



Digitales Energiemanagement im Milchviehbereich

Heinz Bernhardt¹

Angenommen: 6. Dezember 2022 / Online publiziert: 25. Januar 2023
© Der/die Autor(en) 2023

Zusammenfassung

Die nachhaltige Nutzung von Energie spielt weltweit eine immer wichtigere Rolle in der gesellschaftlichen Diskussion. Am Beispiel der Milchviehhaltung sollen die Möglichkeiten, die sich dadurch für ein Energiemanagement ergeben, erläutert werden. Als Basis für dieses Energiemanagementsystem ist eine umfassende Durchdringung des Systems Kuhstall mit Digitalisierung, Automatisierung und IoT notwendig. Dabei werden die einzelnen Bereiche der Energieerzeugung, -speicherung und -nutzung in der Landwirtschaft aufgezeigt. Als Regelgröße dienen dabei Smart Livestock Farming und regionalisierte Wetterdaten. Aufbauend auf diesem Datenpool können dann Entscheidungssysteme die internen und externen Energieflüsse ordnen. Dabei wird auf die besonderen Anforderungen des Energiemanagements im regionalen Verbund eingegangen und welche Auswirkungen dies auf die Landwirtschaft, die Region und die Gemeinschaft hat.

Einleitung

Der Aspekt Energie wird gerade vor dem Hintergrund verschiedenster technologischer, gesellschaftlicher und ökonomischer Aspekte allgemein diskutiert. In Anbetracht der aktuellen Klimaveränderung stellt die Energiegewinnung auf Basis fossiler Rohstoffe einer der Aspekte dar, die durch ihren CO₂-Ausstoß am meisten dazu beitragen. Um dieser Entwicklung entgegen zu wirken, spielen die verschiedenen Arten der regenerativen Energien eine entscheidende Rolle. Der Aspekt der Nachhaltigkeit der Energienutzung ist ebenfalls weit verbreitet [1]. Vor dem Hintergrund der aktuellen weltpolitischen Lage wird auch der Blickwinkel der regionalen Energieerzeugung wieder wichtig. Der Gesichtspunkt der Energie ist auch bei der Erreichung vieler der 17 Sustainable Development Goals (SDGs) der UN wichtig [2]. Es handelt sich also um eine umfassende Diskussion.

Eine Fragestellung die sich aus dieser umfassenden Diskussion ergibt, ist, wie eine nachhaltige Produktion in Bezug auf Energie und ihre Ausrichtung durch Digitalisierung, Automatisierung und IoT möglich wird. Diese allgemeine Fragestellung soll am Beispiel eines Milchviehbetriebes dargestellt werden. Dabei sollen die Möglichkeiten aufgezeigt werden, die sich aktuell und zukünftig durch Digitalisierung

ergeben, Energie selbst zu erzeugen, zu speichern und zu nutzen. Energie umfasst dabei die unterschiedlichsten Energiebereiche, wie elektrische Energie, thermische Energie, chemische Energie oder mechanische Energie. Das übergeordnete Ziel ist dabei eine energieneutrale Produktion im Gesamtprozess, das sich mit den weiteren Zielen im Bereich Klimabilanz, Reduktion der betrieblichen Energiekosten und der Erschließung neuer Verdienstmöglichkeiten durch den Handel von Energie ergibt [3].

Zum Management dieser Ziele ist ein Energiemanagementsystem erforderlich. Darunter versteht man auf der technischen Seite ein System computergestützter Tools, die von Betreibern von Stromversorgungsnetzen verwendet werden, um die Leistung des Erzeugungs- oder Übertragungssystems zu überwachen, zu steuern und zu optimieren. Gleichzeitig wird aber auch der Blick auf die organisatorische Seite geworfen die sich in der ISO 50001 widerspiegelt. Hier beruht ein systematisches Energiemanagement auf einer Erfassung der Energieflüsse in einem System (Energiequellen, Energieeinsatz, Energieverbraucher) und einer Bewertung des Standes der Energieeffizienz, insbesondere der für den gesamten Energieverbrauch bedeutsamen Einrichtungen und Prozesse. Diese Erfassung ist die Grundlage für die Umsetzung sowohl technischer Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz als auch von strategischen und organisatorischen Managementansätzen. Organisatorische und technische Maßnahmen sollen dazu führen, die energiebezogene Leistung systematisch und längerfristig zu verbessern [4–6].

