

# In Zukunft elektrisch – Energiesysteme im ländlichen Raum

KTBL-Tagung  
vom 7. bis 8. März 2018  
in Bayreuth





# In Zukunft elektrisch – Energiesysteme im ländlichen Raum

KTBL-Tagung vom 7. bis 8. März 2018  
in Bayreuth

Herausgeber

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL) | Darmstadt

## Fachliche Begleitung

### Programmausschuss

Hagen Adam | Prof. Dr. Heinz Bernhardt | Henning Eckel | Christoph Gers-Grapperhaus |  
Franz Handler | Prof. Dr. Eberhard Hartung | Ulrich Keymer | Dr. Bernd Krautkremer |  
Prof. Dr. Bernd Lehmann | Dr. Martin Kunisch | Prof. Dr. Peter Pickel | Dr. Martin Wesenberg

Medienpartner der KTBL-Tage 2018



© KTBL 2018

#### Herausgeber und Vertrieb

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)  
Bartningstraße 49 | 64289 Darmstadt  
Telefon +49 6151 7001-0 | Fax +49 6151 7001-123 | E-Mail: [ktbl@ktbl.de](mailto:ktbl@ktbl.de) | [www.ktbl.de](http://www.ktbl.de)  
[vertrieb@ktbl.de](mailto:vertrieb@ktbl.de) | Telefon Vertrieb +49 6151 7001-189

Alle Rechte vorbehalten. Die Verwendung von Texten und Bildern, auch auszugsweise, ist ohne Zustimmung des KTBL urheberrechtswidrig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigung, Übersetzung, Mikroverfilmung sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Herausgegeben mit Förderung des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

#### Redaktion

Henning Eckel | KTBL

#### Satz

Serviceteam Herstellung | KTBL

#### Titelfoto

© [www.fotolia.de](http://www.fotolia.de)

Printed in Germany

## Inhalt

Quo vadis Energiewende – Vision und Wirklichkeit PROF. DR. BARBARA PRAETORIUS .....	4
Die Rolle der Landwirtschaft im ländlichen Energiesystem DR. BERND KRAUTKREMER .....	8
Elektrifizierung in der Landwirtschaft – wo und wofür? PROF. DR.-ING. PETER PICKEL.....	14
Szenarien der Systemkonfiguration elektrifizierter Arbeitsmaschinen PROF. DR.-ING. HABIL. T. HERLITZIUS.....	18
Neue Randbedingungen für die dezentrale Erzeugung von Strom CHRISTOPH GERS-GRAPPERHAUS.....	21
Elektrische Landmaschinen und Photovoltaik: mehr Klimaschutz mit Batterie MICHAEL STÖHR, BASTIAN HACKENBERG .....	25
Energiemanagement im landwirtschaftlichen Betrieb DR. FOLKE MITZLAFF.....	31
Fünf Jahre Direktvermarktung von Biogas-Strom – den Wandel des Strommarkts im Blick RAINER WENG .....	34
Regional – dezentral – CO <sub>2</sub> -neutral Die Energiewende, eine Chance für den ländlichen Raum ULRICH AHLKE.....	37
Aufbau und Implementierung eines regionalen virtuellen Kraftwerks auf Basis erneuerbarer Erzeugung – regio:VK MARKUS JUNGERMANN .....	41
„Notfallstromversorgung in der Landwirtschaft durch Erzeugungs- und Last- management“ am Beispiel des Projekts Netz:Kraft DANIEL HAU.....	45
Mitwirkende .....	48

## Quo vadis Energiewende – Vision und Wirklichkeit

PROF. DR. BARBARA PRAETORIUS

Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, Berlin

Deutschland hat sich mit dem Energiekonzept 2011 anspruchsvolle energiepolitische Ziele gesetzt: den Ausstieg aus der Kernenergie bis 2022 und die Minderung der klimaschädlichen Treibhausgasemissionen bis 2050 um 80 bis 95 Prozent. Verbunden wurde das mit klaren Etappenzielen: Bis 2020 sollen die Emissionen um mindestens 40 Prozent unter dem Niveau von 1990 sinken, bis 2030 um mindestens 55 Prozent und bis 2040 um mindestens 70 Prozent.<sup>1</sup> Dazu werden die erneuerbaren Energien in Deutschland mithilfe des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) in vorgegebenen Schritten ausgebaut. Ein gutes Drittel des deutschen Strombedarfs stammt bereits heute aus erneuerbaren Energien, in rund 12 Jahren – bis 2030 – dürften es mehr als 60 Prozent sein. Bis zum Jahresende 2015 waren 27.270 Windräder auf dem deutschen Festland in Betrieb, weitere 947 Windräder offshore vor der Küste, die zusammen fast 80 Terawattstunden an Strom lieferten – das sind mehr als 12 Prozent des in Deutschland erzeugten Stroms.<sup>2</sup>

Das **aktuell größte Problem** der deutschen Energiewende ist das Verfehlen des Klimaschutzziels 2020. Trotz der Erfolge beim Ausbau der Erneuerbaren und der Energieeffizienz sind die Emissionen im Stromsektor seit der Jahrtausendwende kaum gesunken. Der Hauptgrund dafür ist die die anhaltend hohe Stein- und Braunkohleverstromung in Deutschland, obwohl erhebliche Überkapazitäten bestehen. Der Grund: Ein wachsender Anteil – derzeit rund 10 Prozent – des in Deutschland erzeugten Stroms wird in die Nachbarländer geliefert, insbesondere nach Österreich, die Niederlande und Frankreich. Da die CO<sub>2</sub>-Emissionen der deutschen Klimabilanz zugerechnet werden, heißt das im Klartext: Deutschland wird sein Klimaschutzziel 2020 verfehlen, und auch die Ziele für 2030 sind nicht zu erreichen, wenn es nicht gezielt und aktiv aus der Kohleverstromung aussteigt.<sup>3</sup>

Zwar müssen Kraftwerke, die ihren Strom mit klimaschädlicher Kohle oder mit dem etwas klimafreundlicheren Erdgas erzeugen, seit dem Jahre 2005 CO<sub>2</sub>-Zertifikate aus dem europäischen Emissionshandel erwerben und nachweisen. Allerdings funktioniert der Emissionshandel nicht ausreichend, denn auf dem Markt existiert aktuell und schon seit Jahren ein riesiger Überschuss von derzeit über zwei Milliarden Zertifikaten. Die Situation drückt die Zertifikatpreise und damit auf den Anreiz, weniger klimaschädlichen Strom zu produzieren. Die europäische Kommission hat das Problem erkannt und eine Reform des Emissionshandelssystems beschlossen. Dennoch, darin sind sich die Experten einig, wird der Emissionshandelsmarkt auf absehbare Zeit kein wirksames CO<sub>2</sub>-Preissignal aussenden.

Deutschland braucht deshalb auch für die mittlere und lange Perspektive zusätzliche Maßnahmen, um die Emissionen im Stromsektor zu mindern. Der **Klimaschutzplan 2050** der Bundesregierung vom November 2016 sieht deshalb für 2018 die Einsetzung einer Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Regionalentwicklung“ vor, die einen passenden Instrumentenmix zur Unterstützung des Strukturwandels in den betroffenen Regionen entwickeln soll, um den Prozess der

<sup>1</sup> BReg (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung; BMWi (2015a): Die Energie der Zukunft. Vierter Monitoring-Bericht zur Energiewende.; AtG (2011): Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren.

<sup>2</sup> StromReport, <http://strom-report.de/windenergie/>.

<sup>3</sup> Praetorius, B. (2017): Energiewende – Marathon auf schwierigem Parcours. In: Wirtschaft im Zukunftstest: So gelingt die grüne Transformation, hrsg. von der Heinrich-Böll-Stiftung, oekom Verlag, S. 107-126.

schrittweisen Rückführung der Braunkohleverstromung über die nächsten 15 bis 20 Jahre in regional auch für die Lausitz und das Rheinländische Revier verträglicher Weise zu gestalten.

Mittelfristig müssen für einen erfolgreichen Klimaschutz auch Heizöl und Erdgas in der Wärmeversorgung durch klimaschonende Energieträger ersetzt werden. Auch im Verkehrssektor gelingt die Energiewende nicht mit herkömmlichen Verbrennungsmotoren auf Basis von Benzin und Diesel. Die mittelfristige Perspektive liegt vielmehr in einem Ausbau des Anteils der Elektromobilität, und im Wärmebereich ist mit einer Zunahme von strombetriebenen Wärmepumpen zu rechnen. Für die Stromversorgung ist dies eine Herausforderung, denn die **Sektorkopplung** geht mit einer wachsenden Stromnachfrage einher, die durch erneuerbare Energien gedeckt werden muss, um nachhaltig zu sein.

Eine wichtige Säule der Energiewende ist deshalb die **Energieeffizienz**, denn je weniger Energie verbraucht wird, desto geringer ist der Ausbaubedarf bei den erneuerbaren Energien. Deshalb lautet eine wesentliche energiepolitische Aufgabe, Effizienz unter Hochdruck voranzubringen. Doch bislang gehen Experten und auch das Bundeswirtschaftsministerium davon aus, dass der Stromverbrauch in den nächsten 15 Jahren zwar leicht sinken könnte, aber mit zunehmender Elektrifizierung des Wärme- und des Verkehrssektors wieder auf das heutige Niveau steigen oder sogar darüber liegen könnte.

Die **Kosten** einer Versorgung auf Basis von erneuerbaren Energien sind hingegen kein Hemmnis. Der Vergleich denkbarer „Stromwelten“ für 2050 zeigt, dass die Kosten einer Energieversorgung auf Basis von erneuerbaren Energien auf vergleichbarem oder niedrigerem Niveau liegen wie ein klassisches Braunkohle-/Steinkohle-/Erdgas-Stromsystem (bei CO<sub>2</sub>-Kosten von 40 bis 60 Euro je Tonne).<sup>4</sup> Wind- und Sonnenstrom werden auch hierzulande zu der günstigsten Form der Stromerzeugung. Bereits in den letzten 20 Jahren sanken die Kosten von Wind- und Photovoltaikanlagen in erheblichem Ausmaß. Die Stromgestehungskosten<sup>5</sup> für Strom aus Windanlagen in Deutschland liegen derzeit zwischen 5 und 9 Cent je Kilowattstunde, für große Photovoltaikanlagen bei 6 bis 9 Cent je Kilowattstunde. In den nächsten zehn Jahren sind auf Basis technologischer Innovationen, wie größerer, effizienterer Windenergieanlagen, weitere Kostensenkungen zu erwarten. Global gesehen schlägt sich diese Kostenrevolution bereits heute in den Investitionstrends nieder: Schon seit 2013 werden mehr Erneuerbare-Energien-Anlagen zugebaut als konventionelle Erzeugungskapazitäten auf Basis von Kohle, Erdgas und Atomkraft.

Allerdings brauchen Wind und Sonne wegen ihrer wetterabhängigen Stromerzeugung immer auch ergänzende Technologien, die diese **Schwankungen** flexibel puffern. Das können schnell verfügbare Gaskraftwerke sein oder flexible Stromabnehmer in der Industrie oder intelligent gesteuerte Haushaltsgeräte. Mittelfristig können auch Batterie- und Wärmespeicher in größerem Umfang als heute am Ausgleich zwischen Erzeugung und Verbrauch mitwirken. Die günstigste Flexibilität aber bietet heute immer noch das Stromnetz. Dazu muss es ausgebaut und mit modernen (digitalen) Steuerungsmechanismen und Messstellen versehen werden. Günstiger wird es auch, wenn größere Gebiete gemeinsam geregelt werden, in denen sich die jeweiligen Schwankungen in der Erzeugung von Wind- und Sonnenstrom besser ausgleichen lassen.

Ein neues Massenphänomen sind **Batteriespeicher** in Kombination mit Solaranlagen. Bis vor Kurzem galten die Batterien noch als viel zu teuer, bei jeder Verdopplung der weltweit produzierten

<sup>4</sup> Agora Energiewende (2017): Erneuerbare vs. fossile Stromsysteme: ein Kostenvergleich. Stromwelten 2050 – Analyse von Erneuerbaren, kohle- und gasbasierten Elektrizitätssystemen, Berlin.

<sup>5</sup> Stromgestehungskosten sind die Gesamtkosten über die Lebenszeit einer Stromerzeugungsanlage (Investition, Personal-, Wartungs- und Brennstoffkosten). Diese werden rechnerisch auf die in der Lebenszeit der Anlage erzeugten Kilowattstunden verteilt.

Batterieleistung fallen aber auch hier die Preise um sechs bis neun Prozent, und dieser Trend dürfte anhalten. Szenarien mit 150 oder 200 Gigawatt an Photovoltaik in Deutschland, kombiniert mit 40 Gigawatt an dezentralen Batteriespeichern, wurden bis vor Kurzem oft noch für vollkommen unrealistisch gehalten. Wenn die Kosten der Batterien und der Photovoltaik aber weiter so sinken, wird ein solcher Ausbau viel schneller als erwartet möglich sein – technisch und ökonomisch. Der Ausbau der Solar-Batterie-Anlagen auf den Dächern ist zugleich ein Teil der Antwort auf die Frage, wo denn der viele erneuerbare Strom für den Wärme- und Verkehrsbereich herkommen soll.

Selbst unter Einbeziehung dieser Flexibilitätskosten ist die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien schon heute auf Augenhöhe mit fossilen Kraftwerken. Eine umweltschonende **Kombination** von Windenergieanlagen an Land und flexiblen Erdgasanlagen hat Stromgestehungskosten von etwa 7 Cent je Kilowattstunde – Tendenz sinkend.<sup>6</sup> Die Stromgestehungskosten für neue Gas- und Dampfkraftwerke oder Steinkohlekraftwerke hingegen lagen 2014 bei etwa 6 bis 11 Cent je Kilowattstunde, je nach Annahme für CO<sub>2</sub>-Kosten und Auslastungsgrade – Tendenz steigend.<sup>7</sup>

Die deutschen **Strompreise** für Haushalte liegen über dem europäischen Durchschnitt. Die Struktur der Strompreise hat sich aber in den letzten Jahren stark verändert. Während die Großhandelspreise (Börsenstrompreise) aufgrund des steigenden Anteils der erneuerbaren Energien mit Grenzkosten nahe Null deutlich gesunken sind, stiegen die Endverbraucherpreise tendenziell. Umgekehrt sind die Strompreise für energieintensive Unternehmen, die von umfassenden Ausnahmeregelungen profitieren, in den letzten Jahren gesunken.<sup>8</sup> Für die Wettbewerbsfähigkeit bedeutender als das Preisniveau sind aber die **Energiekosten** der Industrie. Sie lassen sich nicht unmittelbar aus den Energiepreisen ableiten, denn sie hängen von Energieverbrauch und (Energie-)Effizienz der Produktionsprozesse ab. Der Anteil der Energiekosten am Bruttoproduktionswert liegt in Deutschland im Durchschnitt bei etwa zwei Prozent, die energieintensiven Branchen werden durch industriepolitisch motivierte Ausnahmeregelungen so stark entlastet, dass das Niveau der Energiestückkosten im europäischen Mittelfeld und teilweise sogar darunterliegt. Insgesamt zeichnen die meisten Indikatoren bislang ein eher unaufgeregtes Bild der Wettbewerbswirkungen der Energiewende.<sup>9</sup>

Für die privaten **Haushalte** stieg der **Strompreis** durch die EEG-Umlage zwar, aber für Strom wird weiterhin weitaus weniger ausgegeben als für Heizenergie und Kraftstoffe. Die EEG-Umlage dürfte in den kommenden Jahren höchstens noch geringfügig steigen, und auch nur dann, wenn die Börsenstrompreise nochmals deutlich sinken, denn die Investitionskosten neuer Erneuerbaren-Anlagen sinken weiter.

Ein bleibendes Problem ist die **gesellschaftliche Akzeptanz** für die vielen neuen Wind- und Solarkraftwerke, aber auch Biomasseanlagen sowie zusätzliche Hochspannungsleitungen in der Landschaft. Rund die Hälfte der direkt betroffenen Nachbarschaft von Windparks ist nicht davon begeistert.<sup>10</sup> Dennoch: den Protesten vor Ort zum Trotz steht die deutsche Bevölkerung nach wie vor mit überwältigender Mehrheit hinter den Zielen der Energiewende. Jedes Jahr lässt der ideologisch unverdächtige Bundesverband der Deutschen Energie- und Wasserwirtschaft BDEW ein Mei-

<sup>6</sup> Prognos (2014): Comparing the Cost of Low-Carbon Technologies: What is the Cheapest Option? An analysis of new wind, solar, nuclear and CCS based on current support schemes in the UK and Germany.

<sup>7</sup> Auf [www.abora-energieende.de](http://www.abora-energieende.de) steht ein Erzeugungskostenrechner für die verschiedenen Stromerzeugungstechnologien zur Verfügung, mit dem man die Annahmen variieren kann.

<sup>8</sup> Ecofys, ISI (2015): Stromkosten der energieintensiven Industrie. Ein internationaler Vergleich, ergänzende Berechnungen für das Jahr 2014, Ecofys, Fraunhofer-ISI, Köln, Karlsruhe.

<sup>9</sup> Praetorius, B. (2017), Nachhaltige Energiewende- und Industriepolitik. In: Industrie von morgen, Beiträge und Positionen der HTW Berlin, hrsg. von Matthias Knaut, Berlin, S. 182–187.

