

Schwerpunktthema Neue Technologien der Energiespeicherung

lernen & lehren

Elektrotechnik – Informationstechnik
Metalltechnik – Fahrzeugtechnik



Energie speichern – ein hochaktuelles Thema, nicht nur für die Energiewende

Energiespeicher – technische Vielfalt und aktuelle Entwicklungen

Wasserstoff als Energiespeicher – Regionale Chancen durch die Produktion von „grünem“ Wasserstoff

Niedervolt-Hybridisierung von Fahrzeugen – Welche Konsequenzen ergeben sich für die Berufsausbildung?

Speicherbasierte PV-Klimatisierung eines Klassenraums als Lerngegenstand

Elektrochemische Speicher zur Stützung der Stromversorgungsnetze

Neuerscheinung 2020:



Welche Bedeutung hat die Digitalisierung für die Aus- und Fortbildung in den elektro-, informations-, metall- und fahrzeugtechnischen Berufen? Der Einsatz digitaler Technik führt hier zu starken Veränderungen der Tätigkeiten und Arbeitsabläufe. Gleichzeitig sind die Beschäftigten dieser Berufe durch die Verwendung und Herstellung digital innovativer Produkte im besonderen Maße Mitgestaltende dieser Veränderungen.

Dieser Sammelband enthält Beiträge der 29. Fachtagung der BAG Elektrotechnik, Informationstechnik, Metalltechnik, Fahrzeugtechnik 2019 im Rahmen der Hochschultage Berufliche Bildung (HTBB) in Siegen.

Als Buch (ISBN 978-3-7639-5833-7) für 49,90 € oder als kostenfreies E-Book (PDF) unter DOI: 10.3278/6004722w erhältlich.

Inhalt

Vorwort	9	<i>Lars Windelband</i> Berufliche Handlungsfähigkeit in digitalisierten Arbeitsumgebungen verlangt Prozesskompetenz und neue didaktische Ansätze in der beruflichen Bildung ..	149
Ressourcenfokussierte Facharbeit als Gegenstand beruflicher Bildung	15	Informatik verändert die gewerblich-technische Berufsbildung	161
<i>Thomas Vollmer</i> Digitalisierung und Nachhaltigkeit – Chancen und Risiken	17	<i>Axel Grimm</i> Neues zur beruflichen Fachrichtung „Informationstechnik/Informatik“	163
<i>Stefan Nagele</i> Nachhaltigkeitsorientiertes Fachkräftehandeln im Kontext einer Green Economy und zunehmender Digitalisierung	37	<i>Simone Opel, Michael Schlichtig</i> Data Science und Big Data in der beruflichen Bildung: Konzeption und Erprobung eines Projektkurses für die Sekundarstufe II	175
Handlung oder Handlung – Wege zum „smarten“ Lernen im Unterricht gewerblich-technischer Schulen	59	<i>Tamara Riehle</i> Welche informatischen Kenntnisse oder Kompetenzen brauchen Fachkräfte in der gewerblich-technischen Domäne im Zeitalter der Digitalisierung?	195
<i>Susanne Thimet</i> Interdisziplinäre Ausbildung von Lehrkräften zu Industrie 4.0	61	<i>Maik Jepsen</i> Netzwerktechnik in nicht IT-spezifischen Bildungsgängen	207
<i>Hartmut Müller, Folene Nannen-Gethmann</i> Berufliche Qualifizierung 4.0 – Konzepte und Ziele für die gewerblichen Berufe	73		
<i>Martin D. Hartmann, Eric J. Wendkouni Sawadogo, Dirk Wohlrabe</i> Komplexität technisch-kommunikativer Vorgänge im Rahmen der Digitalisierung und Konsequenzen für Kompetenzprofile und Unterricht	85		
<i>Tanja Mansfeld</i> Gehört das deutsche System der Berufsbildung bald „zum alten Eisen“?	107		
<i>Britta Schlömer</i> Technische Produktdesignerinnen und -designer: Auswirkungen der Digitalisierung auf Arbeitsprozesse und Konsequenzen für eine zukunftsgerechte Unterrichtsentwicklung	119		
<i>Andreas Lindner, Anna-Lisa Krause</i> „Smartes Lernen“ – „Lernen 4.0“ – oder einfach nur „Programmiertes Lernen – reloaded“?	135		

Inhalt

SCHWERPUNKT: NEUE TECHNOLOGIEN DER ENERGIESPEICHERUNG

- EDITORIAL**
- 134 Energie speichern – ein hochaktuelles Thema, nicht nur für die Energiewende
Sören Schütt-Sayed/Thomas Vollmer
- IN EIGENER SACHE**
- 136 Mitherausgeber Klaus Jenewein in den (Un-)Ruhestand verabschiedet
Axel Grimm
- SCHWERPUNKTTHEMA**
- 137 Energiespeicher – technische Vielfalt und aktuelle Entwicklungen
Thomas Vollmer
- PRAXISBEITRÄGE**
- 146 Wasserstoff als Energiespeicher – Regionale Chancen durch die Produktion von „grünem“ Wasserstoff
Henning Biss/Axel Grimm/Ulrich Jochimsen
- 152 Niedervolt-Hybridisierung von Fahrzeugen – Welche Konsequenzen ergeben sich für die Berufsausbildung zur Kraftfahrzeugmechatronikerin und zum Kraftfahrzeugmechatroniker?
Tim Richter-Honsbrok
- 157 Speicherbasierte PV-Klimatisierung eines Klassenraums als Lerngegenstand
Michael Ruks
- 162 Elektrochemische Speicher zur Stützung der Stromversorgungsnetze – ein Schulprojekt
Andreas Stetza/Frank Fasold
- FORUM**
- 167 Vom Arbeitsauftrag zur Problemstellung – Die Bedeutung des Einstiegs in eine Lernsituation dargestellt anhand eines Praxisbeispiels aus der Fachdidaktik Metalltechnik – Teil 2 –
Michael Kleiner/Philip Springer
- 169 Vom Spielzeug zur Industrieanwendung – Maker-Boards im Lichte gewerblich-technischer Facharbeit
Sven Jäger/Axel Grimm
- REZENSION**
- 175 Felix Rauner: Ausbildungsberufe. Berufliche Identität und Arbeitsethik. Eine Herausforderung für die Berufsentwicklung und die Berufsausbildung
Volkmar Herkner
- STÄNDIGE RUBRIKEN**
- I–IV BAG aktuell 4/2020
176 Verzeichnis der Autoren
U3 Impressum

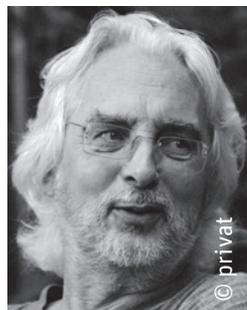


Editorial

Energie speichern – ein hochaktuelles Thema, nicht nur für die Energiewende



SÖREN SCHÜTT-SAYED



THOMAS VOLLMER

Für eine nachhaltigere Energieproduktion ist der Einsatz von technologischen Schlüsselinnovationen zwingend erforderlich. Gefordert wird eine atomfreie und karbonarme Energieversorgung. Denn spätestens seit der Nuklearkatastrophe im japanischen Fukushima hat die Bundesregierung beschlossen, die deutschen Atomkraftwerke abzuschalten. Gleichzeitig ist die Dekarbonisierung längst überfällig. Seit Aushandlung der Klimarahmenkonventionen der Vereinten Nationen im Jahr 1992 ist damit eine der größten globalen Herausforderung verbunden, nämlich die Entkoppelung von fossilen Energieträgern. Weitere politisch geäußerte Klimaschutzzusagen, die das Ziel der Emissionsneutralität anstreben, wurden auf dem Pariser Klimaabkommen mit der 2-Grad-Celsius-Grenze beschlossen. Deutschland hat sich daran anschließend vorgenommen, bis 2030 den CO₂-Ausstoß um mindestens 55 % ggü. 1990 zu reduzieren (vgl. BMU 2019a, S. 14). Bis 2050 soll die Bundesrepublik sogar treibhausgasneutral sein, so wie es der Klimaschutzplan 2050 vorsieht (vgl. BMU 2019b, S. 7). Dieser Umstieg in eine umweltschonende Zukunft kann allerdings nur gelingen, wenn sorgfältig geprüft wird, ob die „Wende“ technisch umsetzbar sowie wirtschaftlich und gesellschaftlich sinnvoll zu bewerkstelligen ist.

Die beschlossene Abkehr von der Nutzung fossiler Energieträger zum Schutze des Klimas hat weitreichende Konsequenzen. Eine solche Dekarbonisierung erachtet der „Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen“ (WBGU 2011) als „Große Transformation“, die hinsichtlich der gesellschaftlichen Eingriffstiefe vergleichbar ist „mit den beiden fundamentalen Transformationen der Weltgeschichte: der Neolithischen Revolution, also der Erfindung und Verbreitung von Ackerbau und Viehzucht, sowie der

Industriellen Revolution, die den Übergang von der Agrar- zur Industriegesellschaft beschreibt“ (ebd., S. 91). Dementsprechend wird sich auch das Energieversorgungssystem der Bundesrepublik grundlegend verändern, wenn die Dekarbonisierung zum Schutze des Klimas gelingen soll.

Während das bisherige Versorgungssystem im Wesentlichen durch große Kraftwerksblöcke mit bis zu 1.400 MW elektrischer Leistung geprägt war, erfordert die Nutzung erneuerbarer Energiequellen eine Vielzahl dezentraler Verteileranlagen, die aus Sonne, Wind, Gezeiten, Geothermie, Biomasse und anderen regenerativer Quellen Strom, Wärme und Treibstoffe erzeugen. Im Unterschied zu den herkömmlichen Großkraftwerken, die bspw. als Atom- bzw. Atomkraftwerk für die Grundlast ständig in Betrieb sind oder als Gasturbinenkraftwerk für die Spitzenlast situativ zugeschaltet werden können, müssen in dem regenerativen Versorgungssystem eine Vielzahl von Anlagen als sogenanntes regeneratives Kombikraftwerk geregelt werden, die aufgrund der Abhängigkeit von bspw. Wind- und Sonnenenergie nicht unbedingt dann Energie liefern können, wenn der Bedarf groß ist. Um die Angebots- und Nachfrageseite mit einander zu synchronisieren, werden in Kombination mit einer datentechnischen Koppelung der verschiedenen Energieerzeugungsanlagen unterschiedliche Speicher für Strom, Wärme und Gas erforderlich sein. Energiespeicher werden ein wesentlicher Bestandteil für eine klimafreundliche und sichere Energieversorgung sein.

Für die gewerblich-technische Aus- und Weiterbildung ergibt sich damit ein technologisches Zukunftsfeld. Eine verantwortungsvolle Gestaltung des Energieversorgungssystems ist nur durch Fachpromotoren zu gewährleisten (vgl. KRISTOF 2020, S. 16). Um die Energieversorgung der Zukunft zu realisieren, sind Energieexpertinnen/-experten nötig, die fachkompetent Entscheidungen bzgl. des Einsatzes von Energiespeichern in Zusammenspiel mit moderner Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) treffen können. Aus einer technisch-praktischen Perspektive besteht ihre Hauptaufgabe darin, erzeugte Energie zeitlich verzögert bzw. räumlich entgrenzt verfügbar zu machen. Physikalisch-energetisch kommen fünf Speicherarten in Betracht (vgl. ZAPF 2017, S. 97):

- Mechanisch (z. B. Pumpspeicher, Durchluftspeicher, Schwungmassespeicher),

- Elektrisch (z. B. Kondensatoren, Supercaps, Superleitende Spulen),
- Elektrochemisch (z. B. Blei-, Lithium- und Nickelbatterien, Redox-Flow-Batterien),
- Chemisch (z. B. Power-to-Gas, Power to Liquids),
- Thermisch (z. B. Warmwasserspeicher, Dampfspeicher, Hochtemperaturspeicher).

Zur Beurteilung des Nutzens eines Speichermediums sind wesentliche Kenngrößen entscheidend. Die wohl wichtigsten Größen sind „Speicherkapazität, Energiedichte, Ein- und Ausspeicherleistung, Wirkungsgrade und Ausspeicherdauer“ (vgl. STERNER/STADLER 2017, S. 48). Mittels dieser technischen Kennwerte lässt sich zweckbezogen ein passender Speicher auswählen (vgl. ZAPF 2017, S. 96). In diesem Heft werden ein thematischer Überblick über das Thema Energiespeicher gegeben und Unterrichtskonzepte vorgestellt, die sich exemplarisch mit unterschiedlichen Speicherarten und ihrer Beurteilung beschäftigen.

Neben einer technischen Machbarkeit spielen in Bildungsprozessen aber auch übergeordnete Sichtweisen auf den Einsatz von Technologien eine entscheidende Rolle. Zumindest ist dies immanant im Bildungsauftrag der Berufsschule verankert. Die Berufsbildung zielt darauf ab, bereits in der Ausbildung zur Mitgestaltung der Arbeitswelt und Gesellschaft in ökologischer, sozialer und ökonomischer Verantwortung zu befähigen (vgl. KMK 2018, S. 14). Qualifizierte Facharbeiter kennen sich demnach nicht nur mit der technischen Umsetzung der Energiespeicherung aus, sondern beurteilen ebenso:

1. „Welche Auswirkungen hat die Entscheidung für eine berufliche Problemlösung für mich und andere Menschen – lokal, regional und global?“
2. Welche Auswirkungen hat die Entscheidung für eine konkrete berufliche Problemlösung in der Zukunft?“ (VOLLMER/KUHLMEIER 2014, S. 206)

Vor diesem Hintergrund sind neue Technologien der Energiespeicherung stets zu denken. Berufsbildung versteht sich damit nicht nur als Begleiter eines Veränderungsprozesses, sondern sie wirkt selbst proaktiv an der Gestaltung einer treibhausneutralen Energieversorgung mit. Es reicht nicht aus, sich mit den neusten Speichertechnologien auszukennen, sondern sie müssen gleichwohl als gesellschaftliche und wirtschaftliche Erneuerung mitgedacht werden.

Zunächst gibt THOMAS VOLLMER in seinem Beitrag einen Überblick über Speichertechnologien als wichtige Systemkomponenten für die Umsetzung der beschlossenen Energiewende. Auf systematische Weise beschäftigt er sich mit in der Anwendungspraxis mittlerweile verbreiteter Speichertechnologien, aber auch mit neu-

en zukunftsweisenden Entwicklungen, an denen aktuell gearbeitet wird und deren Praxistauglichkeit sich noch zu erweisen hat.

Im Beitrag von HENNING BISS, AXEL GRIMM und ULRICH JOCHIMSEN steht die chemische Speicherung von elektrischer Energie, die durch Windkraftanlagen verfügbar gemacht wird, im Vordergrund. An einem Umsetzungsbeispiel aus Schleswig-Holstein werden technische und wirtschaftliche Vor- und Nachteile der Power-to-Gas-Technologie diskutiert. Mit Bezug zur beruflichen Bildung werden wesentliche Implikationen für die gewerblich-technische Berufsausbildung zur Diskussion gestellt.

Der Beitrag von TIM RICHTER-HONSBROK befasst sich mit den Folgen, die sich durch den Trend zur sogenannten Niedervolt-Hybridisierung von Fahrzeugen (48-V-Hybridantrieben) für die berufliche Bildung ergeben. Hierbei wird auf die Unterscheidung von Bordnetzen und Hybridisierungsgraden sowie auf die in den Fahrzeugen verbauten Energiespeicher eingegangen. Abschließend werden mögliche Konsequenzen für die Facharbeit in den Kfz-Werkstätten und für die Ausbildung von Kraftfahrzeugmechatronikerinnen und -mechatronikern aufgezeigt.

MICHAEL RUKS beschäftigt sich in seinem Beitrag mit der modellhaften Umsetzung eines PV-Klima-Systems mit Batteriespeicher. Die Beitrag erfüllt dabei zweierlei: Erstens stellt er eine praktische Lösung zur akzeptablen und auf erneuerbaren Technologien beruhenden Kühlung eines Klassenraums bei schwülwarmem Wetter und gleichzeitig bedecktem Himmel dar. Andererseits beschreibt er, wie die Anlage als Unterrichtsgegenstand eingesetzt wird.

ANDREAS STETZA und FRANK FASOLD stellen in ihrem Beitrag ihre Erkenntnisse zur Erweiterung einer PV-Anlage mit integriertem Speicher als Lerngegenstand für Elektroniker/-innen und Techniker/-innen dar. Auch Sie setzen ihren Schwerpunkt auf elektrochemische Speicher und begründen die wesentlichen Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten, die Lernende dabei zu erwerben haben.

Literatur

- BMU (2019a): Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050. Berlin. Online verfügbar unter https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzprogramm_2030_umsetzung_klimaschutzplan.pdf (Zugriff am 28.04.2020).
- BMU (2019b): Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. Online verfügbar unter https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf (Zugriff am 29.04.2020).

KMK (2018): Handreichung für die Erarbeitung von Rahmenlehrplänen der Kultusministerkonferenz für den berufsbezogenen Unterricht in der Berufsschule und ihre Abstimmung mit Ausbildungsordnungen des Bundes für anerkannte Ausbildungsberufe. Online verfügbar unter https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2011/2011_09_23-GEP-Handreichung.pdf (Zugriff am 28.04.2020).

KRISTOF, K. (2020): Wie Transformation gelingt. Erfolgsfaktoren für den gesellschaftlichen Wandel. München: Oekom.

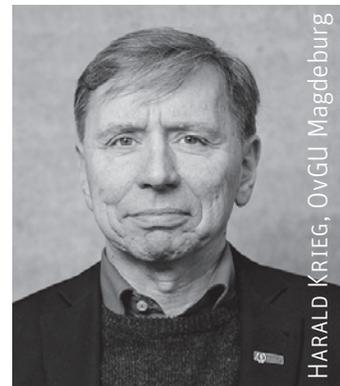
STERNER, M./STADLER, I. (2017): Energiespeicher - Bedarf, Technologien, Integration. Berlin, Heidelberg: Springer.

WBGU (2011): Hauptgutachten: Welt im Wandel: Gesellschaftsvertrag für eine große Transformation. Online verfügbar unter http://www.wbgu.de/fileadmin/templates/dateien/veroeffentlichungen/hauptgutachten/jg2011/wbgu_jg2011.pdf (28.04.2020).

ZAPF, M. (2017): Stromspeicher und Power-to-Gas im deutschen Energiesystem. Wiesbaden: Springer Vieweg.

Mitherausgeber Klaus Jenewein in den (Un-)Ruhestand verabschiedet

Der seit nunmehr zwanzig Jahren im Herausgeberkreis von „lernen & lehren“ agierende KLAUS JENEWEIN hat zum 30. September 2020 seine aktive Dienstzeit als Hochschullehrer an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg beendet.



Seit dem 1. Oktober ist er damit in den (Un-)Ruhestand getreten. Prof. Dr. KLAUS JENEWEIN war über viele Jahrzehnte an den Universitäten in Bremen, Duisburg, Karlsruhe und zuletzt seit 2002 in Magdeburg in der universitären Phase der Lehrkräftebildung in gewerblich-technischen Bereichen tätig und ist speziell für die berufliche Didaktik Elektrotechnik bzw. die berufliche Fachrichtung Elektrotechnik als Experte ausgewiesen.

Den Leserinnen und Lesern von „lernen & lehren“ dürfte er seit fast 30 Jahren als Autor bekannt sein. Seit dem Heft 57 aus dem Jahre 2000, als „l&l“ den Sprung vom DIN-A5-Format in die heutige Größe DIN A 4 schaffte, und damit seit 80 Ausgaben wird er als einer der Herausgeber geführt. Allein in jener Zeit war er bereits für 17 Ausgaben als Heftbetreuer allein- oder mitverantwortlich.

Sein Magdeburger Institut veranstaltete trotz der Corona-Situation ein kleines Abschiedskollo-

quium, nachdem eine größere Veranstaltung mit bundesweit anreisenden Gästen, die er sicherlich verdient gehabt hätte, Pandemie-bedingt abgesagt werden musste.

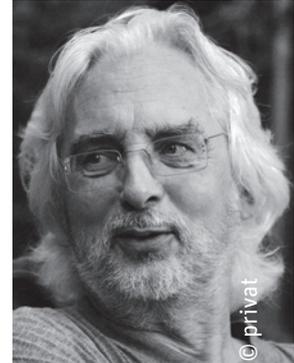
In dem Rahmen wurde auch eine Festschrift zu seinen Ehren erstellt. Sie trägt den Titel „Zwischen Ingenieurpädagogik, Lehrkräftebildung und betrieblicher Praxis“ (Bielefeld; ISBN 978-3-7639-6213-6) und wurde von FRANK BÜNNING, MICHAEL DICK, ROBERT W. JAHN und ASTRID SELT-RECHT herausgegeben.

Mitherausgeber und Schriftleitung sowie der BAG-Vorstand wünschen KLAUS JENEWEIN einen guten Wechsel aus dem aktiven Universitätsdienst in den (Un-)Ruhestand. Ein solcher Schritt macht sich normalerweise nicht durch weniger Aufgaben und mehr Freizeit bemerkbar, sondern er bringt ganz im Gegenteil freie Ressourcen für andere Aufgaben. Daher: weiterhin so viel Schaffensfreude und Engagement insbesondere für „lernen & lehren“!

Axel Grimm

Energiespeicher

– technische Vielfalt und aktuelle Entwicklungen



THOMAS VOLLMER

Das Energiekonzept der Bundesregierung sieht vor, dass Deutschland bis zum Jahr 2050 „weitgehend treibhausgasneutral“ wird. Als Mittelfristziel soll bis 2030 eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um mindestens 55 % im Vergleich zu 1990 erreicht werden. Dies erfordert die Substitution fossiler Energieträger durch erneuerbare. Aber je mehr der Anteil der erneuerbaren Energien wächst, umso mehr nehmen auch die Schwankungen im Netz zu, weil Sonne und Wind nicht immer dann für die Energiegewinnung zur Verfügung stehen, wenn sie benötigt werden. Diese fluktuierende Verfügbarkeit der regenerativen Energien macht es erforderlich, diese zu „lagern“ und bedarfsgerecht bereitzustellen. Der Beitrag gibt einen Überblick über verschiedene Konzepte der Energiespeicherung.

EINLEITUNG

Es wird davon ausgegangen, dass trotz insgesamt deutlicher Energieeinsparungen der Anteil der Stromnutzung weiter zunehmen wird, weil elektrischer Strom als eine universelle Energieform auf vielfältige Weise erzeugt und direkt für den Betrieb elektrischer Geräte, zur Erzeugung von Raumwärme und zur Klimatisierung sowie für den Antrieb von Produktionsanlagen und Fahrzeugen genutzt werden kann. Die Verknüpfung der bisher getrennten Bereiche der Energieerzeugung für Wärme, Elektrizität und Mobilität wird ein zentrales Element der Energiewende sein. Und Energiespeicher werden für eine solche Sektorenkopplung eine tragende Rolle spielen. Eine Übersicht der verschiedenen Arten der Energiespeicher wird durch die Abbildung 1 dargestellt.

Energiespeicher müssen unterschiedlichen Anforderungen für die Stromversorgung, Wärmebereitstellung und Mobilität gerecht werden. Das Spektrum reicht von einer kurzen Speicherdauer für die sekundenschnelle Bereitstellung hoher Leistungen bspw. für die Spannungs- oder Frequenzstabilisierung sowie die Flicker-

kompensation¹ über mittlere Zeiträume für die sogenannte Schwarzstartfähigkeit² von Anlagen und eine unterbrechungsfreie Stromversorgung bis hin zu einer langfristigen Speicherfähigkeit (Tage bis Monate) für Inselnetze, die Glättung von Lastspitzen und den Ausgleich von Angebots-Nachfrage-Differenzen. Zudem hat die Speicherung für Antriebsenergie künftiger Fahrzeuge unterschiedlicher Größe auf dem Land, zu Wasser und in der Luft einen zentralen Stellenwert für den Klimaschutz. Entsprechend dieser Bandbreite sind Speicher mit spezifischen Eigenschaften erforderlich (vgl. KUNZ 2019).

Nachfolgend wird ein Überblick über verschiedene Konzepte der Energiespeicherung gegeben, die für die elektro-, metall- und fahrzeugtechnische Berufsarbeit relevant sind. Dabei werden auch neuere Entwicklungen vorgestellt, insbesondere solche, an denen in Deutschland gearbeitet wird, weil solche Innovationen über die reine Funktionalität hinaus auch eine große Bedeutung für einzelne Unternehmen, die Exportwirtschaft und letztlich für die Volkswirtschaft insgesamt haben.

BATTERIE-SPEICHER

Akku- bzw. Batteriespeicher sind elektro-chemische Speicher und haben sich als zuverlässige Bauteile bewährt. Merkmale unterschiedlicher Batterietypen können der Tabelle 1 entnommen werden.

Blei-Säure-Akkus haben im Vergleich zu anderen Akkumulatortypen eine verhältnismäßig große Masse sowie eine relativ geringe Energiedichte. Aus diesem Grund sind sie als Speicher für die Antriebsenergie von Elektrofahrzeugen nur eingeschränkt geeignet. Jedoch werden sie nach wie vor für Gabelstapler eingesetzt, wo sie ein Gegenwicht für die Transportlasten bilden. Sie finden außerdem als Speicher für Photovoltaik (PV)-Anlagen Verwendung. In Elektrofahrzeugen und Hybrid-Fahrzeugen werden heute meist Lithium-Ionen-Akkus verwendet, vereinzelt auch Nickel-Metallhydrid-Akkus.

Lithium-Ionen-Akkus (LI) sind aktuell die meist verbauten Akkus und haben einen regelrechten Boom portabler elektrischer Geräte bewirkt. Sie sind die Energiespeicher der E-Mobilität und werden auch als stationäre PV-Speicher eingesetzt. Gegenüber den NiMH-Akkus haben sie u. a. eine höhere Zellspannung, eine geringere Selbstentladung und kaum einen Memory-Effekt. Es sind Schnellladungen möglich und sie vertragen hohe Entladeströme, allerdings keine Tiefentladung, keine Überladung und sie reagieren auf zu niedrige und zu hohe Temperaturen. Außerdem besteht Brandgefahr bei beschädigten Speichern, die dann mit

enormen Temperaturen abbrennen und mit konventionellen Mitteln kaum zu löschen sind (vgl. Batterieforum 2020: Lithium-Ionen-Batterien). Daher ist zum Schutz der Akkus eine speziell auf den Akku-Typ abgestimmte Elektronik bspw. für die Ladungs- und Entladungs-Steuerung, die Zellenspannungsüberwachung, die Temperaturkontrolle und den Tiefentladeschutz erforderlich.

