüglichen Policy Brief vom 5. März 2024 zu finden.

3.2 Photovoltaik

PV-Anlagen erzeugen Strom, wenn die Sonne auf die Module fällt. Bei Dunkelheit wird kein Strom erzeugt, bei vorbeiziehenden Wolken mit Unterbrechungen der Peak-Leistung, bei bedecktem Himmel und in der Morgen- und Abenddämmerung ist die Leistung erheblich reduziert, bei Regen fast gegen Null. Hinzu kommen durch Verstaubungen dämpfende Effekte. Das bedeutet, dass die Erzeugung von PV-Strom dem Sonnengang folgt. Situationen, in denen Erzeugung und Verbrauch deckungsgleich sind, kommen fast nie vor. In Regionen und an Standorten, an denen Klima- resp. Kühlanlagen genutzt werden, kann es jedoch Situationen geben, in denen die Verbrauchs- und die Erzeugungskurve nahezu deckungsgleich sind.

Die Preise für PV-Module, Wechselrichter und weitere Systembestandteile sind in den vergangenen Jahren sehr stark gefallen. So sind auch die Erzeugungskosten für Strom aus PV-Anlagen gesunken und dürften je nach Standort und mittlerer Bewölkung bei ca. 4 bis 7 € Ct/kWh liegen.

In Deutschland wurden die damals deutlich teureren PV-Module in der Vergangenheit grundsätzlich nach Süden ausgerichtet, um so den maximalen Jahresertrag ermöglichen zu können. Dies führt allerdings dazu, dass die höchste Stromerzeugung ausschließlich in die Mittagsstunden fällt. Wenn man die PV-Module jedoch nach Westen und Osten ausrichtet, zum Beispiel auf Gebäuden mit Satteldächern, deren Firstachse in Nord-Süd-Richtung positioniert ist, sinkt zwar die maximal erzeugte Energiemenge, dafür wird über einen weiteren Zeitraum über den Tag Strom erzeugt. So erzeugt eine PV-Anlage auf einem Dach mit 17° Dachneigung (das ist eine häufige Dachneigung auf Stallanlagen mit Satteldächern) auf dem 54. Breitengrad in Norddeutschland bei einer Südausrichtung ca. 1.000 kWh p.a./kWpeak. Bei einer Nutzung der östlichen und der westlichen Dachhälfte sind es eher 800 kWh p.a./kWpeak, dafür aber über einen deutlich breiteren Tagesgang von Sonnenauf- bis Sonnenuntergang.

Die derzeit erhältlichen handelsüblichen PV-Module weisen eine Leistung von etwa 440 Wattpeak bei einer Länge von 1,80 * 1,2 m incl. Verlegeabstand, ergo 2,16 m², ergo ca. 200 Watt/m² auf. Das bedeutet, dass in einer Stallanlage für z.B. Mastschweine ca. 200 Watt/Tierplatz an PV-Leistung auf dem Dach montiert werden könnten. Bei Milchkühen wären es etwa 1-1,5 kW/Tierplatz.

3.3 Windkraft

Hof- resp. anlagennahe Kleinwindanlagen unter 50 m Gesamthöhe mit einer installierten Leistung von bis zu 250 kW unterliegen in Deutschland relativ einfachen

Genehmigungsverfahren. Trotzdem sind sie nicht allzu häufig anzutreffen. Der Grund findet sich einerseits in vergleichsweise hohen Anlagenkosten mit ca. 4.000 €/kW. Bezogen auf die installierte Leistung je kW liegen diese ca. 2-3mal höher als bei aktuell gängigen Anlagentypen in Windparks mit ca. 250 m Gesamthöhe und einer installierten Leistung von etwa 6-7 MW und Anlagenkosten von ca. 1.500 €/kW. Ein weiterer Grund liegt in der niedrigen Gesamthöhe und dem damit verbundenen, stark den Wind in Bodennähe bremsenden, Einfluss von Bebauung und Bewuchs, der zu deutlich geringeren Stromerträgen je kW installierter Leistung führt, mit je nach Standort um die 600 bis 700 kWh p.a./kW installierter Leistung, während in größeren Höhen der Wind stärker und kontinuierlicher weht und Anlagen mit ca. 250 m Gesamthöhe, Rotordurchmessern von ca. 160-175 m und installierten Leistungen von 6-7 MW in norddeutschen Tiefland Stromerträge von ca. 3.000 kWh p.a./kW installierter Leistung bringen.