✉ Heinz Bernhardt
heinz.bernhardt@tum.de

¹ TUM School of Life Sciences, Lehrstuhl Agrarsystemtechnik, Technische Universität München, Freising, Deutschland

Der Schwerpunkt der Betrachtung liegt dabei auf der Situation in Deutschland. Das allgemeine Konzept ist jedoch auf viele andere Länder übertragbar.

Fragestellung

Zur Analyse der Potenziale von Energiemanagementsystemen in der Landwirtschaft durch Digitalisierung, Automatisierung und IoT wird als Beispiel ein typischer süddeutscher Milchviehbetrieb mit rund 100 Milchkühe genommen. Für viele also dieses typische oberbayrische Idyll mit braun gefleckten Kühen, die auf der Weide stehen. Also in einer Gedankenwelt, die relativ weit von einer modernen digitalen Welt entfernt ist. Aber gerade hieran lässt sich zeigen, wie aktuelle Entwicklungsströmungen sich auch dort verbreiten und neue Möglichkeiten erschließen.

Im Folgenden wird zuerst ein Überblick über die aktuellen Erzeugungsmöglichkeiten für Energie und die aktuelle Verbrauchssituation an Energie in Milchviehbetrieben aufgezeigt, um dann die Möglichkeiten durch Energiemanagement und Digitalisierung aufzuzeigen.

Energiemanagementsysteme

Die Analyse der Milchviehbetriebe zeigt, dass es ein großes Potenzial für eine nachhaltige Energieerzeugung gibt (Abb. 1).

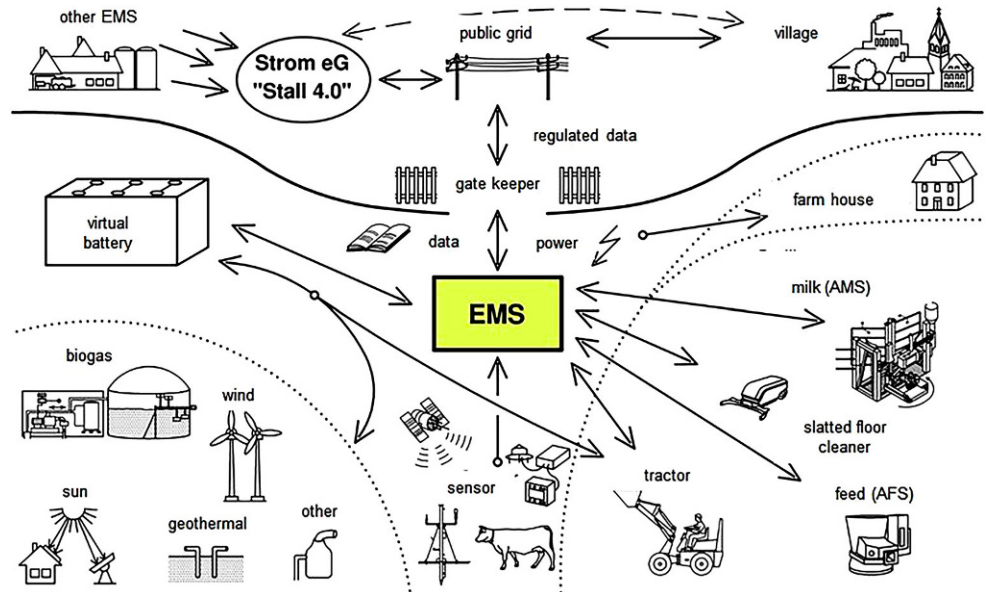
Aus den Ausscheidungen der Kühe und Reststoffen aus der Futterproduktion kann in einem Fermenter Methan gewonnen werden. Dies wird aktuell üblicherweise durch einen Verbrennungsmotor zu elektrischer Energie und Wärme umgewandelt. Durch den Einsatz von diesem

„Biogas“ können 8,3 kWh elektrische Energie pro Kuh und Tag erzeugt werden. Hinzu kommt die Wärmeenergie, die während des Prozesses erzeugt wird [7, 8].