Für die Herstellung von LI-Akkus werden u. a. Lithium und Kobalt benötigt, die in Südamerika und Afrika teils unter menschenunwürdigen Umständen und großen Umweltzerstörungen gewonnen werden. Es wird geschätzt, dass für die E-Mobilität der Lithiumbedarf bis 2050 auf jährlich über eine Mio. Tonnen anwachsen wird, der von Kobalt auf jährlich 0,8 Mio. Tonnen. Die bekannten Lithium-Ressourcen liegen bei 62 Mio. Tonnen, die Kobaldvorkommen dürften insgesamt bei 145 Mio. Tonnen liegen. Um den Rohstoffverbrauch zu begrenzen, ist der Aufbau eines funktionierenden Recyclingsystems wichtig, zumal diese Rohstoffe auch noch für andere Produkte benötigt werden.

Vor diesem Hintergrund wurde ein Projekt zur Gewinnung von Lithium im sächsischen Zinnwald im Osterzgebirge gestartet und ein neues Verfahren zur nachhaltigen und kostengünstigen Lithiumgewinnung aus heimischen Vorkommen und aus dem Recycling alter Batterien entwickelt (vgl. BMBF 2018). Das Erz soll dort untertägig und umweltschonend mit relativ wenig Wasserverbrauch abgebaut werden. Mit der Lithiumgewin-

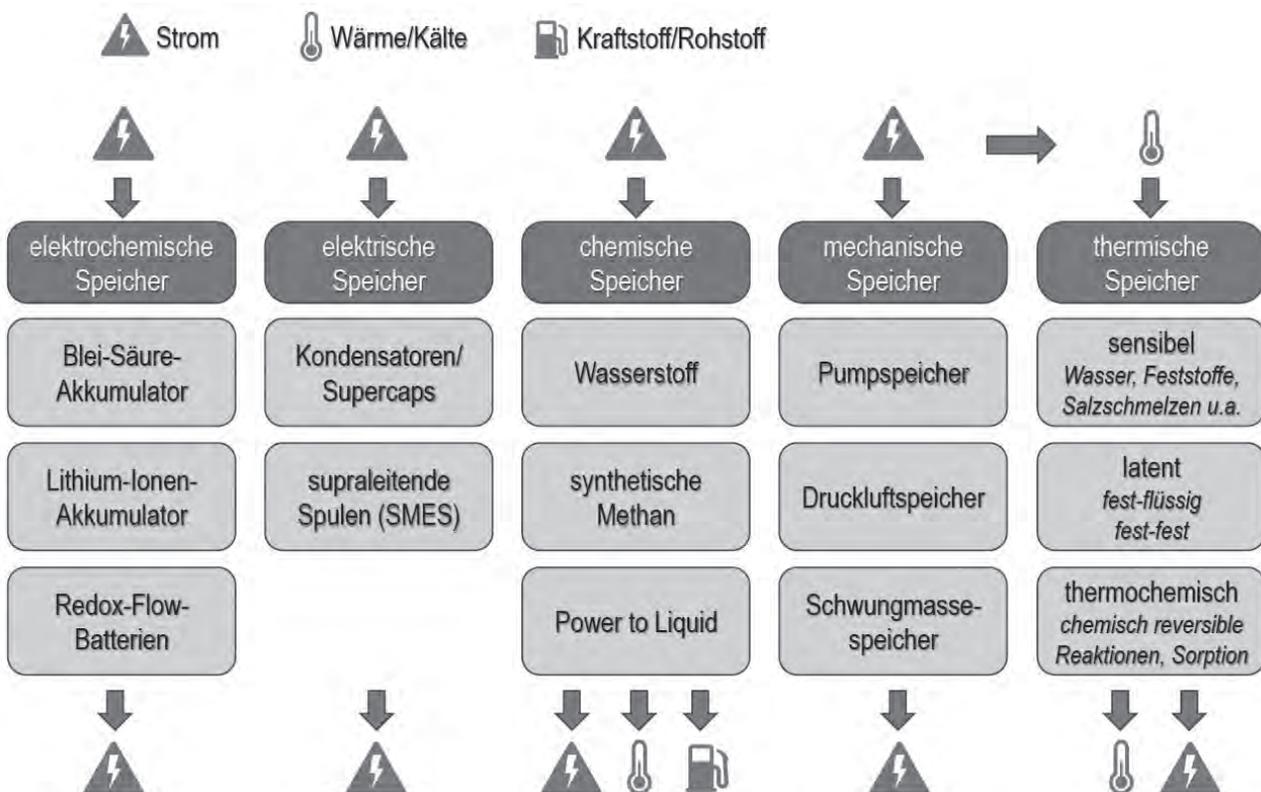


Abb. 1: Übersicht über verschiedene Arten der Energiespeicher (eigene Darstellung n. AEE, zit. n. KUNZ 2019, S. 6)

nung und Batterieproduktion in Europa soll zudem die Abhängigkeit von anderen Staaten verringert werden. Bis zu 250 Arbeitsplätze sollen im Gesamtprojekt entstehen.

Da ein riesiger Absatzmarkt für Batteriespeicher für E-Fahrzeuge erwartet, die Umweltbelastungen durch die Lithiumgewinnung kritisiert sowie die bisher damit realisierbaren Reichweiten noch als zu gering angesehen werden, wird nach Alternativen gesucht. So wurde von der Entwicklung einer deutschen Superbatterie ohne Brandgefahr mit vierfacher Energiedichte im Vergleich zu LI-Speichern berichtet. Sie soll mit anorganischen Elektrolyten eine Reichweite von bis zu 1.000 km mit einer Ladung ermöglichen, 100 % Entladetiefe zulassen und Lade- und Entladezeiten von nur 30 Minuten ermöglichen (vgl. INGENIEUR.de 2019). Diese Speicher werden bereits als größere Einheiten für die Stabilisierung von Stromnetzen eingesetzt.

Eine weitere erfolgversprechende Entwicklung konzentriert sich auf Magnesium-Luft-Batterien. Vorteilhaft ist die hohe Kapazität, die eine vierfache Reichweite gegenüber LI-Akkus bei gleichem Gewicht verspricht. Weitere positive Eigenschaften sind, dass sie weder brennen noch explodieren können und dass der Rohstoff in ausreichenden Mengen verfügbar ist. Magnesium

kann als eines der zehn häufigsten Elemente der Erdkruste bspw. aus dem Meerwasser gewonnen werden. Ein Problem ist derzeit noch die geringe Langlebigkeit. Wenn es gelingt, die Anzahl der Ladezyklen weiter zu erhöhen, werden Magnesium-Luft-Batterien als große Chance für den Aufbau einer europäischen Batterieindustrie erachtet.

Es wird noch an anderen Alternativen zu LI-Akkus geforscht. Beispielsweise wird aktuell mit der Entwicklung von Calcium-Batterien versucht, ein weiteres Speicherkonzept reif für die Praxisanwendung zu machen. Inwieweit die publizierten Konzepte die Serienreife erreichen und sich dann in der Praxis bewähren, bleibt abzuwarten. Gerade für die Unternehmen der deutschen Automobilproduktion, die durch den Wandel hin zur E-Mobilität mit großen Beschäftigungsverlusten und Umstrukturierungen konfrontiert sind, sind Batterieentwicklung und -fertigung ein wichtiger Bereich der Zukunftssicherung und der Wertschöpfung. Mit dem Ziel, die Expertise auf den jeweiligen Teilgebieten der Batterieentwicklung in ganz Europa zu bündeln und die Zusammenarbeit zu stärken, hat sich die europäische Forschungsinitiative „Battery 2030+“ gegründet. Damit ist die Absicht verbunden, bei der Batterieentwicklung im Wettbewerb mit der amerikanischen und asiati-

Typ	Spannung	Minuspol / Anode	Pluspol / Kathode	Elektrolyt	Eigenschaften	Anwendungsbereiche
Primär-Batterien						
Zink-Kohle	1,5 V	Zink	Mangandioxid	Salmiak- oder Zinkchlorid	Spannung sinkt bei Entladung deutlich ab, preiswert	<ul style="list-style-type: none"> • Wecker, TV-Fernbedienung • Küchenuhren, Taschenrechner
Alkali-Mangan	1,5 V	Zink	Mangandioxid	Kalilauge	auslaufsicher, hohe Leistung, langlebig	<ul style="list-style-type: none"> • Unterhaltungselektronik, Taschenlampen • Rauchmelder, Blutdruckmessgeräte • Waagen, elektrische Spielzeuge u.v.m.
Silberoxid	1,55 V	Zink	Silberoxid	Kalilauge	Spannung bleibt lange konstant, sehr langlebig	<ul style="list-style-type: none"> • Armbanduhren • medizinische Geräte (bspw. Insulin-Einspritzgeräte)
Zink-Luft	1,6 V	Zink	Zink	Kalilauge	hohe Energiedichte, preiswert	<ul style="list-style-type: none"> • Hörgeräte, Personenrufgeräte • Sicherheitsleuchten im Straßenbau • Weidezäune
Lithium	3 V	Lithium	Mangandioxid	Lithiumverbindung in organischen Lösungsmitteln	sehr lange lagerfähig, Spannung bleibt sehr lange konstant	<ul style="list-style-type: none"> • Langzeitanwendungen in der Elektronik, Telekommunikation und im Messwesen • digitale Fotokameras, Smartcards, Sicherheits-, Alarm- oder Ortungssysteme
Sekundär-Batterien (Akkus)						
Blei	2 V	Blei	Bleioxid	Schwefelsäure	lange Lebensdauer, preiswert	<ul style="list-style-type: none"> • Fahrzeugen-Starterbatterie (Blei-Nass-Akkus) • Antriebsenergie-Akku (Industriefahrzeuge, Stapler) • Notstromanlagen, Alarmanlagen • medizinische Geräte (Blei-Gel-Akkus) • Akku in Solaranlagen (Gebäuden, Wohnmobilen)
Nickel-Metallhydrid	1,2 V	Wasserspeichernde Metalllegierung	Nickelhydroxid	Kalilauge	hohe Belastbarkeit, wiederaufladbar	<ul style="list-style-type: none"> • Spielzeuge, Audio-, Foto- und Videogeräte • Rasierapparate, elektrische Zahnbürsten • schnurlose Telefone, schnurlose Werkzeuge • Antriebsbatterien für Elektrofahrräder u. -autos
Nickel-Cadmium	1,2 V	Cadmium	Nickelhydroxid	Kalilauge	wiederaufladbar, preiswert	<ul style="list-style-type: none"> • Spielzeuge, Audio-, Foto- Videogeräte • Rasierapparate, elektrische Zahnbürsten • schnurlose Telefone, schnurlose Werkzeuge
Lithium-Ion	3,6 V	Lithium-Kobalt-Verbindungen	Graphit	Lithiumverbindung in organischen Lösungsmitteln	hohe Belastbarkeit, hohe Energiedichte, wiederaufladbar	<ul style="list-style-type: none"> • Mobiltelefone, Laptops, Unterhaltungselektronik • schnurlose Werkzeuge, Haushaltsgeräte usw. • Antriebsbatterien für Elektrofahrräder u. -autos

Tab. 1: Kurzcharakteristika und Anwendungsbeispiele gebräuchlichster Batterie-Systeme (eigene Darstellung n. STIFTUNG GEMEINSAMES RÜCKNAHMESYSTEM BATTERIEN 2012)

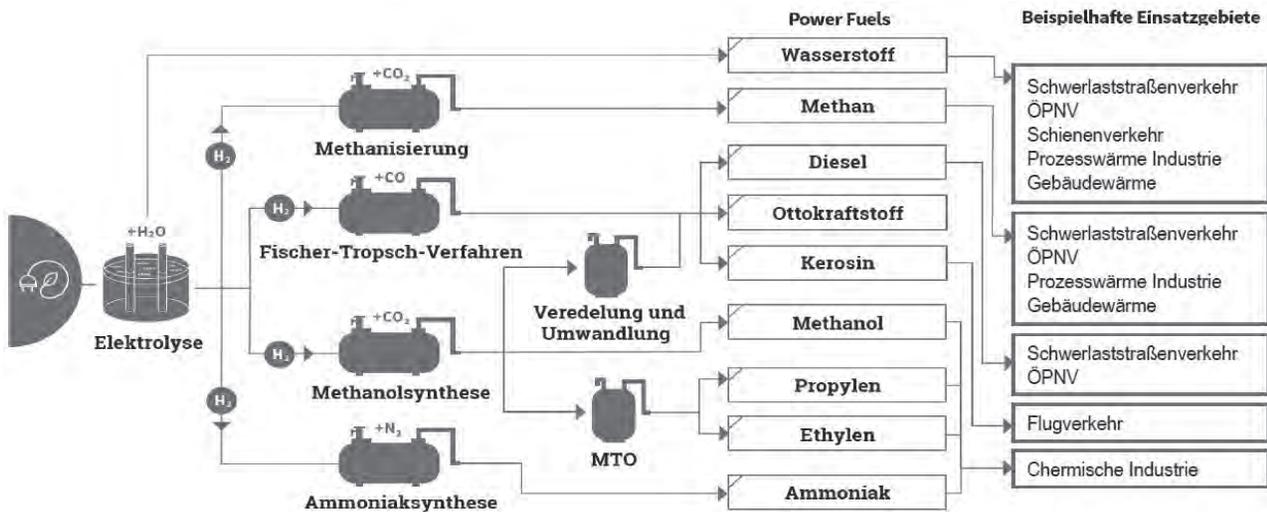


Abb. 2: Power-to-X-Technologien und ihre Einsatzgebiete (MTO: Methanol to Olefins; n. DENA 2018)

schen Forschung und Entwicklung führend mitzuwirken (vgl. KIRCHBECK 2020).

ELEKTRISCHE SPEICHER

Zu den Standardbauteilen der Elektrotechnik zählen Kondensatoren und stromdurchflossene Spulen. Sie können elektrischen Strom mittels elektrischer bzw. magnetischer Felder direkt speichern. Die folgenden Varianten haben eine verbesserte Speicherkapazität (vgl. MAHNKE et al. 2014, S. 28 ff.):

Superkondensatoren (Supercaps) sind Doppelschichtkondensatoren, die bei gleichem Volumen sehr viel mehr Strom speichern können als herkömmliche Kondensatoren. Sie werden zum Beispiel zur Sicherung der Netzspannung verwendet und bereits in Elektro- und Hybridfahrzeugen oder Linienbussen als Kurzzeitspeicher eingesetzt, weil die Auf- und Entladung sehr schnell erfolgen kann.

Supraleitende magnetische Energiespeicher (SMES) bestehen aus Magnetspulen, die unter die sogenannte Sprungtemperatur abgekühlt werden, um die verlustfreie Supraleitfähigkeit zu erhalten. SMES speichern Energie, wenn die Spule von Gleichstrom durchflossen wird. Beim Speichern selbst geht kaum Energie verloren, d. h., die magnetische Energie kann über längere Zeit verlustfrei gespeichert werden. Allerdings ist der Energieaufwand für die erforderliche Kühlung des Supraleiters unter die Sprungtemperatur sehr hoch.

POWER-TO-X (PTX)

Power-to-X (PtX) sind Technologien zur Erzeugung von Gas (Power-to-Gas) und Treibstoffe (Power-to-Liquids/Fuel) aus regenerativ erzeugtem Strom. Diese Verfahren, die durch die Abbildung 2 veranschaulicht werden, gelten als unverzichtbar für das Gelingen der Energiewende und das Erreichen der Klimaziele.³ Dies gilt ins-

besondere für die Stromnutzung zur Herstellung, Speicherung und Weiterverwendung von Wasserstoff.

Zwar benötigen PtX-Umwandlungs- und Speicherungsprozesse selbst auch Energie, was jedoch dann in Kauf genommen werden kann, wenn es besser ist, Energie mit Verlusten zu speichern als bspw. nachts Windkraftanlagen zur Netzstabilisierung herunterzufahren, weil zu dieser Zeit keine Nachfrage besteht. Neben dem energetischen Wirkungsgrad dieser Wandlungsprozesse sind selbstverständlich auch deren Kosten relevant, schließlich erfordern Speichertechnologien Investitionen und Aufwendungen für Betrieb und Instandhaltung (vgl. DENA 2018).

Mit dem Begriff Power-to-Gas (PtG) werden alle Verfahren bezeichnet, mit denen sich elektrische Energie flexibel in gasförmige Energieträger wandeln lässt. Die Wasserelektrolyse, die Trennung von Wasserstoff und Sauerstoff, ist dabei ein wichtiger Schritt. Wasserstoff (H₂) lässt sich, wie andere Gase auch, speichern, transportieren und vielfältig nutzen. Da sich dieses Gas in nahezu beliebig großen Energiemengen speichern lässt, gewinnt die regenerative H₂-Erzeugung eine zentrale Bedeutung für die Substitution fossiler Energieträger, bspw. als Treibstoff für Fahrzeuge. Wasserstoff kann darüber hinaus begrenzt ins weitverzweigte Erdgasnetz eingespeist werden.

In Labor- und Feldversuchen wurden die H₂-Beimischungen in Erdgas bis 30 Vol.-% und auch höher untersucht. Ermittelt wurde bei der Versorgung handelsüblicher Geräte nicht nur eine Reduktion von CO₂-, CO- und NO_x-Emissionen, sondern darüber hinaus ein sicherer und zuverlässiger Betrieb unter Praxisbedingungen. Lediglich die maximale Leistung der handelsüblichen Geräte wurde aufgrund des geringeren Brennwertes und der oberen Begrenzung der Gaszufuhr bei 30 Vol.-% Wasserstoff um wenige Prozentpunkte verfehlt.

Im Brandenburgischen Falkenhagen wurde international die erste Demonstrationsanlage zur Erzeugung von Wasserstoff aus Windstrom und zur Einspeisung in das Erdgasnetz errichtet. Im Rahmen des internationalen Forschungsprojekts „Store & Go“ ist diese Anlage 2018 um eine weitere Stufe zur Methanisierung des Wasserstoffs erweitert worden. In diesem zweiten Schritt wird der regenerativ erzeugte Wasserstoff mit CO₂ aus einer Bio-Ethanol-Anlage zu Methan (CH₄) umgewandelt. Dieses regenerativ erzeugte Methan kann als „synthetisches Erdgas“ zu 100 % in das Gasnetz eingespeist werden und somit das bisher genutzte fossile Erdgas vollständig ersetzen (vgl. STORE & GO 2019). Für die Wasserstoff- und Methan-Speicherung steht das gesamte Gas-Versorgungsnetz zur Verfügung. Bisher lag der Gesamtwirkungsgrad der CH₄-Produktion aus regenerativem Strom nur bei etwas über 50 %. Mit einer Demonstrationsanlage im Rahmen des Projekts HELMETH konnte dieser Wert durch die optimale Nutzung der Prozesswärme aus der Methanisierung jedoch auf über 75 % gesteigert werden, sogar mehr als 80 % scheinen mit weiteren Verbesserungen möglich.⁴

Ein potenzielles Anwendungsfeld für den regenerativ erzeugten und gespeicherten Wasserstoff ist die Rückverstromung in elektrischen Strom mittels Brennstoffzellen für Fahrzeuge. Aktuell werden LI-Speicher für PKW präferiert, aber einige Hersteller bieten auch Brennstoffzellen-Fahrzeuge an. Beide Technologien haben Vor- und Nachteile. Welches Konzept sich bei Personenkraftwagen der unterschiedlichen Größenklassen durchsetzen wird, ist noch offen. Bei Lastkraftwagen dürfte der Wasserstoffantrieb aufgrund seines geringeren Gewichtes durchaus Potenziale haben, weil die schweren Batteriespeicher die Nutzlast reduzieren würden. Auch für Lokomotiven für nicht elektrifizierte Bahnstrecken, bei Schiffen und Flugzeugen könnte Wasserstoff künftig eine Rolle spielen.

Mit Power to Liquids (PtL) bezeichnete Verfahren können aus regenerativ hergestelltem Wasserstoff und Kohlendioxid mittels Fischer-Tropsch-Synthese⁵ vollständig kompatible Treibstoffe für die existierenden Fahrzeugmotoren und Flugzeugturbinen produziert werden. Ein weiteres PtL-Verfahren ist die Herstellung von Methanol mittels Methanolsynthese. Dieser synthetische Kraftstoff kann in geringen Mengen (ca. 3 %) Benzin beigemischt oder gänzlich als Kraftstoff genutzt werden. Letzteres erfordert aber eine Nachrüstung bestehender Ottomotoren und eine separate Infrastruktur für die Distribution (vgl. ARNOLD et al. 2018).

In Anbetracht der schlechten Wirkungsgrade werden die PtX-Prozesse auch kritisch gesehen. Insofern sollten PtX-Technologien mit Blick auf den Klimaschutz nur begrenzt in Bereichen Anwendung finden, wo Alternativen, wie eine direkte Elektrifizierung, nicht oder nur schwer umsetzbar sind.

REDOX-FLOW-SPEICHER

Für die Speicherung sehr großer Energiemengen bieten sich Redox-Flow-Speicher an. Diese seit den 1970er-Jahren entwickelten elektrochemischen Speicher ermöglichen es, große Mengen elektrischer Energie zu lagern, weil die Energieumwandlungseinheit und die Speichermedien voneinander getrennt sind. Als Speichermedien dienen zwei verschiedene Elektrolyte mit gelösten Metallsalzen als Reaktionspartner, die in zwei separaten Kreisläufen zirkulieren. Sie sind durch eine ionenselektive Membran voneinander getrennt, die jedoch einen Ionenaustausch erlaubt. In dieser Energieumwandlungseinheit werden die gelösten Stoffe beim Durchströmen (deshalb „flow“) während des Speicherns chemisch reduziert oder umgekehrt, bei der Rückverstromung oxidiert. Der Gesamtwirkungsgrad liegt bei 70 bis 80 %.

Der Vorteil der Redox-Flow-Systeme ist ihr nahezu verschleißfreier Betrieb und dass sie sich faktisch nicht selbst entladen und deshalb Energie sehr lange speichern können. Nachteilig ist die geringe Energiedichte. Zink-Brom- und Vanadium-Redox-Batterien haben sich bereits im kommerziellen Einsatz bewährt. Es gibt allerdings eine Vielzahl von Redox-Flow-Varianten mit unterschiedlichen Elektrolyt-Kombinationen (vgl. BATTERIEFORUM 2020). Neuerdings werden Redox-Flow-Speicher entwickelt und untersucht, die den Stoff Lignin nutzen, der in der Papier- und Zellstoffindustrie in großen Mengen als Abfallprodukt anfällt.

Welche Bedeutung diese Art Speicher für die Energiewende haben, macht ein Forschungs- und Entwicklungsprojekt im ostfriesischen Jemgum deutlich. Dort sollen unterirdische Kavernen für die Lagerung von Redox-Flow-Elektrolyten genutzt und Speicherkapazitäten von ca. 700 MWh geschaffen werden. Die Bundesrepublik verfügt im europäischen Vergleich über die meisten Kavernen, in denen bisher Erdgas oder Erdöl gelagert wird. Diese werden bei vollständiger Umstellung des Versorgungssystems auf erneuerbare Energien frei und lassen sich für Redox-Flow-Speicher nutzen. Solche Speicher können die Funktion von Spitzenlastkraftwerken übernehmen, die in einem vollständig regenerativen Energieversorgungssystem jederzeit große Mengen Energie ins Netz einspeisen.

Bis zur flächendeckenden Umsetzung dieses Speicherkonzeptes ist aber noch weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeit erforderlich, um einen naturverträglichen, ökonomischen und technisch zuverlässigen Betrieb zu gewährleisten. Redox-Flow ist aber auch in kleinerem Maßstab interessant. So sind erste Fahrzeuge mit Redox-Flow-Batterien entwickelt worden.

MECHANISCHE SPEICHER

Mechanische Speicher sind zuverlässige Möglichkeiten der „Energielagerung“. Sie nutzen die Funktionsprinzipien kinetischer, potenzieller und „Druckenergie“ (vgl. STENZEL et al. 2012, S. 8 ff.; MAHNKE et al. 2014, S. 21 ff.).

Pumpspeicherkraftwerke (PSKW) haben für den Übergang von konventioneller zu erneuerbarer Energieerzeugung und -versorgung weiterhin Bedeutung. Sie können bei Bedarf innerhalb von wenigen Minuten Strom zur Verfügung stellen, indem das zuvor in Höhenlagen gepumpte und dort gespeicherte Wasser durch Turbinen in niedriger gelegenes Landschaftsniveau geleitet wird. In Deutschland sind derzeit PSKW mit einer Netto-Nennleistung von ca. 6.340 MW in Betrieb, wobei noch Potenziale für den Ausbau der Speicherkapazitäten gesehen werden (vgl. DENA 2015).

Ringwallspeicher sind eine Variante der PSKW, mit denen sich der Ausbau der Speicherkapazitäten realisieren lässt. Sie bestehen aus zwei Becken, wovon eins künstlich aufgeschüttet wird. In dieses Oberbecken kann Wasser gepumpt werden, das bei Bedarf zur Stromerzeugung durch Turbinen in ein niedriger gelegenes Unterbecken, bspw. einen See, geleitet werden kann (vgl. STENZEL et al. 2012, S. 18 ff.).

Haldenspeicher sind eine weitere Möglichkeit zur Errichtung von Pumpspeichern in flachen Regionen, indem bspw. Abraumhalden aus dem Steinkohlebergbau genutzt werden. Ein solcher Speicher erfordert die Errichtung eines Oberbeckens auf einer Halde und eines Unterbeckens auf normalem Geländeniveau. Im Ruhrgebiet wurden bereits verschiedene Standorte für solche Speicher untersucht (vgl. STENZEL et al. 2012, S. 29 ff.). Ein ähnliches Speicherkonzept wurde für den Tagebau Hambach (Garzweiler) mit einem Speicherpotenzial bis zu 400 GWh für die Zeit nach dem Braunkohleausstieg entwickelt.