<sup>10</sup> <https://1-stromvergleich.com/strom-report/windenergie#poster>

nungsbild in der Bevölkerung erstellen, und jedes Jahr zeigt der BDEW-Energiewendemonitor die gleiche oder sogar eine wachsende Zustimmung zu diesem Generationenprojekt.<sup>11</sup> Zwar rechnen 69 Prozent mit steigenden Strompreisen durch die Energiewende. Dennoch: Im Jahre 2016 war die Energiewende für 93 Prozent der Befragten wichtig oder sehr wichtig, und mehr als der Hälfte (55 Prozent) geht der Ausbau der erneuerbaren Energien nicht schnell genug. Noch überraschender: es spricht sich herum, dass die Energiewende auch Vorteile für den Wirtschaftsstandort haben kann – 67 Prozent der Befragten sehen das so, 10 Prozentpunkte mehr als im Vorjahr.

Dass die deutsche Wirtschaft von einer ambitionierten Energiewende profitieren kann, zeigt auch eine im Januar 2018 veröffentlichte Studie von BCG und Prognos im Auftrag des Bundesverbandes der Deutschen Industrie (BDI).<sup>12</sup> Sie untersuchte, ob es volkswirtschaftlich effiziente Wege zur Erreichung der Klimaschutzziele geben kann, ohne die Wettbewerbsfähigkeit des Wirtschaftsstandortes zu betrachten. Das Ergebnis: Die Energiewende birgt zwar zweifellos viele Herausforderungen, aber bei „optimaler politischer Umsetzung“ wären die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen neutral, und das steigende Weltmarktvolumen für Effizienz- und Klimatechnologien bietet der Studie zufolge einen globalen Wachstumsmarkt für deutsche Unternehmen, den es zu nutzen gilt. Die Gestaltungsaufgabe durch den Staat ist zugleich erheblich und umfasst sowohl den Strommarkt selbst als auch den Schutz einheimischer Industrien vor „Leakage“ und die Förderung von Innovationen.

<sup>11</sup> BDEW-Energiewendemonitor 2016: <https://www.bdew.de/internet.nsf/id/20160503-pi-energie-wende-weiterhin-top-thema-fuer-die-bevoelkerung-de>.

<sup>12</sup> BCG und Prognos, Klimapfade für Deutschland, Studie im Auftrag des BDI, Berlin, Januar 2018, <https://bdi.eu/media/publikationen/?publicationtype=Studien#/publikation/news/klimapfade-fuer-deutschland/>.

## Die Rolle der Landwirtschaft im ländlichen Energiesystem

DR. BERND KRAUTKREMER

Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE, Kassel

### Einleitung

Im Rahmen der maßgeblich durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) getriebenen Entwicklung der Erneuerbaren Energien (EE) in Deutschland hat die Landwirtschaft in allen Bereichen (Wind-, Sonnen- und Bioenergie) von Beginn an eine wichtige Rolle gespielt. Landwirtschaftliche Betriebe haben oft günstige Voraussetzungen zum Betrieb von EE-Anlagen. Die Innovationsstärke der Landwirtschaft sowie die grundsätzlich positive Haltung zu nachhaltigem Wirtschaften führten und führen zu einer hohen Investitionsbereitschaft in EE.

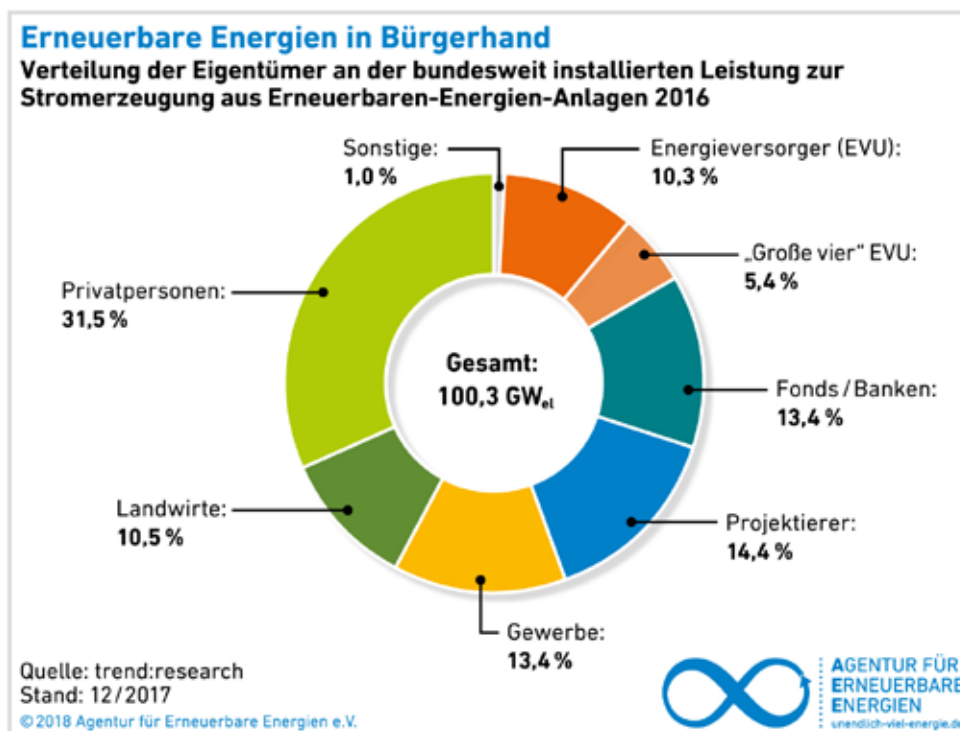


Abb. 1: Eigentümerstruktur der EE-Anlagen in Deutschland (© AEE)

Neben der Nutzung der Bioenergie haben Landwirte schon früh auch in Windkraftanlagen und Photovoltaikanlagen investiert. Die Investitionsentscheidungen wurden dabei in der Vergangenheit stark von den geltenden Regeln des EEG bestimmt. Die bereitgestellten Energiemengen wurden in das Netz eingespeist; eine Eigennutzung der (elektrischen) Energie spielte, wenn überhaupt, eine geringe Rolle.

Im Bereich der Nutzung der Bioenergie kamen schon recht früh Bestrebungen auf, die dabei entstehenden Wärmemengen sinnvoll zu nutzen und mit ihrer Vermarktung steigende Betriebskosten zu kompensieren. Zunehmend in Vordergrund rücken nun auch Aufgaben im System Landwirtschaft, die von Bioenergieanlagen gelöst bzw. unterstützt werden können. Dazu zählt schon seit Langem die Verarbeitung von Wirtschaftsdünger. In jüngerer Zeit gewinnt aber auch die Verwertung von Stoffströmen Bedeutung, die zu einer Verbesserung der Nachhaltigkeit der Landwirtschaft insgesamt beitragen.

Im Bereich der Windkraft und der Photovoltaik sind die Stromgestehungskosten mittlerweile unter die Strombezugskosten vieler Betriebe gesunken. Dies macht die Eigenstromnutzung zunehmend attraktiv.

Die Entwicklung von Batteriespeichern ist weit vorangeschritten, sodass eine zunehmende Elektrifizierung landwirtschaftlicher Maschinen und Geräte ebenso voranschreitet wie die Einsatzmöglichkeiten lokaler Stromspeicher.

Neue Technologien wie Power-to-Gas (PtG) treten in Erscheinung und haben das Potenzial in der Landwirtschaft Anwendung finden zu können, wenn die Anteile an EE im System so hoch sind, dass die Speichereigenschaft dieser Technologie benötigt wird und ihre technische Reife erreicht ist.

Dies hat dazu geführt, dass Landwirte zunehmend Interesse an einer Eigennutzung und/oder der lokalen Vermarktung der auf ihrem Betrieb bereitgestellten Energiemengen außerhalb des EEG haben und auch die positiven Eigenschaften von Bioenergieanlagen im „System Landwirtschaft“ verstärkt genutzt werden sollen. Hier gilt es nun Lösungen zu entwickeln, die der Vielzahl der individuellen Betriebskonstellationen gerecht werden und Investitionsentscheidungen auf eine solide Basis stellen.

## Landwirtschaftliche Bioenergieanlagen im Energiesystem

Die ausschließliche Fokussierung auf die eingespeiste Energiemenge kann nicht die vielfältigen Belange eines komplexen Energiesystems adressieren. Dies gilt im besonderen Maße für die Bioenergie. Als gespeicherte Sonnenenergie bietet sie sich an, dann zum Einsatz zu kommen, wenn Wind- und Sonne zu wenig Energie bereitstellen. Zahlreiche Studien belegen die Notwendigkeit eines solchen Ausgleichs mit zunehmendem Anteil an EE im Gesamtsystem. Um die Bioenergie in dieser Richtung zu entwickeln, wurden bereits diverse Anpassungen des EEG vorgenommen. Dies führte aber zunächst zu höheren Kosten, die letztlich in der EEG-Umlage landen, weil der mit diesem Einspeiseverhalten einhergehende Wert der Bioenergie mit den derzeitigen Marktinstrumenten und Mengengerüsten noch nicht hinreichend honoriert wird.

Im Stromsektor ist heute bereits eine eindeutige Ausrichtung auf einen bedarfsorientierten Anlagenbetrieb eingeläutet worden. Die praktische Umsetzung hinkt jedoch noch etwas hinterher, zumal sich die zunehmend ungünstigen Randbedingungen des aktuellen EEG und den damit verbundenen Unsicherheiten hemmend auf die notwendigen Investitionsentscheidungen auswirken. Neue Entwicklungen am Strommarkt (z. B. Zunahme des Intraday-Handels), das zunehmende Interesse an Eigenstrommodellen, aber auch das Interesse lokaler Energieversorger deuten jedoch darauf hin, dass sich die bedarfsorientierte Strombereitstellung mit Bioenergieanlagen dauerhaft etablieren wird. Dabei zeichnet sich ab, dass künftig nicht nur mit großen Gasspeichern gearbeitet

werden wird, sondern auch die Gasproduktion beeinflusst werden muss. Hier gibt es schon vielversprechende Ansätze in mehreren Forschungsprojekten, die sich der Beeinflussung der Gasproduktion in Bestandsanlagen, aber auch mittels speziell für diese Aufgabe entwickelten Verfahren widmen. Ein Beispiel ist das von der HAWK in Göttingen entwickelte ReBi-Konzept, das nun durch das Fraunhofer IEE im technischen Maßstab erprobt wird.

Darüber hinaus geraten auch weitere Systemdienstleistungen mit einer stärkeren Orientierung an lokale Gegebenheiten, die von Biogasanlagen im Stromnetz erbracht werden können, zunehmend in den Fokus des Energiesystemdesigns. Beispiele hierzu sind die Möglichkeit der Notstromversorgung, die der Inselbildung und die Unterstützung des Netzwiederaufbaus mit einem Biogas-BHKW.

## Bioenergie im System Landwirtschaft

Die Bioenergie erfüllt auch im „System Landwirtschaft“ verschiedene Aufgaben. Aus ökonomischer Sicht führt die Bereitstellung von Biomasse zur energetischen Nutzung mit längerfristig festen Erlösen zu einer Stabilisierung der Einnahmen im Mix mit denen aus den eher volatilen Agrarmärkten.

Im Gegensatz zur häufig kolportierten Meinung, die Biomasseproduktion zur energetischen Nutzung sei nicht nachhaltig und führe zu einer Vermaischung der Landschaft, ist es bei sachgemäßer Anwendung so, dass gerade die Biogastechnologie viel dazu beitragen kann, die Landwirtschaft insgesamt nachhaltiger zu gestalten, indem sie zur Auflockerung der Fruchtfolgen beiträgt, Pflanzen energetisch nutzt, die Nachhaltigkeitsaufgaben erfüllen (z. B. Blühpflanzen, heimische Eiweißpflanzen) oder die beim Erhalt von Kulturlandschaften anfallen, aber auch schlicht Güllemengen



Abb. 2: Aufstellung eines inselnetzfähigen Biogas-BHKW am Hessischen Biogas Forschungszentrum (HBFZ) in Bad Hersfeld (© Fraunhofer IEE)

aufnimmt. Gerade Letzteres wurde ebenfalls mittels des EEG angereizt, wodurch aber auch die EEG-Umlage stieg. Diese positiven Effekte müssen künftig honoriert und die Kosten verursachergerecht verteilt werden.

Durch die Aufnahme dieser Stoffströme ändern sich auch die Anforderungen an Biogasanlagen, denn diese müssen künftig auch Material aufnehmen, das hinsichtlich seiner Beschaffenheit nicht auf den Vergärungsprozess optimiert ist. Auch hier wird an Lösungen gearbeitet, die diese Materialien problemlos verarbeiten können (z. B. auch mit dem ReBi-Konzept).

## Fazit für die Bioenergie

Die Energetische Nutzung von Biomasse kann wichtige Systemaufgaben erfüllen. Im Energiesystem wie auch im System Landwirtschaft. Sie kann, richtig eingesetzt, energetisch, ökonomisch und ökologisch wichtige Beiträge leisten. Die bis heute dominierende Fokussierung des EEG auf die eingespeiste Strommenge ist nicht mehr zeitgemäß und kann den komplexen Anforderungen an eine zielgerichtete Bioenergieförderung nicht erfüllen, da hier der Systemnutzen nicht hinreichend bewertet bzw. die Kosten fehlallokiert werden. Um diese so wichtigen Systemeigenschaften der Bioenergie zu nutzen und die Technologie für diese Aufgaben zu entwickeln bedarf es daher einerseits einer Förderung, die den Systemnutzen auch im „System Landwirtschaft“ maximiert und andererseits einer verursachergerechten Kostenzuordnung. Dies gilt in Teilen auch für andere EE-Formen und würde die Phase 2 der Energiewende in Form einer zielgerichteten Systementwicklung einläuten, bei der die Bioenergie ein wichtiges Element einer nachhaltigen, sicheren und kostengünstigen Energieversorgung bildet.

## Weitere Erneuerbare Energie in der Landwirtschaft

Auch für EE-Formen wie Windenergie oder Photovoltaik besteht stets ein Flächenbedarf, der im landwirtschaftlichen Kontext oftmals zur Verfügung gestellt werden kann, ohne die eigentlichen Aufgaben zu behindern. Durch eine frühzeitige Planung schon in der Bauphase von Gebäuden lassen sich hier erhebliche Kosteneinsparungen und Effizienzvorteile bewirken. Bei der Vergrößerung von Stallflächen im Zuge der Verbesserung des Tierwohls werden hier voraussichtlich gute Bedingungen für den Zubau geschaffen.

Mit zunehmendem Anteil an EE wird aber auch hier die Problematik der zeitlichen und räumlichen Trennung zwischen Energiebereitstellung und -nutzung bedeutender werden. Eigenversorgungskonzepte, aber auch lokale Energiedienstleistungen werden daher wichtiger. Hier ist zu erwarten, dass sich neue Geschäftsmodelle entwickeln, die dem dezentralen Charakter der EE Rechnung tragen. Förderlich ist dabei der Umstand, dass insbesondere die Photovoltaik eine beachtliche Lernkurve durchlaufen hat, die durch neue Ansätze (Dünnschicht, organische Zellen, Umrichter-technologie usw.) noch Fortsetzungspotenziale hat, was sich in sinkenden Preisen niederschlagen könnte. Schon heute sind dadurch die Stromgestehungskosten erheblich niedriger als die Endverbraucherpreise. Dies gilt aber nur für die reinen Kosten des Systems PV-Modul/Umrichter. Systeme, die eine erhöhte Eigenverbrauchsdeckung ermöglichen und dazu Speicher und Energiemanagement einsetzen, erreichen oft noch nicht die Parität zu den Strombezugskosten aus dem Netz. Im

landwirtschaftlichen Bereich besteht aber Hoffnung hier in bald gängige Systeme zu haben, da aufgrund der höheren Energiemengen und Leistungen die spezifischen Kosten geringer sind.

Durch die fortschreitenden Entwicklungen im Bereich der Stromspeicher (Batterien) erschließen sich immer weitere Einsatzfelder. Die Elektrifizierung landwirtschaftlicher Anbaugeräte, aber auch die von Geräten zur Erfüllung innenwirtschaftlicher Aufgaben sowie die leichter Schlepper ist bereits marktreif. Der Bedarf an einer höheren Eigenstromnutzung zusammen mit modernen Methoden des Energiemanagements lassen innovative Bewirtschaftungsansätze für diese Speicher zu, in denen noch ein hohes Kostensenkungspotenzial liegt.

Mit der Power-to-Gas-Technologie eröffnet sich eine Möglichkeit, künftig unweigerlich auftretende, residuale Energiemengen aus den volatilen Quellen zeitlich und räumlich verteilt dem Energiesystem zur Verfügung stellen zu können. Derzeit wird an einer Vielzahl von Konstellationen gearbeitet. Klare Tendenzen sind noch schwer zu erkennen. Die Kopplung mit biogenen CO<sub>2</sub>-Quellen zeigt besonders im Bereich der Biogastechnologie deutliche Synergiepotenziale. Heute ist aber ein wirtschaftlicher Betrieb aufgrund noch zu hoher Systemkosten und den ungünstigen Marktbedingungen noch nicht möglich. Es ist zu erwarten, dass im landwirtschaftlichen Kontext zukünftig viele PtG-Anwendungen entstehen können. Dies setzt aber neben einer einsatzreifen, kostengünstigen Technologie eine energiewirtschaftlich korrekte Einordnung voraus (z. B. Befreiung von der EEG-Umlage). Nicht zuletzt erfordert es auch eine dann noch verfügbare Biogasinfrastruktur.