Aus dem Flächenbedarf für den Stall von 6–8 m² pro Kuh ergibt sich eine entsprechende Dachfläche des Gebäudes. Dies kann für Photovoltaikanlagen genutzt werden. Damit sind je nach Dachausrichtung und -lage etwa 0,2 kWp pro m² Nennleistung möglich. An geeigneten Standorten kann auch eine Windkraftanlage auf der Hoffläche installiert werden. Eine moderne Windkraftanlage kann durchschnittlich 15 Mio. kWh Strom pro Jahr erzeugen. Weitere Möglichkeiten der Energieerzeugung, die sich mit den üblichen Bedingungen eines Milchviehbetriebes kombinieren lassen, sind Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen mit Holzhackschnitzeln, die möglicherweise aus den Abgrenzungshölzern der Weideflächen gewonnen werden können, oder Erdwärmetauscher, deren Kollektorenfläche unter der Stallfläche eingebracht wird. Aber auch die Energieerzeugung in kleinem Maßstab, wie z. B. die Nutzung der Abwärme von Stallluft oder Milch, ist möglich. Dies zeigt, dass es viele regenerative Erzeugungsmöglichkeiten gibt, die sich gut mit den Anforderungen eines Milchviehbetriebes kombinieren lassen ohne dessen Hauptproduktionsziel zu beeinflussen.

Der Energiebedarf eines Kuhstalls ergibt sich aus den Prozessen Melken, Milchkühlung, Füttern und Stalltechnik in Form von Lüftung, Beleuchtung und Tierpflege. Bei klassischer Melktechnik ergeben sich dabei zwei Leistungsspitzen mit Melken und Milchkühlen am Tag. Da heute der Trend bei der Milchviehhaltung zu Automatisierung geht, werden Melkroboter eingesetzt, die den Kühen die Melkmöglichkeit über den ganzen Tag anbieten. Damit wird auch der Energiebedarf über den ganzen Tag ausgeglichen [9]. Auch das Füttern der Tiere erfolgt über Roboter, die den Tieren mehrfach pro Tag frisches Futter vorlegen. Das Rei-

Abb. 1 Energiemanagementsystem



nigen der Stallflächen und das Einstreuen der Liegeboxen erfolgt auch automatisiert.

Daraus ergeben sich durchschnittliche Energieverbräuche für konventionelle Melktechnik und nichtoptimierte Systeme von ca. 640 kWh/Kuh und Jahr [10] bzw. von ca. 450 kWh/Kuh und Jahr, [11] beim Einsatz von Melkrobotern und energetisch optimierten Systemen. Beim Vergleich dieses Energiebedarfs mit den Energieerzeugungsmöglichkeiten eines Milchviehbetriebes, wird deutlich, dass ein Vielfaches an Energie erzeugt werden kann, als verbraucht wird. Selbst bei der Integration der Futterbereitstellung in die Analyse wird immer noch deutlich mehr Energie erzeugt als verbraucht.

Auf Basis dieses Entwicklungsstandes lässt sich ein Energiemanagementsystem integrieren.

Ein grundlegender Punkt ist dabei die Kommunikation aller beteiligten technologischen Systeme, um aktuelle Zustandsdaten und notwendige Regelgrößen untereinander austauschen zu können. Hierbei zeigt sich ein Problem, das auch häufig bei Integration von Industrie 4.0-Applikationen auftritt [12]. Die einzelnen Regelungssysteme sind für sich geschlossen und verwenden häufig auch proprietäre Systeme. Teilweise kommt es auch vor, dass selbst Systeme eines Herstellers nicht miteinander kommunikationsfähig sind. Es ist deshalb oft notwendig, ein paralleles Sensor- und Regelungssystem aufzubauen, um eine Kommunikation untereinander zu ermöglichen.

Zur Entscheidungsfindung für das Energiemanagementsystem müssen die Anforderungen der verschiedenen Prozessbeteiligten integriert werden. Dies sind im geschilderten Beispiel neben den technischen Systemen besonders die Tiere und der Mensch. Die Integration der Milchkühe erfolgt über Smart Livestock Farming. Darüber werden die komplexen Informationen der Tiere gesammelt. Diese Datenintegration erfolgt auf Basis der Einzeltiere. Jedes Tier ist über seine individuelle Identifikationsnummer über ein RFID-Tag in der Ohrmarke, Halsband oder Fußband identifizierbar. Häufig ist dabei auch noch ein Ortungssender integriert, über den mit Antennentriangulation die Position des Tieres im Stall und auf der Weide ermittelt werden kann. Über Beschleunigungs- und Lagesensoren im Hals- oder Fußband kann auf das aktuelle Verhalten der Tiere geschlossen werden. Damit können die Ruhezeiten und die Bewegungsaktivität und -form ermittelt werden. Über die Auswertung der Daten und ihrer Veränderung sind Aussagen zum allgemeinen Gesundheitszustand des Tieres, zu seinem Brunststatus, über das Bewegungsverhalten zur Klauengesundheit und weiteren Aspekten möglich. Über akustische Sensoren am Halsband kann das Wiederkauverhalten der Kühe erfasst werden und damit auch wieder Rückschlüsse auf das Verhalten gezogen werden. Mittels Temperatursensoren in einem Bolus im Pansen kann die Körpertemperatur und durch die Temperaturveränderung die aufgenommene

Wassermenge bestimmt werden. Es ist somit eine Vielzahl von Daten vorhanden, die somit auch die Prognostizierung des Tierverhaltens in der nahen Zukunft ermöglichen [13].