Unterflurspeicher sind eine weitere Variante, an denen konzeptionell gearbeitet wird. Hierfür kann auf stillgelegte Bergwerke zurückgegriffen werden, um die dort vorhandenen Hohlräume nachzunutzen und unterirdische Speicherbecken auf unterschiedlichen Höhenniveaus anzulegen. Solche Konstruktionen könnten in Bergbaugebieten auch mit den vorgenannten Haldenspeichern kombiniert werden. Die Realisierbarkeit ist aufgrund des Eingriffs in das regionale Wasserhaltungskonzept jedoch noch nicht absehbar (vgl. ebd., S. 41 ff.).

Druckspeicherwerke sind Langzeitspeicher, die mittels elektrischer Pumpen Druckluft in unterirdische Speicher pressen und diese über Turbinen rückverstromen können. Der anfangs geringe Wirkungsgrad wurde durch weiterentwickelte „adiabate Speicherkraftwer-

ke“ (AA-CAES) auf etwa 70 % erhöht. Im Niedersächsischen Huntorf ist ein Druckspeicherwerk seit 1978 in Betrieb (vgl. BINE 2007, S. 5).

Kugelpumpspeicher sind Speicher für die Nutzung in der küstennahen Tiefsee. Sie bestehen aus Betonhohlkugeln mit einem Durchmesser von 30 m und einer Wandstärke von ca. 3 m, die in einer Wassertiefe von 600 bis 800 m bspw. im Umfeld von Offshore-Windkraftanlagen installiert werden können. Sie lassen sich mit überschüssigem Strom leer pumpen. Bei Bedarf kann rückströmendes Meerwasser infolge des Wasserdrucks über Turbinen mit einem Wirkungsgrad von etwa 60 % wieder Strom erzeugen. Die Erprobung der Praxistauglichkeit der Betonhohlkugeln wurde bereits erfolgreich getestet (vgl. IEE 2017).

Schwungmassenspeicher, die schon Jahrhunderte zur Speicherung kinetischer Energie genutzt wurden, spielen derzeit eine untergeordnete Rolle im Energiesystem. Sie finden derzeit vor allem dort Anwendung, wo häufige Lade- und Entladeprozesse stattfinden, wie etwa beim Anfahren und Beschleunigen von elektrisch betriebenen S-Bahnen. Im Projekt „DynaStore“ wurde ein Speicher mit einem 450 kg schweren Schwungrad aus einem speziellen Kohlefaser-Verbundstoff (CFK) entwickelt, das in einer Supraleiter-Magnetlagerung im Vakuum auf hohe Drehzahlen beschleunigt werden kann. Die Energie wird zurückgewonnen, indem der rotierende Rotor induktiv an einen elektrischen Generator gekoppelt und dadurch abgebremst wird. (vgl. MAHNKE et al. 2014, S. 26 f.).

WÄRMESPEICHER

Auch wenn elektrischer Strom nach den bisherigen Prognosen künftig einen größeren Stellenwert für die Wärmeerzeugung haben wird, sind Wärmespeicher ein wichtiges Element der Energiewende. Damit die Wärme künftig weitgehend treibhausgasneutral und effizient bereitgestellt werden kann, ist es erforderlich, die Wärmenetze auszubauen, die vor allem mit Bioenergie, Solarthermie, Erdwärme und strombasierten Anlagen (z. B. Großwärmepumpen) sowie der Abwärme aus industriellen und anderen Prozessen gespeist werden. Damit diese Quellen den Wärmebedarf über das ganze Jahr decken können, braucht es Langzeitspeicher. Wärmespeicher sind ausgereift und haben sich seit Jahren bewährt. Für die Energiewende werden Großwärmespeicher erforderlich sein, um größere Wohnungsquartiere zu versorgen.

Solche ins Wärmenetz eingebundenen Wärmespeicher wurden bereits realisiert, z. B. mit dem sogenannten Energiebunker zur Versorgung eines Stadtviertels in Hamburg-Wilhelmsburg, der durch den Umbau eines Flakbunkers aus dem Zweiten Weltkrieg entstand. Die zentrale Innovation ist ein Großwärmespeicher, der

durch die Abwärme eines nahegelegenen Industrieunternehmens sowie durch die auf einem Dach installierte Solarthermie-Anlage gespeist wird.⁶ Zusätzlich speisen im Energiebunker eine CO₂-neutrale Holzfeuerungsanlage, ein Biogas- und ein Biomethan-Spitzenlast-Blockheizkraftwerk den Speicher, der 22.500 MWh Wärme – dem Wärmebedarf von circa 3.000 Haushalten im Stadtquartier – „bunkert“.

Großwärmespeicher unterschiedlicher Bauform wurden in der Vergangenheit auch in mehreren anderen Städten⁷ eingesetzt und erprobt (vgl. Maier 2017). Vor allem vier Grundkonzepte zur saisonalen Wärmespeicherung wurden realisiert⁸:

- Heißwasser-Wärmespeicher sind Erdbecken oder in der Erde eingelassene oder ebenerdige wärmedämmte Behälter mit Tragwerkskonstruktion aus Stahlbeton oder Glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK), in denen Wasser als Speichermedium dient.
- Kies-Wasser-Wärmespeicher werden aus bspw. Schaumglasplatten bzw. einem Schüttgut aus Blähglasgranulat wärmedämmten und gegenüber dem Erdreich mit Kunststoff-Folien abgedichtetem gelagertem Kies-Wasser-Gemisch gebildet.
- Erdsonden-Wärmespeicher bestehen aus vertikal ins wassergesättigte Erdreich eingebrachte U-förmige Sonden, die den umgebenden Untergrund als Speichermedium nutzen.
- Aquifer-Wärmespeicher sind verfilterte, nach oben und unten abgeschlossene natürlich vorkommende Grundwasserschichten mit geringer Fließgeschwindigkeit.

Auch Kombinationen sind möglich, wie im solaren Nahwärmeprojekt Attenkirchen, wo ein sogenannter Hybridspeicher realisiert wurde, bei dem ein unterirdischer Heißwasserspeicher im Zentrum eines Erdwärmesonden-Speichers liegt. Diese Speicher haben seit einigen Jahren ihre Praxistauglichkeit bewiesen. Es werden sensible, latente und thermochemische Speicher unterschieden.

Als sensible Speicher werden solche bezeichnet, deren festes oder flüssiges Speichermedium eine Temperaturänderung erfährt, wenn sie Wärme aufnehmen oder abgeben. Wenn Wasser als Speichermedium Anwendung findet, ergibt sich eine Speicherkapazität von 116 Wh pro Kilogramm zwischen Gefrier- und Siedepunkt (vgl. MAIER 2017, S. 7). Die Verwendung von Flüssigsalz ermöglicht deutlich höhere Temperaturbereiche und hat außerdem den Vorteil, dass kein Druck entsteht. Es gibt darüber hinaus Hochtemperatur-Wärmespeicher mit festen Speichermedien, wie z. B. Gestein, Beton, Keramik oder andere Feststoffe.

Im Unterschied dazu ändert die Wärmeenergie bei Latentwärmespeichern den Aggregatzustand des Speichermediums, ohne dass sich dabei dessen Temperatur erhöht.⁹ Beim Entladen des Speichers, also der Wärmeabgabe, erstarrt oder verflüssigt sich das Speichermedium wieder. Da die Temperatur beim Laden und Entladen über lange Zeit konstant bleibt, kann diese Eigenschaft genutzt werden, ohne dass damit eine starke Unterkühlung oder Überhitzung des umgebenden Raums verbunden ist. Latentwärmespeicher haben nicht nur den Vorteil gegenüber sensiblen Speichern, dass bei kleinen Temperaturunterschieden wesentlich mehr thermische Energie erhalten werden kann. Sie haben zudem 10- bis 20-fach höhere Wärmespeicherdichten und sind wesentlich kompakter. Zukünftig werden durch die Nutzung von Phasenwechselfluiden noch weitaus größere Energiemengen und damit kompaktere Speicher möglich. Nachteilig sind allerdings die höheren Kosten im Vergleich zu sensiblen Speichern.

Eine weitere zukunftsweisende Nutzung der latenten Wärme findet sich in der Eisspeicherheizung, bestehend aus einer Zisterne als Eisspeicher in Kombination mit Solar-Luftabsorbern, die sowohl die Energie der Umgebungsluft als auch der Sonnenstrahlung nutzen und bei Außentemperaturen größer als -2 °C eine Wärmepumpe speisen. Im Winter erhält die Wärmepumpe zusätzlich Energie aus dem Eisspeicher. Dieser ist im Erdreich eingelassen und nicht isoliert. Das darin befindliche Wasser gefriert bei entsprechenden Temperaturen zu Eis und setzt beim Wechsel des Aggregatzustands Energie frei, die mittels der Wärmepumpe für Raumheizung und Warmwasserversorgung genutzt werden kann. Neben Eisspeicherheizungen für Ein- und Zweifamilienhäuser gibt es auch solche für größere Wohnquartiere und andere Großanlagen.

Wärmeenergie lässt sich außerdem in thermochemischen Wärmespeichern „lagern“. Dabei sind zwei Speicherprinzipien zu unterscheiden, chemische Reaktionen und Sorptionsprozesse. Bei chemischen Reaktionsspeichern wird Wärme durch eine umkehrbare endotherme chemische Reaktion in chemische Energie umgewandelt. Dabei ändert sich die chemische Zusammensetzung des Energieträgermediums ohne dessen irreversible Zerstörung wie bei einer Verbrennung. Die mit diesen entstandenen Produkten gespeicherte Energie kann längere Zeit gespeichert und mit Umkehrung der exothermen chemischen Reaktion wieder in Wärme rückgewandelt werden. Bspw. ist in Köln ein Speicher in Betrieb genommen worden, bei dem Kalk genutzt wird, um Wärme durch eine endotherme Reaktion zu speichern. Bei Sorptionsspeichern kann die Energiewandlung sowohl als Adsorption als auch Absorption erfolgen. Bei der Absorption dringt üblicherweise ein Gas in eine Flüssigkeit oder einen festen Stoff (Absorptionsmittel) ein, bei der Adsorption lagert sich ein Gas

oder eine Flüssigkeit an der Oberfläche eines festen oder porösen Materials an. In Pilotanlagen kommen überwiegend Zeolithe, Silikagele oder Metallhydride zur Anwendung (vgl. MAIER 2017).

Mit der Umwandlung von regenerativ erzeugtem Strom in Wärme (Power to Heat; PtH) ist eine weitere Möglichkeit der einfachen und umweltschonenden Energiespeicherung in thermischen Speicherbehältern gegeben. Am effizientesten ist es, überschüssigen Strom bspw. aus Windkraft- oder PV-Anlagen mittels Wärmepumpen in Wärme umzuwandeln. Werden sehr hohe Temperaturen benötigt, bspw. in der Industrie, können diese mit Elektroden in Elektrodenkessel erzeugt werden, die erneuerbaren Strom direkt in Wärme umwandeln – allerdings mit geringerem Wirkungsgrad als mit Wärmepumpen. Die Entwicklung von PtH-Systemen wird mittlerweile auch vom Bundeswirtschaftsministerium gefördert.¹⁰

AUSBLICK: MODERNE ENERGIESPEICHER ALS GEGENSTAND BERUFLICHER BILDUNG

Mit diesem Beitrag sollte gezeigt werden, dass die Energiewende nicht ohne Energiespeicher umsetzbar ist und vor diesem Hintergrund mittlerweile eine Vielzahl von Speichertechnologien entwickelt wurden und werden. Es ist noch nicht vorhersehbar, welche Konzepte sich in welchem Umfang in den jeweiligen Anwendungsgebieten durchsetzen werden. Das Thema Energiespeicher hat aktuell in den fahrzeugtechnischen, den energietechnischen Elektro- und den SHK-Berufen schon einen gewissen Stellenwert, die Bedeutung wird aber sicherlich mit dem absehbaren Umbau des Energieversorgungssystems zunehmen und sich einhergehend mit der Verbreitung der Speichertechnologien ausdifferenzieren. Wie der Überblick über die Möglichkeiten der Energiespeicherung und der Innovationen auf diesem Gebiet zeigen sollte, ist in absehbarer Zeit mit deutlichen Veränderungen zu rechnen. Aktuell stehen wir erst am Anfang des großflächigen Ausbaus der Speicherkapazitäten. Es sollte daher zumindest in allen energietechnischen Berufsausbildungen deutlich gemacht werden, dass es angesichts der großen Bedeutung der Energiespeicherung für die Energiewende vielfältige Entwicklungen gibt, die künftig auch zum Gegenstand der Facharbeit werden dürften.

In welchem Umfang und in welchen Bereichen dies auch zu Beschäftigungseffekten und damit zu Qualifizierungsbedarfen führen wird, ist derzeit noch kaum absehbar. Die Prognosen für das Jahr 2030 schwanken je nach zugrunde gelegten Entwicklungsszenarien zwischen 11.500 und 124.400 Beschäftigten. Dabei wird davon ausgegangen, dass der wichtigste Wachstumstreiber der Verkehrssektor sein wird. Wenn sich die Wasserstofftechnologie durchsetzen wird, sind hier die größten Beschäftigungseffekte in den Produktberei-

chen Elektrolyseure und Brennstoffzellen zu erwarten (vgl. BRANDSTÄTT et al. 2018, S. 11).

Unbestritten ist, dass die Elektromobilität kommen und zu neuen Arbeitsplätzen mit veränderten Tätigkeits- und Qualifikationsprofilen führen wird, und zwar nicht nur im Kernsektor der Fahrzeugindustrie und den Werkstätten, sondern auch im Bereich der Energieversorgung. Damit sind Aufgaben für die berufliche Aus- und Weiterbildung verbunden. Zwar konzentriert sich aktuell die Auseinandersetzung mit Zukunftsfragen der beruflichen Bildung vor allem auf die Digitalisierung. Dies ist auch berechtigt, weil große Umbrüche in der Arbeitswelt und Gesellschaft zu erwarten und diese mit Chancen und Risiken verbunden sind – auch die Energiewende und eine nachhaltige Entwicklung (vgl. LANGE/SANTARIUS 2018).

Beides muss allerdings zusammengehen: Einerseits muss die Digitalisierung nachhaltig ausgerichtet werden, sonst gefährdet der Energiebedarf für die Verarbeitung der rasch ansteigenden Datenmengen die Einhaltung der Klimaschutzziele, und andererseits ist die Energiewende ohne eine umfassende Digitalisierung nicht möglich. Die Vielfalt der Speichertechnologien lässt erahnen, wie grundlegend die Veränderungen unserer Energieversorgung sein werden und wie umfassend die datentechnische Vernetzung zwischen dezentraler Bereitstellung regenerativer Energien und die Verteilungssteuerung für eine gesicherte Versorgung ist. Beides im Zusammenspiel – Dekarbonisierung und Digitalisierung – kann als revolutionär angesehen werden. Die Energiewende ist auch für berufliche Aus- und Weiterbildung eine große Zukunftsaufgabe: Sie muss die Lernenden für die Mitgestaltung dieser revolutionären Wandlungen befähigen und sich dafür selbst verändern, indem sie die relevanten Themenfelder identifiziert und entsprechende Bildungsangebote konzipiert.

Anmerkungen

- 1) Kompensation von Schwankungen der Versorgungsspannung, die den subjektiven Eindruck von Leuchtdichteschwankungen hervorrufen.
- 2) Eigenschaft eines Speichers, unabhängig vom Stromnetz aus dem abgeschalteten Zustand hochfahren und Energie bereitstellen zu können. Diese Eigenschaft ist besonders bei einem totalen Stromausfall („blackout“) von Bedeutung.
- 3) Zu den PtX-Technologien gehört ebenfalls die Herstellung von Chemikalien mittels regenerativem Strom (Power to Chemicals; PtC), auf die hier aber nicht eingegangen wird.
- 4) Hierzu: <https://www.sek.kit.edu/downloads/2019-datenblatt-helmeth.pdf>
- 5) Es handelt sich um ein von Franz Fischer und Hans Tropsch 1925 entwickeltes großtechnisches Verfahren

zur Umwandlung von Synthesegas (CO/H₂) in flüssige Kohlenwasserstoffe.

- 6) Hierzu: <http://www.iba-hamburg.de/projekte/energiebunker/projekt/energiebunker.html> (24.04.2020).
- 7) Hamburg-Bramfeld, Steinfurt, Neckarsulm, Friedrichshafen, Chemnitz, Rostock, Hannover, Berlin-Biersdorf, Potsdam und anderenorts; hierzu: <http://www.solites.de/download/literatur/AB-SUN%20V%20FKZ%200329607F.pdf>
- 8) Hierzu: <http://www.saisonalspeicher.de/Speichertypen/%C3%9Cbersicht/tabid/107/Default.aspx>
- 9) Weil sich die Temperatur nicht ändert, wird hier von latenter (lateinisch: verborgener) Wärme gesprochen.
- 10) Siehe <https://www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2016/07/Meldung/direkt-erklart.html>; <https://forschung-energiespeicher.info/>

Literatur

- ARNOLD, K.; KOBIELA, G.; PASTOWSKI, A. (2018): Technologiebericht 4.3 Power-to-liquids/-chemicals innerhalb des Forschungsprojekts TF-Energiewende. Online verfügbar unter: https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/7061/file/7061_Power-to-liquids.pdf (Zugriff am 24.04.2020).
- BATTERIEFORUM DEUTSCHLAND (2020): Infoportal Batteriekompodium. Hrsg.: Kompetenznetzwerk Lithium-Ionen-Batterien e.V. (KLiB). Online verfügbar unter: <https://www.batterieforum-deutschland.de/infoportal/batteriekompodium/> (Zugriff am 09.04.2020).
- BINE Informationsdienst (2007): Druckluftspeicher-Kraftwerke. Projektinfo 05/2007. Online verfügbar unter <http://www.bine.info/publikationen/publikation/druckluftspeicher-kraftwerke/> (Zugriff am 24.04.2020).
- BMBF (Hrsg.) (2018): Lithium aus Deutschland: nachhaltig und kostengünstig. Online verfügbar unter: <https://www.bmbf.de/de/lithium-aus-deutschland-nachhaltig-und-kostenguenstig-5576.html> (Zugriff am 24.04.2020).
- BRANDSTÄTT, C.; GABRIEL, J.; JAHN, K.; PETERS, F.; SERKOWSKY, J. (2018): Innovation Energiespeicher. Chancen der deutschen Industrie. Düsseldorf. Online verfügbar unter: https://www.boeckler.de/pdf/p_study_hbs_404.pdf (Zugriff am 24.04.2020).
- DENA (Hrsg.) (2018): Power to X: Technologien. Berlin. Online verfügbar unter: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/607/9264_Power_to_X_Technologien.pdf (Zugriff am 24.04.2020).
- DENA (Hrsg.) (2015): Der Beitrag von Pumpspeicherwerken zur Netzstabilität und zur Versorgungssicherheit – die wachsende Bedeutung von Pumpspeicherwerken für die Energiewende. Berlin. Online verfügbar unter: https://www.dena.de/test/user_upload/150716_Ergebnispapier_Pumpspeicherwerke.pdf (Zugriff am 24.04.2020).
- ENGEL, K. M. (2018): Eine gigantische Batterie im Untergrund. In: Spektrum v. 24.09.2018. Online verfügbar unter: <https://www.spektrum.de/news/eine-gigantische-batterie-im-untergrund/1575718> (Zugriff am 24.04.2020).
- IEE (Hrsg.) (2017): Projekt für Offshore-Pumpspeicherkraftwerk mit „German Renewables Award“ ausgezeichnet. Presseinformation. Online verfügbar unter: https://www.iee.fraunhofer.de/de/presse-infothek/Presse-Medien/Pressemitteilungen/2017/Stensea_Award.html (Zugriff am 24.04.2020).
- INGENIEUR.de v. 05.04.2019: Innolith Energy Battery verspricht Akku für 1.000 Kilometer. Superbatterie: Schafft Deutschland den Durchbruch für das E-Auto? Online verfügbar unter: <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/e-mobilitaet/superbatterie-schafft-deutschland-den-durchbruch-fuer-das-e-auto/> (Zugriff am 24.04.2020).
- KIRCHBECK, B. (2020): Battery 2030+: Roadmap für die europäische Batterieforschung. Online verfügbar unter: <https://www.next-mobility.news/battery-2030-roadmap-fuer-die-europaeische-batterieforschung-a-922404/> (Zugriff am 24.04.2020).
- KUNZ, C. (2019): Energiespeicher: Technologien und ihre Bedeutung für die Energiewende. Re-news Spezial Nr. 88. Online verfügbar unter: https://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/3471.AEE_Renews_Spezial_88_Energiespeicher_web.pdf (Zugriff am 31.02.2020).
- LANGE, S.; SANTARIUS, T. (2018): Smarte grüne Welt? Digitalisierung zwischen Überwachung, Konsum und Nachhaltigkeit. München: Oekom.
- MAHNKE, E.; MÜHLENHOFF, J.; LIEBLANG, L. (2014): Strom speichern. Renewes Spezial Nr. 75. Online verfügbar unter: https://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/382.75_Renews_Spezial_Strom_speichern_Dez2014_online.pdf (Zugriff am 24.04.2020).
- MAIER, M. (2017): Großwärmespeicher. Zentraler Baustein einer flexiblen Strom- und Wärmeversorgung. Renewes Spezial Nr. 80. Online verfügbar unter: https://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/1201.80_Renews_Spezial_Waermespeicher_Jul17.pdf (Zugriff am 24.04.2020).
- STENZEL, P.; BAUFUMÉ, S.; BONGARTZ, R.; LINSSEN, J.; MARKEWITZ, P.; HAKE, J.-F. (2012): Unkonventionelle Energiespeicher. Anlagenkonzepte und Bewertung. STE Research Report. Online verfügbar unter: https://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Downloads/IEK/IEK-STE/DE/Publikationen/research_reports/2012/report_03_2012.pdf?_blob=publicationFile (Zugriff am 24.04.2020).
- STORE & Go (2019): Methanisierungsanlage in Falkenhagen geht in Betrieb und liefert synthetisches Methan – weiterer Schritt für eine erfolgreiche Energiewende. Gemeinsame Pressemitteilung. Online verfügbar unter: https://www.dvgw.de/medien/dvgw/verein/aktuelles/presse/2019-03-26_-_Methanisierungsanlage_Falkenhagen.pdf (Zugriff am 24.04.2020).

Wasserstoff als Energiespeicher

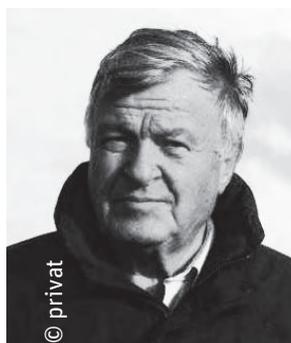
Regionale Chancen durch die Produktion von „grünem“ Wasserstoff



HENNING BISS



AXEL GRIMM



ULRICH JOCHIMSEN

Im windreichen Bundesland Schleswig-Holstein stehen derzeit zwei drängende Fragen der Energieproduktion an. Erstens müssen für die ersten Windkraftanlagen nach dem Auslaufen der EEG-Förderung Nachnutzungskonzepte realisiert werden und zweitens sollten durch Möglichkeiten der Energiespeicherung Effizienzeffekte von regenerativen Energieanlagen erhöht werden. Die Produktion von grünem Wasserstoff könnte für das nördlichste Bundesland einen nachhaltigen wirtschaftlichen Erfolg versprechen. Grüner Wasserstoff kann als Energiespeicher, zur Herstellung von synthetischem Treibstoff oder in Brennstoffzellen zum Antrieb von Fahrzeugen genutzt werden.

ZUR AKTUALITÄT DER THEMATIK

Um langfristig auf fossile Energieträger verzichten zu können, spielen die erneuerbaren Energien in der Energieerzeugung eine immer größere Rolle. Die Politik setzt sich hierfür ehrgeizige Ziele. In Deutschland hat die Bundesregierung in ihrem Klimaschutzplan 2050 das Ziel gesetzt, dass Deutschland im Jahre 2050 weitgehend treibhausgasneutral wird. Bis 2030 ist bereits eine Reduktion um 55 % und bis 2040 eine Reduktion von mindestens 70 % im Vergleich zum Jahr 1990 vorgesehen (vgl. UBA 2019).

Photovoltaik und Windkraft wurden in den letzten Jahrzehnten stark ausgebaut und gefördert. Sie unterliegen allerdings als sogenannte volatile Energien den meteorologischen Einflüssen. Das heißt, die Energieproduktion kann nur bedingt geplant werden und unterliegt den Schwankungen des Wetters. Produktion und Abnahme müssen aber in einem Gleichgewicht erfolgen, da ansonsten die Gefahr einer Instabilität des Stromnetzes besteht (vgl. GRIMM 2014). Das Problem der Speicherung erneuerbarer Energien besteht seit deren Marktdurchdringung. Dies führt dazu, dass Energie, die ohne den Ausstoß von Kohlenstoffdioxid den Verbrauchern zur Verfügung stehen könnte, durch Abschaltungen

nicht produziert wird und Potentiale nicht ausgeschöpft werden können.

Die Förderung des Ausbaus der erneuerbaren Energien ist im Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) geregelt. Der Ausbau wird mit einer festgelegten Vergütung angereizt, diese Vergütung der erzeugten Energie läuft über einen Zeitraum von 20 Jahren. Die Förderung begann im Jahre 2000, sodass zum Jahresende 2020 die ersten Altanlagen aus dieser Förderung ausscheiden. Alle Anlagen, die vor dem Jahr 2000 errichtet wurden, sind dem Gesetz nach dem Jahr 2000 zugeordnet worden; somit stehen für das Jahr 2020 von der Anzahl her viele Anlagen vor dem Auslaufen der Förderung. Das heißt, diese Anlagen sind fortan nicht an eine Netzeinspeisung gebunden bzw. es sind neue Geschäftsmodelle möglich.