Abb. 3: Testplattform des Fraunhofer IEE mit hochflexibler Biogastechnologie (ReBi, links im Bild) und Power-to-Gas Testzentrum mit Elektrolyse (rechts im Bild) (© Fraunhofer IEE)

## Gesamtfazit für EE in der Landwirtschaft

Die Randbedingungen für EE in der Landwirtschaft sind grundsätzlich günstig. In Einzelfällen lassen sich schon heute Geschäftsmodelle außerhalb des EEG konstruieren. In Zukunft ist zu erwarten, dass dies immer häufiger gelingen wird. Es wird eine verstärkte Ausrichtung der Systeme auf den betrieblichen bzw. lokalen Kontext erfolgen. Daher gilt es, Systemlösungen zu entwickeln, die eine möglichst hohe Multiplizierbarkeit für viele landwirtschaftliche Konfigurationen aufweisen und leicht an die individuellen Gegebenheiten angepasst werden können. Die notwendige Technologie ist heute vorhanden und Kostensenkungspotenziale, die besonders in der Batterietechnologie noch erforderlich sind, greifbar.

Zukunftstechnologien wie Power-to-Gas können eine bedeutende Rolle spielen, benötigen aber noch technologische Entwicklung, Kostensenkung und sinnvolle energiewirtschaftliche Randbedingungen.

Es erfolgt momentan ein Trendwechsel hin zu einer aktiven Gestaltung ländlicher Energiesysteme mit der Landwirtschaft als treibende Kraft.

## Elektrifizierung in der Landwirtschaft – wo und wofür?

**PROF. DR.-ING. PETER PICKEL**

John Deere GmbH & Co. KG, Kaiserslautern

### Landwirtschaftliche Rahmenbedingungen

Die Elektrifizierung von landwirtschaftlichen, mobilen Arbeitsmaschinen ist eine wesentliche Schlüsseltechnologie für eine nachhaltige Landwirtschaft. Diese Kernaussage wird anhand von drei Thesen bzw. Paradigmen diskutiert:

#### **These 1 – Ohne höhere Effizienz geht es nicht**

Allgemein wird angenommen, dass die Nachfrage nach Nahrungsmitteln in den nächsten Jahrzehnten stark steigen wird. Treiber ist neben der zunehmenden Weltbevölkerung vor allem ein angenommener wachsender Wohlstand in Verbindung mit erhöhtem Konsum tierischer Produkte, deren Herstellung in der landwirtschaftlichen Primärproduktion im Vergleich mit pflanzlichen Produkten wesentlich aufwendiger ist. Um diese Herausforderung einer Produktionserhöhung bei begrenzt zur Verfügung stehender Ackerfläche zu bewältigen, muss zwangsläufig der Ertrag bezogen auf die Ackerfläche gesteigert werden.

Parallel dazu wird die Nachhaltigkeit der Landbewirtschaftung immer wichtiger werden. Die Einhaltung der Klimaziele ist gerade für die Landwirtschaft von essentieller Bedeutung. Schließlich ist der Agrarsektor einer der größten Emittenten von Treibhausgasen. Gleichzeitig ist die Landwirtschaft unmittelbar und am stärksten vom Klimawandel betroffen. „Producing more with less“ – gemeint ist eine effizientere Ausnutzung der landwirtschaftlich eingesetzten Ressourcen – ist daher seit einigen Jahren das Leitbild der Europäischen Landmaschinenindustrie (Verband CEMA), das der globalen Verantwortung der Landwirtschaft und der Landtechnik Rechnung trägt (CEMA, CECE, 2011).

#### **These 2 – Ohne Robotik geht es nicht**

Nach Daten des Statistischen Jahrbuchs (Statistisches Bundesamt, 2017) sind heute noch knapp 1,5 % der Erwerbstätigen in Deutschland in der Landwirtschaft beschäftigt. Legt man zugrunde, dass davon deutlich weniger als die Hälfte im Vollzeiterwerb tätig sind, kann grob abgeschätzt werden, dass nur noch ca. 1 % der Arbeitskraft in der Landwirtschaft eingesetzt wird. Unsere Gesellschaft befindet sich dabei weiter im strukturellen Wandel der Urbanisierung, sodass in Zukunft noch weniger Menschen im ländlichen Raum leben werden und damit noch weniger Arbeitskräfte im ländlichen Raum zur Verfügung stehen dürften. Das Leitprinzip „Producing more with less“ kann daher auch als Automatisierungsziel verstanden werden – nämlich als angestrebte Produktivitätssteigerung bzw. Steigerung der Produktion bei geringerem Einsatz an Arbeitskräften durch einen höheren Automatisierungsgrad – also durch autonome Landmaschinen bzw. durch Robotik.

#### **These 3 – Ohne erneuerbare Energien geht es nicht**

Auf lange Sicht wird die globale Gesellschaft gezwungen sein, Nahrungsmittel vollständig nachhaltig zu produzieren – d. h. insbesondere auf den Verbrauch endlicher Ressourcen wie fossile

Brennstoffe oder aber auch Pflanzennährstoffe wie Phosphor zu verzichten. Anderenfalls ist Nahrungsmittelproduktion nicht nachhaltig. Das Prinzip „Producing more with less“ lässt aber weiterhin eine Nutzung solcher endlichen Ressourcen zu und ist folglich für einen längeren Zeitraum in Frage zu stellen bzw. zu erweitern. Auf lange Sicht sollte Landwirtschaft auch das Prinzip der Unabhängigkeit vom Verbrauch endlicher Ressourcen verfolgen. Das beinhaltet den Ersatz fossiler Treibstoffe durch erneuerbare Energie.

## Warum elektrische Antriebe?

Drei Hauptgründe sprechen für die weitere Verbreitung von elektrischer Antriebstechnik bei mobilen Landmaschinen (und natürlich auch bei anderen mobilen Arbeitsmaschinen).

### Höchste Effizienz

Als erstes zu nennen ist die extrem hohe Effizienz elektrischer Antriebe und Leistungselektronik bei komplexen Antriebsaufgaben. So sind für elektrische Antriebs Elemente Wirkungsgrade deutlich über 90 % zu erzielen und auch mit Batterie-elektrischen Systemen kann eine hervorragende Effizienz erzielt werden (Kegel 2017). Gleichwohl bleiben heute für vollelektrische Systeme noch zwei Probleme, nämlich die noch unbefriedigende volumetrische Speicherdichte sowie die zu hohen Kosten für die Energiespeicherung. Allerdings darf angenommen werden, dass in nicht allzu ferner Zukunft Kosten und Speicherdichte erheblich verbessert werden können oder völlig neue Energieversorgungskonzepte für mobile Anwendungen entwickelt werden, die die genannten Probleme fundamental lösen.

### Exzellente steuer- und regelbarkeit

Der Verband der europäischen Landmaschinenhersteller CEMA sieht Potenziale in vier Bereichen, um das Leitprinzip „Producing more with less“ umzusetzen. Dies sind neben der Steigerung der Maschineneffizienz auch eine verbesserte Benutzerführung, der Einsatz erneuerbarer Energie sowie die Verbesserung der Prozessgestaltung und -führung. Dabei werden heute die größten Potenziale in der Verbesserung der Prozessgestaltung bzw. -führung gesehen, unter der vor allem die Einführung einer hochautomatisierten Präzisionslandwirtschaft von autonomen Maschinen und Smart-Farming-Technologien verstanden wird. Eine Vision ist dabei, die Pflanzen nach Möglichkeit individuell mit Wasser und anderen Nährstoffen sowie mit Pflanzenschutzmaßnahmen so zu versorgen, dass der Mitteleinsatz minimiert wird.

Elektrische Antriebe sind durch unabhängige Steuerbarkeit, durch exzellente Regelbarkeit und höchste Dynamik die Schlüsseltechnologie auf dem Weg zu einer solchen hochpräzisen Landwirtschaft. Als Beispiel hierfür kann das JD-Einzelkornsaahtsystem ExactEmerge genannt werden (Abb. 1). Je Saatreihe sind bei diesem System zwei elektrische Servomotoren dafür verantwortlich, die Saatkörner entgegen der Fahrtrichtung des Traktors zu beschleunigen und mit einer Relativgeschwindigkeit  $v = 0$  gegenüber dem Boden so abzulegen, dass sie nicht verrollen. Das System arbeitet bis nahezu 20 km/h und erlaubt zukünftig eine genaue Kenntnis über den jeweiligen Standort der Nutzpflanzen, was z. B. eine mechanische Unkrautbekämpfung ermöglicht, da Pflanzen neben bzw. zwischen den Nutzpflanzen automatisch als Beikräuter identifizierbar sind. Solche



Abb. 1: Das John Deere ExactEmerge System wurde auf der SIMA und Agritechnica 2015 mit Innovationspreisen ausgezeichnet. Es ermöglicht das Zentimeter genaue Ablegen einzelner Saatkörner bei Arbeitsgeschwindigkeiten von fast 20 km/h entsprechend vorgegebener Muster, sodass immer der optimale Pflanzabstand eingehalten wird – eine Voraussetzung für die spätere optimale Nährstoff- und Wassernutzung jeder individuellen Pflanze (Quelle: John Deere)

und vergleichbare Systemansätze werden in den kommenden Jahren immer mehr Einzug in die Landwirtschaft erhalten. Sie sind mit anderen als elektrischen Antriebstechniken wie Hydrostatik, Pneumatik oder Mechanik nicht darstellbar.

### Zugang zu erneuerbaren Energien

Die Landwirtschaft ist der einzige produzierende Wirtschaftsbereich, der gleichzeitig in großem Umfang Energieerzeuger und Energieverbraucher ist. Als Erzeuger erneuerbarer Energie leistet die Landwirtschaft einen wesentlichen Beitrag zur Herstellung erneuerbarer Energie oder ist zumindest indirekt daran beteiligt, indem sie die notwendige Landfläche für die Produktion des größten Teils aller erneuerbaren Energie bereitstellt. Die dem ländlichen Raum zuzuschreibende erneuerbare Energie ist strukturell äußerst heterogen. Sie basiert auf der Erzeugung verschiedener biogener Brennstoffe sowie auf der Erzeugung von Elektrizität. Der Elektrizität kommt eine überragende Rolle zu, da die in der Regel stationäre Energieerzeugung fast immer mit der Generierung von Elektrizität verbunden ist und weil die Elektrifizierung des Mobilitätssektors sowie die Bereitstellung von Systemdienstleistungen für das elektrische Versorgungsnetz von herausgehobener Bedeutung für die Zukunft unserer Gesellschaft sein werden. In keinem anderen Sektor kann die gewünschte Wechselwirkung zwischen dem stationären Netz und dem mobilen Fahrzeug so gut gestaltet werden wie in der Landwirtschaft, da hier die Fahrzeuge nach ihrer Arbeit zu ihrem Heimatpunkt, dem Hof zurückkehren. Dies bedeutet, dass hier in einfacher Weise eine Infrastruktur für Elektromobilität geschaffen werden kann, die anders als etwa bei PKWs nicht flächendeckend sein muss. Auch die Infrastruktur für den Umgang mit schwer handhabbaren Komponenten ist vorhanden. So sind etwa schwere Batterien in Batteriewechselkonzepten landwirtschaftlich einfach handzuhaben, da die Landmaschinen Hebevorrichtungen ohnehin verfügbar haben.

Landwirtschaftliche Betriebe haben dank großer Dach- und Freiflächen und durch die Erzeugung von Biomasse aus dem Ackerbau und durch die Nutzung von Gülle aus der Tierhaltung ein sehr großes Potenzial zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung, und bieten auch verschiedene Speicher- und Flexibilitätsoptionen, die mit einer zunehmenden Durchdringung des Stromerzeugungsparks mit Erzeugungsanlagen mit wetterabhängiger Höchstleistung (Windkraft- und PV-Anlagen) für die Gesamtsystemstabilität und -optimierung immer wichtiger werden.

Innerhalb der Projekte eE-Tour Allgäu und LIB-Off-Road (Förderung durch BMWi, Projektträger DLR und TÜV Rheinland) stellte John Deere zwei Prototypen sogenannter Mild-Hybridtraktoren mit großen Lithium-Ionen-Batterien entwickelt, getestet und gezeigt. Landmaschinen mit Hybridantrieben werden technologisch ein wichtiger (Zwischen-) Schritt auf dem Weg zu vollelektrischen Fahrzeugen sein. Auf lange Sicht werden vollelektrische Antriebssysteme eingeführt werden. Im Projekt SESAM (Förderung durch BMWi, Projektträger DLR) entwickelte John Deere einen vollständig Batterie-elektrischen Traktor. In weiteren Nachfolgeprojekten (derzeit Schaufensterprojekt Designetz sowie 3connect, Förderung durch BMWi, Projektträger PTJ und DLR) stellt John Deere mit zahlreichen Kooperationspartnern die konzeptionelle Einbindung von batteriebetriebenen, elektrischen Landmaschinen in kleine bis mittelgroße dezentrale Stromnetze in den Vordergrund. Diese Stromnetze können durch die landwirtschaftliche Energieerzeugung und gerade durch die Speicherung elektrischer Energie auf den mobilen Maschinen unterstützt werden, was zu einem neuen Geschäftsmodell für landwirtschaftliche Betriebe weiterentwickelt werden soll, eine wesentliche Voraussetzung, um auch eine wirtschaftliche Nachhaltigkeit zu erzeugen, ohne der Übergang zu erneuerbaren Energie nicht stattfinden und somit die Unabhängigkeit von fossilen Kraftstoffen nicht erreicht werden kann.

## Literatur

- CEMA, CECE (2011): CECE and CEMA – Optimising our industry to reduce emissions. (CECE and CEMA success stories to reduce CO2). CECE Committee for European Construction Equipment, CEMA European Agricultural Machinery, Oct. 17th 2011, Brussels
- Statistisches Bundesamt (2017): Statistisches Jahrbuch - Deutschland und Internationales 2017, Wiesbaden
- Kegel, V. (2017): Batterieelektrischer Traktor. Dissertation, Fakultät V – Verkehrs- und Maschinensysteme der Technischen Universität Berlin

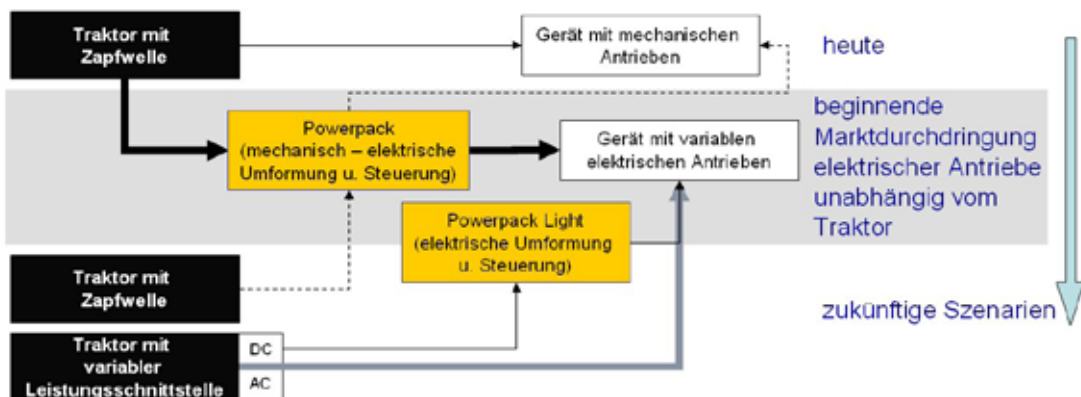


unter 20 kW liegt, kommen auch Niedrigvoltarchitekturen mit einem Spannungsniveau < 60 V in Betracht, da hier in naher Zukunft eine stark steigende Verfügbarkeit von Komponenten aus dem Automotive-Bereich der E-Mobilität erwartet wird. Entwicklungskosten für elektrisch leistungsverzweigte Getriebe sollen mithilfe eines Baukastensystems gesenkt werden, sodass auch Fahrzeugherstellern mit moderaten und kleinen Stückzahlen – insbesondere KMU – Zugang zur dieser Technologie möglich wird.

Mit der Integration der elektrischen Antriebe in die Bauräume von Funktionsbaugruppen kann nicht nur das Problem der größeren spezifischen Volumina pro kW Antriebsleistung im Vergleich zu Mechanik und Hydraulik adressiert werden, sondern es kann sogar noch besonders von mechanischen Antrieben verbrauchter Bauraum für Funktionselemente freigemacht werden, wodurch bei gleichem Bauraum ein Wachstum der Produktivität der Gesamtmaschine erreicht werden kann.