Auch der Betriebsleiter ist in das Energiemanagementsystem zu integrieren. Für ihn muss die Möglichkeit gegeben sein, die Daten des Energiemanagementsystems einfach abzurufen und seine Vorstellungen von Prozessroutinen in das System zu integrieren. Da es sich bei einem Milchviehbetrieb um ein offenes biologisches System handelt, sind auch weitere Datenquellen zu integrieren. Besonders wichtig ist dabei das Wetter, da dieses direkten Einfluss auf Energieerzeugung und -verbrauch hat.

Ein entscheidender Baustein für ein Energiemanagementsystem sind entsprechende Energiespeichermöglichkeiten. Besonders beim gewählten Beispiel eines Milchviehbetriebes tritt die Schwierigkeit auf, dass die Spitzen der Energieerzeugung nicht mit dem Energieverbrauch übereinstimmen. Daher sind Speicherkapazitäten notwendig. Diese können auf verschiedenen Ebenen ermöglicht werden. Für die kurzfristige Speicherung von elektrischer Energie im Bereich eines Tages bieten sich z.B. Batteriesysteme auf Basis von Lithium-Ionen-Batterien oder anderen Batteriesystemen an. Diese lassen sich auch gut mit der Energieerzeugung über Photovoltaiksysteme kombinieren. Die nächste Speicherebene ist die mehrtägige Speicherebene. Die z.B. über das Zwischenlagern von Methan aus der Biogasproduktion möglich ist. Eine der schwierigsten Speicherebenen ist die langfristige Speicherung, mit der Energie über Monate, z.B. zwischen Sommer und Winter, gespeichert werden kann. Mögliche Ansätze könnte hier z.B. die Erzeugung von Wasserstoff aus Überschussenergie im Sommer sein. Hier ist allgemein aber noch entsprechender Forschungsbedarf notwendig. Zusätzlich gibt es auf Milchviehbetrieben noch andere Energiespeichermöglichkeiten. So kann kurzfristig Energie in Form von Heißwasser für die Reinigung der Melkanlage gespeichert werden. Auch für die Milchkühlung besteht über die Eiswasserkühlung die Möglichkeit, Energie in Form von Eis zwischenzuspeichern.

Über das Energiemanagementsystem gibt es entsprechende Regelungsmöglichkeiten. Da bei Nutzung von Photovoltaik eine Erzeugungsspitze über die Mittagszeit existiert, können verschiebbare Energieprozesse, wie die Erzeugung von Eis für die Milchkühlung auf diesen Zeitraum verschoben werden. Wenn über die Integration der Wetterdaten absehbar ist, dass am nächsten Tag die Energieerzeugung aus PV, z.B. durch Nebel oder Schnee, geringer ist, können verschiebbare energetische Prozesse vorgezogen werden und die Speichersysteme entsprechend aufgeladen werden, um die energetische Eigenversorgung sicherzustellen und den Zukauf von Energie zu vermeiden. Auch die Jahreszeiten spiegeln sich in der Energieplanung wider. Im Sommer wird länger und mehr Energie aus Pho-

tovoltaik produziert. Die Speicherkapazitäten können somit geringer gehalten werden. Im Winterhalbjahr ist dies umgekehrt, was bei der Speicherplanung berücksichtigt werden muss. Bei der Prognose von hohen Tagestemperaturen, ist eine Veränderung des Verhaltens der Milchkühe zu erwarten. Fressen und Melken wird sich vermehrt in die frühen Morgenstunden und späten Abendstunden verlagern. Dies führt zu einer entsprechenden Verschiebung der Prozesse und ihres Energiebedarfs. Neben diesen mittel- und langfristigen Regelkreisen gibt es auch kurzfristige Aspekte, bei denen z.B. durch eine externe Störung die Kühe kurzfristig aktiver sind, was dann innerhalb der nächsten Minuten auch zu einer höheren Nachfrage am Melkroboter und damit zu einem geänderten Energiebedarf führen kann.