Sowohl für das Problem nichtgenutzter Überkapazitäten als auch für die Nachnutzung für aus der Förderung fallender Energieerzeugungsanlagen nach EEG stellt die Produktion von Wasserstoff eine sinnvolle Möglichkeit der Energiespeicherung dar. Bereits heute wird in der Bundesrepublik Wasserstoff hergestellt und industriell benötigt z. B. für die chemische Industrie. Dieser wird zu einem großen Anteil mittels Dampfreformierung aus

Erdgas gewonnen und setzt dabei Kohlenstoffdioxid-Emissionen frei. Wasserstoff lässt sich auch durch Wasserelektrolyse gewinnen. Hierbei wird von „grünem“ Wasserstoff gesprochen, wenn dieser aus erneuerbaren Energien gewonnen wird. Bei der Erzeugung von „grünem“ Wasserstoff spricht man auch von der Sektorenkopplung, da der Strom aus dem Energiesektor für einen anderen Sektor zum Beispiel den Verkehrssektor umgewandelt oder gekoppelt wird. Im Verkehrssektor kann der Wasserstoff als Energiequelle für Fahrzeuge genutzt werden, hierbei wird der Wasserstoff mithilfe einer Brennstoffzelle zurück in elektrische Energie gewandelt, um einen Elektromotor im Fahrzeug anzutreiben.

WINDKRAFTANLAGEN IM REGIONSBEZUG

In Schleswig-Holstein wurden bereits frühzeitig Windenergieanlagen gebaut, die in den kommenden Jahren aus der EEG-Förderung ausscheiden. Diese Windräder haben oftmals eine hohe Akzeptanz vor Ort, da viele auch als Bürgerwindpark betrieben werden. Durch das Konzept der Bürgerwindparks haben die Anwohner/-innen und Bürger/-innen die Möglichkeit, sich an dem Windpark zu beteiligen und erhalten damit auch eine Vergütung.

Für den Weiterbetrieb der Windenergieanlagen bietet die Erzeugung von Wasserstoff eine weitere Wertschöpfung und somit eine verlängerte Wertschöpfungskette in der Region an und dies mit Akzeptanz der direkt Betroffenen.

Das Auslaufen der EEG-Förderung stellt die Anlagenbetreiber vor mehrere Möglichkeiten: Die bestehende Windkraftanlage kann durch eine größere leistungsstärkere ersetzt werden, hierbei spricht man vom Repowering. Alternativ kann die bestehende Anlage weiterbetrieben werden oder, sollte dies nicht wirtschaftlich sein, muss die Anlage stillgelegt und zurückgebaut werden.

Repowering

Beim Repowering werden häufig mehrere kleinere Windenergieanlagen durch eine neue leistungsstärkere Anlage ersetzt, die das Windangebot am Standort besser ausnutzt (vgl. Heier 2018, S. 495). Das Repowering wurde mit der Novellierung des EEG 2004 erstmals angereizt; hierbei wurde vom Gesetzgeber der Begriff „Repowering-Anlage“ eingeführt (EEG 2004, § 10). Mit dieser Änderung wurde festgelegt, dass sich die Leistung um das Dreifache steigern muss. Mit der Novellierung 2009 wurde das Repowering weiter angereizt, indem für Repowering-Anlagen eine Erhöhung der Anfangsvergütung um 0,5 ct/kWh vorgenommen wurde.

Weiterbetrieb

Bei einem Weiterbetrieb nach mindestens 20 Jahren spielt die Wirtschaftlichkeit die ausschlaggebende Rol-

le. Aber auch rechtliche und technische Aspekte sind zu beachten. Aus rechtlicher Sicht wurden die notwendigen Genehmigungen nach Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) unbefristet erteilt, ansonsten ist eine Verlängerungsgenehmigung gemäß § 16 des BImSchG notwendig. Es muss ein Standsicherheitsnachweis in Form eines Gutachtens vorgelegt werden, damit die Betriebserlaubnis nicht erlischt (vgl. TWELE/LIERSCH 2016, S. 550). Dieses Gutachten ist notwendig, da jede Anlage eine spezifische Laufleistung hat und auch standortspezifische Aspekte werden in diesem Gutachten geprüft (vgl. Quentin et al. 2018, S. 35). Nach dem Auslaufen der Förderung besteht weiterhin der Anspruch auf einen Netzanschluss und die Abnahme des Stromes. Des Weiteren bleibt auch der Anspruch auf eine Entschädigung im Fall des Eingriffs durch Einspeisemanagementmaßnahmen bestehen (vgl. ebd., S. 45).

Stilllegung

Falls kein Weiterbetrieb infrage kommt, ist die Stilllegung der Anlage notwendig. Die Windenergieanlage muss zurückgebaut werden, sofern diese offiziell stillgelegt ist oder sie innerhalb von 12 Monaten keinen Strom produziert (vgl. BWE 2018b, S. 2). Bei einem Rückbau müssen alle Anlagenteile inklusive des Fundamentes zurückgebaut und entsorgt werden. Ebenfalls müssen Bodenversiegelungen durch zum Beispiel Zuwegungen wieder rückgängig gemacht werden (vgl. ebd., S. 5).

Windenergieanlagen mit auslaufender EEG-Förderung

Der 20-jährige Förderzeitraum begann zum ersten Mal Ende des Jahres 2000 mit der Einführung des EEG 2000. Hier ist in § 9 geregelt, dass für die Förderung nicht das genaue Anschlussdatum gilt, sondern das Jahr der Inbetriebnahme. Für Windenergieanlagen, die bereits vor 2000 in Betrieb gegangen sind, wird dabei für die Förderung trotzdem angenommen, dass diese am 1. April 2000 in Betrieb gegangen sind (vgl. EEG 2000, § 9). Diese Regelung sorgt dafür, dass zum Jahresende 2020 eine große Anzahl von Altanlagen aus der Förderung fallen. Die Tabelle 1 zeigt die Anzahl der Anlagen in Schleswig-Holstein, die zum Jahresende 2020 aus der Förderung ausscheiden.

Jahr	Anzahl	Installierte Leistung (in MW)
2020	476	407,005
2021	236	315,710
2022	131	182,430
2023	94	156,760
2024	59	103,220
2025	35	68

Tab. 1: Anzahl der aus der EEG-Förderung fallenden Windkraftanlagen in Schleswig-Holstein

In Schleswig-Holstein fallen nach den Anlagenstammdaten zur EEG-Jahresabrechnung zum Ende des Jahres 2020 476 Altanlagen (vgl. TENNET 2019) aus der EEG-Förderung. Jedoch haben diese 476 Altanlagen nur eine Leistung von 407 MW, dies zeigt, dass es sich um eher kleine Anlagen handelt. Insgesamt werden bundesweit zum Jahresende 2020 ca. 4000 MW aus der Förderung ausscheiden. In den folgenden Jahren sind dies bis zum Jahr 2025 jährlich im Schnitt 2400 MW Erzeugerleistung, die aus der Förderung fällt (vgl. QUENTIN et al. 2018, S. 8). Um vorausschauend und nachhaltig die Altanlagen in neue Energiekonzepte einbinden zu können, sollte auch die Produktion von Wasserstoff als Energiespeicher und Energieträger geprüft werden. Damit würden auch die durch die Netzbetreiber erfolgenden Regulierungen wegfallen und die Windenergie kann zu einer alternativen Energieerzeugung voll eingesetzt werden.

Wasserstoff als Rohstoff

Fossile Brennstoffe wie Erdöl, Erdgas und Kohle gehen zur Neige und produzieren bei der Nutzung zur Energieerzeugung schädliches Kohlenstoffdioxid. Wasserstoff könnte ein möglicher Ausweg sein. Allerdings steht Wasserstoff nicht einfach als Rohstoff zur Verfügung. Er muss erst hergestellt werden. Wasserstoff kann mittels Wasserelektrolyse erzeugt werden. Im Kernprozess des sogenannten Power-to-Gas-Verfahrens, der Elektrolyse, wird Wasser unter Einsatz von elektrischer Energie in Sauerstoff und Wasserstoff gespalten. Bei der Elektrolyse lassen sich mit der alkalischen Elektrolyse (AEL), der Protonen-Austausch-Membran-Elektrolyse (engl. proton exchange membrane electrolysis, PEMEL) und der Hochtemperaturelektrolyse (HTEL) drei verschiedene Verfahrensvarianten unterscheiden. Die Varianten unterscheiden sich hauptsächlich durch die chemischen Vorgänge an der Kathode und der Anode. Bei allen drei Technologien entsteht der Wasserstoff an der Kathode, daher werden die Prozesse an der Kathode auch als Hydrogen-Evolution-Reaktion (HER) bezeichnet. Das weitere Spaltungsprodukt, der Sauerstoff, entsteht an der Anode, daher tragen diese Prozesse auch die Bezeichnung Oxygen-Evolution-Reaktion (OER). Das AEL-Verfahren ist am längsten erprobt; bereits seit über 100 Jahren wird mit diesem Verfahren Wasserstoff hergestellt.

Speicherung und Transport von Wasserstoff

Wasserstoff ist unter Normalbedingungen ein sehr leichtes Gas. Der Heizwert pro Kilogramm ist hoch (120 MJ/kg); im Verhältnis zum Volumen ist der Heizwert allerdings sehr gering (10 MJ/Nm³). Die Lagerung und der Transport von Wasserstoff stellt daher eine Herausforderung dar. Der Wasserstoff kann unter Kompression, also der Verdichtung und Abkühlung des gasförmigen

Wasserstoffes verflüssigt werden oder mittels flüssiger organischer Wasserstoffträger (englisch: Liquid Organic Hydrogen Carrier, LOHC) gelagert werden. Als LOHC werden organische Verbindungen bezeichnet, die Wasserstoff durch chemische Reaktion aufnehmen und wieder abgeben können.

Die am häufigsten verwendete Variante für die Lagerung und den Transport von Wasserstoff ist die Kompression. Die Verdichtung erfolgt mit Energieaufwand. An die Verdichter und die Druckbehälter werden hohe Anforderungen gestellt. Damit der Wasserstoff nicht verschmutzt wird, werden meist schmierstofffreie Kolbenverdichter eingesetzt. Auch die Druckbehälter unterliegen besonderer Qualitätserfordernisse. Sie müssen aus geeigneten Materialien bestehen, um den hohen Drücken standzuhalten und eine Diffusion zu verhindern.

Um höhere Energiedichten zu erreichen, lässt sich Wasserstoff verflüssigen. Da Wasserstoff erst unterhalb von -240 °C (33 K) flüssig wird, ist der Aufwand für die Verflüssigung hoch und sehr energieaufwendig. Die tiefkalte Speicherung erfolgt in Isoliergefäßen. Da sich die Transportkosten jedoch reduzieren, kann es sich in bestimmten Anwendungen lohnen, den höheren Energieaufwand zur Verflüssigung zu akzeptieren.

Bei der LOHC-Technologie wird der Wasserstoff an einen flüssigen Trägerstoff chemisch gebunden. Diese Technologie ermöglicht es, das Gemisch drucklos bei Raumtemperatur zu lagern. Die Anbindung des Wasserstoffes erfolgt hierbei in einer Hydrierungsreaktion bei einem Druck von 20 bis 50 bar und einer Temperatur von 150 bis 250 °C. Die Freisetzung des Wasserstoffes erfolgt dagegen bei einem niedrigeren Druck von nur 1 bis 5 bar und einer höheren Temperatur von bis zu 320 °C (vgl. MÜLLER 2018, S. 67). Diese Technologie befindet sich noch in der Erforschungs- und Erprobungsphase. Als Trägerstoff werden Öle eingesetzt, die in der Industrie bisher schon für andere Anwendungen eingesetzt wurden. Ein Trägerstoff, der erforscht wird, ist Dibenzyltoloul. Hier lassen sich in einem Liter des Trägerstoffes 600 l Wasserstoff speichern (vgl. HYDROGEIT 2016).

Nutzung von Wasserstoff und seine Bedeutung als Energiespeicher

Fossile Brennstoffe wie Erdöl, Erdgas und Kohle gehen zur Neige. Neue Wege der Energiewirtschaft werden daher schon seit vielen Jahren diskutiert und begangen. Wasserstoff könnte ein möglicher „neuer“ Weg sein. Allerdings klappt das nur dann, wenn er als grüner Wasserstoff die Umwelt nicht noch stärker durch Emissionen belastet. Wasserstoff kann als das ideale Speichermedium für überschüssige regenerative Energien wie Solar und Wind angesehen werden.

Wasserstoff steht als Rohstoff nicht einfach zur Verfügung, sondern muss erst aufwendig gewonnen werden. Er ist als Energieträger in unterschiedlichen Sektoren einsetzbar. Als Energiespeicher könnte er wieder rückverstromt werden, um so Stromlücken zu schließen und damit einen Beitrag zu leisten, die erneuerbaren Energien auch verfügbar zu machen, wenn kein Wind weht oder keine Sonne scheint. Hierfür kann auf dezentrale Brennstoffzellen zurückgegriffen werden, um die entstehende Abwärme intelligent in ein Nahwärmekonzept zu integrieren.

Als Energieträger kann der Wasserstoff auch in das bereits bestehende Erdgasnetz mit eingespeist werden. Wasserstoff, der aus erneuerbarem Strom gewonnen wird, gilt als Biogas und hat gemäß § 34 GasNZV einen Anspruch auf vorrangige Einspeisung ins Erdgasnetz. Außerdem müssen auch keine Einspeiseentgelte gezahlt werden (vgl. MEEREIS et al. 2019, S. 45). Bisher ist der Anteil des Wasserstoffes im Erdgasnetz auf 2 % begrenzt, jedoch haben Untersuchungen gezeigt, dass unter Bedacht verschiedener Gesichtspunkte ein Anteil von bis zu 10 % möglich ist (vgl. SH-Netz AG, o. J.).

Wasserstoff kann im Mobilitätssektor einen großen Beitrag zur Dekarbonisierung leisten. Im Bereich der PKWs bieten jedoch nur Hyundai und Toyota sowie Mercedes und Renault je ein Modell mit Brennstoffzelle an. Im Schwerlastbereich gibt es ebenfalls noch kein großes Angebot an Fahrzeugen, jedoch zeichnet sich ab, dass es hier Modelle mit einer Brennstoffzelle und Modelle mit einem Wasserstoffverbrennungsmotor geben wird. LKWs mit einem Wasserstoffverbrennungsmotor sollen bis 2021 serienreif sein, hierzu gibt es beispielweise eine Kooperation des Motorenherstellers Deutz mit der Firma Keyou (vgl. KEYOU 2019).

Im Bahnverkehr gibt es bereits einen Wasserstofftriebwagen, der erfolgreich den Probetrieb überstanden hat. In dieser Probephase lag die Verfügbarkeit bei 96 % und so haben bereits mehrere Bundesländer den Wasserstofftriebwagen des Modells Alstom iLint bestellt (vgl. FOCKENBROCK 2019).

Wirtschaftlichkeit

Eine Studie des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt zum Thema „Analyse der Randbedingungen großtechnischer Wind-Wasserstoff-Speicherung“ befasst sich unter anderem auch mit den Erzeugerkosten des Wasserstoffes. Die Studie hat Wasserstoff-Erzeugungskosten von drei bis sieben Euro je erzeugtem Kilogramm Wasserstoff aus Windstrom ergeben (vgl. DLR 2015, S. 183). Ein wirtschaftlicher Verkauf des Wasserstoffes ist mit diesen Erzeugungskosten aktuell nur im Verkehrssektor möglich. An den öffentlichen Tankstellen wird der Wasserstoff aktuell zu einem Festpreis von 9,50 € je Kilogramm verkauft. Dieser Preis ist

äquivalent zu den Kraftstoffkosten eines Benziners mit einem durchschnittlichen Verbrauch von sieben Litern auf 100 km, da ein Brennstoffzellenfahrzeug ca. ein Kilogramm Wasserstoff auf 100 km verbraucht (vgl. H2 2018).

Die Nutzung des Wasserstoffes in anderen Sektoren, so beispielsweise die Einspeisung in das Erdgasnetz oder den Verkauf als Industriegas, ist aktuell aufgrund der geringen Kosten des jeweiligen Konkurrenzprodukts wirtschaftlich nicht darzustellen. Die Wirtschaftlichkeit in diesen Geschäftsbereichen ließe sich jedoch erhöhen, wenn der Elektrolyseur netzdienlich eingesetzt werden kann und somit der Umsatz nicht ausschließlich mit dem Wasserstoff generiert wird. Als netzdienlich lässt sich ein Einsatz charakterisieren, der bspw. Strom zum aktuellen Börsenpreis nutzen könnte; dadurch ließen sich Spitzen in der Erzeugung abfangen und schnell in Wasserstoff wandeln.

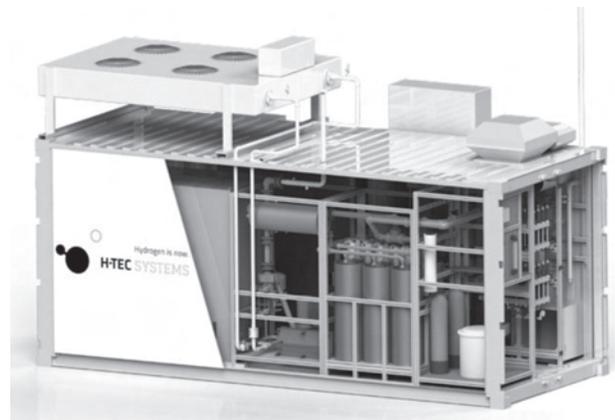


Abb. 1: Elektrolyseur als Containerlösung (Quelle: H-TEC)

Umsetzungsbeispiel eFarm

An insgesamt fünf Standorten in Nordfriesland werden 250 kW PEM-Elektrolyseure der Firma H-TEC (vgl. Abb. 1) in unmittelbarer Nähe zu Windenergieanlagen zur Produktion von Wasserstoff eingesetzt. Die Abwärme wird an den Standorten in das örtliche Nahwärmenetz integriert. Der produzierte Wasserstoff wird dann an den zwei eigenen Tankstellen in Husum und Niebüll vermarktet. Den Transport übernimmt ein LKW mit Trailern. Um den Bürgern direkt zu zeigen, was mit dem Wasserstoff aus der Region möglich ist, betreiben die Kooperationspartner zwei Brennstoffzellenbusse im öffentlichen Personennahverkehr. Durch dieses System sollen die Bürgerinnen und Bürger einen direkten Eindruck von den Möglichkeiten der regionalen Wasserstoffherzeugung erhalten und damit soll die Akzeptanz gestärkt werden.

WASSERSTOFFSTRATEGIE DER NORDEUTSCHEN KÜSTENLÄNDER

Im Jahr 2019 haben die Küstenländer Bremen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und

Schleswig-Holstein in der Veröffentlichung „Norddeutsche Wasserstoff Strategie“ die einzigartige Lage Norddeutschlands als Wasserstoffstandort durch die Offshore Windenergie, die Speichermöglichkeiten des Wasserstoffes in unterirdischen Salzstöcken, die Logistikzentren und Seehäfen sowie die langjährigen Tätigkeiten hiesiger Unternehmen im Bereich der Wasserstoffwirtschaft und der Erneuerbaren Energien (WIRTSCHAFTS-UND VERKEHRSMINISTERIEN DER NORDDEUTSCHEN KÜSTENLÄNDER 2019, S. 10 f.) hervorgehoben. Bereits sechs Reallabore zur Thematik in Norddeutschland werden unterstützt und betrieben, wodurch regionale Kompetenzen gebündelt werden (vgl. ebd., S. 11).

Die norddeutschen Bundesländer sehen in ihrer gemeinsamen Wasserstoffstrategie vier Handlungsfelder für die Umsetzung einer Wasserstoffindustrie vor:

- Wasserstoff-Infrastruktur
- Wertschöpfung durch Wasserstoff
- Wasserstoff in Richtlinien, Vorschriften und Programmen
- Wasserstoff-Akzeptanz und Bildung.

Im Handlungsfeld „Wasserstoff-Infrastruktur“ setzt die Strategie auf die Prüfung möglicher Standorte für Wasserstoff-Hubs, an denen die Nachfrage und das Angebot von grünem Wasserstoff zusammengeführt werden. Aus Sicht der norddeutschen Länder ist es nämlich insbesondere in der Anfangsphase der Wasserstoffwirtschaft notwendig, mehrere Segmente der Wasserstoff-Wertschöpfungskette an gemeinsamen Standorten zu konzentrieren (vgl. ebd., S. 16). Es soll außerdem die Nachfrage für das Jahr 2025 prognostiziert werden und daraufhin eine bedarfsorientierte Tankstelleninfrastruktur gefördert werden (vgl. ebd., S. 28).

Die Strategie setzt im zweiten Handlungsfeld „Wertschöpfung durch Wasserstoff“ auf die Erstellung von einem Standort-, Ansiedlungs- und Marketingkonzept. Mit diesen Konzepten sollen mögliche Branchen und Standorte ausgewählt werden, die dann unterstützt und weitergefördert werden können (vgl. ebd., S. 30).

Im Handlungsfeld „Wasserstoff in Richtlinien, Vorschriften und Programmen“ wollen die norddeutschen Bundesländer ihre Möglichkeiten ausschöpfen, die Wasserstoffwirtschaft zu fördern. Im Bereich der Richtlinien sollen diese so angepasst werden, dass im Bereich der Beschaffungen zum Beispiel Wasserstofffahrzeuge erworben werden, um so den Bedarf an Wasserstoff zu erhöhen und einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten (vgl. ebd., S. 25).

Das Handlungsfeld „Wasserstoff-Akzeptanz und Bildung“ dient dazu, die Öffentlichkeit für die Thematik zu sensibilisieren. Dies möchte man durch die Einführung

einer neuen Internetseite und weitere Maßnahmen der Öffentlichkeitsarbeit realisieren. Auf der Internetseite sollen viele Informationen rund um das Thema Wasserstoff gesammelt werden. Weiterhin soll das Thema Wasserstoff verstärkt im Bereich der Bildung integriert werden.

WASSERSTOFF UND BERUFLICHE BILDUNG

Die norddeutsche Wasserstoffstrategie sieht in ihrem Handlungsfeld „Wasserstoff-Akzeptanz und Bildung“ vor, dass bei den Lernenden Kompetenzen im Bereich Wasserstoff entwickelt werden sollen und daher Lernbereiche zum Wasserstoff in die Lehrpläne zu integrieren sind. Bis zum Ende des Jahres 2020 wollen die norddeutschen Bundesländer ermitteln, in welchem Umfang und in welcher Tiefe die Thematik Wasserstoff in den Lehrplänen enthalten ist. In dieser Betrachtung sollen die Bereiche der schulischen Bildung, der Hochschulausbildung, der Berufsausbildung sowie der Weiterbildung bedacht werden (vgl. WIRTSCHAFTS-UND VERKEHRSMINISTERIEN DER NORDDEUTSCHEN KÜSTENLÄNDER 2019, S. IX).

Auf Grundlage der Bestandsaufnahme sollen dann bis zum zweiten Quartal 2021 Vorschläge unterbreitet werden, wie das Thema Wasserstoff als ein fester Bestandteil in die schulische Bildung sowie in geeigneten Bildungsgängen der Berufsausbildung und Weiterbildung integriert werden kann. Hierbei sollen auch Fortbildungsprogramme für die Genehmigungsbehörden und andere Institutionen entwickelt werden (vgl. ebd., S. IX).

Durch die offen gehaltenen Lernfeldcurricula lässt sich sowohl bei den handwerklichen wie auch bei den industriellen Elektroberufen die Thematik „Wasserstofftechnologie“ im Lernfeld 5 „Elektroenergieversorgung (...) gewährleisten“ integrieren. Dies ist sinnvoll, da in diesem Lernfeld bereits Möglichkeiten der Elektroenergieversorgung nach funktionalen, ökonomischen und ökologischen Aspekten betrachtet werden. Auch der Wasserstoff als eine Möglichkeit der Energiespeicherung kann hier unter den angesprochenen Aspekten mit gedacht werden.

Für den Ausbildungsberuf „Elektroniker/-in für Betriebstechnik“ empfiehlt sich zusätzlich eine Integration in das Lernfeld 6 „Geräte und Baugruppen in Anlagen analysieren und prüfen“. Hier ließen sich der Aufbau und die Funktionsweise der Elektrolyseure integrieren. In diesem Lernfeld ist vorgesehen, dass die Schülerinnen und Schüler bereits nach Kundenanforderungen Änderungs- und Instandsetzungsaufträge von Anlagen planen und organisieren, daher könnte hier auch auf die Besonderheiten von Elektrolyseuren eingegangen werden.

Neben der Berufsschule bieten sich auch weitere Bildungsgänge an berufsbildenden Schulen an, um die Wasserstofftechnologie zu thematisieren. In der Berufsfachschule 3 (BSF III) bspw. bei den Assistenten für regenerative Energien und Energiemanagement und im Beruflichen Gymnasiums (BG) im Bereich Technik kann das Thema Wasserstoff eingebunden werden.

EINE ZUKUNFT OHNE „GRÜNEN“ WASSERSTOFF?

Fast schon wie eine politische Kehrtwende lassen sich die derzeitigen Signale aus der Politik hinsichtlich der Förderung und des Ausbaus der Wasserstofftechnologie bezeichnen. Bis vor kurzem erschien die Elektromobilität noch als die „gehypete“ deutsche Innovationstechnologie für eine nachhaltige Mobilität unangefochten zu sein. Nun mehren sich Initiativen und Vorstöße hin zu einer Nutzung der Wasserstofftechnologie als eine nachhaltigere Strategie zur Mobilitätssicherung. Für das Bundesland Schleswig-Holstein und für die weiteren Küstenländer eröffnet sich dadurch eine Chance, als Produktions- und Vermarktungsstandort Arbeitsplätze in einem ökologisch und ökonomisch sinnvollen Beschäftigungsfeld langfristig schaffen zu können. Die berufliche Bildung könnte durch die Nutzung curricularer Spielräume bereits für diese Entwicklungen ein kompetenzbasiertes Fundament vorhalten. Berufsbildende Schulen könnten bereits jetzt eine Profilbildung innerhalb des Schulprogrammes entwickeln bspw. im Bereich der Fahrzeugtechnik, hier wird es ähnlich wie bei den Elektrofahrzeugen vermutlich mittelfristig eine neue Schwerpunktbildung zu mit Wasserstoff betriebenen Fahrzeugen geben.