Die o.g. Kleinwindanlagen sind daher bei Einspeisevergütungen für Strom aus Windkraftanlagen zwischen 5 und 8 € Ct/kWh für die wirtschaftliche Erzeugung von Elektroenergie, die in das regionale Stromnetz eingespeist wird, nicht nutzbar. Für einzelne Betriebe ergeben diese Anlagen nur dann Sinn, wenn damit einerseits relativ teurer Bezugsstrom substituiert wird und die Betriebe andererseits im Hinblick auf die rechtlichen Anforderungen zum Thema Klimabilanz wie zum Beispiel in Deutschland regulatorische Unternehmenserfolge vorweisen müssen.

3.4 Regelung

Im Gegensatz zum ausschließlichen Netzbezug ist bei einer Inselösung, aber auch bei einem Hybridansatz mit dem Ziel der Senkung der betrieblichen Energiekosten zu berücksichtigen, dass man die aus der betriebseigenen Lastkurve entstehenden Regelbedarfe nicht in das überregionale Netz externalisieren kann, sondern eine eigenbetriebliche Regelungsstrategie benötigt. Es sind die eigenbetriebliche Energieerzeugung und der eigenbetriebliche Energieverbrauch zu synchronisieren.

Dabei ist Folgendes zu beachten:

- Solarstrom entsteht bei Sonnenschein. Bei Regenphasen oder starker Bewölkung ist der Energieertrag deutlich reduziert. Ein bewölkter Himmel hingegen führt durch die ziehenden Wolken zu in kurzer Zeit stark schwankenden Ertragskurven. Je nach Standort ist der gesamte Energieertrag in den sonnenärmsten Wintermonaten vernachlässigbar gering. Für diese Zeiten, in denen der Belichtungs- und Wärmebedarf in den Betrieben am höchsten ist, braucht es eine alternative Energiequelle.

Solarstrom ist zwar grundsätzlich sehr preiswert, aber eben auch sehr unstat und im Winterhalbjahr kaum vorhanden. Es ist regional betrachtet nur eine Ergänzung, um die anderen Energieträger während der Sonnenphasen zu entlasten.

- Ohne eine ausreichende Pufferung durch zum Beispiel Batteriespeicher ist Solarstrom im Regelfall auch während der hellen Jahreszeit kaum sinnvoll zu nutzen. Eine Pufferung führt jedoch zu erhöhten Stromkosten, weil ein zweites kapitalintensives System (Batteriespeicher) benötigt wird.
- Hilfreich ist, die energiezehrenden betrieblichen Prozesse, die an keine Tageszeit gebunden sind oder nicht täglich benötigt werden, in die sonnenreiche Tageszeit zu verlegen, wie zum Beispiel eine Gülleseparation, Mahl- und Mischanlagen oder Waschmaschinen.
- Wie schon beschrieben sind Kühl- und Klimaanlage perfekt geeignet, mit Solarstrom betrieben zu werden, weil hier die Ertrags- und die Lastkurve relativ einfach zur Deckung gebracht werden können.
- Einmal abgesehen davon, dass kleinere Windkraftanlagen vergleichsweise teureren Strom produzieren als größere Anlagen, wird Windstrom auch nachts und vor allem im Winterhalbjahr produziert. In Norddeutschland zum Beispiel ergänzen sich Wind- und Solarstrom relativ gut. So kam es in der Vergangenheit nur in ca. 1 % der Jahreszeit gleichzeitig zu vollem Ertrag bei Wind- und Solarstrom. Wenn man dann den jeweils teureren Energieträger abschaltet, um die innerbetrieblichen wie überregionale Netze besser auslasten zu können, lassen sich beide Energieträger gut aufeinander abstimmen.
- Biogas ist in einem landwirtschaftlichen Betrieb resp. Tierhaltungsbetrieb mit den typischerweise relativ großen Dachflächen neben dem Solarstrom von den Dächern der Stallanlagen die zweite naheliegende Energiequelle. Die Umwandlung von Kot, Harn, Einstreu und Futterresten in Methan und über BHKW in elektrischen Strom und Wärme ist grundsätzlich ein gutes Konzept, durch die kapital- und wartungsintensiven Biogasanlagen aber kein Billigkonzept und funktioniert nur dann auch in kalten Jahreszeiten sehr gut, wenn die benötigte Prozesswärme im System verbleibt (durch gute Wärmedämmung aller möglicherweise auskühlenden Prozessbehälter und -leitungen), die Energiekonzentration im Substrat ausreichend hoch ist (idealerweise durch eine Vorentwässerung von trockensubstanzarmen Gällen) und der Biogasprozess durch geeignetes Personal immer stabil geführt wird. Die Erzeugung von