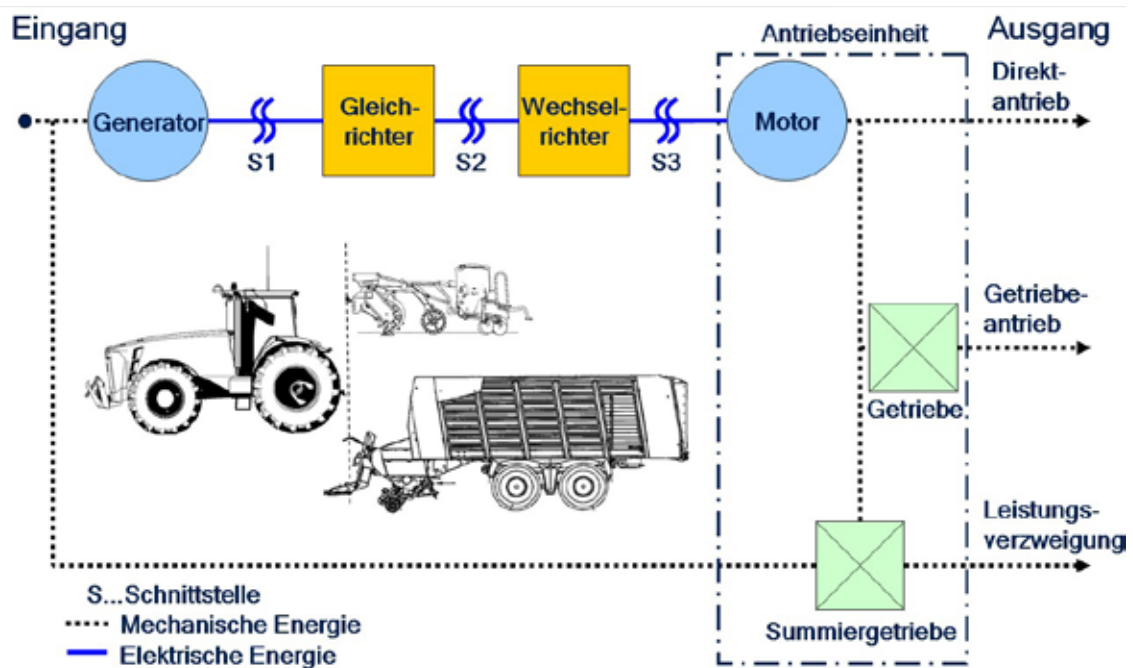
### Verteilung von elektrischen Komponenten auf Traktor und/oder Gerät

Von Beginn an gibt es die Diskussion um die Platzierung der einzelnen Komponenten der elektrischen Systeme und demzufolge besonders um die Definition der Schnittstelle zwischen Traktor und Gerät. Dadurch dass sich die Teilsysteme auf Traktor und Gerät gegenseitig bedingen, ergibt sich zusätzlich noch die Frage, welche Maximalleistung auf dem Traktor installiert werden muss und wie ein Markteintritt stattfinden kann, wenn sich Traktoren- und Gerätehersteller nicht bei dem Eintrittszeitpunkt abstimmen. Nachfolgende Grafik zeigt ein durchaus denkbare Szenario wie sogenannte Powerpacks als eigenständige modulare Systeme die mechanisch-elektrische Umformung der Leistung vornehmen, um elektrifizierte Geräte mit konventionellen Traktoren versorgen zu können.



Besondere Bedeutung hat die Fragestellung, ob der Traktor Gleichstrom oder frequenz-geregelten Wechselstrom bereitstellt. Das ist nicht nur für die Auslegung der Schnittstelle von Bedeutung, sondern hat entscheidende Einfluss darauf, ob die Kosten für die jeweilige Leistungselektronik eines variablen Funktionsantriebes vom Traktor oder vom Gerät getragen werden muss und welche Komplexität die Echtzeitregelung der Endantriebe hat. Um robuste und wirtschaftliche Systemarchitekturen zu entwickeln, ist es deshalb wichtig im Gesamtsystem zu denken und auch die Wirtschaftlichkeit nur im Gesamtsystem zu bewerten. In der nachfolgenden Grafik ist die prinzipielle Systemarchitektur elektrifizierter Antriebe dargestellt.

Wenn „S3“ die Schnittstelle zwischen Traktor und Gerät darstellt, können ein bis drei Drehstromverbraucher auf dem Anbaugerät versorgt werden. Einfache Anbaugeräte können entsprechend flexibel vom Traktor versorgt werden. Wenn dagegen „S2“ die Trennung zwischen Traktor und Gerät darstellt, dann können die auf dem Gerät befindlichen Wechselrichter anwendungsge- recht ausgelegt werden und sind nur in der Summe der Leistung, aber nicht zahlenmäßig begrenzt.



Werden alle Traktor-Geräte-Kombinationen betrachtet, dann stellt sich die Frage über die Auf- teilung der elektrischen und elektromechanischen Komponenten zwischen Traktor und Gerät. Wenn nur wenige Antriebe und eine geringe jährliche Nutzungsdauer am Gerät existieren, kön- nen diese mit Wechselstrom einer Frequenz betrieben werden, woraus eine Antriebsdrehzahl am Gerät resultiert. Die Investitions- und Betriebskosten der Wechselrichter auf dem Traktor können sich entsprechend über weitere Anbaugeräte amortisieren. Bei komplexen Maschinen mit vielen verteilten Antrieben sind abgeschlossene elektrische Systeme sinnvoller, bei denen der Traktor die Gleichstromschnittstelle bedient oder sogar die gesamte elektromechanische Energiewandlung auf dem Anbaugerät stattfindet.

## Neue Randbedingungen für die dezentrale Erzeugung von Strom

**CHRISTOPH GERS-GRAPPERHAUS**

Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Oldenburg

### I. Einleitung

So vielfältig wie die landwirtschaftliche Produktion, so vielfältig ist auch der Energiebedarf auf landwirtschaftlichen Betrieben. Ist es in der Außenwirtschaft überwiegend der Kraftstoffbedarf für die Maschinen, so ist es in der Innenwirtschaft neben dem Heizenergiebedarf der Ställe in der wärmeintensiven Sauen- und Geflügelhaltung der Stromverbrauch für alle anderen Arbeitsabläufe in der Veredlung. Beispielhaft sei der Strombedarf für das Füttern, für die Belüftung und Beleuchtung, die Futteraufbereitung und Entmistung sowie für das Melken und Kühlen genannt. Das Einsparen von Energie und die Verbesserung der Energieeffizienz sind die besten Möglichkeiten zur Kostensenkung und zur Vermeidung von Klimabelastungen in der landwirtschaftlichen Produktion. Neben dem Sparen durch eine verbesserte Energieeffizienz ist auch die Substitution von Strom ein wichtiger Aspekt auf landwirtschaftlichen Betrieben. Hierbei ist die Landwirtschaft in einer besonderen Position. Kaum ein anderer Wirtschaftszweig verfügt über das dafür notwendige Flächenpotenzial. Seien es die erforderlichen Dachflächen für PV-Anlagen oder die räumlichen Abstandsfelder für Kleinwindanlagen, die Potenziale sind vielfach vorhanden. Auch von daher spielt die Stromsubstitution in der Landwirtschaft eine große Rolle.

### II. Randbedingungen

Die wirtschaftlichen Faktoren für die dezentrale Stromerzeugung unterliegen häufig anderen Gesetzmäßigkeiten, die auch außerhalb des landwirtschaftlichen Betriebes festgeschrieben werden. Hier sind in erster Linie die jeweils aktuellen Strompreise und die staatlich festgesetzten Steuern und Abgaben zu nennen.

#### 1. Strompreis und festgesetzte Steuern und Abgaben

Der Strompreis kannte in den vergangenen Jahren für den Endverbraucher nur eine Richtung und die war steigend. Vom Jahr 2000 bis 2010 gab es nahezu eine Verdoppelung des Strompreises von 10,2 auf 19,6 ct/kWh. Die jährlichen Steigerungsraten lagen im Mittel bei 8 %. Seit dieser Zeit ist der Preisanstieg deutlich geringer ausgefallen. Aktuell liegt der Strompreis bei 23,7 ct/kWh. Das ist eine prozentuale jährliche Steigerung von 2,5 % seit dem Jahr 2010. Diese Strompreise beziehen sich auf den Einkauf einer landwirtschaftlichen Betriebsmittel GmbH in Niedersachsen und können in anderen Regionen und anderen Tarifen hiervon deutlich abweichen.

Wesentlich bestimmt wird der Strompreis auf die pro kWh festgelegten Steuern, Umlagen und Abgaben. Bezogen auf den Arbeitspreis pro kWh sind das etwa 84 % des gesamten Strompreises. Hauptkostenbestandteile sind die Netzentgelte, die EEG-Umlage, die Stromsteuer und die Mehrwertsteuer. Der Netto-Energiepreis in Cent/kWh ist dagegen rückläufig gewesen, mit Ausnahme des Jahres 2016. Im Zuge der zunehmenden Digitalisierung wird sich das Tarifgefüge weiter verän-

dem. Standard- oder Einheitstarife mit festen Arbeitspreisen und Grundgebühren werden zunehmend von wechselnden Tarifzeiten mit unterschiedlichen Strompreisen abgelöst. Aufgrund der schwankenden Kosten für die Energiebereitstellung aus dem öffentlichen Stromnetz wird die Eigenenergieversorgung durch regenerative Energiequellen immer attraktiver. Zusätzlich sind durch die gesunkenen Investitionskosten der Anlagentechnik und der günstigen Sollzinssätze verschiedener Finanzierungsdarlehen die Stromgestehungskosten stark gesunken.

## 2. Lastprofile

Produktionsbedingt ist der Stromverbrauch in Veredlungsbetrieben deutlich höher als in Ackerbau- oder Futterbaubetrieben. Aber auch in einem Produktionsverfahren ergeben sich sehr unterschiedliche Verbräuche und Lastprofile. Verantwortlich ist dafür die Anzahl der gehaltenen Tiere, die eingesetzte Verfahrenstechnik und der Grad der Automatisierung. Besonders die zunehmende Automatisierung verändert ganz entscheidend den Gesamtstrombedarf und die Stromabnahme über den Tag.

Ein besonders markantes Beispiel dafür ist die Milchviehhaltung. In einem Milchviehbetrieb mit Melkstand weist der Stromverbrauch zwei typische Tagesspitzen zu den jeweiligen Melk- und Kühlzeiten am Morgen und am Abend auf. Oft wird in nur 6 bis 7 Stunden 80 % des gesamten täglichen Strombedarfes verbraucht. Völlig anders ist das Lastprofil auf einem Milchviehbetrieb mit einem automatischen Melksystem. Hier verteilt sich der Stromverbrauch relativ gleichmäßig über den gesamten Tag. Die Voraussetzungen für einen höheren Eigenverbrauchsanteil aus dezentraler Stromproduktion verbessern sich dadurch entscheidend. Auch der zunehmende Einsatz von strombetriebenen Hilfsmitteln wie beispielsweise Reinigungsroboter oder auch Hoflader führen zu steigenden Stromverbräuchen.

Besonders gute Bedingungen für eine hohe Eigenstromproduktion bietet die Schweinehaltung. Mit ihren zwangsbelüfteten Ställen weist das Lastprofil einen relativ gut prognostizierbaren Verlauf im Hinblick auf die jahreszeitlichen Schwankungen und im Tagesverlauf, bedingt durch die Sonneneinstrahlung, auf. Die kontinuierliche Stallbelegung in der Schweinehaltung bietet gegenüber der Mastgeflügelhaltung bessere Einsatzbedingungen für dezentrale Stromerzeugungsanlagen. Insgesamt weist die Geflügelhaltung ebenfalls einen hohen Stromverbrauch auf. Der vier- bis sechswöchige Produktionsrhythmus in der Hähnchenmast führt aber zu sehr wechselnden Lüftungsraten der Ställe. Hier kommen neben den altersbedingten geringen Luftraten zu Beginn der Mast noch die temperaturbedingten jahreszeitlichen Schwankungen zum Tragen.

## 3. Stromerzeugung

Die Strombereitstellung kann aus regenerativen Quellen wie der Nutzung von Wind und Sonne und auch aus fossilen Energieträgern stammen. Welche Form der Energiebereitstellung den höchsten Gewinn erwarten lässt, ist vorher gründlich zu prüfen.

### a. Photovoltaikanlagen

Auf vielen Stalldächern sind inzwischen Photovoltaikanlagen installiert. Aufgrund der hohen EEG-Vergütungen und den fallenden Investitionskosten für die Anlagen lagen die höchsten Zubauraten mit bis zu 7.500 MW pro Jahr in den Jahren von 2010 bis 2012. Diese Anlagen speisen ganz überwiegend den Strom ins öffentliche Stromnetz ein. Die Eigennutzung ist nicht oder nur selten wirtschaftlich, da die EEG-Vergütungen deutlich über den aktuellen Strombezugspreisen liegen.

Seit dieser Zeit sind die EEG-Vergütungen aber kontinuierlich gesunken. Aktuell beträgt die EEG-Vergütung für eine 30-kWp-Anlage 11,98 ct/kWh. Aber auch die Investitionskosten für die PV-Anlagen sind seit dieser Zeit stetig gesunken. Die Stromgestehungskosten sind deshalb mittlerweile niedriger als der Strombezug aus dem Netz. Beim Bau neuer PV-Anlagen betragen die Investitionskosten etwa 1.000 €/kWp. Bei diesen Kosten und einem Stromertrag von – durchschnittlich über 20 Jahre betrachtet – 900 kWh/Jahr liegen die Stromgestehungskosten unter Berücksichtigung der Kapital- und der Betriebskosten bei etwa 9,8 ct/kWh.

#### **b. Kleinwindenergieanlagen**

Besonders in Norddeutschland ist das Interesse an Kleinwindenergieanlagen hoch. Aufgrund der guten Standortbedingungen mit hohen Windgeschwindigkeiten für die Megawatt-Anlagen steigt auch die Nachfrage nach kleinen Windenergieanlagen. Auch die ganztägige Stromproduktion ist für Betriebe, die über automatische Melksysteme verfügen, ein wichtiges Argument, neben PV-Anlagen auch den Bau von Kleinwindenergieanlagen zu prüfen.

Die Bedingungen für Kleinwindanlagen sind im Vergleich zu PV-Anlagen aber oft schwieriger. Die im EEG festgelegte Einspeisevergütung ist im Vergleich zu Solarstrom deutlich niedriger. Ab dem 01.04.2018 beträgt sie für Anlagen bis 50 kW 7,31 ct/kWh über einen Zeitraum von 20 Jahren. Darüber hinaus unterliegt die EEG-Vergütung einer starken Degression, da die hohen Zubauraten der großen Windenergieanlagen für die Berechnung der EEG-Vergütung bestimmend sind.

Diese Einspeisevergütungen sind für Kleinwindenergieanlagen aber nicht kostendeckend. Die Stromgestehungskosten betragen häufig 20 bis 25 ct/kWh. Nur unter sehr günstigen Standortbedingungen liegen sie bei 15 bis 20 ct/kWh. Um die Anlagen wirtschaftlich betreiben zu können, ist ein sehr hoher Eigenverbrauch erforderlich. Dazu sind eine angepasste Anlagengröße an den betrieblichen Stromverbrauch, ein guter Standort mit freier Windanströmung auf den Rotor und ein gleichmäßiger Stromverbrauch über den Tag unbedingt erforderlich.

#### **c. Blockheizkraftwerke (BHKW)**

Blockheizkraftwerke produzieren im Vergleich zu den vorhergenannten Energieanlagen Strom und Wärme. Als Brennstoff kommt in erster Linie Erdgas, Flüssiggas und Heizöl, seltener Biogas oder Holzgas zum Einsatz. Die in der Landwirtschaft eingesetzten BHKW haben selten Leistungen über 50 kW elektrisch, am häufigsten liegt die elektrische Leistung zwischen 5 und 20 kW. Bei gleichzeitiger Strom- und Wärmeverwertung sind BHKW besonders energieeffizient mit Gesamtwirkungsgraden von etwa 90 %.

Die Förderung von BHKW wird durch das Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG) geregelt. Die Novellierung des KWKG vom 01.01.2016 hat die Einsatzbedingungen verbessert. Für Klein-BHKW bis 50 kW sieht das KWKG eine Förderung von 8 ct/kWh bei Einspeisung ins öffentliche Netz und von 4 ct/kWh auf den Eigenverbrauch für maximal 60.000 Vollbenutzungsstunden vor. Um einen möglichst hohen Eigenverbrauch zu erreichen, ist eine vorherige gründliche Prüfung des Strom- und Wärmeverbrauches (im Tages- und Jahresablauf) erforderlich, um eine daran angepasste Anlagengröße bestimmen zu können. Besonders interessant sind BHKW für sauenhaltende Betriebe, da hier eine ganzjährige Strom- und Wärmeverwertung möglich ist.

Die Wirtschaftlichkeit von BHKW ist von vielen individuellen betrieblichen Faktoren wie Energieverbrauch, Energiekosten, den Lastprofilen des Strom- und Wärmeverbrauches und den Investitionskosten abhängig. Unter Berücksichtigung aller Aspekte haben eigene Wirtschaftlichkeitsbe-

rechnungen Energieerzeugungskosten von rund 7,7 ct/kWh für die Strom- und Wärmeproduktion ergeben. Bei einer hohen jährlichen Auslastung und der Nutzung beider Energiearten, Strom und Wärme, kann eine attraktive Wirtschaftlichkeit dargestellt werden.

#### **4. Zukünftige Anforderungen**

Um die dezentrale Stromerzeugung auf landwirtschaftlichen Betrieben in Zukunft noch attraktiver zu gestalten, sind einige Anforderungen zu erfüllen.

##### **a. Stromspeicher**

Um den Eigenverbrauch aus erneuerbaren Energien weiter zu erhöhen, ist die Stromspeicherung ein wirksames Instrument. Um einen Speicher möglichst gut nutzen zu können, muss er in einem angemessenen Größenverhältnis zur Energieerzeugungsanlage und zum Eigenverbrauch stehen. Heutige Speichergrößen dienen eher der Speicherkapazität von Haushalten, aber nicht der Kapazität landwirtschaftlicher Betriebe. Batteriespeicher in der Größe von etwa 100 kWh sind für landwirtschaftliche Betriebe eine denkbare Größenordnung.

##### **b. EDV-gestützte Energiemanagementsysteme**

Grundlage für ein optimales betriebliches Energiemanagement ist die Kenntnis über die Energieverbräuche des Betriebes und die Kenntnis über die zu erwartende Stromproduktion aus den Energieerzeugungsanlagen. Für die Erfassung und Analyse des spezifischen Strom- und Wärmeverbrauches und der Produktion ist die Installation von Verbrauchs- und Messeinrichtungen erforderlich. Für die Auswertungen müssen EDV-gestützte Energiemanagementsysteme zur Verfügung stehen und in Bezug auf die landwirtschaftliche Produktion weiterentwickelt und optimiert werden.