Die Nutzung von „grünem“ Wasserstoff kann als ein Baustein einer nachhaltigen Energiewirtschaft eingeschätzt werden. Die Technik ist bereits seit Jahren entwickelt, erprobt und verfügbar. Somit bestehen keine großen Investitionen in Forschung und Entwicklung. Die bereits initiierten Umsetzungsprojekte schaffen Akzeptanz und können hinsichtlich einer stärkeren Marktdurchdringung Empfehlungen erarbeiten. Die Politik hat Wasserstoff als Innovationstreiber entdeckt. Für Nachnutzungskonzepte und für die Speicherung von Energie aus Überkapazitäten erscheint die Wandlung in Wasserstoff ideal. Die berufliche Bildung ist bereits heute aufgefordert, in ihren Bildungsgängen und Ausbildungsberufen das Thema Wasserstofftechnologie integrativ zu denken. Somit ist aus Sicht der Autoren eine Energiezukunft ohne grünen Wasserstoff nicht mehr denkbar. Aufgefordert sind alle diejenigen, die Interesse an dieser Technologie haben und deren Notwendigkeit erkennen, die Umsetzung auch in der beruflichen Bildung voranzutreiben.

Literatur

- BWE (2018a): Effiziente Flächennutzung durch Repowering und Weiterbetrieb von Windenergieanlagen. Online verfügbar unter: https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/sonstiges-oeffentlich/themen/04-politische-arbeit/20181214_Effiziente_Flaechennutzung.pdf (Zugriff am 08.11.2019).
- BWE (2018b): Rückbauverpflichtung bei Windenergieanlagen. Online verfügbar unter: https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/hintergrundpapiere-oeffentlich/themen/Technik/20180611_bwe_hintergrundpapier_rueckbau.pdf (Zugriff am 08.11.2019).
- DLR (2015): Studie über die Planung einer Demonstrationsanlage zur Wasserstoff-Kraftstoffgewinnung durch Elektrolyse mit Zwischenspeicherung in Salzkavernen unter Druck. Online verfügbar unter: http://www.lbst.de/ressourcen/docs2015/BMBF_0325501_PlanDelyKaD-Studie.pdf (Zugriff am 19.11.2019).
- EEG (2000): Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG) sowie zur Änderung des Energiewirtschaftsgesetzes und des Mineralölsteuergesetzes vom 29. März 2000. Online verfügbar unter: https://www.clearingstelle-eeg-kwkg.de/sites/default/files/5-EEG_2000_BGBI-I-305.pdf (Zugriff am 07.11.2019).
- EEG (2004): Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich vom 21. Juli 2004. Online verfügbar unter: https://www.clearingstelle-eeg-kwkg.de/sites/default/files/private/active/O/8-Gesetzestext_BGBI-I-2004-1918.pdf (Zugriff am 07.11.2019).
- EEG (2014): Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG 2017). Online verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/BjNR106610014.html (Zugriff am 07.11.2019).
- FOCKENBROCK, D. (2019): Bahnverkehr. Durchbruch für Wasserstoff-Züge – Alstom setzt auf Wachstum in Deutschland. Online verfügbar unter: <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/handel-konsumgueter/bahnverkehr-durchbruch-fuer-wasserstoff-zuege-alstom-setzt-auf-wachstum-in-deutschland/24364778.html> (Zugriff am 07.11.2019).
- GRIMM, A. (2014): Facharbeit im Kontext von „Smart Grid“. In: lernen & lehren, 29. Jg. (Heft 115), S. 109-115.
- H2 MOBILITY DEUTSCHLAND GMBH & Co. KG (2018): Häufige Fragen. Fragen zu H2-Kosten, Bezahlung & Rechnung. Online verfügbar unter: <https://h2.live/faq> (Zugriff am 19.11.2019).
- HEIER, S. (2018): Windkraftanlagen. Systemauslegung, Netzintegration und Regelung. 6., aktualisierte und verbesserte Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- H-TEC (2020): <https://www.h-tec.com/produkte/me-100350/> (Zugriff am 10.08.2020)
- HYDROGEIT (2016): LOHC – Eine Pfandflasche für Wasserstoff. Online verfügbar unter: <https://www.hzwei.info/blog/2016/05/11/lohc-eine-pfandflasche-fuer-wasserstoff/> (Zugriff am 07.11.2019).
- KEYOU (2019): DEUTZ setzt langfristig auf KEYOU-inside Technik und den CO2-freien Wasserstoffmotor. Online

verfügbar unter: https://www.keyou.de/wp-content/uploads/2019/03/PM_KEYOU_DEUTZ_K-Version_final-1.pdf (Zugriff am 07.11.2019).

MEEREIS, J.; LUTZ-KULAWIK, T.; RICKERT, M.; SITNER, A.; DITTBERNER, E.; MEEREIS, H. (2019): Potentialstudie Wasserstoffwirtschaft. Online verfügbar unter: https://ee-sh.de/de/dokumente/content/Berichte_Studien/2019-09-06-Potentialstudie-H2-NF-Endfassung-L-Web.pdf (Zugriff am 01.11.2019).

MÜLLER, K. (2018): Zielführende Weiterentwicklung von Energietechnologien. Nutzung von Stoffdatenscreening zur Optimierung von thermochemischen Prozessen. Wiesbaden: Springer Vieweg.

QUENTIN, J.; SUDHAUS, D.; ENDELL, M. (2018): Was tun nach 20 Jahren? Repowering, Weiterbetrieb oder Stilllegung von Windenergieanlagen nach Förderende. Online verfügbar unter: https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/Veroeffentlichungen/FA_Wind_Was_tun_mit_WEA_nach_20Jahren.pdf (Zugriff am 01.11.2019).

SH-Netz AG (o. J.): Wasserstoff Einspeisung Klanxbüll. Online verfügbar unter: <https://www.sh-netz.com/de/>

schleswig-holstein-netz/innovation/wasserstoff-einspeisung-klanxbuell.html (Zugriff am 24.07.2019).

TENNET (2019): EEG-Anlagenstammdaten TenneT TSO GmbH zur Jahresabrechnung 2018. Online verfügbar unter: <https://www.netztransparenz.de/EEG/Anlagenstammdaten> (Zugriff am 01.11.2019).

TWELE, J.; LIERSCH, J. (2016): Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Windkraftanlagen. In: Gasch, R.; Twele, J.; Bade, P.; Conrad, W.; Heilmann, C. (Hrsg.): Windkraftanlagen. 9., überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg.

UBA (2019): Klimaschutzziele Deutschlands: Umweltbundesamt. Berlin. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/klimaschutzziele-deutschlands> (Zugriff am 28.11.2019).

Wirtschafts- und Verkehrsministerien der norddeutschen Küstenländer (2019): Norddeutsche Wasserstoffstrategie. Online verfügbar unter: <https://www.hamburg.de/contentblob/13179812/f553df70f865564198412ee42fc8ee4b/data/wasserstoff-strategie.pdf> (Zugriff am 28.11.2019).

Niedervolt-Hybridisierung von Fahrzeugen

– Welche Konsequenzen ergeben sich für die Berufsausbildung zur Kraftfahrzeugmechatronikerin und zum Kraftfahrzeugmechatroniker?



TIM RICHTER-HONSBROK

Durch die Entwicklung von Hybrid-Fahrzeugen unterschiedlicher Bauweise hat sich die Anzahl und Art der in Fahrzeugen verbauten Energiespeichersysteme verändert. Eine wachsende Zahl an Fahrzeugherstellern verwendet 48-V-Systeme in ihrer Fahrzeugpalette, womit ein drittes Bordnetz etabliert wird. Die Attraktivität von 48-V-Hybridantrieben – also Niedervolt-Hybridantrieben – begründet sich vor allem durch den ab diesem Jahr EU-weit geltenden Emissionsgrenzwert von 95 g CO₂ pro gefahrenen Kilometer. Der Einsatz dieser Technik hat Folgen für die Facharbeit in den Kfz-Werkstätten sowie für die Ausbildung von Kraftfahrzeugmechatronikerinnen und -mechatronikern. In diesem Beitrag wird ein Überblick über unterschiedliche Bordnetzstrukturen in modernen Fahrzeugen gegeben, um Konsequenzen für die Facharbeit und den berufsschulischen Unterricht aufzuzeigen.

UNTERSCHIEDUNG VON BORDNETZEN UND HYBRIDISIERUNGSGRADEN

Der Hybridisierungsgrad eines Fahrzeugs bestimmt sich durch das Verhältnis von elektrischer Antriebsenergie zur gesamten Antriebsenergie des Fahrzeugs. Infolgedessen werden Micro-, Mild-, Voll-Hybrid- und Plug-in-Hybridantriebe unterschieden. Ein Hybrid mit Plug-in-Technik ist ein Fahrzeug mit einem Voll-

Hybridantrieb und der Möglichkeit, den Energiespeicher eines Fahrzeugs sowohl über den Verbrennungsmotor als auch über eine externe Stromquelle zu laden. Wie die Abbildung 1 veranschaulicht, ergeben sich durch die Anordnung der E-Maschine im Antriebsstrang unterschiedliche Topologien. Bei einem PO-Hybrid ist die E-Maschine als Startergenerator im konventionellen Riemenrieb des Verbrennungsmotors untergebracht und bei einem P1-Hybrid auf der Schwungradseite. Bei-

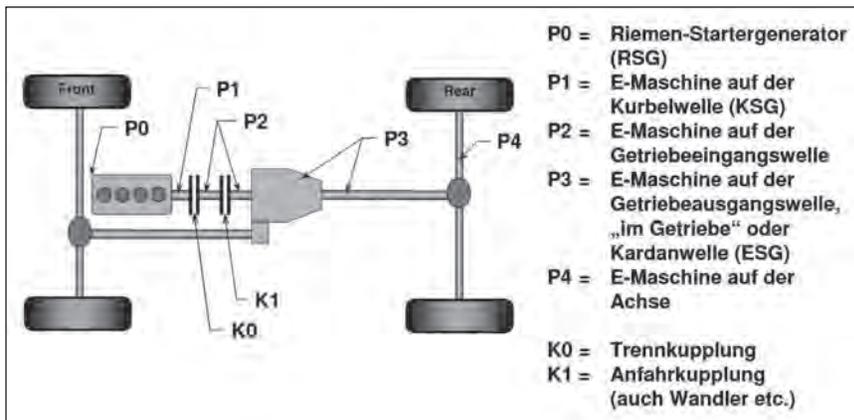


Abb. 1: Unterschiedliche Hybrid-Topologien in Abhängigkeit der Anordnung der E-Maschine (Quelle: HACKMANN 2008).

zeuge sind mit einer EFB-Batterie (Enhanced Flooded Battery), einer zyklenfesten Starterbatterie mit flüssigem Elektrolyt, ausgerüstet. Diese Batterie, die eine Weiterentwicklung der klassischen Blei-Säure-Batterie darstellt, zeichnet sich aufgrund eines Polyvlies-Materials auf der Oberfläche der positiven Platte durch eine höhere Belastbarkeit aus. Die Notwendigkeit der erhöhten Zyklenfestigkeit ergibt sich aufgrund der funktionsbedingten höheren Anzahl an Motorstarts.

de Varianten zeichnen sich durch eine direkte Kopplung mit der Kurbelwelle aus. In einer P2-Topologie ist die E-Maschine zwischen dem Verbrennungsmotor und dem Getriebe in den Antriebsstrang integriert. Kennzeichnend für P3- und P4-Topologien ist die Positionierung der E-Maschine nach dem Getriebe oder dem Ausgleichsgetriebe. In der Abbildung 1 nicht aufgeführt ist eine weitere Option, die P5-Topologie. Dabei sind die E-Maschinen in den Radnaben als Direktantrieb angeordnet. Folglich ermöglichen P4- und P5-Anordnungen eine Allradfunktion (E-Allrad).

Im Folgenden wird sowohl zwischen verschiedenen elektrochemischen Energiespeichern in Fahrzeugen als auch zwischen unterschiedlichen Hybridisierungsgraden differenziert, wobei abhängig von den Speichertechnologien unterschiedliche Hybridisierungsgrade realisierbar sind. Das Hauptaugenmerk wird bei dieser Betrachtung auf 48-V-Bordnetze gelegt.

12-V-Bordnetz mit Bleiakкумуляtor: Fahrzeuge mit Micro-Hybridantrieben

Sofern das Fahrzeug ausschließlich mit einem Blei-Säure-Akkumulator (Nassbatterie¹) ausgestattet ist, besteht die Aufgabe dieses Speichers darin, ausreichende elektrische Energie für den Startvorgang des Verbrennungsmotors, für Verbraucher bei Motorstillstand zur Verfügung zu stellen, die Bordnetzspannung zu stabilisieren sowie die vom Drehstromgenerator gelieferte elektrische Energie zu speichern. Der Elektrolyt der klassischen Blei-Säure-Batterie kann in flüssiger Form oder als Gel vorhanden sein.

Fahrzeuge, die über eine Start-Stopp-Funktion verfügen, können als Micro-Hybridfahrzeug bezeichnet werden. Durch die Start-Stopp-Automatik wird der Verbrennungsmotor bei kurzen Phasen des Fahrzeugstillstands zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs ausgeschaltet. Bei Betätigung des Kupplungspedals wird der Motor über den Ritzelstarter wieder gestartet. Diese Fahr-

Fahrzeuge mit einer Start-Stopp-Automatik und Rekuperation-Funktion (Bremsenergie-rückgewinnung) sind mit einer AGM-Batterie (Absorbent Glass Mat) ausgestattet. Der Elektrolyt ist in einem Glasvlies, welches die Funktion der Separatoren übernimmt, gebunden. In Rekuperationsphasen dient die Batterie als Zwischenspeicher, um die erzeugte elektrische Energie aufzunehmen und bei Bedarf in das Bordnetz einzuspeisen.

Hochvolt (HV)-Bordnetz mit Nickelmetallhydrid- oder Lithium-Ionen-Akkumulator: Mild-, Voll- und Plug-in-Hybridantrieb

In Hybridfahrzeugen mit HV-Bordnetz – also mit einer Wechselspannung von 30 V bis 1.000 V und/oder einer Gleichspannung von 60 V bis 1.500 V – kommen für das 12-V-Bordnetz eine Blei-Säure-Batterie und für das HV-Antriebssystem ein Nickelmetallhydrid- oder Lithium-Ionen-Energiespeicher zum Einsatz. Dabei handelt es sich um relativ schwere und groß dimensionierte Komponenten. Bis auf den DC/DC-Wandler ist das HV-Netz vollständig vom 12-V-Bordnetz getrennt. Das bedeutet, dass die elektrischen Verbraucher, die sich außerhalb des HV-Systems befinden (wie bspw. der Ritzelstarter oder die lichttechnischen Einrichtungen), über das 12-V-Bordnetz versorgt werden.

Im Gegensatz zu Mild-Hybridantrieben erlauben es Voll-Hybridantriebe ausschließlich mit dem Verbrennungsmotor, in Kombination mit dem E-Motor und rein elektrisch zu fahren. Der HV-Akkumulator ist ein entscheidender Kostentreiber bei derartigen Fahrzeugen und zugleich eine Schlüsselkomponente in Bezug auf das rein elektrische Fahren mit einer sinnvoll nutzbaren Reichweite. Die hohe Spannungslage erfordert besondere Vorkehrungen zum Personenschutz. Erst wenn ein vollständiger Berührungs- und Lichtbogenschutz gegenüber dem HV-System gegeben ist, gilt ein HV-Fahrzeug als eigensicher. Die technische Realisierung ist bei der Fahrzeugentwicklung entsprechend aufwendig und kostspielig.

48-V-Bordnetz mit Lithium-Ionen-Akku: Mild-Hybrid, Voll- und Plug-in-Hybridantrieb

Der Einsatz der 48-V-Technologie ist nicht mehr Serienfahrzeugen der Oberklasse vorbehalten, sondern wird von den Fahrzeugherstellern plattform- und segmentübergreifend eingesetzt. Spätestens die Markteinführung des VW Golf 8 mit 1,5-l-eTSI-Motor im Jahr 2020 zeigt, dass diese Technologie auch im Volumensegment Einzug gefunden hat.

Technisch besteht ein 48-V-Bordnetzsystem im Wesentlichen aus einem Startergenerator mit integriertem Inverter, einem DC/DC-Wandler sowie einer 48-V-Speichereinheit. Ist der Startergenerator in den Riemetrieb integriert, wie es die Abbildung 2 veranschaulicht, sind zusätzlich ein Keilrippenriemen und ein Riemenspanner erforderlich. Zudem wird deutlich, dass das 12-V-Bordnetz nicht durch das 48-V-Bordnetz abgelöst wird. Ein 48-V-Hybridfahrzeug arbeitet folglich mit zwei unterschiedlichen Bordnetzspannungen und zwei unterschiedlichen Energiespeichern.

Der Startergenerator, die E-Maschine, ermöglicht die Wandlung kinetischer in elektrische Energie zum Laden der Energiespeicher. Zudem dient er als Starter und E-Motor zur Unterstützung des Verbrennungsmotors, bspw. beim Anfahren.

Der DC/DC-Wandler stellt die „Brücke“ zwischen dem 12-V-Bordnetz und dem 48-V-System dar, indem er die Spannung des 48-V-Systems auf das Niveau des 12-Volt-Bordnetzes heruntersetzt. Bidirektionale DC/DC-Wandler ermöglichen den Energietransfer in beide Richtungen – also auch vom 12-V- zum 48-V-System. Dadurch kann ein entladener Akkumulator aus dem jeweils anderen Netz geladen und mehr Leistung bereitgestellt werden, wenn in einem der Bordnetze eine Überlastung auftritt (vgl. ROECKER 2018, S. 24).

Der 48-V-Akkumulator ist eine weitere wesentliche Komponente im 48-V-System. Zum Einsatz kommt ein Lithium-Ionen-Akkumulator. Die Abmessungen der

durch die Abbildung 3 exemplarisch dargestellten Speichereinheit entsprechen denen eines Schuhkartons. Laut der Firma Bosch, dem Hersteller, ist kein System zur aktiven Kühlung notwendig (vgl. EBERG 2017), obwohl Lithium-Ionen-Akkus temperaturempfindlich sind. Die Kapazität dieser Speichereinheit ist ausreichend, um die Verbraucher im Fahrzeug auch in längeren Stillstandphasen des Verbrennungsmotors mit elektrischer Energie zu versorgen, ohne dass dieser eingeschaltet werden muss. Auf diese Weise kann der Kraftstoffverbrauch gesenkt und die Emission von Schadstoffen reduziert werden.



Abb. 3: 48-V-Lithium-Ionen-Akku mit passiver Kühlung und in der Größe eines Schuhkartons von BOSCH (Quelle: <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/de/neue-hybrid-batterie-von-bosch-%E2%80%93-erfolgsrezept-mit-48-volt-129984.html>)

Zu den innovativen Funktionen des 48-Volt-Netzes gehört vor allem die kurzfristige Unterstützung des Verbrennungsmotors durch den Startergenerator (Boosten). Auf diese Weise können die Schwächen eines auf Verbrauchsoptimierung ausgelegten Verbrennungsmotors mit verhältnismäßig geringem Hubraum ausgeglichen und ein ausreichendes Antriebsdrehmoment zur Verfügung gestellt werden. Als „Coasting“ und „Segeln“ werden Phasen bezeichnet, in denen der Verbrennungsmotor während der Fahrt abgestellt und Kraftstoff eingespart wird. Bei der Fahrstrategie „Coasting“ erfolgt das Ausrollen ohne Antrieb, beim sogenannten Segeln wird die aktuelle Fahrzeuggeschwindigkeit gehalten. Durch Rekuperation wird im Schiebepetrieb und beim Bremsen elektrische Energie in das 48-V-Netz zurückgespeist.

Die Höhe der Spannung führt zu einer viermal größeren verfügbaren Leistung bei gleichbleibender Stromstärke.

Damit werden die Einsatzmöglichkeiten elektrischer Verbraucher deutlich erweitert. So lassen sich Nebenaggregate und weitere Komponenten vom Betrieb des Motors entkoppeln und bedarfsgerecht ansteuern. Beispielsweise ist mit einer elektrischen Kühlmittelpumpe eine höhere Pumpenleistung und Wirksamkeit des Motorkühlsystems realisierbar (vgl. PIERBURG 2015). Durch einen im Abgasturbolader integrierten E-Motor ist es möglich, das Ansprechverhal-

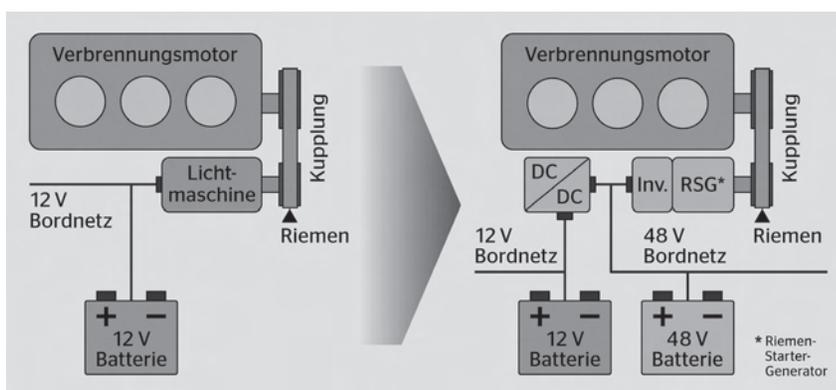


Abb. 2: Unterscheidung zwischen konventionellem 12-V-Bordnetz und 48-V-Bordnetz (PO/P1-Topologie) (Quelle: <https://www.all-electronics.de/niedervolt-hybridisierung-vor-dem-serieneinsatz/>)

weiter auf Seite 155

Bundesbildungsministerium startet Informationsoffensive zur Stärkung der beruflichen Bildung

Mit Beginn des Ausbildungsjahres hat Bundesbildungsministerin Anja Karliczek eine umfangreiche Informationsoffensive gestartet, um die berufliche Bildung zu stärken. Auf einem neuen Portal (www.die-duale.de) werden nun wichtige Informationen zur beruflichen Ausbildung zur Verfügung gestellt – auch mit Blick auf die aktuelle COVID 19-Pandemie. Dazu erklärt Bundesbildungsministerin Karliczek: „Das neue Ausbildungsjahr hat begonnen. Für viele junge Menschen beginnt damit jetzt ein neuer und wichtiger Lebensabschnitt. Denn eine berufliche Ausbildung ist eine gute Starttrampe für ein erfolgreiches Arbeitsleben.“

Das neue Ausbildungsjahr bleibt von der weiterhin aktuellen Corona-Pandemie nicht unberührt. Wir alle spüren ihre Auswirkungen. Die Wirtschaft verzeichnet in vielen Branchen Einbußen. Auch der Ausbildungsmarkt ist unter Druck: Die Zahl der Bewerberinnen und Bewerber für eine Ausbildung ist zurückgegangen, ebenso die Zahl der Ausbildungsplätze. Die Corona-Krise darf aber nicht zu einer Ausbildungskrise werden. Deshalb unterstützen wir die duale Berufsausbildung mit ganzer Kraft. Die Bundesregierung hat ein beispielloses Konjunkturpaket auf den Weg gebracht. Mit dem darin enthaltenen Programm ‚Ausbildungsplätze sichern‘ wollen wir die erheblich betroffenen kleinen und mittleren Unternehmen stärken und motivieren, gerade jetzt in Ausbildung zu investieren.

Eine Ausbildung lohnt sich! Das neue Berufsbildungsgesetz hat bereits zu Beginn des Jahres die Attraktivität

INTRO

In der Ausgabe 1/2020 der BAG Aktuell wurde hier an dieser Stelle auf das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung sowie vom Europäischen Sozialfonds geförderte Forschungs- und Entwicklungsvorhaben „LIKA-4.0 – Digital gestütztes, kooperatives Lernen im Kundenauftrag“, kurz LIKA-4.0, hingewiesen. Im Fokus der damaligen Replik stand die Frage, wie sich die konzeptionellen Elemente einer arbeitsprozess- und kompetenzorientierten Ausbildung so gestalten lassen, dass sich die gewünschten Effekte auf die betriebliche Ausbildung im Handwerk, u.a. eine stärkere Unterstützung der auszubildenden Gesellen bei der Planung und Umsetzung einer arbeitsprozess- und kompetenzorientierten Ausbildung mit Hilfe eines digitalgestützten „Ausbildungsmanagementsystems“, einstellen. Die vor diesem Hintergrund für das betriebliche Ausbildungspersonal im Handwerk gestaltete LIKA-Weiterbildung mit dem ebenfalls fast fertig gestellten digitalen Ausbildungsmanagementsystem im Mittelpunkt, wird nun voraussichtlich ab Frühjahr 2021 mit den Praxispartnern im Vorhaben erprobt werden können. Man darf gespannt sein, inwieweit sich die konzeptionellen Überlegungen in der Realität bewähren – Stichwort Gebrauchswert und (betrieblicher) Nutzen – und welche Erkenntnisse der Praxistest liefern wird. Die BAG Aktuell wird dazu weiter berichten.

Weitere Informationen zum Projekt LIKA-4.0 finden sich unter www.lika4punkt0.de/

Michael Sander

der beruflichen Bildung gesteigert. Mit neuen Fortbildungsbezeichnungen verdeutlichen wir, über welches Know-how beruflich Qualifizierte in unserem Land verfügen. Die Stärke unseres beruflichen Bildungssystems wird so anschaulicher. Mit der Mindestausbildungsvergütung wollen wir dazu beitragen, dass sich junge Menschen auch in den nächsten Jahren für eine berufliche Ausbildung entscheiden.