Biogas ist ein sensibler biochemischer Prozess, der nur dann erfolgreich geführt werden kann, wenn Technik und know how rund um die Uhr perfekt aufeinander abgestimmt sind.

3.5 Sonderfälle

3.5.1 Gasheizung

Zur Deckung von Wärmelücken zum Beispiel im Abferkelstall und in der Ferkelaufzucht, in der Legehenneaufzucht und in der Hühner-, Enten- und Putenmast sind Gasstrahler bei entsprechenden Qualitäten auch mit Biogas aus einer eigenbetrieblichen Biogasanlage zu betreiben, alternativ über einen zentralen Wärmeerzeuger mit einer Warmwasserheizung oder Heizregistern.

3.5.2 Wärmepumpe

Zur Deckung von Wärmelücken im Betrieb, auch in den Büros, sind elektrisch betriebene Wärmepumpen mit Strom aus einem BHKW, einer PV- oder einer Windkraftanlage einsetzbar. Als Wärmequellen sind sowohl die Außenluft als auch andere innerbetriebliche Wärmeträger einsetzbar, wie zum Beispiel die Gülle (mit der Folge eines Emissionsminderungseffekts bei Ammoniakemissionen resp. Erhalt des Düngewertes der Gülle), Abwässer, Geothermie.

3.5.3 Wärmerückgewinnung

Wärmerückgewinnung aus den Kühlprozessen in der Milchkühlung oder beim Betrieb von eigenbetrieblichen Kühlhäusern ist eine ganz erhebliche Energiequelle. Die Wärmerückgewinnung ist im Grunde genau so wie Kältekompressoren der grundsätzlich immer gleiche technische Prozess.

3.5.4 Abluftwärmetauscher

Abluftwärmetauscher sind Systeme, die als Bestandteil der Lüftungsanlagen ohne Kompressoren, Verdichter und Verdampfer auskommen. Bei diesen Systemen wird Abluft im Gegen- oder Kreuzstrom zur Zuluft in einem Wärmetauscher abgekühlt und die Zuluft erwärmt. Der Wirkungsgrad ist hoch, solange regelmäßig eine Entstaubung stattfindet. Diese Systeme sind insbesondere im Winterhalbjahr und nachts geeignet, den Wärmeverlust aus Stallanlagen mit einem Wärmebedarf zu reduzieren und dadurch die Heizungsanlagen zu entlasten. Ein positiver Nebeneffekt im Hinblick auf eine Emissionsminderung von Staub und Ammoniak in der Abluft entsteht, wenn die Abluft bis zur Taupunktunterschreitung abgekühlt wird und im

dann ausfallenden Wasserdampf Ammoniak gelöst wird. Der Minderungseffekt hängt wesentlich vom Zeitanteil der Taupunktunterschreitung ab.