##### **c. Änderungen zur EEG-Umlage auf den Eigenverbrauch**

Ein wesentliches wirtschaftliches Hemmnis ist die festgelegte Zahlung der vollen oder anteiligen EEG-Umlage auf den Stromeigenverbrauch. Diese wirkt sich besonders nachteilig bei den Kleinwindenergieanlagen aus, deren Stromgestehungskosten bereits relativ hoch sind. Aber auch auf großen landwirtschaftlichen Betrieben mit einem Stromverbrauch über 100.000 kWh ist die EEG-Umlage ein Hemmnis. Nicht selten verfügen die Betriebe über eigene Trafostationen am Betriebsstandort, womit die Stromlieferung aus der Mittelspannungsebene möglich und der Strom zu niedrigeren Preisen eingekauft wird. Häufig sind die wirtschaftlichen Anreize durch die abzuführende EEG-Umlage zu gering, um in dezentrale Energieanlagen zu investieren und den Stromeigenverbrauch zu nutzen.

## Elektrische Landmaschinen und Photovoltaik: mehr Klimaschutz mit Batterie

**MICHAEL STÖHR, BASTIAN HACKENBERG**

B.A.U.M. Consult GmbH, München

### Zusammenfassung

Elektrifizierte Landmaschinen ermöglichen eine höhere Arbeitspräzision und Leistungsdichte, erzeugen, je nach Grad der Elektrifizierung, weniger oder gar keine Abgasemissionen und haben geringere Betriebskosten als ihre Pendanten mit Verbrennungsmotor. Aus diesen Gründen sind Landmaschinenhersteller dazu übergegangen, elektrifizierte Landmaschinen zu entwickeln, die über eine mitgeführte Batterie oder, falls deren Kapazität nicht ausreicht, direkt über ein elektrisches Kabel mit Energie versorgt werden. Insbesondere die von letzteren benötigte elektrische Leistung erfordert jedoch, ähnlich wie eine hohe Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, einen starken Ausbau ländlicher Verteilnetze. Da die Leistungsflüsse entgegengerichtet sind, kann eine günstige Kombination die erforderliche Netzverstärkung verringern und/oder eine höhere erneuerbare Stromerzeugung, deren Nutzung im Bereich mobiler Arbeitsmaschinen und damit mehr Klimaschutz ermöglichen. Insbesondere fallen Zeiten hoher PV-Erzeugung und hohen Leistungsbedarfs elektrifizierter Landmaschinen zumindest teilweise zusammen. Diese Synergie kann durch den Einsatz stationärer Energiespeicher noch verstärkt werden. Dazu wurden Modellrechnungen durchgeführt.

Zunächst wurde die Netzintegration eines vollelektrischen Traktors mit einer 130-kWh-Batterie, der auf einem Milchviehhof zum Einsatz kommt, untersucht, dann ein Modell eines ländlichen Ortsnetzes mit PV-Anlagen entwickelt, in dem eine leitungsgeführte vollelektrische Landmaschine mit einer maximalen Leistungsaufnahme von 1,2 MW betrieben wird. Dieses Modell wurde im Modular Open Source Framework To Modell Energy Supply Systems, oemof, abgebildet und für verschiedene Ortsnetzgrößen und PV-Ausbaustufen die volkswirtschaftlich optimale Kombination von Netzanschluss, stationärem Energiespeicher und PV-Abregelung berechnet. Zu den zentralen Parametern wurden Sensibilitätsuntersuchungen durchgeführt.

Die Ergebnisse zeigen, dass bereits zum Nachladen der Traktionsbatterie einer batteriebetriebenen Landmaschine ein üblicher Netzanschluss landwirtschaftlicher Betriebe in vielen Fällen verstärkt werden muss, aber auch, dass dies durch die Kombination mit einer PV-Anlage begrenzt werden kann. Bei einer kabelgeführten vollelektrischen Landmaschine ist der Einsatz stationärer Energiespeicher wirtschaftlich optimal, wenn der Energiespeicher nicht nur als lokaler Pufferspeicher, sondern auch zur Primärregelleistungsbereitstellung (PRL) genutzt wird. Verglichen mit einer sonst gleichen Situation ohne Landmaschine ist meistens ein stärkerer Netzanschluss erforderlich, der Energiespeicher kann jedoch etwas kleiner ausfallen. In vielen Fällen dürfte es sinnvoll sein, den Energiespeicher semi-stationär, d. h. versetzbar zu gestalten, um ihn Teile des Jahres an anderen Stellen zu anderen Zwecken einsetzen zu können. Entgegen früherer Abschätzungen erweist sich die Abregelung von PV-Strom dann nur in wenigen Fällen und wenn meist deutlich unter 4 % als volkswirtschaftlich optimal. Dank des Energiespeichers kann PV-Energie vollständiger genutzt werden.

## Batteriebetriebene Landmaschinen

Vollelektrische batteriebetriebene Landmaschinen sind in erster Linie für Arbeiten mit kleiner Leistung in der Nähe eines Ladepunktes geeignet. Das prädestiniert sie für viehhaltende Betriebe. Diese, insbesondere solche mit Milchviehhaltung, haben ein Lastprofil, das mehr als alle anderen das elektrische Netz sehr schlecht ausnutzt, da es durch zwei sehr ausgeprägte Leistungsspitzen am Morgen und am Abend gekennzeichnet ist. Es stellt sich darum nicht nur die Frage nach der Netzintegration batteriebetriebener Landmaschinen und erneuerbarer Energien, sondern auch die nach einer besseren Netzintegration von Milchviehbetrieben im Sinne einer besseren Ausnutzung ihres Netzanschlusses. Im SESAM-Projekt wurde gezeigt, dass eine batteriebetriebene Landmaschine bzw. der erforderliche Ladepunkt für die Batterie nun eine zusätzliche Last darstellt, die nicht per se einen bestehenden Anschluss besser ausnutzt. Optimiert werden kann die Situation jedoch durch langsames Laden der Batterie in der Nacht oder dann, wenn eine PV-Anlage mit etwa gleicher Leistung auf dem gleichen Betrieb oder in räumlicher Nähe Energie ins Netz einspeist. Hierzu ist es hilfreich, wenn mehrere leicht wechselbare Batterien eingesetzt werden.

## Kabelgeführte Landmaschinen

Da die Leistungsaufnahme einer kabelgeführten Landmaschine die übliche Netzanschlussleistung eines einzigen landwirtschaftlichen Betriebs weit übersteigt, wurde der Einsatz einer solchen Maschine gleich im Zusammenhang mit ganzen ländlichen Ortsnetzen betrachtet. Die untersuchten Situationen wurden durch zwei Parameter charakterisiert: (1) den Jahresverbrauch an elektrischer Energie aller an das betrachtete Ortsnetz angeschlossenen elektrischen Verbraucher ausgenommen der Landmaschine (Jahresgrundverbrauch) und (2) den neu eingeführten Parameter des PV-Sättigungsgrads. Es wurde angenommen, dass der Grundverbrauch dem Standardlastprofil L2 für landwirtschaftliche Betriebe ohne Milchwirtschaft folgt. Der PV-Sättigungsgrad wurde definiert, um ländliche Ortsnetze nach dem Stand der PV-Stromerzeugung bezogen auf den Jahresgrundverbrauch klassifizieren zu können. Ein PV-Sättigungsgrad von 100 % entspricht exakt dem Grenzfall, dass ein Ortsnetzanschluss gerade noch nicht aufgrund des PV-Anlagenbaus verstärkt werden muss, wenn er so dimensioniert ist, dass er gerade die maximale Grundlast decken kann. Bei einem PV-Sättigungsgrad von 200 % muss die maximale Übertragungsleistung des Ortsnetzanschlusses demgegenüber verdoppelt werden, bei 300 % verdreifacht usw. Der genaue Zusammenhang von Grundverbrauch, PV-Anlagenleistung und PV-Sättigungsgrad hängt von den jeweiligen Last- und Erzeugungsprofilen ab. Für die Modellierung des Einsatzes einer leitungsgeführten Landmaschine wurde neben dem Standardlastprofil L2 für die PV-Erzeugung das Standardprofil ESO zugrunde gelegt. Eine bilanzielle Volldeckung des Grundverbrauchs durch die PV-Erzeugung im Ortsnetz entspricht dann einem PV-Sättigungsgrad von 234 %.

Es wurde ein hypothetisches Betriebsszenario für die Landmaschine mit Einsatzzeiten in fast allen Monaten des Jahres und einem Jahresenergieverbrauch von 1.689 MWh zugrunde gelegt. Es enthält auch Einsatzzeiten mit hoher Maschinenleistung zu Zeiten geringer PV-Erzeugung in den Wintermonaten, wo mögliche Synergien zwischen PV-Erzeugung und Landmaschinenverbrauch gering sind.

Weitere Parameter, die bei den Optimierungsrechnungen zugrunde gelegt und im Rahmen der Sensibilitätsuntersuchungen im GridCon2-Projekt variiert wurden, sind: die Anzahl der Wochen, in denen mit dem Energiespeicher Einkommen aus PRL erzielt wird (13 Wochen), die gewichteten Finanzierungskosten (weighted average cost of capital,  $wacc = 5\%$ ), der Prozentsatz der elektrischen Energie, der bei der Übertragung über das vorgelagerte elektrische Netz verloren geht (6,85 %, das entspricht dem Durchschnitt der Verluste im deutschen Netz) und die volkswirtschaftlich anzusetzenden Kosten des Stromes, der entweder bei der Übertragung über das Netz, im Energiespeicher oder durch Abregelung von PV-Anlagen verloren geht (6,5 ct/kWh, das entspricht etwa den Vollkosten der Erzeugung von PV und Windstrom, den künftig zu erwartenden Hauptquellen elektrischer Energie). Verglichen wurde vor allem, welchen Unterschied es macht, ob eine Landmaschine zum Einsatz kommt oder nicht. Die Ergebnisse zeigen die folgenden Grafiken: Unter den gewählten Annahmen ist ein Energiespeicher immer Teil einer volkswirtschaftlich optimalen Lösung. Mit Landmaschine ist er meist etwas kleiner, der Netzanschluss meist größer.

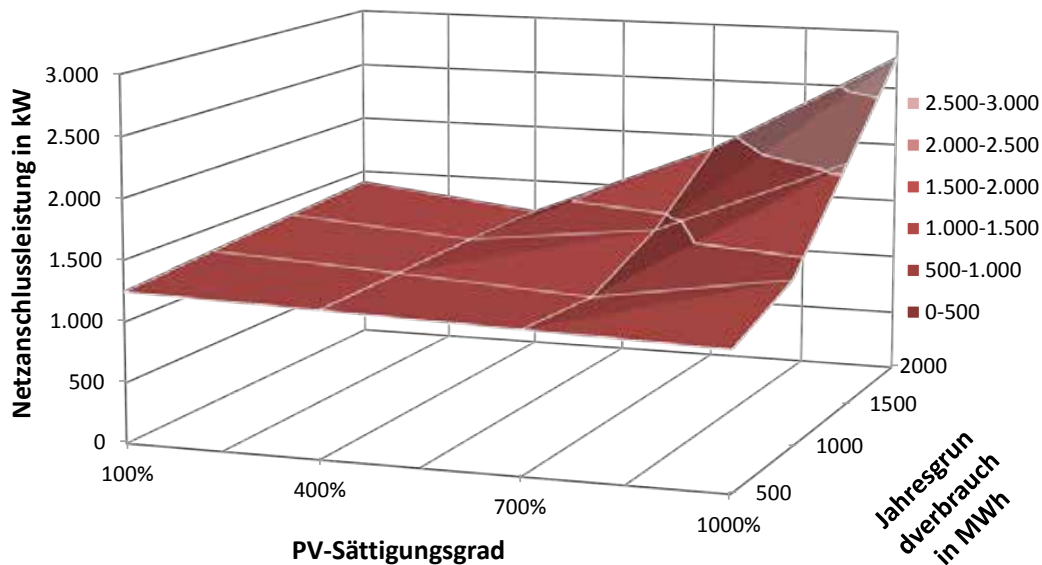


Abb. 1: mit Landmaschine, mit 13 Wochen PRL,  $wacc = 5\%$ , Netzverluste = 6,85%, Stromkosten = 6.5 ct/kWh

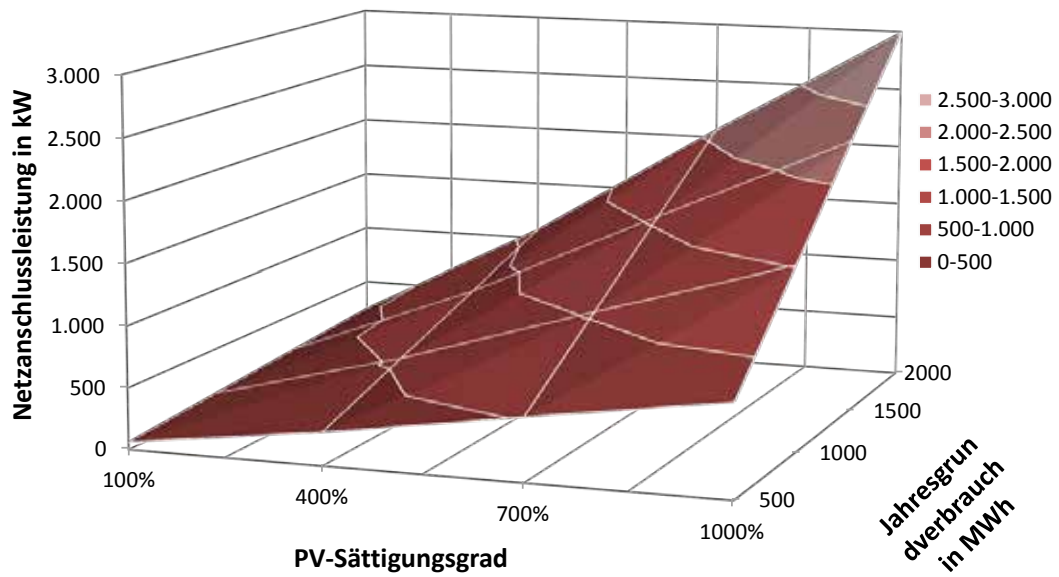


Abb. 2: ohne Landmaschine, mit 13 Wochen PRL, wacc = 5%, Netzverluste = 6,85%, Stromkosten = 6.5 ct/kWh

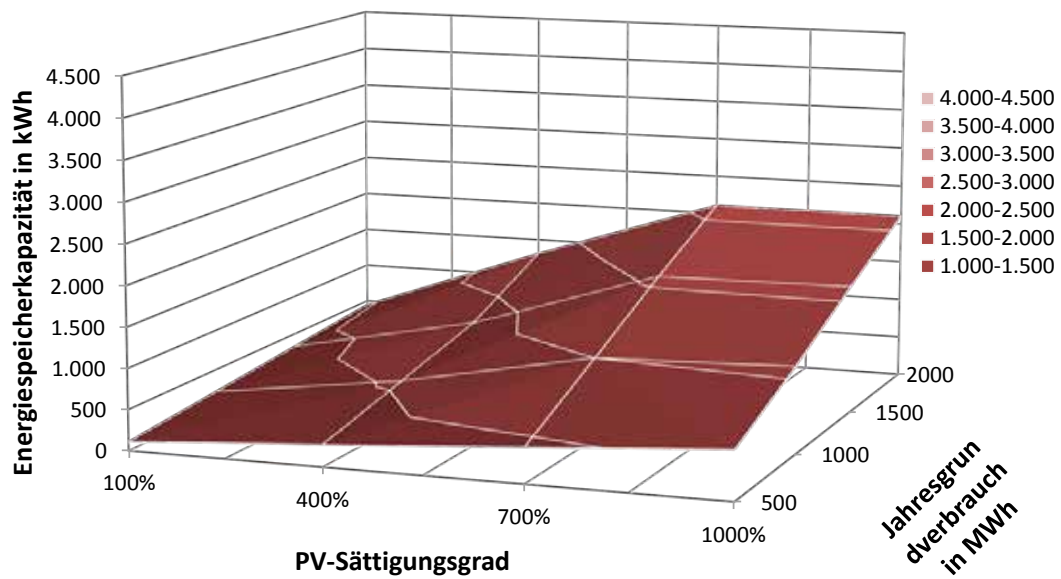


Abb. 3: mit Landmaschine, mit 13 Wochen PRL, wacc = 5%, Netzverluste = 6,85%, Stromkosten = 6.5 ct/kWh

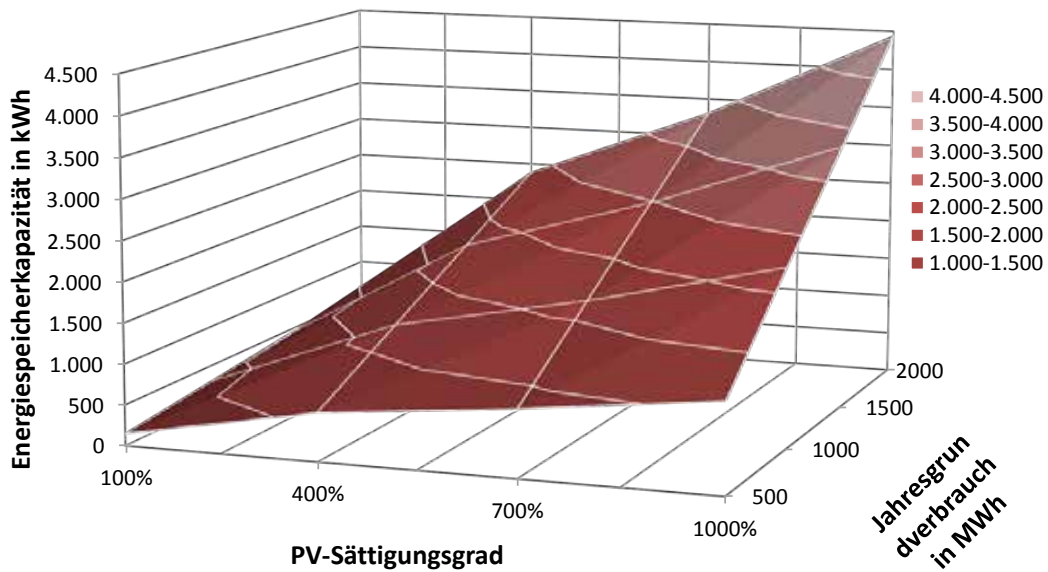


Abb. 4: ohne Landmaschine, mit 13 Wochen PRL,  $wacc = 5\%$ , Netzverluste = 6,85%, Stromkosten = 6.5 ct/kWh

## Sensibilitätsuntersuchungen

Eine besonders starke Abhängigkeit der Ergebnisse existiert vom der Zahl der Wochen, in denen Einkommen aus PRL erzielt werden kann. Erfolgt dies nicht oder nur für weniger als 10 Wochen pro Jahr, ist die Installation eines stationären Energiespeichers in der Regel nicht optimal. Dies ist stattdessen dann ein hinreichend dimensionierter Netzanschluss. Je höher die gewichteten Kosten der Finanzierung ( $wacc$ ), desto größer der optimale Netzanschluss und desto kleiner der optimale stationäre Energiespeicher. Beide steigen jedoch bei einer Erhöhung der veranschlagten volkswirtschaftlichen Kosten für verlorene elektrische Energie. Mit einer höheren Verlustrate über das Netz übertragener Energie fällt die optimale Netzanschlussleistung und es steigt die optimale Speicherleistung. Die Veränderungen sind im Rahmen vernünftig anzusetzender Netzverluste jedoch gering. Diese ersten Erkenntnisse werden im ersten GridCon2-Fortschrittsbericht näher ausgeführt werden.