Die Änderungen im BBiG und die Vorteile einer Ausbildung sollen die Auszubildenden und ihre Familien erreichen. Deshalb startet das Bundesbildungsministerium mit Beginn des neuen

Ausbildungsjahres eine breit angelegte Informationskampagne. Auf unserem neuen Portal www.die-duale.de finden sich wichtige Informationen zum Thema Aus- und Fortbildung und zu den Auswirkungen der Corona-Pandemie auf die berufliche Bildung. Erfolgsgeschichten sollen zudem veranschaulichen, wie stolz wir auf unser System sein können. Die duale Berufsausbildung macht die groß, die uns großmachen. Auch in Zukunft ist sie ein Garant für unsere Wirtschaftskraft.“ Quelle: BMBF-Pressemitteilung 110/2020 | 10.08.2020

WAS UND WANN

Online-Tagung: „Hybrides Lernen: ein Zukunftskonzept für die gewerblich-technische Berufsbildung – Innovation nicht nur für Krisenzeiten“ am 26. Februar 2021 in der Zeit von 14:00 bis 18:00 Uhr

Einlass ab 13:30 Uhr auf www.bag-elektrometall.de

Hochschultage Berufliche Bildung vom 15.-17. März 2021 in Bamberg auf den 28.-30.03.2022 verschoben

ZUSATZQUALIFIKATIONEN IN DER BERUFLICHEN AUSBILDUNG

– **BIBB-Sonderauswertung liefert bundesweite Übersicht der Kammerangebote**

Erstmals legt das Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB) mit einer aktuellen Veröffentlichung Zahlen, Daten und Fakten zu den geregelten Zusatzqualifikationen in der beruflichen Erstausbildung im Bereich der Kammern vor. Die Sonderauswertung der Datenbank „AusbildungPlus“ liefert einen Überblick über diejenigen Zusatzqualifikationen, die durch Rechtsverordnungen der Kammern geregelt sind - also ein formales Verfahren durchlaufen und mit einer Prüfung vor der Kammer enden. Die Publikation bietet allen Akteuren in der beruflichen Bildung vielfältige Daten und Informationen, die zum Beispiel im Bereich der beruflichen Orientierung für die Karriereplanung hilfreich sein können.

In der BIBB-Datenbank „AusbildungPlus“ waren zum Stichtag 30. November 2018 insgesamt 244 kammergeregelte Rechtsverordnungen dokumentiert. Davon entfallen 214 Zusatzqualifikationen auf die Industrie- und Handelskammern (IHK) und 30 auf die Handwerkskammern (HWK). Inhaltlich lassen sich die kammergeregelten Verordnungen acht Themenschwerpunkten zuordnen. Die meisten Zusatzqualifikationen finden sich bei den internationalen Qualifikationen/Fremdsprachen mit 103 Verordnungen, gefolgt von Zusatzqualifikationen im kaufmännischen Bereich mit 61. Auf den Bereich Technik/Technologie entfallen 42 Verordnungen, weitere 27 auf Tourismus und Gastronomie. Die restlichen 11 verteilen sich auf die Medien und Telekommunikation (4), Informationstechnologie (3), Körperpflege

und Gesundheit (2) sowie Sonstiges (2). Der mit Abstand größte Teil der Rechtsverordnungen findet sich in Baden-Württemberg (82), gefolgt von Nordrhein-Westfalen (47).

Kammergeregelte Zusatzqualifikationen sind ein Teil eines umfangreichen Angebots in der beruflichen Erstausbildung. Für Betriebe sind Zusatzqualifikationen ein flexibel einsetzbares und vielseitig gestaltbares Instrument, um eine vorausschauende Qualifizierungspolitik zu betreiben. Sie ermöglichen es Unternehmen, aktuelle und spezifische Anforderungen - zum Beispiel durch den digitalen Wandel - schon während der Ausbildung zusätzlich zu integrieren.

Auch für Auszubildende stellen Zusatzqualifikationen ein attraktives Format dar, denn der Erwerb zusätzlicher berufsspezifischer oder berufsübergreifender Kompetenzen wertet den Berufsabschluss auf und verbessert die Chancen beim Eintritt in den Arbeitsmarkt. Mit Zusatzqualifikationen können Auszubildende einen Nachweis erwerben, mit dem sie dokumentieren, dass sie ihre beruflichen Kompetenzen vertieft, erweitert oder sich bereits auf einen Fortbildungsabschluss vorbereitet haben. Wer während der Ausbildung eine Zusatzqualifikation erwirbt, verbessert seine Karrierechancen.

Das seit 2015 eigenständig vom BIBB betriebene Fachportal „AusbildungPlus“ gibt es seit 2001. „Herzstück“ ist eine Datenbank, die bundesweit über duale Studiengänge und Zusatzqualifikationen in der dualen Berufsausbildung informiert. Interessierte können die Datenbank nach passenden Angeboten durchsuchen. Anbieter - wie Betriebe, (Fach-)Hochschulen oder Berufsakademien - können ihre Ausbildungs- und Studienangebote kostenlos veröffentlichen.

Die Publikation „AusbildungPlus: Zusatzqualifikationen in Zahlen

2019 – Sonderauswertung der Kammerangebote“ finden Sie als kostenlosen Download im Internetangebot des BIBB unter www.bibb.de/ausbildungplus/de/index.phpQuelle: BIBB-Pressemitteilung 32/2020 | 11.08.2020

PUBLIKATION:

Einsatz von E-Portfolios in der beruflichen Bildung

Die Publikation „E-Portfolio in der beruflichen Erstausbildung - Das Ausbildungsportfolio als Instrument zur Lernreflexion und als digitaler Ausbildungsnachweis“ benennt Erfolgsfaktoren „digitaler Sammelmappen“ in der Berufsbildung. Sie steht als kostenloser Download zur Verfügung. Das auf der Arbeit im BMBF-geförderten Projekt „Kompetenzwerkstatt@tt 2.0“ basierende Tool „Ausbildungsportfolio der Kompetenzwerkstatt - Mein Beruf“ fördert die Verknüpfung von Lernerfahrungen an variierenden Lernorten und fungiert zugleich als digitaler Ausbildungsnachweis.

Ein nun veröffentlichter Erfahrungsbericht bietet einen theoretisch informierten Einblick in den kooperativen Prozess der Entwicklung und Implementierung des Ausbildungsportfolios in die Berufsausbildung von Tiermedizinischen Fachangestellten und zeigt Erfolgsfaktoren von E-Portfolio-Arbeit in der beruflichen Bildung auf.

Quelle und Downloadhinweis unter <https://www.qualifizierungdigital.de/de/publikation-einsatz-von-e-portfolios-in-der-beruflichen-bildung-6252.php/>

BAG-Fachtagung „All Days For Future! Energievielfalt in der gewerblich-technischen Berufsbildung“ im März 2021 fällt Corona-bedingt aus!

Die am 19./20. März 2021 an der Beruflichen Schule für Anlagen- und Konstruktionstechnik (BS13) in Hamburg-Wilhelmsburg geplante BAG-Fachtagung „All Days For Future! Energievielfalt in der gewerblich-technischen Berufsbildung“ muss leider Corona-bedingt abgesagt werden. Da aktuell nicht sicher davon auszugehen ist, dass die Pandemiesituation bis zum kommenden Frühjahr überwunden ist, können an Schulen keine Veranstaltungen mit einer größeren Teilnehmerszahl geplant werden.

Diese nochmalige Absage bedauert der BAG-Vorstand sehr! Stattdessen ist eine Online-Tagung „Hybrides Lernen“ in Planung.

SAVE THE DATE:

BAG-Online-Fachtagung „Hybrides Lernen: ein Zukunftskonzept für die gewerblich-technische Berufsbildung – Innovation nicht nur für Krisenzeiten“ (Arbeitstitel) am 26. Februar 2021

Aus der aktuellen Pandemiesituation ergeben sich für die Berufliche Bildung neue Herausforderungen. Die notwendigen Hygienemaßnahmen bringen für die Beruflichen Schulen, wie auch für die ausbildenden Betriebe, vielfältige Probleme mit sich. Als eine mögliche Lösung rückt „Hybrides Lernen“ immer stärker ins Bild, eine Unterrichtsform im Wechsel zwischen Präsenz- und Online-Lernen, die es ermöglicht, die Zahl der Lernenden in einem Raum zu verringern und damit die AHA-Regeln einzuhalten. Aber wie sind Lehr-Lern-Arrangements und Inhalte speziell in gewerblich-technischen Fachrichtungen zu planen und umzusetzen? Wo liegen die Fallstricke und Hindernisse? Welche Voraussetzungen sind in dieser Situation erforderlich? Und welche Erfahrungen liegen bereits vor?

Antworten auf diese und andere Fragen soll unsere Online-Fachtagung „Hybrides Lernen: ein Zukunftskonzept für die gewerblich-technische Berufsbildung – Innovation nicht nur für Krisenzeiten“ (Arbeitstitel) am 26. Februar 2021 in der Zeit von 14:00 bis 18:00 Uhr geben.

Der Titel weist darauf hin, dass die Krise auch als eine Chance gesehen werden kann und sollte, neue Konzepte für künftiges berufliches Lernen zu entwickeln.

Weitere Informationen zu den Inhalten und für die Teilnahme werden wie immer auf der BAG-Homepage unter www.bag-elektrometall.de zu finden sein.

BAG IN KÜRZE

Plattform zu sein für den Dialog zwischen allen, die in Betrieb, berufsbildender Schule und Hochschule an der Berufsbildung beteiligt sind – diese Aufgabe haben sich die Bundesarbeitsgemeinschaften gestellt. Ziel ist es, die berufliche Bildung in den jeweiligen Fachrichtungen Elektro-, Informations-, Metall- und Fahrzeugtechnik auf allen Ebenen weiterzuentwickeln.

Die Zeitschrift „lernen & lehren“ – als wichtigstes Organ der BAG – ermöglicht den Diskurs in einer breiten Fachöffentlichkeit und stellt für die Mitglieder der BAG regelmäßig wichtige Informationen bereit, die sich auf aktuelle Entwicklungen in den Fachrichtungen beziehen. Sie bietet auch Materialien für Unterricht und Ausbildung und berücksichtigt abwechselnd Schwerpunktthemen aus der Elektrotechnik und Informationstechnik sowie der Metalltechnik und Fahrzeugtechnik. Berufsübergreifende Schwerpunkte finden sich immer dann, wenn es wichtige didaktische Entwicklungen in der Berufsbildung gibt, von denen spürbare Auswirkungen auf die betriebliche und schulische Umsetzung zu erwarten sind.

Eine mittlerweile traditionelle Aufgabe der Bundesarbeitsgemeinschaften ist es, im zweijährlichen Turnus die Fachtagungen Elektrotechnik und Metalltechnik im Rahmen der HOCHSCHULTAGE BERUFLICHE BILDUNG zu gestalten und so einer breiten Fachöffentlichkeit den Blick auf Entwicklungstendenzen, Forschungsansätze und Praxisbeispiele in den Feldern der elektro-, informations- sowie metall- und fahrzeugtechnischen Berufsbildung zu öffnen. Damit geben sie häufig auch Anstöße, Bewährtes zu überprüfen und Neues zu wagen.

Die Bundesarbeitsgemeinschaften möchten all diejenigen ansprechen, die in der Berufsbildung in einer der Fachrichtungen

Elektro-, Informations-, Metall- oder Fahrzeugtechnik tätig sind, wie z. B. Ausbilder/-innen, (Hochschul-)Lehrer/-innen, Referendare und Studierende, wissenschaftliche Mitarbeiter/-innen sowie Vertreter/-innen von öffentlichen und privaten Institutionen der Berufsbildung. Sie sind herzlich eingeladen, Mitglied zu werden und die Zukunft mitzugestalten.

BAG IN IHRER NÄHE

Baden-Württemberg	Lars Windelband	lars.windelband@ph-gmuend.de
Bayern	Peter Hoffmann	p.hoffmann@alp.dillingen.de
Berlin/Brandenburg	Bernd Mahrin	bernd.mahrin@alumni.tu-berlin.de
Bremen	Olaf Herms	oharms@uni-bremen.de
Hamburg	Wilko Reichwein	reichwein@gmx.net
Hessen	Uli Neustock	u.neustock@web.de
Mecklenburg-Vorpommern	Christine Richter	ch.richter.hro@gmx.de
Niedersachsen	Matthias Becker	becker@ibm.uni-hannover.de
Nordrhein-Westfalen	Jürgen Lehberger	juergen.lehberger@t-online.de
Rheinland-Pfalz	Helmut Nicolay	nikolay@bnt-trier.de
Saarland	Markus Becker	m.becker@hwk-saarland.de
Sachsen	Martin Hartmann	martin.hartmann@tu-dresden.de
Sachsen-Anhalt	Klaus Jenewein	jenewein@ovgu.de
Schleswig-Holstein	Reiner Schlausch	reiner.schlausch@biat.uni-flensburg.de
Thüringen	Matthias Grywatsch	m.grywatsch@t-online.de

Hinweis für Selbstzahler:

Bitte nur auf das folgende Konto überweisen!

IBAN:

DE30 290 501 01 0080 9487 14

SWIFT-/BIC-Code:

SBREDE22XXX

BAG-MITGLIED WERDEN

www.bag-elektrometall.de/pages/BAG_Beitritt.html

www.bag-elektrometall.de

Tel.: 04 21/218-66 301

Konto-Nr. 809 487 14

IBAN: DE30 290 501 01 0080 9487 14

kontakt@bag-elektrometall.de

Fax: 04 21/218-98 66 301

Sparkasse Bremen (BLZ 290 501 01)

SWIFT-/BIC-Code: SBREDE22XXX

IMPRESSUM

Bundesarbeitsgemeinschaften für Berufsbildung in den Fachrichtungen

Elektro-, Informations-, Metall- und Fahrzeugtechnik e. V.

c/o ITB – Institut Technik und Bildung

Am Fallturm 1

28359 Bremen

04 21/218-66 301

kontakt@bag-elektrometall.de

Redaktion

Layout

Gestaltung

Michael Sander

Brigitte Schweckendieck

Winnie Mahrin

ten des Turboladers zu verbessern (vgl. BORGWARNER 2017). Die Einsatzmöglichkeiten der 48-V-Technologie sind keinesfalls auf den Antriebsstrang beschränkt. Die Klimatisierung des Fahrzeuginnenraums wird durch einen elektrischen Kältemittelverdichter von der Motordrehzahl entkoppelt und kann auf diese Weise auch in Phasen des Motorstillstands (z. B.: Start-Stopp-Automatik) betrieben werden. Zur Realisierung einer mechatronischen, aktiven Wankstabilisierung verbindet ein mechatronischer Aktuator die beiden Hälften eines Stabilisators. Diese können zur Erhöhung des Fahrkomforts voneinander entkoppelt oder gegeneinander torziert werden, um den Wankwinkel des Fahrzeugs bei sportlicher Fahrweise zu verringern (vgl. SAGEWKA et al. 2017, S. 62).

Ein weiterer Vorteil des 48-V-Bordnetzes liegt auf der Hand: Da sich das 48-V-Bordnetz unter der per Definition festgelegten Grenze der HV-Gleichspannung in Fahrzeugen befindet, handelt es sich um ein Niederspannungssystem, sodass auf aufwendige Schutzmaßnahmen – wie es bei Fahrzeugen mit HV-Bordnetzen erforderlich ist – verzichtet werden kann. Sicherheitsmaßnahmen in Bezug auf die Höhe der Wechselspannung werden durch die Zusammenfassung der Leistungselektronik und der E-Maschine zu einer Einheit vermieden (vgl. ECKENFELS et al. 2016, S. 67).

Die Firma Continental hat auf der Basis der 48-V-Technik einen Voll-Hybridantrieb entwickelt, sodass teilweise ein rein elektrisches Fahren bis zu einem Geschwindigkeitsbereich von 80 bis 90 km/h möglich ist. Die E-Maschine, die zwischen dem Verbrennungsmotor und dem Getriebe (P2-Hybrid) angeordnet ist, hat eine Spitzenleistung von 30 kW. Durch ein On-board-Ladesystem und eine größere Batterie ist in einem weiteren Entwicklungsschritt ein Plug-in-Hybridantrieb auf 48-V-Basis denkbar (vgl. CONTINENTAL 2019). Der Zulieferer Hella bietet eine innovative Batteriemodul-Lösung für Mild-Hybridfahrzeuge an, durch die die separaten 48-V- und 12-V-Speicher sowie der DC/DC-Wandler in einem Produkt vereint werden (Dual Voltage Batteriemangement). Durch das System, das den Bauraum eines konventionellen Blei-Säure-Akkumulators hat, können Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor auf einen Mild-Hybrid umgerüstet werden, wobei der 12-V-Energiespeicher entfällt (vgl. HELLA 2019).

KONSEQUENZEN FÜR DIE FACHARBEIT IN DEN KFZ-WERKSTÄTTEN

Unabhängig von der Diskussion, ob es sich bei der 48-V-Hybridisierung um eine „Brückentechnologie“ hin zur weltweiten Etablierung von E-Fahrzeugen oder um einen weiteren Schritt hin zur Entwicklung von hoch-effizienten Antriebstechnologien auf der Basis von Verbrennungsmotoren handelt (vgl. u. a. BALSIVUS et al. 2019, S. 32 ff.), ergeben sich Veränderungen für die Facharbeit in den Kfz-Werkstätten.

Die zunehmende technische Komplexität sowie die Variantenvielfalt von modernen Fahrzeugen stellt einen Treiber des Wandels der Facharbeit in den Kfz-Werkstätten und insbesondere der Kfz-Diagnosearbeit dar (vgl. Richter 2020, S. 47 ff.). Mit der wachsenden Bedeutung der 48-V-Technik nimmt die technische Komplexität des Antriebsstrangs zu. Dies begründet sich durch die höhere Komponentenanzahl sowie durch den höheren Vernetzungsgrad (vgl. ebd., S. 29 ff.). Die Veränderungen der Fahrzeugarchitektur beschränken sich nicht nur auf den Antriebsstrang, wie die bisherigen Ausführungen verdeutlicht haben. In Bezug auf die Facharbeit in den Kfz-Werkstätten sind die Handlungsfelder Wartung, Reparatur, Diagnose und Um-/Nachrüsten betroffen. Infolgedessen verändern sich die bereichsspezifischen internen Bedingungen, die die Bewältigung der Arbeitsaufgabe erfordern. So müssen sich die Fachkräfte bspw. Fachwissen über den Aufbau und die Funktion von 48-V-Hybridsystemen sowie den neuartigen Komponenten (bspw. die unterschiedlichen 48-V-Speichereinheiten und der Startergenerator) aneignen. Auch im Hinblick auf das Erfahrungswissen sind Umlernprozesse erforderlich. Denn bestimmte etablierte Verknüpfungen von Störungsursachen und Symptombildern verlieren an Bedeutung, sodass die Fachkräfte gefordert sind, sich mit neuartigen Fehlerbildern auseinanderzusetzen und neue Verknüpfungen zur Entwicklung von fallspezifischen Schemata zu entwickeln.

Festzuhalten ist, dass sich Veränderungen der Facharbeit bedingt durch die zunehmende Bedeutung der 48-V-Technik ergeben und sich auf die internen Leistungsressourcen der Fachkräfte auswirken. Welche Fähigkeit und Fertigkeiten bei der Wartung, Diagnose, Reparatur und beim Nachrüsten von 48-V-Hybridsystemen gefragt sind, kann im Rahmen dieses Beitrags nicht beantwortet werden, sondern erfordert eine fundierte Untersuchung – hier bietet sich die Anwendung berufswissenschaftlicher Methoden an.

KONSEQUENZEN FÜR DEN BERUFSSCHULISCHEN UNTERRICHT

Nicht jede technische Veränderung des Arbeitsgegenstands der Kfz-Fachkräfte, dem Fahrzeug, beeinflusst die Gestaltung von Lehr-Lernarrangements, aber Veränderungen der Facharbeit in den Kfz-Werkstätten sollten stets dazu führen, die Angemessenheit der im Unterricht zum Einsatz kommenden Lern- und Lehrmittel kritisch zu hinterfragen.

Die technischen Veränderungen, die sich durch die Integration des 48-V-Bordnetzes ergeben, beeinflussen u. a. die Auseinandersetzung mit Lade-, Start- und Bordnetzsystemen im berufsschulischen Unterricht. Bereits heute ist es vor dem Hintergrund des Grades der technischen Komplexität moderner Fahrzeuge fraglich, inwiefern die isolierte Betrachtung des Bauteils „Ritzelstarter“ angebracht ist. Sofern Fahrzeuge zunehmend mit

48-V-Bordnetzsystemen ausgerüstet werden, verliert die unterrichtliche Auseinandersetzung mit dem Bauteil „Drehstromgenerator“ an Bedeutung. Vielmehr gilt es, Lade-, Start- und Antriebssysteme als einen thematischen Komplex zu betrachten und im Unterricht immer wieder Zusammenhänge herauszuarbeiten. Denkbar ist es, die Auseinandersetzung mit dem 48-V-System schwerpunktmäßig im Lernfeld 6 „Funktionsstörungen an Bordnetz-, Ladestrom- und Startsystem diagnostizieren und beheben“ (KMK 2013, S. 15) anzuordnen. Aus der Beschreibung der Kernkompetenzen dieses Lernfeldes geht explizit hervor, dass die Entwicklung von Kompetenzen, um „Funktionsstörungen an Energieversorgungs-, Speicher- und Startsystemen unter Zuhilfenahme von Herstellerunterlagen und Diagnosegeräten zu diagnostizieren und diese zu beheben“ (ebd.), zu ermöglichen ist. Im Sinne des spiralcurricularen Prinzips sind die Grundlagen hierfür bereits im Lernfeld 3 „Funktionsstörungen identifizieren und beseitigen“ zu legen und Bezüge zu anderen relevanten Lernfeldern herzustellen (z. B.: zu den Lernfeldern 8 und 10).

Zugleich bietet sich aus der Perspektive der Lernenden die Chance, sich mit einem technisch-komplexen System auseinanderzusetzen sowie die technische und logische Architektur von (Teil-)Systemen als Elemente der gesamten Fahrzeugarchitektur zu verstehen. Die Thematisierung der 48-V-Bordnetztechnologie kann auch dazu genutzt werden, die Grundlagen für den Aufbau und die Funktion von HV-Systemen zu vermitteln. Um dies erreichen zu können, sind seitens der Lehrkräfte vorliegende Lernsituationen ebenso auf den Prüfstand zu stellen wie auch die vorhandenen Lehr-Lernmodelle, die bisher zum Einsatz gekommen sind, um den Lernenden bei der Entwicklung eines Verständnisses zu unterstützen.

ZUSAMMENFASSUNG

Die zunehmende Bedeutung von 48-V-Hybridsystemen ist ein Beispiel dafür, dass sich bedingt durch technologische Veränderungen von Fahrzeugen Konsequenzen für die Facharbeit in den Kfz-Werkstätten und für die Gestaltung von Lehr-Lernprozessen in der beruflichen Bildung ergeben. Durch den vorliegenden Beitrag konnte in diesem Kontext lediglich ein Eindruck vermittelt werden. Festzuhalten ist, dass von den Akteuren in der beruflichen Bildung zu prüfen ist, welche Bedeutung die 48-V-Technik in den vorhandenen Lernsituationen einnimmt, bei Bedarf Unterrichtsmedien zu überarbeiten und zu ergänzen, um die Schüler/-innen zur Instandhaltung und -setzung dieser Systeme zu befähigen.

Anmerkung

1) Die Begriffe „Akkumulator“ und „Batterie“ werden in diesem Beitrag synonym verwendet.

Literatur

- BLASIUS, T.; GRAOVAC, D.; SCHULZ-LINKHOLT, C. (2019): 48-V-Bordnetz – mehr als eine Brücken-Technologie? In: *Hanser automotive* 17 (11-12), S. 32-35.
- BORGWARNER (2017): Hybridtechnologien für 48V-Systeme – BorgWarner bringt Elektrisierung in der Automobilindustrie voran. Online verfügbar unter: https://cdn.borgwarner.com/docs/default-source/default-document-library/2017_whitepaper_borgwarner_48v_hybrid_technologies_de.pdf?sfvrsn=d46ab13c_10 (Zugriff am 13.09.2020).
- CONTINENTAL (2019): Geringe Spannung, hohe Leistung: Voll-Hybrid-Fahrzeug mit 48-Volt-High-Power-Technologie. Pressemitteilung vom 02.07.2019. Online verfügbar unter: <https://www.continental.com/de/presse/pressemitteilungen/2019-07-02-48v-high-power-176850> (Zugriff am 13.09.2020).
- EBBERG, J. (2017): Neue Hybrid-Batterie von Bosch Erfolgsrezept mit 48 Volt. Online verfügbar unter: <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/de/neue-hybrid-batterie-von-bosch-%E2%80%93-erfolgsrezept-mit-48-volt-129984.html> (Zugriff am 13.09.2020).
- ECKENFELS, T.; MAIER, C.; FINKENZELLE, M.; TRINKENSCHUH, A. (2016): 48-V-Hybridmodule. Mehr als ein Einstieg in die Elektrifizierung. In: *ATZelextronik* 11 (2), S. 64-71.
- HACKMANN, W. (2008): Fremderregte Synchronmaschinen im Einsatz als Achshybridantriebe. Online verfügbar unter: <https://docplayer.org/11892945-Fremderregte-synchronmaschinen-im-einsatz-als-achshybridantriebe.html> (Zugriff am 12.09.2020).
- HELLA (2019): Auf dem Weg zur Elektromobilität: Hella entwickelt zukunftsweisende Batterielösung für Mild-Hybridfahrzeuge. Pressemitteilung. Online verfügbar unter: https://www.hella.com/press/assets/media_global/2019.06.04_HELLA_PM19_de_HELLA_entwickelt_Batterieloesungen_fuer_Mild-Hybride.pdf (Zugriff am 13.09.2020).
- KMK (2013) Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Kraftfahrzeugmechatroniker und Kraftfahrzeugmechatronikerin. (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 25.04.2013). Online verfügbar unter: <https://www.kmk.org/fileadmin/pdf/Bildung/BeruflicheBildung/rlp/KFZ-Mechatroniker13-04-25-E.pdf> (Zugriff am 10.09.2020).
- PIERBURG (2015): Pierburg – Neue elektrische Kühlmittelpumpe für 48 Volt-Bordnetze. Pressemitteilung. Online verfügbar unter: <https://www.rheinmetall-automotive.com/presse/pressemappen/pressemappe-detail/news/pierburg-neue-elektrische-kuehlmittelpumpe-fuer-48-volt-bordnetze/> (Zugriff am 13.09.2020).
- RICHTER, T. (2020): Fahrzeugdiagnose und Erfahrung. Ein Kompetenzmodell zur Aufklärung beruflichen Diagnosehandelns. Berlin: Peter Lang.
- ROECKER, G. (2018): Bidirektionaler Wandler für 12/48 Volt. In: *Hanser automotive* 17 (11-12), S. 24-26.
- SAGEWKA, S.; FIEBIG, T.; SCHMID, C.; WOSTAL, D. (2017): Mechatronische Wankstabilisierung für das 48-V-Bordnetz. In: *ATZ-Automobiltechnische Zeitschrift* 119 (3), S. 62-67.