In das Energiemanagementsystem eines Milchviehbetriebes sollte auch die Außenwirtschaft mit integriert werden. Hier befindet man sich aktuell auf der Forschungsebene. Über die Digitalisierung und Automatisierung sind z.B. Weideroboter möglich, die den Kühen über ein mobiles Zaunsystem täglich eine neue Weidefläche zuteilen, um die Weideverluste zu reduzieren. Über diese Weideroboter könnte auch das Zurücktreiben der Kühe von der Weide zum Stall organisiert werden. Über die eigene Energieerzeugung ergibt sich auch für den landwirtschaftlichen Betrieb die Möglichkeit, E-Traktoren einzusetzen. In der Innenwirtschaft sind batterieelektrische Futtermischer und Radlader bereits weit verbreitet. Dies wird auch unterstützt, durch die meist nur kurzen Einsatzzeiten und die geringe Entfernung zu Lademöglichkeiten. E-Traktoren können für leichtere Arbeiten in der Außenwirtschaft und als zusätzliche mobile Batteriesysteme im Winter eingesetzt werden, wenn sie nicht im Feldeinsatz genutzt werden. Für größere Traktoren stellt sich aktuell noch die Frage, welche Energieform das Energiemanagementsystem dafür bereitstellen soll. Ein Gedankenansatz könnten hier z.B. Traktoren mit Wasserstoff als Energieträger sein, da die aktuellen Batteriesysteme bezüglich ihres Gewichtes Probleme mit dem Bodenschutz beim Feldeinsatz verursachen. Andere Gedankenansätze könnten batterieelektrische Roboterschwärme sein.

Neben der internen Koordinierung von Erzeugung und Verbrauch, dient das Energiemanagementsystem auch als Schnittstelle zu den regionalen Energienetzen. Hier gleicht es die interne Nachfrage und das Angebot mit der externen Nachfrage und dem Angebot ab [14].

Dafür ist eine gezielte externe Kommunikation der verschiedenen Energienetze notwendig. In der Regel wird in Deutschland die regenerativ erzeugte Energie aus Biomasse, Sonne und Wind relativ unregelmäßig in das Energienetz eingespeist. Es ist dann die Aufgabe der Energieversorgungsunternehmen, die Energie im Netz zu regulieren. Zurzeit geschieht dies oft dadurch, dass die kleinen Anlagen vom Netz getrennt werden, damit sie nicht mehr einspei-

sen können. Das ist häufig dann der Fall, wenn die Leistung z.B. bei Photovoltaikanlagen über die Mittagszeit am höchsten ist.

Ziel der Kommunikation der einzelnen Energiemanagementsysteme ist es deshalb, diese Energiemenge zum optimalen Zeitpunkt in das regionale Netz einspeisen. Da das Energiemanagementsystem in dem Milchviehbetrieb den Bedarf der eigenen Verbraucher kennt, kann es bei einem höheren Bedarf des regionalen Netzes die eigenen Verbraucher verlagern und so kurzfristig mehr Energie zur Verfügung stellen. Kommt es andererseits zu einer Überlastung des Netzes, kann diese auch in den Speichersystemen zwischengespeichert werden. Dies hätte eine stabilisierende Wirkung auf das Netz.

Gleichzeitig kann das Energiemanagementsystem so konzipiert werden, dass es schwarzgestartet werden kann. Im Falle eines Stromausfalls kann es selbstständig zum Wiederanlauf des Netzes beitragen. Ein besonderer Vorteil ist hierbei der landwirtschaftliche Betrieb. Hier ist mit dem Landwirt eine Person verfügbar, die den Startvorgang auslösen und überwachen kann. Bei einem flächendeckenden Einsatz von Energiemanagementsystemen auf landwirtschaftlichen Betrieben gäbe es viele kleine Einheiten in der Region, die einen Neustart der Netze ermöglichen würden.

Allerdings ist es derzeit schwierig, diese Möglichkeiten mit den Energieversorgungsunternehmen umzusetzen. Dies erfordert eine viel stärkere Vernetzung und Flexibilität seitens der großen Energieunternehmen.