3.5.5 Erdreichwärmetauscher

Erdreichwärmetauscher, ebenfalls als Bestandteil der Lüftungsanlage ohne Kompressoren, Verdichter und Verdampfer gleichen die Tages- und auch die Jahresschwankungen der Zulufttemperaturen aus mit deutlichen Kühleffekten in der Mittagshitze und Zulufterwärmung in kühlen Nächten und im Winter. Die dafür benötigten Wärmetauscher werden als Kunststoffrippenrohre in einer Tiefe von 1,5 bis 2 Metern im Erdreich und in eher kühleren Regionen auch unter der Bodenplatte eines geheizten Stallgebäudes verlegt.

Für eine sichere Funktion sind aber mehrere geologische Randbedingungen eine zwingende Voraussetzung:

- ein wasserführender Mineralboden, in dem die Rohre verlegt werden können.
- Moorige Böden sind auch möglich.
- eine Verlegetiefe, in der die Böden überwiegend feucht bis nass sind, um den Energieaustausch um die Tauscherrohre herum im Boden räumlich erweitern zu können.
- felsige Untergründe sind nicht geeignet.
- durchgängig trockene Böden sind nicht geeignet.

4 Vergleich der Energieträger in China und Deutschland

Bei der Auswahl möglicher Energieträger sind neben den innerbetrieblichen Erfordernissen am jeweiligen Standort vor allem auch die energiepolitischen Rahmenbedingungen im Umfeld der jeweiligen Anlage von entscheidender Bedeutung.

Tabelle 1 - Vergleich Energieträger

Parameter	Kenntnisstand und Einschätzung	
	China	Deutschland
Externer Bezugsstrom	In der Regel vorhanden	In der Regel vorhanden Hohe Netzentgelte für die Nutzung privater Netze und öffentliche Steuern
Kosten Bezugsstrom von extern	~0,08 €/kWh	~0,20 – 0,32 €/kWh Volatil Je nach Region und Verbrauch verhandelbar

Einspeisung betriebl. erzeugter Überschussenergie ins überregionale Netz	Nicht vorgesehen	Möglich, aber mit extrem aufwändiger Bürokratie (Regelkosten) verbunden. Die Höhe der Einspeisevergütung hängt von der Art und der Größe des Energieträgers ab. Ohne Eigenstromverbrauch höhere Einspeisevergütung (PV und Wind ca. 0,05-0,07 €/kWh, Biogas > 0,16 €/kWh bis 0,22 €/kWh Unterschiedliche zulässige Leistungsgrenzen (25 kW, 30 kW, 100 kW etc.)
Erzeugung von Biogas	Grundlastfähig, ideale Gülle- und Mistverwertung, wenn die Voraussetzungen stimmen. Biogasanlagen können über den Tagesgang bei ausreichend großen BHKW als Spitzenlastkraftwerke netzstabilisierend wirken. Das rechtfertigt höhere Einspeisevergütungen als im Regelbetrieb.	
	Kein Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen. Abwärme wird eher nicht genutzt. Gaseinspeisung in kleinteilige lokale Netze, günstig. Eher keine Stromproduktion. Hoher Waschwassergehalt in der Gülle, Problem biozide Reinigungsmittel.	In der Vergangenheit durch Überförderung großflächiger Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen und Erzeugung von Strom ins überregionale Netz auch ohne Tierhaltung, Wärme als Nebenprodukt für kleinteilige Wärmenetze. Gülleanlagen erstaunlicherweise nur restriktiv zugelassen. Durch Änderung der Förderbedingungen Umbau auf Gaswäsche, Druckerhöhung und Einspeisung in überregionale Gasnetze, teuer, kaum noch Überschusswärme. Hohe Anlagenkosten.
Photovoltaik auf Stalldächern	Ideal für die innerbetriebliche Nutzung von Klima- und Kühlanlagen (Ertrags- und Lastkurve sind nahezu deckungsgleich). Eine Nutzung ist bei Regen oder Wolken nur eingeschränkt möglich. Batteriespeicher erhöhen die Kosten je kWh deutlich. Staubdepositionen senken die nutzbare Leistung, jährliche Reinigung empfehlenswert. Nachregelung bei Einspeisung ins überregionale Netz notwendig, senkt die Effektivität der Großkraftwerke.	