## Erhaltene Fördermittel

Die hier vorgestellten Ergebnisse wurden im Rahmen der Verbundprojekte SESAM (FKZ 01ME12124), GridCon (FKZ 01ME14004C) und GridCon2 (FKZ 01ME17007C) mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Rahmen des Programms IKT für Elektromobilität erarbeitet. Eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse enthalten die Abschluss- bzw. Fortschrittsberichte, die von den jeweiligen Projektwebseiten heruntergeladen werden können.

## Literatur

- Stöhr, Mi. (2019): *GridCon2, Teilvorhaben Smart Farm Modellierung, erster Fortschrittsbericht*. München, B.A.U.M. Consult GmbH, gefördert mit Mitteln des BMWi, FKZ 01ME17007C (geplant)
- Stöhr, M.; Hackenberg, B. (2017): *Auslegung (semi-)stationärer Energiespeicher für leitungsführte voll-elektrische Landmaschinen*. München, B.A.U.M. Consult GmbH, gefördert mit Mitteln des BMWi, FKZ 01ME14004C (öffentliche Freigabe voraussichtlich 2018)
- Stöhr, M.; Giglmaier, S.; Berlet, R. (2015): *Folgenabschätzung zum Einsatz batteriebetriebener vollelektrifizierter Landmaschinen*. München, B.A.U.M. Consult GmbH, gefördert mit Mitteln des BMWi, FKZ 01ME12124C, S. 112

## Energiemanagement im landwirtschaftlichen Betrieb

DR. FOLKE MITZLAFF

SMA Solar Technology AG, Niestetal

### Der landwirtschaftliche Betrieb als Säule der Energiewende

Von Anfang an waren es insbesondere landwirtschaftliche Betriebe, die die Chancen der Energiewende für sich entdeckten und wesentlich zum Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland beitrugen, indem zunächst Photovoltaikanlagen, dann aber auch Biogasanlagen auf dem eigenen Gelände errichtet wurden. Auch wenn die Investitionen in erneuerbare Energien in den letzten Jahren zurückgegangen sind, sind nach wie vor über 10 % der Anlagen im Besitz von landwirtschaftlichen Betrieben.

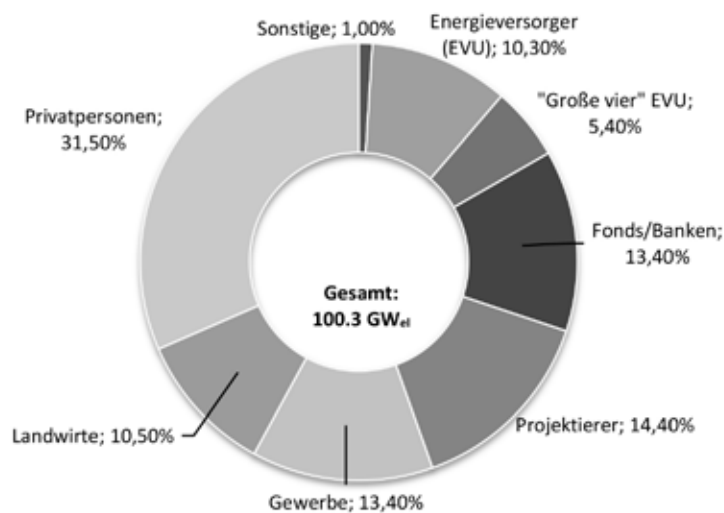


Abb. 1: Verteilung der Eigentümer an der bundesweit installierten Leistung zur Stromerzeugung aus Erneuerbare-Energien-Anlagen 2016 (trend:research, Stand: 12/2017)

Der Großteil der Erneuerbare-Energien-Anlagen wurde zur reinen Einspeisung errichtet, da die Vergütung für den ins öffentliche Stromnetz eingespeisten Strom entsprechend hoch angesetzt war. Für den einzelnen landwirtschaftlichen Betrieb steht jedoch primär die Optimierung des eigenen Energieeinsatzes im Fokus, da die Landwirtschaft im Vergleich zur Gesamtwirtschaft ein energieintensiver Wirtschaftszweig ist und somit von steigenden Energiepreisen überdurchschnittlich stark betroffen ist (Wagner 2011). Der Anteil der Energiekosten an den Gesamtkosten ist in der Viehzucht grundsätzlich höher als im Ackerbau, schwankt aber in beiden Bereichen stark, entsprechend der Energieeffizienz im Betrieb und den Entwicklungen in den Energiemärkten.

### Energiemanagement zur Optimierung des Energieeinsatzes

So einfach die Zielstellung zunächst formuliert ist, so komplex stellt sich die Senkung der Energiekosten in der Praxis dar. Zunächst ist es wichtig, die Systemgrenzen und den Umfang für die Betrachtung des Energieeinsatzes im Betrieb festzulegen. Dabei sind grundsätzlich die typischen Energieeinsatzbereiche HLK (Heizung, Lüftung, Klimatechnik), Beleuchtung und Transport relevant, jedoch für den einzelnen Betrieb entsprechend der Arbeitsprozesse alle wesentlichen Energieeinsatzbereiche zu betrachten.

Eine umfassende und allgemein hin akzeptierte Definition des Energiemanagement-Begriffs ist in der VDI 4602 gegeben: „*Energiemanagement ist die vorausschauende, organisierte und systematisierte Koordination von Beschaffung, Wandlung, Verteilung und Nutzung von Energie zur Deckung der Anforderungen unter Berücksichtigung ökologischer und ökonomischer Zielsetzungen*“. Damit zählt bereits jeder Prozess und jede Maßnahme, die zur Optimierung der energetischen Zielsetzungen des Betriebs beiträgt zum Energiemanagement. In der ISO 50001 ist ein umfassendes Energiemanagementsystem im Sinne einer Managementnorm spezifiziert, welches auf dem aus anderen Managementsystemen bekannten PDCA-Zyklus basiert (Plan, Do, Check, Act) und somit vor allem auf kontinuierliche Verbesserungsprozesse in großen Unternehmen zugeschnitten ist. Vereinfachte Varianten dieses Energiemanagementsystems finden sich in der DIN 16247 in Form des Energieaudits bzw. eines sogenannten alternativen Systems zur Überwachung der energetischen Leistung des Betriebs. Im Kern zielen alle Varianten darauf ab, den Energieverbrauch in den wesentlichen Energieeinsatzbereichen zu erfassen, zu erklären und Maßnahmen zur Verbesserung der energetischen Leistung abzuleiten (und ggf. deren Erfüllungsgrad zu überwachen).

### Technische Systeme für das betriebliche Energiemanagement

Obwohl im Branchendurchschnitt von einem Energiekosteneinsparpotenzial von über 30 % auszugehen ist, sind in vielen Betrieben – selbst einfache – Energiemanagementmaßnahmen noch nicht umgesetzt. Das hängt vor allem damit zusammen, dass die Komplexität der zu betrachtenden Energiesysteme zunimmt und für den Landwirt die originäre landwirtschaftliche Arbeit im Fokus liegt. In der Konsequenz werden entsprechende Beratungsdienstleistungen und technische Systeme für die Einführung, Umsetzung und Überwachung von Energiemanagement im landwirtschaftlichen Betrieb benötigt. Im Folgenden wird eine kurze Übersicht zu den möglichen Ansatzpunkten für ein technisches Energiemanagementsystem und Beratungsdienstleistungen dargestellt.

Hierzu wird zur Erläuterung unter dem Gesichtspunkt der Kostensenkung folgender Zusammenhang vereinfachend angenommen:

$$\text{Energiekosten (kWh)} = \text{Menge (kWh)} \cdot \text{Preis (€/kWh)} - \text{Zusatzerlöse (€)}$$

Sollen die Energiekosten gesenkt werden können also grundsätzlich drei Ansätze verfolgt werden:

Menge reduzieren	Dies heißt insbesondere die Energieeffizienz im Betrieb zu erhöhen – z. B. Austausch einer alten Stalllüftungsanlage durch eine moderne Anlage mit frequenz-gesteuerten Ventilatoren
Preis reduzieren	Hierzu gehört zum einen zunächst die Aushandlung von günstigeren Energieliefer-verträgen (insbesondere für Strom und Gas), aber auch technische Optimierungen des energetischen Systems (z. B. durch Einbau einer Photovoltaikanlage oder durch Einführung von Lastmanagementmaßnahmen zur Reduzierung der Bezugs-leistungsspitzen)
Zusatzerlöse generieren	Durch Einbindung des Energiesystems des Betriebs in die Energiemärkte lassen sich zusätzliche Einnahmen generieren (z. B. durch die Einspeisung überschüssigen PV-Stroms)

### Digitalisierung der Energiemärkte als Treiber für Energiemanagementsysteme

Bedingt durch die Liberalisierung der Energiemärkte und die europäischen Klimaschutzziele befinden sich die Energiemärkte aktuell in einer Umbruchphase. Der einzelne landwirtschaftliche Betrieb kann als Energiezelle im Verbund mit den übergeordneten Netzen verstanden werden – und damit ergeben sich für den Betrieb in allen drei oben genannten Ansätzen zur Energiekostensenkung neue Chancen. Als Beispiel seien hier die Förderprogramme zur Energieeffizienzsteigerung im Rahmen des Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (NAPE), dynamische Stromtarife im Rahmen des Smart Meter Rollouts und die Öffnung der Regelleistungsmärkte für die aggregierte Leistungserbringung durch virtuell zusammengefasste dezentrale Batteriespeichersysteme genannt.

WAGNER, U. (2011): Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland für die Jahre 2007 bis 2011

## Fünf Jahre Direktvermarktung von Biogas-Strom – den Wandel des Strommarkts im Blick

**RAINER WENG**

Biogas Alerheim OHG, Alerheim

### Stromvermarktung für Biogasanlagen – Vergangenheit versus Neuausrichtung

Die Biogasanlage der Biogas Alerheim OHG startete relativ früh mit der Stromdirektvermarktung. Ausgangspunkt war das EEG 2012, welches erstmals das Marktprämienmodell enthielt. Dieser erste marktorientierte Ansatz fand frühzeitig in der biogasstarken Region Nordschwaben guten Anklang bei vielen Betreibern, obendrauf konnten die Anlagenbetreiber finanzielle Mehrerlöse erzielen.



Abb. 1: Biogasanlage in Alerheim (Rainer Weng)

### Die gemeinsame Vermarktung

Die Regionalgruppe Bayrisch-Schwaben-Nord des Fachverbands organisierte gleich nach Inkrafttreten des EEG 2012 erste Infoveranstaltungen für Betreiber; schnell war sich die Betreibergruppe einig, gemeinsam in die neue Thematik zu starten. Es gründete sich ein kleiner Ausschuss, der Angebote für den „Pool BSN“ (als Name für die Vermarktungsgruppe der Biogasanlagen aus „Bayrisch-Schwaben-Nord“) einholte und der Rahmenverträge aushandelte. Mit dem Vermarkter Next Kraftwerke aus Köln fand sich ein Handelshaus, das stark an der immer größer werdenden Betreibergruppe interessiert war. So entstand eine Win-Win-Situation. Einerseits konnte Next gleich zu Beginn auf ein Portfolio von 30 bis 40 Betreibern (mit starken Wachstumsaussichten) zugreifen, im Gegenzug erhielt dieser BSN-Pool gute Konditionen und konnte einige Vertragsinhalte betreiberfreundlicher umgestalten.

Dieses gemeinsame Vermarkten hatte sich gleich zu Beginn an bewährt. Umliegende Betreiber spürten, dass die Gruppe zukunftsorientiert agiert und vor allem dass die Betreiber tatsächlich hohe Mehrerlöse akquirieren konnten. Die Regelenergieerlöse der „frühen“ Jahre 2012 und 2013 waren sehr interessant und boten bereits durch die relativ einfach zu handhabende „negative Sekundärreserve“ hohe Ertragschancen. So ist dieser BSN-Pool durch positive Mund-zu-Mund-Werbung und durch viele Informationsveranstaltungen stetig gewachsen.

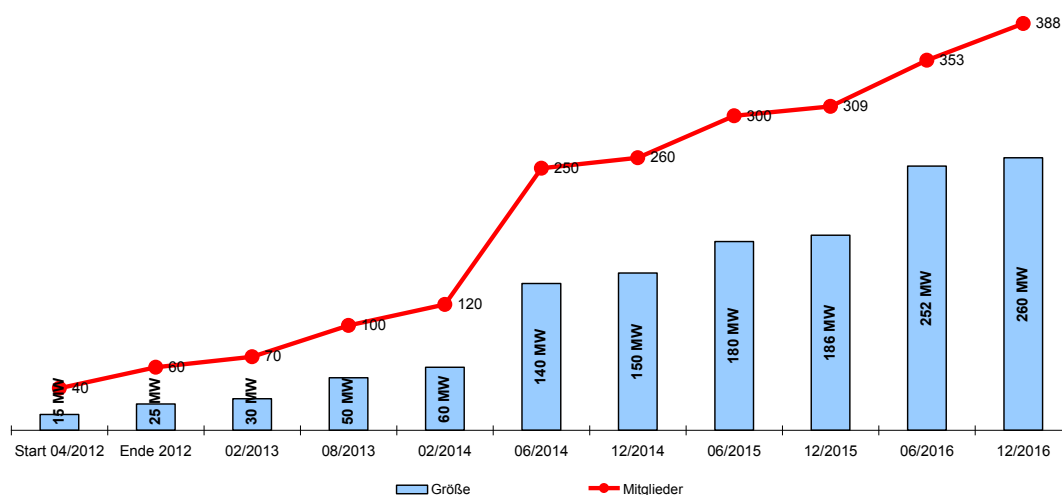


Abb. 2: Installierte Leistung und Anzahl der beteiligten Betreiber im BSN Pool (Rainer Weng)

In der Folge wurden zusätzlich zum Vermarkter Next Kraftwerke noch drei weitere Vermarkter mit aufgenommen: Energy to Market (E2M), Clean Energy Sources (CLENS) und die Stadtwerke Würzburg. Aktuell hat der Pool als loser Zusammenschluss rund 380 Betreiber mit rund 260 MW elektrischer Leistung. Nach wie vor werden die gleichen Leistungen erbracht: Informationsaustausch, Wissenstransfer und das Aushandeln von Rahmenverträgen.

## Die Vermarktung der Biogas Alerheim OHG

In den ersten Jahren 2012 und 2013 waren die Erlöschancen in der negativen Sekundärreserve relativ groß. Durchschnittliche Leistungspreise an der Strombörse betragen zu dieser Zeit rund 100.000 EUR pro MW und Jahr. Je nach Zuschlag und Aufteilungsquote der Mehrerlöse zwischen Betreiber und Vermarkter können Betreiber rund 50 % hiervon erzielen. In diesen Jahren hatte die Biogas Alerheim OHG 856 kW an installierter Leistung, die auf Vollast gefahren wurde. Von dieser Leistung wurden 80 % für die negative SRL genutzt, die Motoren sollten im Falle eines Abrufs bis auf 20 % Leistung abgeregelt werden. So konnten lukrative Mehrerlöse erwirtschaftet werden.

In 2014 flexibilisierte die Anlage kurz vor Inkrafttreten des EEG 2014. Beide Anlagenstandorte wurden mit je einem Jenbacher 312 (527kW) überbaut. Der Gasspeicher war zu diesem Zeitpunkt für gut 4 bis 5 Stunden Reserve vorhanden. Als eine der ersten Anlagen haben wir noch im Jahr 2014 den Intraday-Markt-Betrieb unserer Anlagen getestet. Erste Schwierigkeiten bereiteten

spontane BHKW-Starts. Nach Umrüstung der BHKW-Vorwärmung und Optimierung des Startverhaltens waren diese Probleme schnell ausgeräumt. Die Intraday-Fahrweise per Anlagenfernsteuerung direkt von der Next-Zentrale aus Köln funktionierte technisch. Kaufmännisch gesehen waren die Mehrerlöse jedoch überschaubar (rund 0,3ct/kWh). Als größtes Manko erwies sich jedoch der fehlende Wärmespeicher, die angrenzende Klärschlamm-trocknung hat des Öfteren den Taupunkt durchfahren, was starke Verluste der Trocknungseffizienz zur Folge hatte. Daher wurde diese Fahrweise wieder aufgegeben.