Speicherbasierte PV-Klimatisierung eines Klassenraums als Lerngegenstand

Der Artikel beschreibt die Klimatisierung eines Unterrichts- und Laborraums an der Oskar-von-Miller-Schule in Kassel. Zum Einsatz kommt dabei ein konventionelles Split-Klimagerät, das über eine Photovoltaikanlage mit Batteriespeicher versorgt wird. Die Anlagendaten werden durch einen Einplatinencomputer visualisiert. Wechselweise können die Photovoltaikmodule auch einen netzgekoppelten Wechselrichter versorgen und in das Hausnetz einspeisen. Auf diese Weise lassen sich sowohl das Konzept eines photovoltaischen Inselsystems, wie auch das Konzept einer netzgekoppelten Photovoltaikanlage im Unterricht demonstrieren und messtechnisch analysieren.



MICHAEL RUKS

MOTIVATION

Ein angenehmes Arbeitsklima fördert Konzentration und Wohlbefinden. Sommerlich heiße Tage stellten jedoch in der Vergangenheit eine erhebliche Belastung für Auszubildende und Lehrende in einem Unterrichts- und Laborraum der Oskar-von-Miller-Schule (OvM) dar. Die Raumtemperatur erreichte häufig 27 oder 28 Grad, an extrem heißen Tagen wurden – selbst bei herabgelassener Beschattung – zu Unterrichtsende Temperaturen deutlich über 30 Grad gemessen. Der Raum liegt im Obergeschoss des Schulgebäudes und seine gesamte Fensterfront weist nach Süden. Ein Ausweichen auf klimatisch günstiger gelegene Unterrichtsräume war zumeist nicht möglich, da diese entweder belegt waren oder nicht die entsprechende Laborausstattung aufwiesen.

Für den praxisnahen Unterricht in diesem Raum wurde für die angehenden Elektroniker/-innen für Geräte und Systeme von einem großen Ausbildungsbetrieb das Messmodell eines Photovoltaik-Wechselrichters zur Netzeinspeisung überlassen, an dem die Frontplatte durch eine Plexiglasabdeckung mit dem Prinzipschaltbild des Innenlebens des Gerätes ersetzt worden ist, und wo an dort angeordneten Messbuchsen die wichtigsten elektrischen Größen im Gerät messtechnisch erfassbar sind. Dazu erhielt die OvM-Schule vier Photovoltaikmodule zum Betrieb des Wechselrichters. Da die gesamte Anlage nur kurzzeitig zur Demonstration der Funktion und für Messübungen in Betrieb genommen wurde, lag es nahe, die von den Photovoltaikmodulen eingefangene Sonnenenergie in einem Batteriespeicher zu sammeln und zur Speisung eines Klimagerätes sinnvoll einzusetzen sowie den modifizierten PV-Wechselrichter dauerhafter zu nutzen.

VORÜBERLEGUNGEN

Wird Sonnenenergie zu Kühlzwecken eingesetzt – gleich ob in elektrisch angetriebenen Kälteaggregaten (zumeist kompressorbetriebene Kältemaschinen) oder unter direkter Nutzung der dargebotenen Wärmeenergie zum Betrieb eines Kühlkreislaufes (Absorptionskältemaschine) – so ergibt sich ein hoher zeitlicher Deckungsgrad zwischen Energieertrag durch die PV-Anlage und Energiebedarf zur Kühlung. Der höchste Kühlbedarf besteht eben zumeist bei maximaler Sonneneinstrahlung. Dass dies nicht zwangsläufig den optimalen Betriebspunkt einer Photovoltaikanlage darstellt, ist hier als zweitrangig anzusehen, nicht jedoch, dass auch bei bedecktem Himmel oder nachts hoher Kühlbedarf bestehen kann, wobei praktisch nur der erste Fall für den schulischen Einsatz von Belang ist. Hierdurch ergibt sich die Notwendigkeit, einen ausreichend dimensionierten Batteriespeicher vorzuhalten, der nicht nur kleine Leistungseinbrüche durch vorbeiziehende Wolken zu kompensieren vermag, sondern auch z. B. bei schwülwarmem Wetter und bedecktem Himmel eine akzeptable Betriebszeit der Klimatisierung ermöglicht.

Die modellhafte Realisierung eines PV-Klima-Systems mit Batteriespeicher im Rahmen eines Abschlussprojektes der Fachschule für Technik bot die Möglichkeit, diverse Realisierungsansätze zu analysieren, auf ihre Umsetzbarkeit zu prüfen und die Anlage schließlich zu konfigurieren und zu installieren.

UMSETZUNG

Zwei Studierende der Fachschule für Technik entschieden sich für die Bearbeitung des Abschlussprojektes solare Klimatisierung.

Zunächst wurde untersucht, ob ein gleichspannungsversorgtes Klimasystem für die geplante Anwendung umsetzbar wäre. Die verfügbaren Komponenten aus dem automobilen Bereich (Kühlanlagen in LKWs und Bussen) erwiesen sich jedoch als zu leistungsschwach bzw. aufgrund ihrer Bauform als wenig geeignet. Daraufhin wurde untersucht, ob ein Speicher aus hochkapazitiven Kondensatoren zu realisieren sei, die als weitgehend wartungsfrei gelten. Verfügbare Pufferspeicher für die Industrie waren jedoch zu teuer und in ihrer elektrischen Speicherkapazität zu begrenzt für die Klimatisierung.

Das Ergebnis der Untersuchungen führte dann dazu, dass eine netzbetriebene Split-Klimaanlage gewählt wurde (vgl. Abb. 1 und 2), die über einen Inselwechselrichter mit sinus-förmiger Ausgangsspannung versorgt werden sollte. Die Ladung eines Batteriespeichers aus Bleiakkumulatoren sollte ein MPP-Solarladeregler übernehmen.



Abb. 1: Außeneinheit der Klimaanlage auf dem Schuldach

Die Dimensionierung der Anlage wurde zum einen durch technische Parameter, wie auch den verfügbaren Kostenrahmen bestimmt. Naturgemäß basierte die Auslegung der Klimatechnik auf der Kühllast des Unterrichtsraumes, der mit seinem Raumvolumen von rund 270 m³ und seiner durchgehenden und nach Süden ausgerichteten Fensterfläche einen erheblichen Bedarf an Kühlleistung aufweist. Schnell war klar, dass eine Auslegung der Kälteanlage nach den Vorgaben der Klimatechnik das Energieangebot der verfügbaren Photovoltaikanlage mit einer Spitzenleistung von rund einem Kilowatt deutlich übersteigen würde. Andererseits bringt eine moderate Abkühlung der Raumtemperatur um 2 bis 3 °C bei gleichzeitiger Entfeuchtung der Luft eine deutliche Steigerung des Wohlbefindens. Generell ist bei einer zu schnellen und intensiven Abkühlung von Wohn- und Arbeitsräumen gegenüber den Außenbereichen mit Erkältungen, Muskelverspannungen und ähnlichen unerwünschten Begleiterscheinungen zu rechnen. Insofern war hier eine Unterdimensionierung der Anlagentechnik aus technischen Gründen und fi-

nanziell bedingten Einschränkungen gegenüber einer Standardauslegung der Klimatechnik nicht als grundsätzlich negativ zu bewerten.

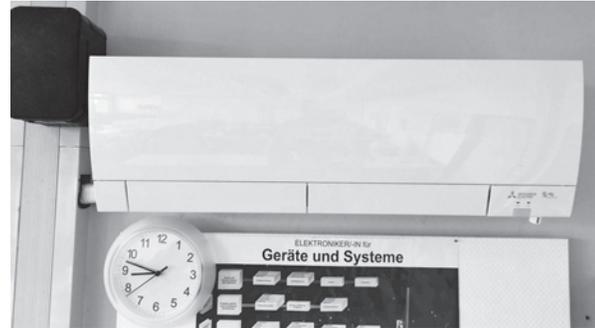


Abb. 2: Inneneinheit der Klimaanlage im Unterrichtsraum

Eine Voraussetzung für die Übernahme des Projektes durch die Studierenden der Fachschule für Technik waren eigentlich qualifizierte Vorkenntnisse im Bereich der Kältetechnik, galt es doch, die Innen- und die Außeneinheit der mit Kältemittel vorgefüllten Klimaanlage sachgerecht zu installieren. Die Befüllung der Kältemittelleitungen und die Inbetriebnahme wurde dann jedoch aus rechtlichen Gründen von einem Kältetechnik-Fachbetrieb vorgenommen.

Nach Abschluss der Montage der Klimaanlage und der Aufständigung der Photovoltaikmodule auf dem Flachdach vor dem Unterrichtsraum wurden die Leistungselektronik und der Batteriespeicher in einem ausrangierten Server-Schrank im Unterrichtsraum installiert (vgl. Abb. 3). Die erforderlichen Kältemittelleitungen und elektrischen Verbindungen sowie der Kondenswasserablauf konnten durch eine bereits vorhandene Kernbohrung in der Außenwand verlegt werden, so dass lediglich ein Element der Fassadenverkleidung zeitweise demontiert werden musste.

Der Batteriespeicher, bestehend aus zwei Blei-AGM-Batterien in Reihenschaltung, verfügt über einen Energieinhalt von rund 3,2 kWh bei einer Systemspannung von 24 V. Dieser Wert gilt bei zehnstündiger Entladung und ist in unserem Anwendungsfall geringer anzusetzen, da hier die Entladerate deutlich höher ausfallen kann. Wie bei Bleiakkumulatoren üblich, ist zum Erreichen einer angemessenen Lebensdauer des Speichers eine maximale Entladung auf 50 % der Nennkapazität vorgesehen, sodass für den Klimaanlagebetrieb maximal 1,6 kWh elektrischer Energie zur Verfügung stehen. Die Klimaanlage besitzt eine elektrische Nennleistung von 1,2 kW im Kühlbetrieb, die sich durch einen erhöhten Strömungswiderstand aufgrund einer Verlängerung der Kältemittelleitung bei den räumlich vorgegebenen Installationsbedingungen erhöht. Des Weiteren sind elektrische Verluste im Wechselrichter von rund 10 bis 15 % zu berücksichtigen, sodass ohne Sonneneinstrahlung ein Betrieb für rund eine Stunde

gesichert ist. Selbstverständlich läuft die Klimatechnik im schulischen Einsatz nicht nachts. Jedoch ist nicht zu jedem Zeitpunkt des Betriebs eine hundertprozentige Abdeckung der erforderlichen elektrischen Leistung durch die Photovoltaikanlage gewährleistet, sodass der Batteriespeicher nahezu immer während des vormittäglichen Kühlbetriebes zumindest teilweise entladen wird und sich – je nach Betriebsdauer und Wetterlage – generell bis zum Sonnenuntergang wieder vollständig auflädt.



Abb. 3: Leistungselektronik mit Batteriespeicher im Unterrichtsraum

ERPROBUNG

Die Installation der Anlagentechnik wurde im Herbst 2017 abgeschlossen, als die letzten heißen Tage des Jahres vorbei waren. Die Bewährungsprobe erfolgte somit im Sommer 2018. Hier zeigte sich, dass die Anlage für eine deutliche Verbesserung der klimatischen Bedingungen sorgen konnte. Insbesondere die Entfeuchtung der Luft bei moderater Abkühlung macht das Arbeiten seitdem sehr viel angenehmer. Gleichzeitig wurde erkennbar, dass für die Nutzenden der Anlage und somit für die Lernenden kaum Betriebsparameter erkennbar waren. So blieb unklar, wie lange die Anlage betrieben werden kann, da weder die erzeugte Solarenergie noch die Leistungsaufnahme der Anlage transparent waren. Auch der Einsatz des Systems als Demonstrationsmodell im Unterricht war daher nicht möglich.

Diese Erfahrungen mündeten in einem zweiten Abschlussprojekt eines Studierenden der Fachschule für Technik der Fachrichtung Energietechnik und Prozessautomatisierung. Dabei wurde einerseits die Anlagentechnik um eine Batterieüberwachung (sog. Batteriecomputer) sowie einen BatterieTiefentladeschutz erweitert und außerdem ein Einplatinencomputer (Raspberry Pi) installiert, der die Betriebsdaten von Laderegler, Batteriecomputer und Wechselrichter aufzeichnet und visualisiert

(vgl. Abb. 4). Außerdem wurden eine Leiterplatte zur Energieversorgung des Einplatinencomputers aus dem Batteriesystem sowie eine Anbindung von Temperatur und Feuchtesensoren im Raum und im Außenbereich realisiert.

Ein separater Datenlogger für Klimadaten wurde als Unterrichtsprojekt von einem weiteren Studierenden der Fachschule für Technik erstellt und programmiert (vgl. Abb. 5).

DIDAKTISCHE UND CURRICULARE BEZÜGE

Im Klassenraum, in dem die photovoltaisch gespeiste Klimatechnik installiert wurde, werden angehende Elektroniker/-innen für Geräte und Systeme unterrichtet. Im Lernfeld 5 des Rahmenlehrplans dieses Ausbildungsberufes werden im Themenfeld Leistungselektronik auch die Funktionsweise und die Anwendung von Wechselrichtern unterrichtet. Der eingangs beschriebene netzgekoppelte Photovoltaikwechselrichter, der zu Messzwecken umgebaut wurde, sowie ein Teil der installierten Photovoltaikmodule aus einer Sachspende eines großen nordhessischen Photovoltaik-Wechselrichterherstellers bilden hierfür hervorragende Möglichkeiten. Mit der Anlageninstallation wurde dem schon länger bestehenden Wunsch, sich diesem Thema praktisch zu nähern, Rechnung getragen.

Damit lässt sich nicht nur eine komplette netzgekoppelte PV-Anlage messtechnisch erfassen, sondern mit dem Inselssystem aus Batteriespeicher, Laderegler und Insel-Wechselrichter nebst Klimaanlage als Verbraucher besteht darüber hinaus die Möglichkeit, diese technische Konfiguration praktisch zu analysieren – sei es als reine Demonstration der Anlagentechnik oder sei es als Erkundungsauftrag an die Lernenden (vgl. Abb. 6). Dabei zeigte sich immer wieder ein hohes Interesse der Lernenden an der Funktionsweise der Anlage, sobald diese läuft. Der schlichte Anlagenbetrieb erzeugt Neugierde bei den Auszubildenden und motiviert sie, sich mit den technischen Zusammenhängen auseinanderzusetzen – eine „Steilvorlage für den Unterricht“.

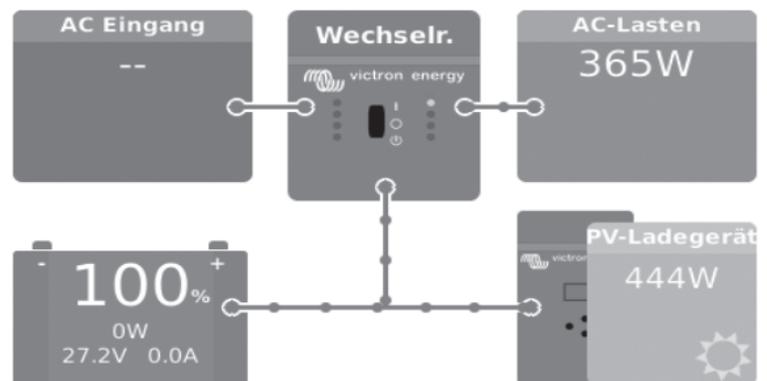


Abb. 4: Visualisierung der Anlagenparameter (Photovoltaikleistung: 444 W, Leistungsaufnahme Klimaanlage 365 W, Batteriespeicher voll geladen)

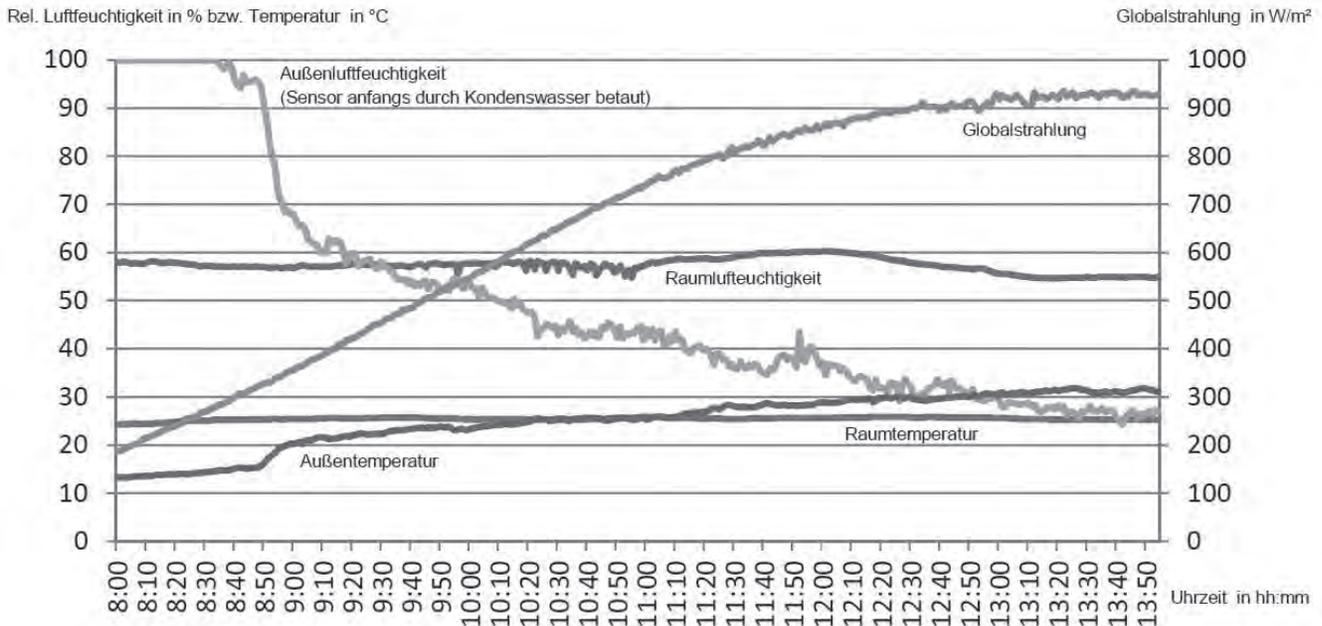


Abb. 5: Verlauf von Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Innen- und Außenbereich sowie der globalen Einstrahlung am 23.08.2019 zwischen 08:00 und 14:00 Uhr im Klassenraum H306 bei abgesenkter Beschattung. Die Klimaanlage wurde ab 11:00 Uhr betrieben.

Erkundungsauftrag

Eine Photovoltaikanlage mit einer Spitzenleistung von rund 1 kW_p bei einer Leerlaufgleichspannung von etwa 220 V lässt sich wahlweise mit einem netzgekoppelten Wechselrichter oder einem Laderegler für ein Batteriesystem verbinden, welches über einen Batteriewechselrichter eine Klimaanlage speist.

Wichtig! Stellen Sie sicher, dass bei Ihren Untersuchungen jeweils nur der Netzwechselrichter bzw. der Laderegler des Batterie-Inselsystems mit dem Photovoltaikgenerator verbunden ist.

Netzgekoppelter Wechselrichter SMA Sunny Boy 4000 TL20

Der Photovoltaikwechselrichter zur Netzeinspeisung wurde als Lernträger umgebaut und verfügt über eine Plexiglasabdeckung mit aufgedruckter Schaltungstopologie und Messmöglichkeiten für Spannungen und Ströme.

- 1) Übertragen Sie den auf dem Wechselrichter aufgedruckten Stromlaufplan in Ihre Unterlagen.
- 2) Setzen Sie den Wechselrichter in Betrieb und messen Sie alle elektrischen Größen, welche an der Plexiglas-Abdeckung des Gerätes zugänglich sind.
- 3) Notieren Sie dabei ebenfalls die im Display des Wechselrichters angezeigten elektrischen Parameter.
- 4) Tragen Sie die gemessenen Größen – dort wo sie erfasst wurden – in den Stromlaufplan ein.
- 5) Erläutern Sie stichpunktartig Ihre Messwerte.

Batteriewechselrichter Victron Phoenix 24/1600

Der Batteriewechselrichter, der ein Inselnetz zur Versorgung der Split-Klimaanlage im Klassenraum H306 bildet, wird durch einen Batteriespeicher mit einer Spannungsebene von 24 V und einer Speicherkapazität von etwa 3,2 kWh versorgt.

- 1) Analysieren Sie den Aufbau der Anlage und erstellen Sie dazu ein Blockschaltbild.
- 2) Messen Sie alle relevanten Spannungen und Ströme der Anlage und tragen Sie diese in das von Ihnen erstellte Blockschaltbild ein.
- 3) Vergleichen Sie die Werte mit den Anlagendaten, welche die Visualisierung der Anlage liefert.
- 4) Welcher Anlagenwirkungsgrad lässt sich ermitteln, wenn die eingestrahlte Sonnenenergie zur Deckung des elektrischen Energiebedarfs der Klimaanlage ausreicht? Wie verändert sich der Wirkungsgrad, wenn die elektrische Energie im Batteriespeicher zwischengespeichert wird?

Abb. 6: Erkundungsauftrag

ERFAHRUNGEN

Als essenziell bei hoher Sonneneinstrahlung in den Sommermonaten stellte sich erwartungsgemäß heraus, dass die Verschattung der Fensterflächen durch die elektrisch steuerbaren Jalousien durch die im Raum Anwesenden genutzt wird. Diese reduziert den Wärmeintrag in den Raum auf ein Maß, das der Klimaanlage ermöglicht, eine hinreichende Abkühlung der Raumluft zu gewährleisten. Stärker als die maximale Kühlleistung der Klimaanlage begrenzt die nutzbare Kapazität des Batteriespeichers die Betriebsdauer der Anlage und das Ausmaß der Raumklimatisierung, da die aktuelle Leistungsaufnahme der Anlage häufig deutlich über dem zeitgleich erzeugten elektrischen Ertrag der Photovoltaikanlage liegt. Dies gilt insbesondere für die Morgenstunden, da erst gegen Mittag ein optimaler Einstrahlungswinkel der Sonne gegeben ist.

Außerdem zeigte sich, dass die flache Aufständigung der Photovoltaikmodule von rund 12 Grad auf dem Dach zu einer verringerten Selbstreinigung führt. Dadurch bedingte Schmutzablagerungen sowie Teilverschattungen durch Pflanzen der Dachbegrünung (welche regelmäßig per Motorsense auf dem Dach gekürzt werden, jedoch zu unserem Erstaunen direkt um die Module herum deutlich schneller wachsen als auf der sonstigen Dachfläche) sind weitere Gründe für einen verringerten solaren Energieertrag (vgl. Abb. 7).



Abb. 7: Photovoltaikmodule auf dem teils begrüntem Schuldach

Zu dem Wachstumsverhalten der Pflanzen der Dachbegrünung wurden schon zahlreiche Theorien aufgestellt, die von erhöhter Feuchtigkeit durch Kondenswasser an den Modulen bis zur Ausbildung einer Wärmeinsel durch die PV-Anlage reichen – eine schlüssige Antwort konnte aber bislang nicht gefunden werden. Es zeigt sich jedoch die Notwendigkeit, die Pflanzen um die Module in kürzeren Zeitabständen einzukürzen.

Bislang wird versucht, die Klimaanlage lieber länger bei verringerter Leistung zu betreiben, als diese erst mit hoher Leistung einzuschalten, wenn es subjektiv im Raum zu warm wird und rasche Abkühlung erwünscht

ist. Der Grund ist, dass wenn der entnommene Strom bei der Entladung eines Akkumulators niedrig ist, eine insgesamt größere Energiemenge entnommen werden kann, weil die internen Verluste dann geringer sind.

Musste der überhitzte Raum in den Morgenstunden als Folge einer am Vortag nicht optimalen Verschattung stark gekühlt werden, so schaltete die Anlage wiederholt beim Erreichen von 50 % der Batteriekapazität ab. Somit zeigte sich auch, dass nicht nur die technischen Probleme zu lösen sind, sondern auch kommunikative: Hier ist eine Information der Nutzer über die relevanten Zusammenhänge erforderlich, um ein angepasstes Nutzungsverhalten zu erzielen.

AUSBLICK

Da sich die Anlage in den vergangenen zwei Jahren grundsätzlich bewährt hat, sind nun noch Detailverbesserungen geplant. Einerseits soll die Steuerung der Anlage statt über die dazugehörige Fernbedienung über eine Visualisierung realisiert werden. Dabei sollen dann sinnvolle Betriebsparameter (ständig gleichmäßige Kühlung je nach Solareinstrahlung) und automatische Ansteuerung der Verschattung je nach Einstrahlung und Außentemperatur automatisch möglich werden. Die Nutzer/-innen können die Anlage bisher lediglich ein- und ausschalten und eine Wunschtemperatur vorgeben. Außerdem soll die Aufzeichnung von Klimadaten im Innen- und Außenbereich optimiert werden.

Grundsätzlich kommt auch noch die Erweiterung der bestehenden PV-Anlage in Betracht. Interessant wäre dann auch eine Analyse der Eignung der Anlage als Heizsystem in der Übergangszeit, da bei hinreichendem PV-Ertrag die Klimaanlage auch als Wärmepumpe den Innenraum beheizen kann und damit die bestehende Heizungsanlage des Unterrichtsraumes entlasten würde.

Elektrochemische Speicher zur Stützung der Stromversorgungsnetze – ein Schulprojekt



ANDREAS STETZA



FRANK FASOLD

Innerhalb Deutschlands werden verschiedene Wege beschritten, um bundespolitisch gesetzten Signalen zur Umsetzung der Energiewende zu verfolgen (vgl. BMWi 2018). Die Photovoltaikbranche (PV-Branche) ist von einer Zeit wirtschaftlicher Schwankungen gekennzeichnet gewesen. Mit dem Aufkommen preisgünstiger und neuartiger Speichertechnologien ist eine erneute wirtschaftliche Belebung erkennbar. Die Entwicklung innerhalb der PV-Branche ist zu einem frühen Zeitpunkt an der Hamburger Beruflichen Schule Energietechnik (BEA, ehemals G10), einem Lernort für Auszubildende in energietechnischen Berufen sowie einer Fachschule mit dem Schwerpunkt Energietechnik, mitverfolgt und aufgegriffen worden. Der Beitrag beschreibt das Vorhaben, eine bestehende Photovoltaikanlage (PV-Anlage) durch einen elektrischen Speicher zu ergänzen und im berufsschulischen Unterricht einzusetzen.