	Keine Daten, bislang eher wenig. Es ist die Frage zu klären, ob die Statik ausreicht.	Auf Stallanlagen seit Jahren etabliert, förderbedingt bislang jedoch eher für die Direkteinspeisung, zunehmend auch Eigenverbrauch zu Lasten der Preise für eingespeisten Überschuss zu Gunsten der Einsparung von teurerem Bezugsstrom.
Windkraft	Eigenbetrieblich eher selten, kann eine gute Ergänzung für Nacht- und Winterstrom sein. Erzeugungskosten hängen wesentlich von der Größe der Anlage und den Winden am Standort ab. Küstenlagen mit wenig Wald und Kammlagen sind bevorzugte Standorte. Nachregelung bei Einspeisung ins überregionale Netz notwendig, senkt die Effektivität der Großkraftwerke. In der Tierhaltung eher selten.	

5 Fazit

Regenerative Energie wird über die Fläche gewonnen. Die Landwirtschaft ist der einzige relevante Flächenbewirtschafter. Die Tierhaltung als Verwerter von Grün-, Körner- und sonstigen Futtermitteln erzeugt Reststoffe, in denen ebenfalls relativ große nutzbare Energiereserven zu finden sind.

Aus betrieblicher und managementrelevanter Sicht ist der Netzbezug zu festen Konditionen, seien es Strom oder Gas (oder auch Öl oder Kohle), in der Regel der technisch und organisatorisch einfachste Weg.

An den global betrachtet eher wenigen Standorten, an denen ein Netzbezug nicht möglich ist, blieben in der Vergangenheit nur mobil transportfähige Energieträger wie Öl/Gas oder Kohle.

Wenn man aus volkswirtschaftlicher resp. gesellschaftspolitischer Sicht den Einsatz von regenerativen Energien forcieren möchte, kommt zur eigentlichen landwirtschaftlichen Produktion eine eigenbetriebliche Energieerzeugung hinzu. Dies führt zwangsläufig zu höheren Investitionen sowie mehr Personal-, Weiterbildungs- und Verwaltungsaufwand. Ob der Einsatz lohnend sein kann, kann nie pauschal beantwortet werden. Es ist immer eine standortbezogene einzelbetriebliche Abwägung.

In vielen Betrieben ist die Nutzung von Photovoltaikstrom möglich und naheliegend. Allerdings ist dieser hochvolatil und bedarf einer entsprechenden Einbindung in das betriebliche Verbrauchsszenario. Er kann im Regelfall nur als ergänzende Energiequelle genutzt werden.

Die Einbindung von eigenen Windkraftanlagen kann den Jahreszeitanteil eigenbetrieblich erzeugter regenerativer Energie deutlich ausdehnen. Aber auch hier gelten die gleichen Aussagen wie zum Solarstrom.

Biogas ist in Tierhaltungsanlagen eine natürliche Energiequelle. Der technisch-organisatorische Aufwand ist relativ hoch. Im Gegensatz zu PV- und Windstrom besteht bei Biogasanlagen zur Nutzung von Mist- und Gülle noch ein erheblicher Optimierungs- und Forschungsbedarf, insbesondere bei der Vorentwässerung der eingesetzten Substrate.

Ohne eine zeitliche Anpassung der Verbräuche an die Erzeugung incl. einer eigenbetrieblichen Strom- und im Einzelfall Wärmespeicherung dürfte bei einer Insellösung eine ungestörte Tierhaltung nicht möglich sein. Die Speicherung erhöht den Kapitalbedarf zusätzlich.

Einige energetische „Schätze“, die in landwirtschaftlichen Betrieben gehoben werden können, wie Abluftwärmetauscher, Kühlanlagen, Wärmerückgewinnung usw. sind unabhängig von einer eigenbetrieblichen Energieerzeugung zu betrachten.

Welche Techniken für welchen Betrieb am jeweiligen Standort am besten geeignet sind, ist nicht pauschal zu beantworten.