Der Gasspeicher wurde Ende 2016 erweitert und bietet nun für rund 8 Stunden Platz. Jedoch liegt aus wirtschaftlichen Gründen nach wie vor der Schwerpunkt der Fahrweise in der Grundlast bei Nutzung der negativen und positiven Regelenergie.

Eine Investition in einen Wärmespeicher (und somit eine stark fahrplanorientierte Fahrweise) rentierte sich bis 2017 nicht, da die Regelenergieerlöse (ohne notwendige Folgeinvestitionen) mindestens gleichauf lagen mit möglichen Fahrplanmehrerlösen abzüglich Investitions- und Betriebskosten der Wärmespeicherung und sonstigen Fahrplanmehrkosten.

Aktuell dreht sich der Markt. Regelenergieerlöse schwinden zusehends, Mehrerlöse im Fahrplanbereich steigen. Mit dem Blick auf wahrscheinlich steigende Strompreise in der Zukunft und zunehmenden Preisspreads wird die Nutzung der „guten“ Stunden für die Biogasverstromung mehr und mehr interessant. Somit geht die Tendenz mehr in die Fahrplanfahrweise.

Eine Investition in einen großzügig dimensionierten Wärmespeicher wird wahrscheinlicher. Planungen laufen. Die vollständige Flexibilisierung der Anlage wird konkreter.

## Die Zukunft unserer Verstromung

Nun hoffen wir, dass die Gesetzgebung erkennt, dass die Biogasverstromung auch zukünftig ein sehr wichtiger Bestandteil in unserem Strommix sein wird. Bei zunehmendem Anteil fluktuierender Erzeugung durch Wind und Sonne bedeutet der Biogasstrom den ausgleichenden Gegenpol im Stromnetz, wenn weiterhin der Anteil der Erneuerbaren steigen soll. Ein plumpes Ausgleichen der günstigen, aber schwankenden Erzeugung von Wind und Sonnenstrom über fossile Energieträger kann nicht das Ziel einer durchdachten Energiewende sein.

## Biogasstrom kann sich wandeln

Von der Grundlastfahrweise hin zum starken Flexbetrieb. Dies muss aber gewollt sein, also muss sich rechnen. Dann werden die vielen Betreiber der dezentralen Biogasanlagen sehr schnell hierauf reagieren und das ausgleichende Element im Strommarkt spielen. Aber wie gesagt: Es muss sich rechnen. Sonst wird verständlicherweise von nahezu keiner Anlage ein Flexbetrieb erfolgen und somit Biogas nach Ablauf der EEG-Vergütung vom Strommarkt verschwinden. Und als Folge die Energiewende scheitern!

**Kein Wachstum der fluktuierenden ohne Wachstum der regelbaren Erneuerbaren!**

## Regional – dezentral – CO<sub>2</sub>-neutral

### Die Energiewende, eine Chance für den ländlichen Raum

**ULRICH AHLKE**

Amt für Klimaschutz und Nachhaltigkeit, Kreis Steinfurt, Nordrhein-Westfalen

Der Kreis Steinfurt hat den Auftrag der Konferenz von Rio de Janeiro (1992) konsequent aufgegriffen und verfolgt im Sinne der Agenda21 seit mehr als 20 Jahren das Ziel der Nachhaltigkeit auf regionaler Ebene, um gemeinsam mit Kommunen, Unternehmen und Bürgerinnen und Bürgern die Energiewende vor Ort zu gestalten, die ländliche Entwicklung zu fördern und gesteckte Klimaschutzziele zu erreichen.



#### Der Kreis Steinfurt: Daten – Zahlen – Fakten

- Lage: im Norden von NRW
- Fläche: 1.796 km<sup>2</sup>, 440.000 Einwohner
- 24 Städte und Gemeinden
- 120.000 ha Landwirtschaft (67 %), 25.000 ha Wald (14 %)
- 26.000 Unternehmen, 130.000 Arbeitnehmer
- 120.000 Wohngebäude
- 250.000 PKW, 20.000 Motorräder, 16.000 LKW
- 13,3 TWh/a Endenergieverbrauch (private Haushalte, Kommunen und Unternehmen)
- 1,5 Mrd. € werden im Kreis Steinfurt pro Jahr für Energie im Bereich Wärme, Kraftstoffe und Strom ausgegeben.

#### Die Ziele

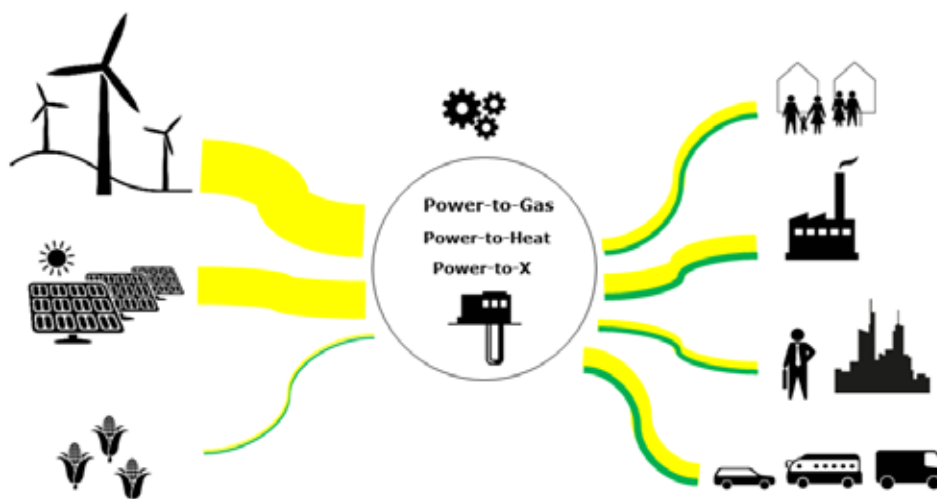
- Halbierung des Endenergiebedarfs bis 2050.
- Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen (im Vergleich zu 1990) um 95 % bis 2050.
- 2050 übersteigt die Energieerzeugung durch erneuerbare Energien den Verbrauch (bilanzielle Energieautarkie).
- 100 % Regionale Wertschöpfung im Energiesektor bis 2050.

### Der energet(h)ische Imperativ des Kreises Steinfurt: regional, dezentral, CO<sub>2</sub>-neutral

Die Energiewende ist eine globale Herausforderung, die durch Impulse auf kommunaler und regionaler Ebene entscheidend vorangetrieben werden kann. Mit der Initiative „energieland2050“ setzt der Kreis Steinfurt solch einen Impuls für die Region. Durch intensive Netzwerkarbeit, innovative Pilotprojekte, umfassende Beteiligungsangebote und breit gefächerte Serviceleistungen sorgt der Kreis Steinfurt für hohe Akzeptanz bei Kommunen, Unternehmen und Bürgern.

### Die Energiewende ist elektrisch!

Umfangreiche Berechnungen und Szenarien zeigen: Erneuerbare Energien (überwiegend Wind und PV) haben sich im Wettbewerb gegen die fossilen Energieträger durchgesetzt. Strom – auch für Wärme und Mobilität – kann auf der Grundlage erneuerbarer Energie zukünftig vollständig in der Region erzeugt werden. Die Mobilität der Zukunft kommt ohne fossile Brennstoffe aus. Power-to-heat, power-to-gas und andere Formen der Sektorenkopplung gewinnen in den nächsten Jahren erheblich an Bedeutung.



Bildquelle: Landkreis Steinfurt

### Mehr Wertschöpfung, mehr Beteiligung

Mit Unterstützung der Fachhochschule Münster wurden 2004 erstmals die Energieströme und CO<sub>2</sub>-Emissionen des Kreises bilanziert. Demnach werden im Kreis Steinfurt jedes Jahr rund 1,5 Mrd. € für Wärme, Strom und Kraftstoffe ausgegeben. 80 bis 90 Prozent davon fließen an Unternehmen außerhalb der Region.

Im Sinne der Region soll die regionale Wertschöpfung im Handlungsfeld „erneuerbare Energien und Klimaschutz“ deutlich gesteigert werden. Damit sich Unternehmen, Kommunen und Bürger beteiligen können, etablierte der Kreis ein System, das Kompetenzen bündelt, Know-how vernetzt und die Planung und Realisierung konkreter Projekte vereinfacht. Die Energiewende wird als gesamtgesellschaftliche Aufgabe wahrgenommen. Deshalb legt „energieland2050“ besonderen Wert auf Beteiligung und Vernetzung.

### Netzwerke

Dem zentralen Netzwerk der Initiative gehören 24 Städte und Gemeinden an, die sich regelmäßig zur nachhaltigen Entwicklung der Region austauschen und Klimaschutzaktivitäten anstoßen. Darüber hinaus arbeiten mittlerweile rund 50 Unternehmen im energieland2050-Unternehmernetzwerk gemeinsam an der Gestaltung der regionalen Energiewende.

### Leuchttürme und Windräder

Um die Akzeptanz bei den Bürgern zu erhöhen, sind erfolgreiche Projekte zwar gut, aber Möglichkeiten zur aktiven Beteiligung sind noch besser. Die gibt es in Steinfurt zum Beispiel in Form von Bürgerwindparks, an denen man sowohl bei der Planung als auch als Investor teilhaben kann. Mittlerweile wird bei allen neuen Windparks in der Region ein Teil des Kapitals von Bürgern eingesammelt. Das Interesse daran ist riesig.

### Begeisterung für ehrgeizige Klimaschutzziele

Im Kreis Steinfurt ist aktiver Klimaschutz weit mehr als ein regionaler Beitrag zur Energiewende. Die Initiative energieland2050 trägt entscheidend dazu bei, eine ganze Region ökologisch und ökonomisch zukunftsfest zu machen. So bedeuten etwa Betrieb und Wartung der unter Bürgerbeteiligung entstehenden Windparks auf Jahre hinaus eine immense Wertschöpfung für die Region. Aktuell gibt es im Kreis Steinfurt etwa 15 Bürgerwindparks mit rund 80 Windenergieanlagen (rund 240 MW Leistung). Damit wurden in der Region in den vergangenen 4 Jahren Investitionen von rund 400 Mio. Euro ausgelöst.

### Mehr als 100 Projekte tragen die regionale Energiewende

Seit 2000 werden im Rahmen der kreisweiten Initiative Projekte initiiert, begleitet, unterstützt und realisiert. Die Projekte zeigen beispielhaft, wie Klimaschutz in den Handlungsfeldern Wärme, Strom, Mobilität und Effizienz erfolgreich Anwendung findet.

Hier eine Auflistung einiger beispielhafter Projekte:

- Masterplan Wind mit Leitlinien für Bürgerwind und der Einrichtung einer Windservicestelle
- HYTRUST (Konzept für Wasserstoffproduktion)
- ÖKOPROFIT
- kreisweites Solarkataster
- Klimaschutzkonzepte für alle kreisangehörigen Kommunen
- Klimaschutzbürger
- Unser Landstrom – die regionale, ökologische Strommarke
- energieland2050-Beratermarke
- das virtuelle Energielandwerk
- kreisweite Thermografieaktionen
- Haus-zu-Haus-Beratungen, Quartierskonzepte nach dem KfW-432-Programm
- Fairtrade
- Klimaneutrale Kreisverwaltung
- European Energy Award
- und viele weitere Projekte

Dem Kreis Steinfurt ist es gelungen, Kommunen, Unternehmen und Bürger zu aktivieren und mit einem vielschichtigen Beteiligungskonzept für das gemeinsame Klimaschutzziel zu begeistern. Dabei wurde das globale Ziel der Energiewende und das regionale Ziel der bilanziellen Energieautarkie anhand vieler Einzelprojekte für die Menschen fassbar und erlebbar gemacht.

### Der energieland2050 e. V.

Um eine dauerhaft tragfähige Struktur zur Gestaltung der regionalen Energiewende zu schaffen, haben Unternehmen aus der Energie- und Beraterbranche, die Kreishandwerkerschaft, die Kreissparkasse und die regionalen Volksbanken, Stadtwerke, die Fachhochschule Münster, der Kreis Steinfurt sowie 24 kreisangehörige Städte und Gemeinden im Juni 2017 den energieland2050 e. V. gegründet. In diesem Verein entwickeln Vertreter der regionalen Wirtschaft gemeinsam mit Bürgermeistern, Politikern des Kreistages, zivilgesellschaftlichen Vertretern und Wissenschaftlern Strategien und stoßen Projekte an.

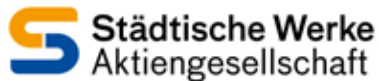
### Der Verein fungiert auch als

- Servicestelle für Fragestellungen in den Handlungsfeldern Wärme, Strom, Mobilität und zivilgesellschaftliches Engagement.
- Servicestelle für kreisangehörige Kommunen, beispielsweise durch die Unterstützung bei der Fördermittelakquise und der Abwicklung von Förderanträgen sowie der Vernetzung, Beratung und Qualifikation der Klimaschutzmanagerinnen und -manager.
- Servicestelle für Unternehmen, beispielsweise durch Netzwerkmanagement für regionale Unternehmen im Bereich Erneuerbare Energien, Energieeinsparung und Effizienz oder die Durchführung von Veranstaltungen zur Information, Vernetzung und Qualifikation der Unternehmen. Darüber hinaus unterstützt der Verein die Unternehmen bei der Suche nach passenden Fördermöglichkeiten und führt, im Rahmen von Kooperationsprojekten mit ausgewählten Mitgliedern des Vereins, Forschungsvorhaben durch.
- Servicestelle für Bürgerinnen und Bürger, beispielsweise durch telefonische Erstberatungen zur Gebäudesanierung oder die Vorbereitung und Durchführung von Thermografieaktionen, Informations- und Beratungskampagnen.



Bildquelle: Landkreis Steinfurt

## Aufbau und Implementierung eines regionalen virtuellen Kraftwerks auf Basis erneuerbarer Erzeugung – regio:VK



### MARKUS JUNGERMANN

Städtische Werke AG, Kassel

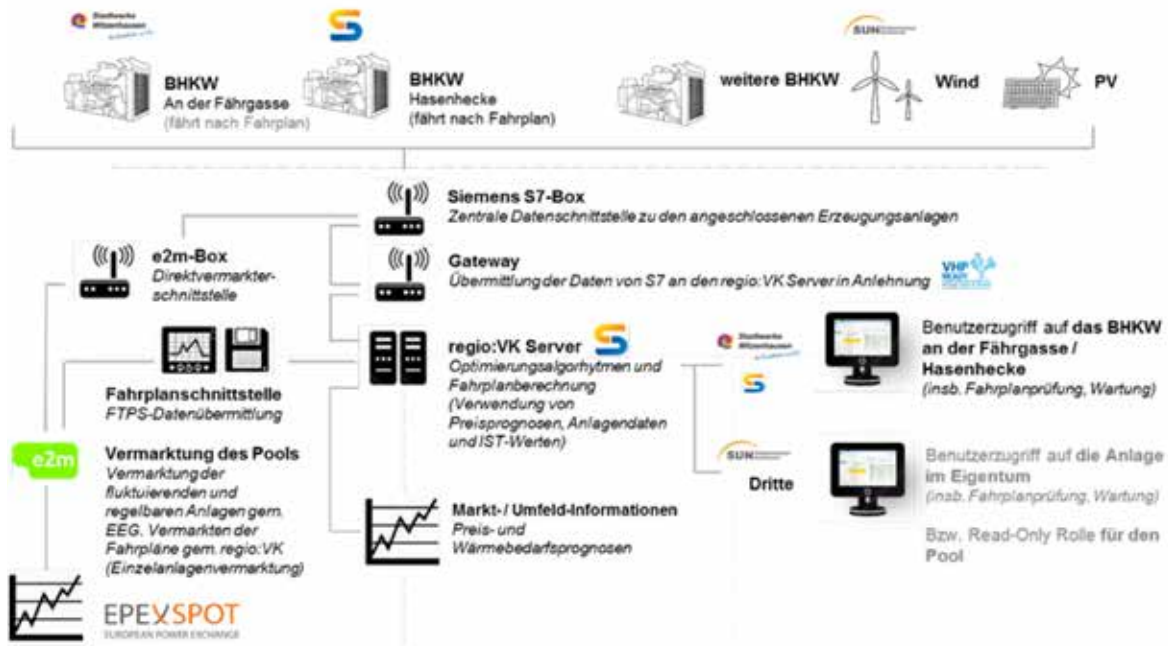
Die Umsetzung der Energiewende vollzieht sich auf verschiedenen Ebenen mit unterschiedlichen Akteuren. In Zukunft wird in einem immer größeren Ausmaß Energie regenerativ und dezentral erzeugt. Eine nachhaltige Energieversorgung und Stärkung der regionalen Wertschöpfung sind zentrale Anliegen der Projektpartner aus der nordhessischen Wirtschaft und Forschung.

Die Weiterentwicklung des Energiesystems liegt in einer fortschreitenden Nutzung von Flexibilitäten seitens dezentraler Energieerzeuger zum einen und der Steuerung der Nachfrageseite zum anderen. Hierbei spielt die Digitalisierung der Prozesse und Aufgaben eine wesentliche Rolle. Mittels der Digitalisierung wird eine intelligente Verknüpfung von Erzeugern, Speichern und Verbrauchern zur Verbesserung der Integration von erneuerbaren Energien und dezentralen flexiblen Kapazitäten möglich.