Schlussfolgerungen

Es zeigt sich, dass Milchviehbetriebe ein großes Potenzial für die Energieerzeugung haben und damit die Energienetze gerade in ländlichen Regionen langfristig stabilisieren können. Ein Grundbaustein ist hierfür eine durchgehende Digitalisierung. Nur wenn alle Daten einfach in das System integriert werden können, können diese auch in einem Entscheidungsmodell genutzt werden. Dafür werden Daten aus verschiedensten Bereichen benötigt. Dies reicht von Tierdaten, um deren Verhalten und Anforderungen prognostizieren zu können, über Wetterdaten die Auswirkungen auf Energieerzeugung und -verbrauch haben, zu technologischen Daten der verschiedenen Roboter und automatisierten Systeme und der Datenkommunikation mit anderen Energiemanagementsystemen und deren Anforderungen und Bedürfnissen.

Dieser Datenaustausch benötigt auch die Möglichkeit des Datenzugangs zu den einzelnen Systemen, des entsprechenden Datenverständnisses und der Rückgabe von Informationen, die in den einzelnen Systemen wieder genutzt werden können.

In der Gesamtbetrachtung zeigt sich, dass selbst in so einem klassischen System wie einen Milchviehstall inzwi-

schen Digitalisierung, Automatisierung und IoT umfassend eingezogen sind und umfassende Möglichkeiten für die Erfüllung aktueller gesellschaftlichen Ziele im Bereich der Energie bieten.

Funding Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

- Zabel H-U (2012) Nachhaltigkeitsorientiertes Energiemanagementsystem – Anforderungen, Potentiale und Inhalte, S 89–94
- Zakari A et al (2022) Energy efficiency and sustainable development goals (SDGs). *Energy* 239:122365. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122365>
- Lee D, Cheng CC (2016) Energy savings by energy management systems: a review. *Renew Sustain Energy Rev* 56:760–777. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.067>
- Brugger-Gebhardt S, Jungblut G (2019) „Was beeinflusst das Energiemanagementsystem?“ Die DIN EN ISO 50001: 2018 verstehen. Springer Gabler, Wiesbaden, S 27–44
- Geilhausen M (2019) „Energiemanagementsystem nach DIN EN ISO 50 001: 2018.“ *Energiemanagement*. Springer Vieweg, Wiesbaden, S 7–85
- Vieregge M (2019) Implementierung eines Energiemanagementsystems an ausgewählten Anlagen unter Berücksichtigung von Industrie 4.0-Aspekten. Hochschule für angewandte Wissenschaften, Hamburg (Diss)
- Shine P, Upton J, Murphy M (2022) The development of a national-level energy assessment tool for the dairy industry. *ASABE Annual International Meeting*. <https://doi.org/10.13031/aim.202200539>
- Ilyas HMA, Safa M, Bailey A, Rauf S, Khan A (2020) Energy efficiency outlook of new zealand dairy farming systems: an application of data envelopment analysis (DEA) approach. *Energies* 13:251. <https://doi.org/10.3390/en13010251>
- Höhendinger M, Krieg H-J, Dietrich R, Rauscher S, Stumpfenhausen J, Bernhardt H (2021) Impacts of divergent moving drives on energy efficiency and performance of various AMS in operative conditions. *Agriculture* 11:806. <https://doi.org/10.3390/agriculture11090806>
- Neser S, Neiber J (2014) Energieverbrauch im Milchviehbetrieb-Effizienz und Einsparpotential. https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/energieverbrauch_im_milchviehstall_065687.pdf. Zugegriffen: 12. Dez. 2022 (LfL Bayern)
- KTBL: „Energiebedarfsrechner Tierhaltung“ (2022) Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. <https://www.ktbl.de/webanwendungen/energiebedarfsrechner>. Zugegriffen: 12. Dez. 2022
- Kraft M, Bernhardt H, Brunsch R, Büscher W, Colangelo E, Graf H, Marquering J, Tapken H, Toppel K, Westerkamp C, Ziron M (2022) Can livestock farming benefit from industry 4.0 technology? Evidence from recent study. *Appl Sci* 12:12844. <https://doi.org/10.3390/app122412844>
- Bernhardt H (2021) Technik in der Rinderhaltung. In: Frerichs L (Hrsg) *Jahrbuch Agrartechnik 2020*. Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, Braunschweig, S 1–15 <https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202012111307-0>
- Theunissen TC, Bernhardt H (2022) Revenue increase for German dairy farmers through cross-value chain energy management. *ASABE Annual International Meeting*. <https://doi.org/10.13031/aim.202200711>

Hinweis des Verlags Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.