Im Rahmen des Projekts „regio:VK“ (HA-Projekt-Nr.: 449/14-39) haben CUBE Engineering, Fraunhofer IEE und die SUN Stadtwerkepartner aus Kassel, Eschwege und Wolfhagen Einsatzsysteme für virtuelle Kraftwerke und flexibel steuerbare Biogasanlagen und Biomethan-BHKW optimiert und zur Marktreife gebracht. Dabei verfolgten sie zwei Ansätze: Einerseits die Optimierung und Marktintegration individueller Anlagen unter Berücksichtigung standortspezifischer Restriktionen hinsichtlich Wärmesenke und Speicherkapazität, andererseits die Umsetzung eines virtuellen Kraftwerks (VK) in Nordhessen und die damit verbundene Integration erneuerbarer Erzeugung bei einem lokalen Versorger.

Die geschaffenen Systeme und das gewonnene Know-how stärken den Transformationsprozess auf regionaler Ebene und erhöhen gleichzeitig den Anteil ökologisch produzierten Stroms durch örtliche Versorger.

Seit Projektabschluss Anfang 2016 wird von der Städtische Werke AG aus Kassel ein Integrationskonzept entwickelt, um das virtuelle Kraftwerk auch in die operativen Unternehmensprozesse überzuleiten und um weitere Anwendungsfelder zu ergänzen. Nach der Konzeptionierung und IT-technischen Prozessintegration läuft die Software derzeit im Testbetrieb und befindet sich in der IT-Landschaft der Städtische Werke AG.



Bildquelle: Städtische Werke AG

Nachfolgende Eckpunkte skizzieren den derzeitigen Umsetzungsstand:

- IT-Umfeld

Wie dargestellt ist die Software bei der Städtische Werke AG integriert und kann von den zugriffsberechtigten Mitarbeitern installiert und genutzt werden. Zusätzlich haben seit Ende 2017 alle SUN-Partner über einen VPN-Tunnel Zugriff auf die Software erhalten. Hierfür wurde ein Rollenkonzept entwickelt, welches eine dezentrale Nutzung der Anwendungen ermöglicht. Dies ist von strategischer Relevanz, wenn mittelfristig weitere Anlagen von Dritten eingebunden und teilweise oder umfassend Dienstleistungen zur Vermarktung angeboten werden.

- Steuerbare Anlagen: BHKW „Hasenhecke“/BHKW „Fährgasse“

Nach erfolgreicher Anbindung und Speicherzubau des BHKW „Hasenhecke“ läuft aktuell der Testbetrieb zur Fahrplanübermittlung, welcher sich aus einer Optimierung unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen wie Wärmebedarf, Strompreisprognosen und Füllstand Wärmespeicher ergibt. Die dabei erkannten offenen Punkte wurden abgearbeitet und die Datenkommunikation mit allen Verantwortlichen (Anlagenbetreiber, Betriebsführer, Direktvermarkter und IT-DL) abgestimmt. Die dauerhafte „echte“ Vermarktung der Anlage nach Fahrplan wird in Kürze angestrebt.

Für das Das BHKW „An der Fährgasse“ ist in Abstimmung mit dem Direktvermarkter eine mehrstufige Vermarktungsstrategie geplant. Die Anlage soll primär ihre Flexibilität am Regelenergiemarkt anbieten. Sollte sie hierfür jedoch für eine gewisse Zeit nicht zum Zug kommen, kann in die Fahrweise nach Fahrplan gewechselt werden. Die Umsetzung dieser Vermarktungsstrategie mit allen erforderlichen IT-Schnittstellen ist ebenfalls ein kurzfristig anstehendes Arbeitsziel.

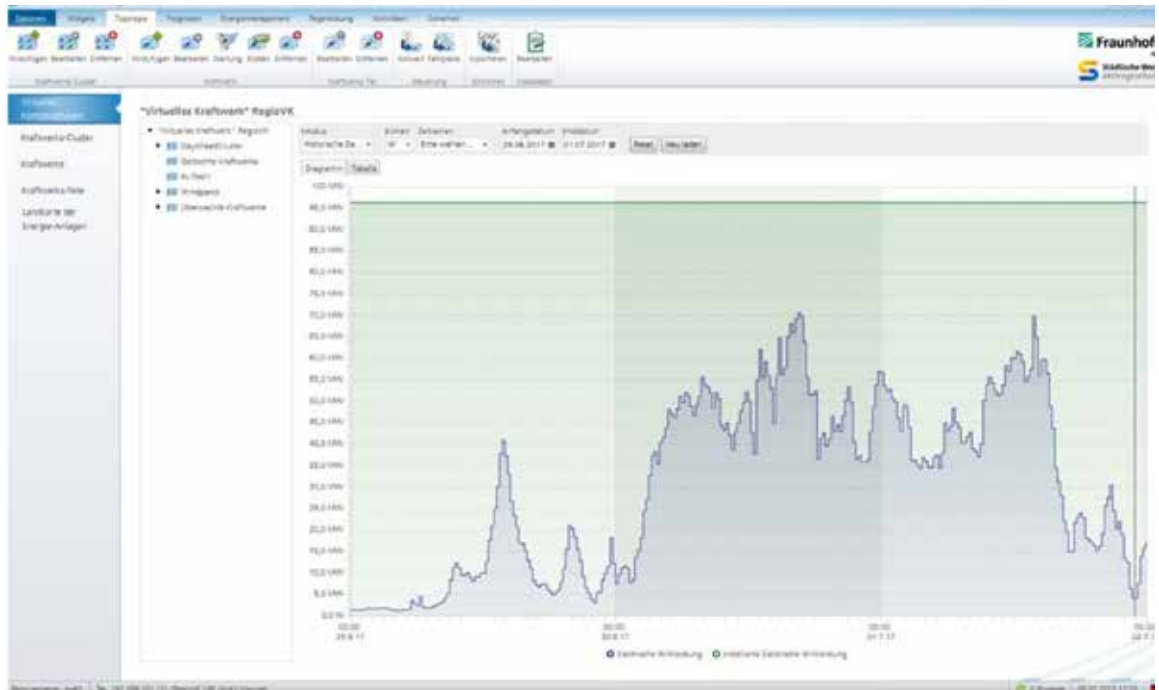
Derzeit befinden sich die Städtische Werke AG und das Fraunhofer IEE gemeinsam in der Entwicklung einer Skizze für die Weiterentwicklung des virtuellen Kraftwerkes im Rahmen eines weiteren Förderprojektes. Dabei soll im Kern das Ziel verfolgt werden, die Software um verschiedene Aspekte modular zu erweitern, unterschiedliche Elemente mit intelligenten Mess- und Steuerungssystemen in das Kraftwerk zu integrieren und so neue, im besten Fall sektorübergreifende Geschäftsmodelle bei Versorgern zu ermöglichen und die Gesamterzeugung so planbarer zu gestalten.



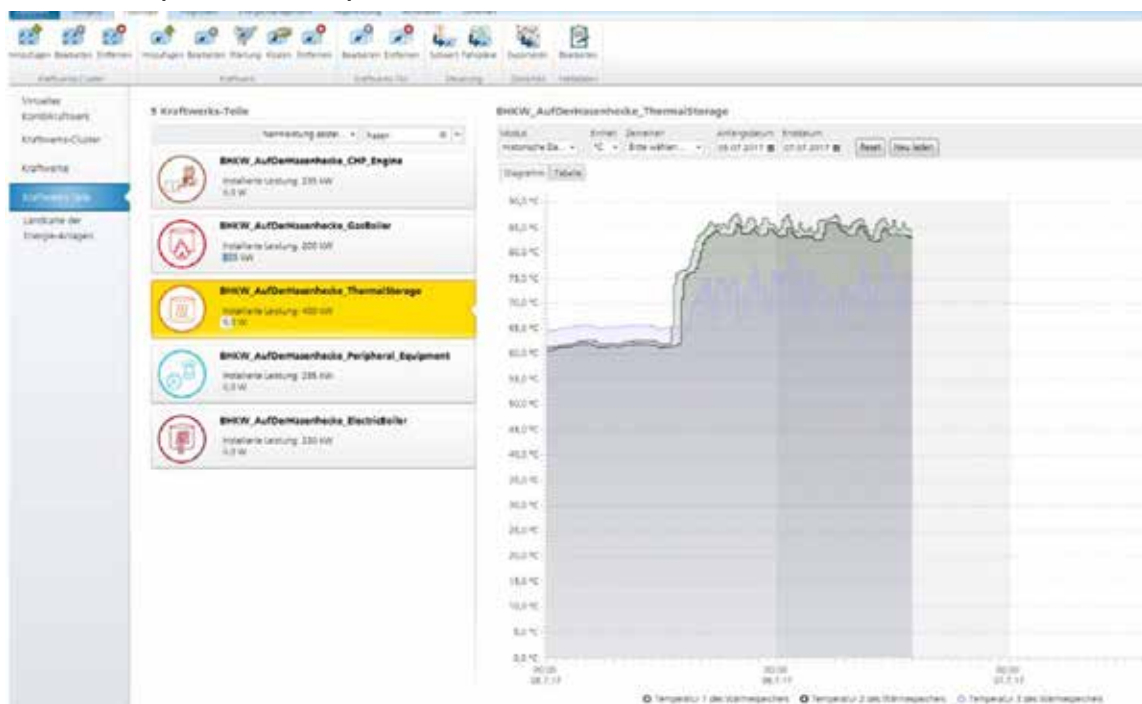
Bildquelle: Städtische Werke AG

## Einblicke in die aktuelle Softwareversion

### Aggregierte Sicht



### Kraftwerkskomponente Wärmespeicher – BHKW „Hasenhecke“



## Notfallstromversorgung in der Landwirtschaft durch Erzeugungs- und Lastmanagement am Beispiel des Projekts Netz:Kraft

DANIEL HAU M.Sc.

Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE, FuE-Bereich  
Energieverfahrenstechnik, Kassel



Bildquelle: Fraunhofer IEE

Der Netzwiederaufbau (NWA) stellt eine Extremsituation im elektrischen Versorgungssystem dar. Er ist eine Systemdienstleistung, die von den systemverantwortlichen Übertragungsnetzbetreibern (ÜNB) erbracht bzw. von diesen koordiniert wird. Die ÜNB sind in diesem Zusammenhang insbesondere auf die (Netz-)Inselbetriebsfähigkeit von Erzeugungseinheiten ( $\geq 100$  MW am Übertragungsnetz) und die Systemdienstleistung „Schwarzstartfähigkeit“ angewiesen, die heute ausschließlich von thermischen oder hydraulischen Kraftwerken erbracht wird. Die Anzahl dieser Kraftwerke und ihre verfügbare Leistung sind jedoch rückläufig.

Zusätzlich erhöhen die zunehmenden Erzeugungskapazitäten auf allen Ebenen des Verteilungsnetzes die Komplexität bei der Beurteilung des Verhaltens von Netzbereichen und des Gesamtsystems im NWA-Prozess. Je größer die installierte Leistung der Erneuerbaren und der dezentralen Erzeuger wird, desto mehr müssen diese auch im NWA-Prozess berücksichtigt werden.

Mit der Energiewende entstehen neue Herausforderungen für den NWA-Prozess, gleichzeitig bietet sie Chancen für Veränderungen an vorhandenen Strukturen:

- Der zunehmende Anteil von Erneuerbarer-Energie-Anlagen (EEA) beeinflusst den NWA. NWA-Konzepte und das Verhalten von EEA müssen dementsprechend aufeinander abgestimmt und weiterentwickelt werden.

- Unterschiedliche Szenarien sowohl hinsichtlich der Dauer von Netzausfällen, Spannungsebenen und Regionen als auch der verfügbaren und sinnvoll nutzbaren Kraftwerkskapazitäten können zu verschiedenen Wiederaufbaupfaden führen.
- Die möglichen Wiederaufbaupfade müssen in netzebenen-übergreifenden Ansätzen technisch und organisatorisch aufeinander abgestimmt werden.
- Bei längerfristigen Ausfällen können verteilte Erzeuger Ausfallzeiten in Netzregionen verkürzen, Maßnahmen der Ersatzversorgung stärken und damit die Versorgungssicherheit erhöhen.
- Verfahren und Komponenten im Verteilungsnetz, die helfen Ausfallzeiten zu verkürzen, erhöhen die Versorgungssicherheit.

Das durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderte Projekt „Netz:Kraft“ werden zwei Hauptstränge untersucht, einerseits die Weiterentwicklung der vorhandenen NWA-Konzepte der ÜNB unter Berücksichtigung des Verhaltens von EEA. Andererseits grundlegende Untersuchungen der Möglichkeiten, dezentrale Erzeugung in Versorgungsinseln der Verteilungsnetzbetreiber (VNB) zur Verkürzung von Ausfallzeiten aktiv zu nutzen. Ziel ist es, die aktive Einbindung erneuerbarer Energien beim NWA mit oder ggf. auch ohne externe Spannungsvorgabe zu ermöglichen.

Die zunehmende Verlagerung der Erzeugung in die Fläche und auf alle Netzebenen ermöglicht längerfristig den Aufbau von Versorgungsinseln unterschiedlicher Größe vom Niederspannungs- bis zum Hochspannungsnetz. Diese Versorgungsinseln können bei längerfristigen Fehlern in vorgelagerten Netzbereichen helfen Ausfallzeiten zu verkürzen. Technologien und Verfahren für (Netz-)Inselbetriebsfähigkeit, Schwarzstart, Betrieb und Synchronisation können von Versorgungsinseln im landwirtschaftlichen Bereich aufgebaut werden.

In einem Teilprojekt des Netz:Kraft-Konsortiums soll in einem Demonstrationsversuch die Notfallversorgung eines landwirtschaftlichen Betriebes durch eine Kombination aus Erzeugungs- und Lastmanagement in der Praxis gezeigt werden. Ziel des Feldtests ist es, das vorhandene Netz zu untersuchen und die für einen Versorgungsaufbau notwendigen Parameter in Steuerungsalgorithmen und Techniken, die für eine praktische Nutzung notwendig sind um zu setzen und zu testen.

Hierzu werden eine zum landwirtschaftlichen Areal gehörende Biogasanlage mit Stallungen, ein Teil der Wirtschaftsgebäude und andere schaltbare Lasten zu einem Gesamtsystem zusammengeführt.

Ein bestehendes biogasbetriebenes Blockheizkraftwerk (BHKW) mit einer Leistung von 125 kW elektrisch wurde um ein zweites Blockheizkraftwerk mit einer Leistung von 75kW elektrisch ergänzt.

Der Netzbildner ist zuständig für die Frequenz- und Spannungsregelung des Systems. Das vorhandene BHKW ist hierzu jedoch nicht ausgelegt, sodass im Rahmen des Projektes ein Netzersatz- bzw. Inselnetzfähiges Biogas-BHKW installiert wurde, welches die Rolle des Netzbildners übernimmt.

Der Netzbildner, in diesem Fall das 75-kW-Biogas-BHKW kann allerdings nur innerhalb seines Leistungsbereichs die Frequenz- und die Spannungsregelung übernehmen, sodass darüber hinausgehend für größere Lasten ein übergeordnetes Management der Lasten an der Steuerung der Biogasanlage und der weiteren Erzeuger implementiert werden musste.

Damit Verbraucher und Erzeuger innerhalb des Netzes schaltbar gemacht werden können, ist das Umrüsten des vorhandenen elektrischen Netzes erforderlich.

Kritische Verbraucher der Biogasanlage und in den Stallungen wurden mit einer unterbrechungsfreien Stromversorgung ausgestattet, um diese während des Inselnetzaufbaus unterbrechungsfrei in Betrieb halten zu können.

Die heutigen Biogasanlagen sind als solches nicht für den Netzersatzbetrieb oder gar für einen Schwarzstart ausgelegt.

Für die Ertüchtigung der Biogasanlage für den Netzersatzbetrieb bzw. Schwarzstart waren ein Lastmanagement in der Steuerung für die Rührwerke, Pumpen und Feststoffdosierer sowie eine Anpassung des Betriebskonzeptes notwendig.

Das Projekt befindet sich derzeit in der Aufbau- und Testphase.

## Mitwirkende

### Ulrich Ahlke

Amt für Klimaschutz und Nachhaltigkeit  
Steinfurt

### Stefan Froeb

Meistro Effizienz GmbH  
Ingolstadt

### Christoph Gers-Grapperhaus

Landwirtschaftskammer Niedersachsen  
Oldenburg

### Prof. Dr. Eberhard Hartung

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel  
Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik  
Kiel

### Daniel Hau

Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und  
Energiesystemtechnik IEE  
Kassel

### Rüdiger Heim

Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und  
Systemzuverlässigkeit LBF  
Darmstadt

### Prof. Dr. Thomas Herlitzius

Technische Universität Dresden  
Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik  
Dresden

### Markus Jungermann

Städtische Werke AG  
Kassel

### Dr.-Ing. Bernd Krautkremer

Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und  
Energiesystemtechnik IEE  
Kassel

### Dr. Folke Mitzlaff

SMA Solar Technology  
Niestetal

### Josef Neiber

LfL Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft  
Institut für Landtechnik und Tierhaltung  
Freising

### Prof. Dr.-Ing. Peter Pickel

John Deere GmbH & Co. KG European Technology Innovation Center  
Kaiserslautern

### Prof. Dr. Barbara Praetorius

Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin  
Campus Treskowallee  
Berlin

### Matthias Puchta

Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und  
Energiesystemtechnik IEE  
Kassel

### Stephan Schindele

Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE)  
Abteilung Elektrische Energiesysteme  
Freiburg i. Br.

### Robert Spanheimer

Bitkom e.V.  
Berlin

### Dr. Michael Stöhr

B.A.U.M. Consult München  
München

### Prof. Dr. Jörn Stumpfenhausen

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf  
Fakultät Land- und Ernährungswirtschaft  
Freising

### Rainer Weng

Biogas Alerheim OHG  
Alerheim

### Dr. Bernhard Widmann

Technologie- und Förderzentrum TFZ  
Straubing