SPEICHER ALS ELEMENT ZUKÜNFTIGER ENERGIEVERSORGUNG

Zum stabilen Betrieb des elektrischen Netzes ist es erforderlich, die Erzeugung und den Verbrauch elektrischer Energie zu jedem Zeitpunkt ausgeglichen zu gestalten. Kommt es zu einer Abweichung, leistet die sogenannte Momentanreserve einen wichtigen Beitrag zur Frequenzhaltung. Die Momentanreserve wird bisher durch die Trägheit rotierender Massen konventioneller Kraftwerke gewährleistet. Mit wachsenden Anteilen erneuerbarer Energien stehen die systemunterstützenden Eigenschaften konventioneller Kraftwerke nur noch im verringerten Maße zur Verfügung (vgl. dena 2016). Im Gegenzug nimmt die Zahl der elektronisch gesteuerten und geregelten Stromerzeuger zu. Der Zustand heutiger und zukünftiger Energieversorgungsnetze kann also durchaus als herausfordernd bezeichnet werden. Vom vormals zentral versorgten Energienetz ausgehend entsteht sukzessive ein Netz, welches eine Vielzahl von dezentralen Stromerzeugern in Form von PV-Anlagen, Windkraftanlagen, Biogasanlagen mit Blockheizkraftwerken und sonstigen Mikrokraftwerken mit Verbrauchern ausgewogen verbindet.

Die Folge sind verschobene bis teilweise umgekehrte Energieflüsse in den Stromversorgungsnetzen. Die Höhe der Energiemengen, die Flussrichtung und die Nutzungszeiten sind wesentlich komplexer zu berechnen, als es vor der Einführung von kleinen Stromerzeugern am Netz notwendig war. Es erfordert mehr Eingriffe in das Stromversorgungsnetz, als es bei einer zentralen Versorgung nötig wäre. Hinzu kommen neue Spontanverbraucher wie Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge. Diese stellen eine große Herausforderung dar, zumal die Stromgewinnung und -nutzung nicht immer zeitsynchron erfolgt.

Würde ein Versorgungsnetz komplett neu errichtet werden, stellt dies aus Ingenieurssicht wohl keine große Herausforderung dar. Jedoch sind ein Stilllegen der jetzigen Stromversorgung und ein anschließender Neubau nicht denkbar. Es besteht also die Aufgabe, das vorhandene Stromversorgungsnetz sukzessive sowohl technologisch als auch wirtschaftlich rentabel umzugestalten, sodass es weiterhin stabil und mit nahezu keinen Ausfallszeiten alle Verbraucher jederzeit versorgt. Kleine Speicher, sogenannte Mikrospeicher, die beide Energieflussrichtungen aufnehmen können, sind

ein gutes Hilfsmittel, um dieses Ziel zu erreichen. Die Verbreitung von Speichern wird durch Zunahme der Elektromobilität zusätzlich forciert.

In der Hamburger Gewerbeschule BEA ist bereits seit einigen Jahren eine PV-Anlage zur dezentralen Stromerzeugung installiert. Geplant ist, eine weitere Anlage mit variierbaren Konfigurationsmöglichkeiten zu errichten, die mit Speichern als netzparallele oder als Inselanlage betrieben werden können. Auszubildende und angehende Techniker/-innen sollen sich mittels dieser Anlage mit den Herausforderungen der Netzanbindung auseinandersetzen können, wie auch mit der schon fast als klassisch zu bezeichnenden Konfiguration und Verschaltung von Solarstromkomponenten.

EINSATZ EINER PV-ANLAGE MIT INTEGRIERTEM SPEICHER ALS LERNBEISPIEL

Aufgrund des fachlichen Schwerpunktes „Energietechnik“ hat die solare Stromproduktion für die an der BEA Lernenden einen hohen Stellenwert, denn an Energieerzeugungsanlagen dieses Typs können viele berufsspezifische Kenntnisse und Fertigkeiten erworben werden, die die berufliche Handlungsfähigkeit erweitern. Die in diesem Tätigkeitsfeld erforderlichen Kompetenzen, wie sie bspw. im Zuge der Planung einer Anlagenenerweiterung um einen elektrischen Speicher benötigt werden, sind vorzugsweise an einer realen PV-Anlage zu erwerben. Somit ist es eine Triebfeder der konzeptionellen Planungstätigkeiten im Rahmen eines Arbeitskreises gewesen, eine moderne Photovoltaikanlage als sinnlich erlebbaren und komplexen Lerngegenstand umzugestalten.

Diese Überlegungen führten im Jahr 2013 an der BEA dazu, in einer Arbeitsgruppe unter Beteiligung der Schulleitung an der Konzeption für die Errichtung einer neuen PV-Anlage zu arbeiten. Mit diesem Vorhaben sollte eine bereits im Jahr 2000 installierte PV-Anlage (10 Module) auf dem Schuldach erweitert werden (vgl. Abb. 1).

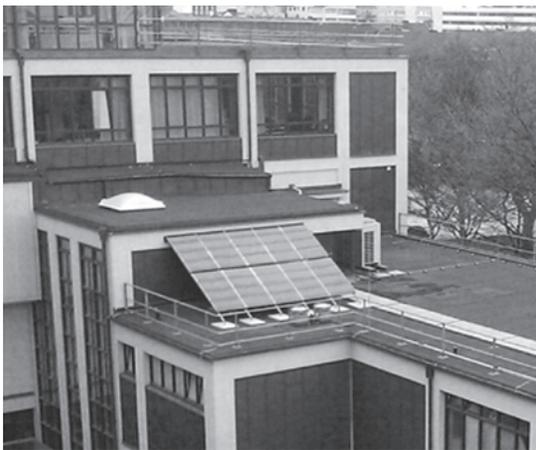


Abb. 1: PV-Bestandsanlage (Errichtungsjahr 2000) mit angrenzender Fläche für die Anlagenerweiterung

Auf Grundlage eines Lastenheftes wurden aus didaktischer Sicht wesentliche Anlagenmerkmale festgeschrieben. In enger Kooperation mit mehreren Fachplanern aus der PV-Branche entstand so ein Konzept (vgl. Abb. 2), das in ein marktübliches Angebot überführt wurde. In den folgenden Jahren hat es aus verschiedenartigen Gründen konzeptionelle Neuanpassungen gegeben – zuletzt aufgrund einer grundlegenden Sanierung des gesamten Schulgebäudes. Im Zuge dessen ist in der letzten Fassung die Errichtung einer PV-Anlage und eines elektrischen Speichers enthalten. Zudem wurde in der Sanierungsphase bereits geklärt, dass die Tragfähigkeit der Dachkonstruktion und die Arbeitssicherheit der Lernenden gewährleistet sind, sodass unter diesem Betrachtungswinkel einer Tätigkeit von Auszubildenden in Kleingruppen direkt an der Anlage nichts im Wege steht.

Die konzipierte PV-Anlage ist in zwei Felder untergliedert, die durch die Abbildung 2 veranschaulicht werden. Auf der größeren Fläche ist die Installation der Anlagenteile 1 bis 4 vorgesehen. Dieser Teil wird von den Schülerinnen und Schülern nicht betreten werden können. Jedoch sollen die aktuellen und zu dem jeweiligen Anlagenteil gehörenden elektrischen Messwerte erfassbar und ortsunabhängig abrufbar sein.

Entlang der grau eingefärbten Fläche, die von den Lernenden betreten werden kann, soll ein durchgängig wirksamer Schutz vor Absturz errichtet werden. Ferner beinhaltet dieser Teil des Daches ein Experimentierfeld (Anlagenteil 5), auf dem sich verschiedene Dachkonstruktionen (bspw. Walmdach, Satteldach und Trapezdach) befinden.

Mögliche Besonderheiten bezüglich der Modulbefestigung – bspw. des Ständersystems auf der Dachhaut sowie die Leitungsführung in speziellen Wannen (Energie- und Datenleitungen) – sollen in dem begehbaren Teil direkt erkundet werden können. Ebenso wird es vor Ort möglich sein, die Leistungsabgabe der Anlage in Erfahrung zu bringen, um diese interpretieren und mit prognostizierten Werten aus einer vorangegangenen Planungsphase vergleichen zu können. Ferner sollen auch die zum Einsatz kommenden Wechselrichter und Speicher sowie das Mess- und Kommunikationssystem der Anlage analysierbar sein. Dieses Konzept sieht zudem vor, an einem Tableau unterschiedliche Verschaltungsvarianten zu stecken und auf deren elektrische Auswirkungen hin zu untersuchen. Nicht zuletzt lassen sich dann auch Verschattungseffekte an den PV-Modulen erfassen.

Auch in dem jüngst vorgelegten PV-Anlagenkonzept sind die zwei tragenden didaktischen Prinzipien, Handlungs- und Arbeitsprozessorientierung, berücksichtigt worden. Hilfreich war hier die enge Zusammenarbeit mit einem branchenkundigen Fachplaner. Gleiches gilt

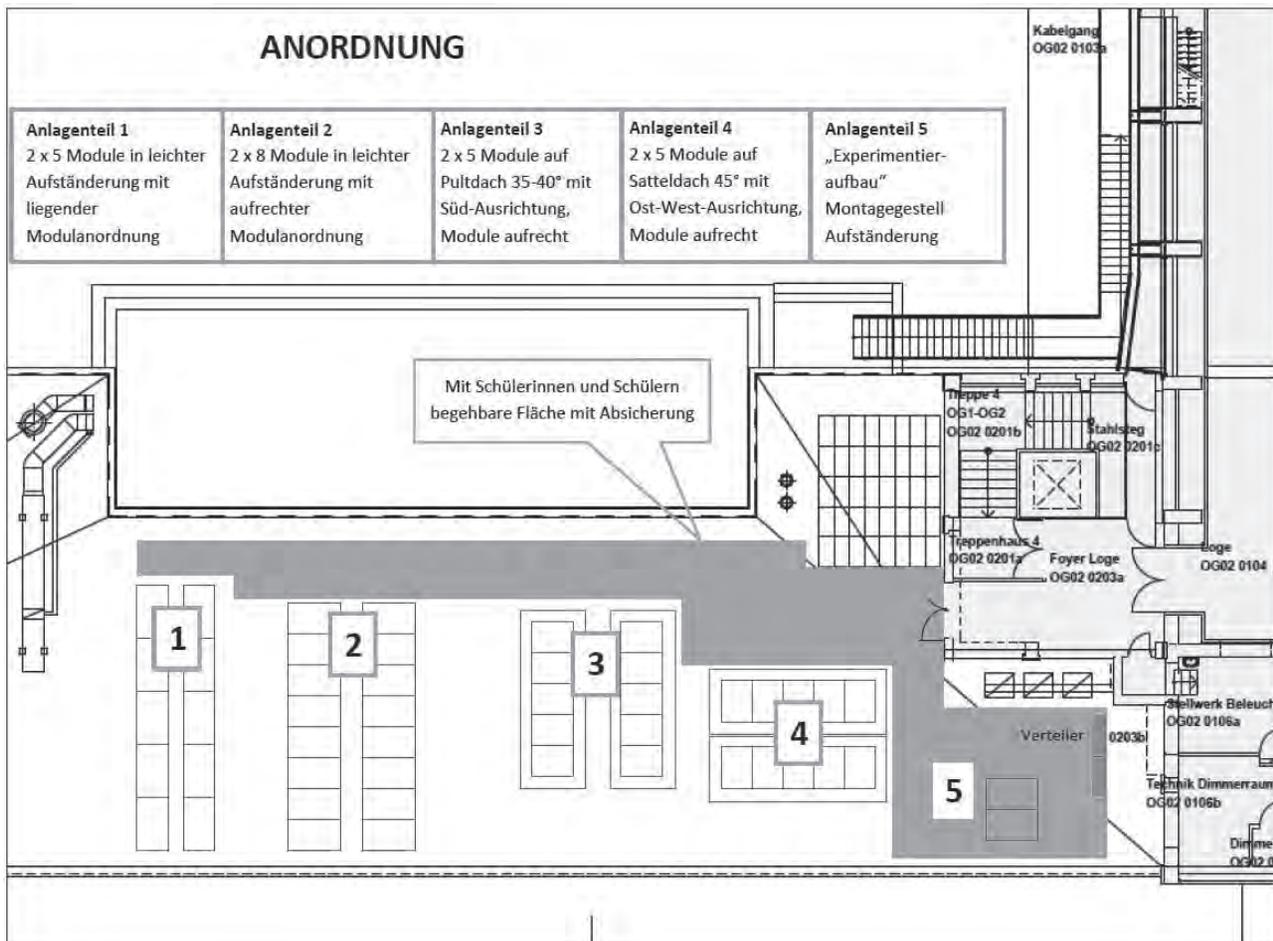


Abb. 2: Die Konzeptidee einer PV-Anlage (Stand: März 2016)

für die Mehrzahl der nach dieser Prämisse ebenfalls neu gestalteten Räume an der BEA. Dies bedeutet für den Unterricht an der BEA auch, dass die Auszubildenden an realen Lerngegenständen arbeiten und in Berührung mit den technischen Produkten kommen.

Ein didaktisch begründeter Projektauftrag zum Themenschwerpunkt „Elektrische Speicher“ könnte darin bestehen, eine Anlagenerweiterung zu planen. Ausgehend von einer Anlagenbesichtigung vor Ort können die Lernenden die neuen Komponenten auswählen und dimensionieren. In einer entsprechenden Unterrichtssequenz müssten die Schüler/-innen zudem eine branchenübliche Planungs- und Simulationssoftware (bspw. PV*SOL) nutzen, um eine derartige Anlagenerweiterung zu planen. Durch eine solche Unterrichtssequenz kann es gelingen, die Lernenden insbesondere bei der Entwicklung ihrer Fachkompetenz zu unterstützen. Nachfolgend sind ausgewählte Kriterien angeführt, welche im Zuge der Auswahl eines Energiespeichers bzw. bei der Kundenberatung sowie bei einer Realisierung der Installation eines stationären Speichers zu berücksichtigen sind.

ZU BERÜCKSICHTIGENDE KRITERIEN BEI DER AUSWAHL UND INSTALLATION EINES STATIONÄREN ENERGIESPEICHERS

In die geplante erweiterte PV-Anlage soll ein chemischer Speicher integriert werden, damit sich die Lernenden in der Ausbildung mit deren Nutzen und Funktionsweise auseinandersetzen können. Bei der Auswahl und Installation eines solchen stationären Energiespeichers sind bspw. Fragen nach der erforderlichen Leistung und der Speicherkapazität zu klären sowie die erhöhten Anforderungen an die Systemsicherheit und den Brandschutz zu berücksichtigen. Die Speicherdichte ist in aller Regel nicht das zentrale Kriterium, weil der Platzbedarf und Masse eines solchen Gerätes, das im Gebäude unterzubringen ist, kein gravierendes Problem darstellt ein Speicher für ein durchschnittliches Einfamilienhaus hat ungefähr die Größe eines Kühlschranks.

Solarstromanlagen liefern ihren Strom, bedingt durch die Sonneneinstrahlung, vorrangig zur Mittagszeit. Verbräuche hingegen verteilen sich je nach Gebäude-nutzung auf den gesamten Tag. Besonders charakteristisch ist, dass die Mehrzahl der Privathaushalte einen Großteil des elektrischen Stroms in den Abendstunden

benötigt (vgl. u. a. VDEW 1999). Ein Energiespeicher ermöglicht eine zeitversetzte Nutzung der überschüssigen Energie und damit eine Steigerung der Eigenverbrauchsquote. Die Speicherkapazität, also die Energie, die der Speicher in einem bestimmten Zeitraum aufnehmen oder abgeben kann, stellt dabei ein entscheidendes Auswahlkriterium dar, sofern der Strombedarf im Gebäude auch dann (vollständig) gedeckt werden soll, wenn die Sonne nicht scheint. Zudem soll auch ein Netzausfall überbrückt werden können. Die Auswahl eines Energiespeichers ist entscheidend von den Kundenwünschen und dem bereits vorhandenen PV-System abhängig. Das Ziel der zu planenden Anlagenerweiterung kann darin bestehen, einen möglichst hohen Autarkiegrad zu erreichen. Damit wird der Anteil des Stromverbrauchs angegeben, der durch das PV-Speichersystem abgedeckt wird. Dabei wird der erzeugte Solarstrom zeitgleich genutzt und/oder der Speicher entladen (vgl. Weniger et al. 2013). Die nutzbare Kapazität eines Energiespeichers wirkt sich folglich auf den realisierbaren Autarkiegrad aus. Wird eine zu geringe Kapazität des Speichersystems gewählt, erfolgt keine optimale Reduzierung des Strombedarfs aus dem Netz und der damit verbundenen Ausgaben.

Ebenfalls ist die Lade- und Entladeleistung eines stationären Energiespeichers entscheidend für die Unabhängigkeit vom Netzstrom. Je höher die Entladeleistung, desto mehr Verbraucher können gleichzeitig betrieben werden und desto weniger Strom muss aus dem Netz bezogen werden. Daher ist bei der Auswahl eines Speichers zu berücksichtigen, ob leistungsstarke Verbraucher im bzw. am Gebäude vorhanden sind. Die Ladeleistung beeinflusst die Ladezeit. Je schneller ein Speicher Energie einlagert, desto effektiver arbeitet dieser. So kann er auch innerhalb weniger Sonnenstunden vollständig geladen oder mehrmals am Tag gefüllt werden, wenn der Bedarf höher ist und die Sonne scheint.

Wird demgegenüber das Hauptaugenmerk auf die Wirtschaftlichkeit des PV-Speichersystems gelegt, nehmen die Investitions- und Wartungskosten, der jährliche Strombedarf, die Höhe und Dauer der Einspeisevergütung, die steuerlichen Aspekte sowie die Kosten des Netzstrombezugs einen größeren Stellenwert ein (vgl. u. a. Seltmann 2020). Ein ökonomisches Optimum muss dabei nicht mit einem hohen Autarkiegrad zusammenfallen. Da zum Zeitpunkt der Systemplanung bspw. der zukünftige Strombedarf sowie die Entwicklung der Kosten des Netzstrombezugs nur prognostiziert werden können, kann auch die kostenoptimale Auslegung der Anlage nur abgeschätzt werden (vgl. WENIGER et al. 2013).

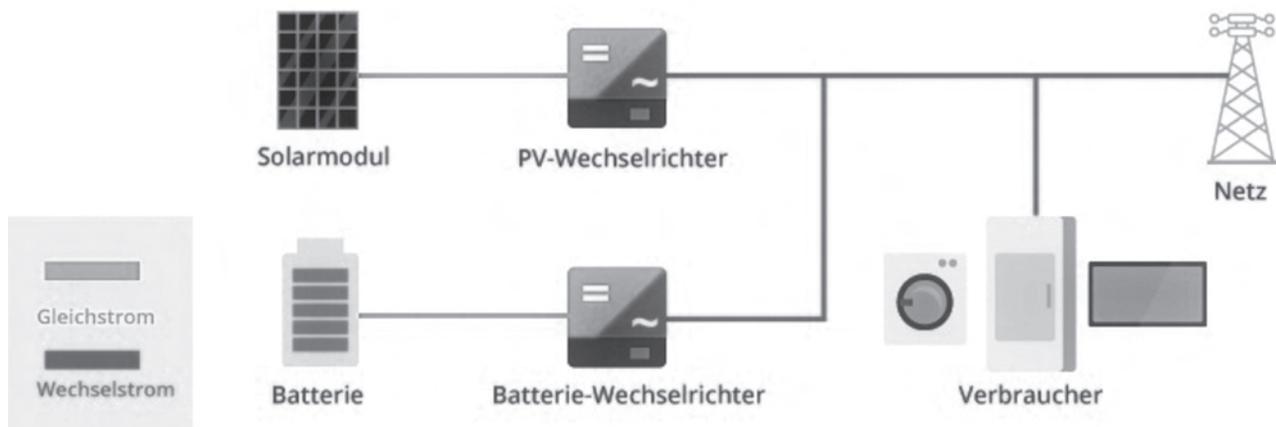
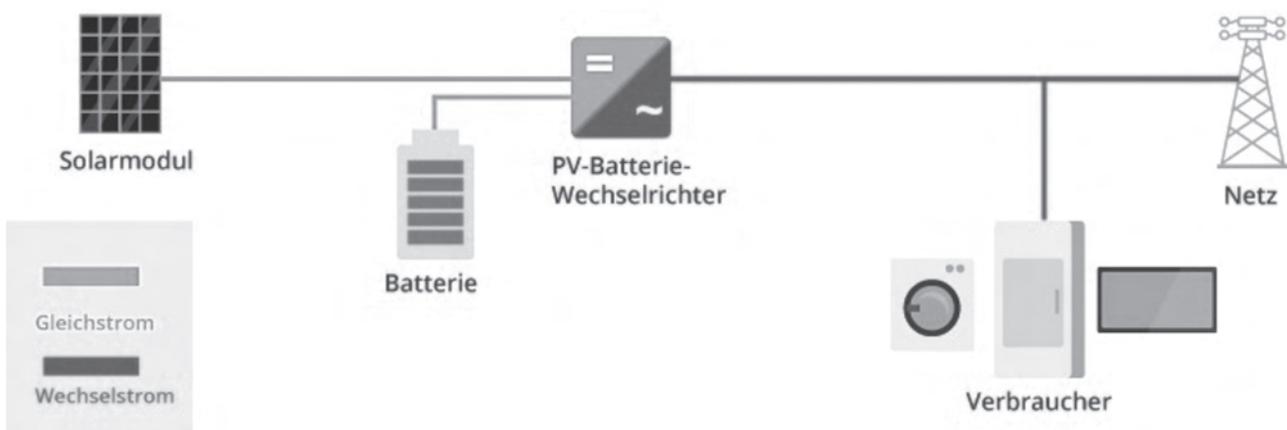
In der Konsequenz ist die Auswahl des Energiespeichers den individuellen Kundenbedürfnissen anzupassen. In Bezug auf die von den Schülerinnen und Schülern zu planende Erweiterung der schuleigenen PV-Anlage sind

hierzu das Verbrauchsprofil der Schule und die Eckwerte der bestehenden PV-Anlage zu analysieren und bei der Planung zu berücksichtigen.

Wenn sich die Lernenden mit speicherintegrierten PV-Systemen auseinandersetzen, müssen sie sich Wissen und Kenntnisse über die Arten elektrochemischer Speicher aneignen. Diese sind u. a. für die Wahl des Aufstellungsortes bzw. die Installation des Gerätes relevant. So sollte ein Speicher in einem separaten Raum installiert werden, wobei der Zugang zur Anlage erhalten bleiben muss (bspw. für Wartungsarbeiten). Speicher mit Blei-Technologien, die heute kaum noch für den Heimspeicherbereich angeboten werden, benötigen eine Zwangsentlüftung, um Gase, die beim Ladevorgang entstehen, abzuführen. Speichertechnologien auf Basis des Werkstoffes Lithium bieten eine hohe Speicherdichte und ermöglichen eine praktisch gefahrlose Gebäudeintegration aufgrund der nahezu gasfreien Aufladung. Die Lebensdauer von Lithium-Ionen-Speicher ist u. a. von der Umgebungstemperatur abhängig. Daher sind diese Speicher an einem Ort mit einer möglichst gleichbleibenden Temperatur, die zwischen 10 °C und maximal Zimmertemperatur liegt, zu installieren. Die Speichersysteme unterscheiden sich auch im äußeren Erscheinungsbild, durch das die Art der Installation vorgegeben wird. So müssen manche Speicher an die Wand gehängt werden, andere wiederum sind komplett in einem Schrank untergebracht. Bei der an einer Wand hängenden Anbringung ist auf die ausreichende Traglast zu achten bzw. die Wand entsprechend zu verstärken (vgl. <https://www.photovoltaikeu>).

Auch die Verbindung der PV-Anlage mit dem zu installierenden Energiespeicher beinhaltet Herausforderungen, die von den Lernenden zu bewältigen sind. Grundsätzlich bestehen zwei Möglichkeiten, Energiespeicher elektrisch in das Gebäude einzubinden. Bei einem sogenannten AC-System, das durch die Abbildung 3 veranschaulicht wird, wird das Wechselstromnetz des Gebäudes genutzt, um den Batteriespeicher mit der PV-Anlage zu verbinden. Integrationskonzepte für bestehende Anlagen sehen in der Regel eine derartige Kopplung vor. Der Entladevorgang des Speichers erfolgt über einen Batterie-Wechselrichter, dessen Funktionsweise vergleichbar mit der eines Wechselrichters einer herkömmlichen PV-Anlage ist. Für die Einspeicherung ist neben der Laderegulierung ein Gleichrichter notwendig. Die Wahl des Aufstellungsortes von Solarstromspeicher und PV-Wechselrichter ist flexibel, denn diese müssen nicht beieinanderstehen.

Werden von vornherein bei der PV-Konzeption Speicher eingeplant, kann auf Komponenten der Stromartwandlung (Wechsel- und Gleichrichter) verzichtet werden. Eine Kopplung der Lade- und Entladeregulierung erfolgt dann bereits auf der stromerzeugenden Gleichspan-

Abb. 3: Schema AC-Speichersystem (Quelle: <https://www.memodo.de>)Abb. 4: Schema DC-Speichersystem (Quelle: <https://www.memodo.de>)

nungsseite des PV-Generators – sogenannte DC-Kopplung (vgl. Abb. 4).

Die hier nur umrissenen Kriterien der Auswahl und Installation machen deutlich, dass die Entwicklung und der Einsatz einer Lernsituation zur Integration eines Energiespeichers in eine bestehende PV-Anlage eine umfangreiche Förderung der beruflichen Handlungskompetenz der Lernenden bewirken kann. Die Schüler/-innen werden in einem projektorientierten Unterrichtsansatz dazu angehalten, sich grundlegende Begrifflichkeiten und Konzepte der Elektrotechnik anzueignen und diese in einem konkreten und berufsbezogenen Kontext anzuwenden. Dieser Kontext ist veränderbar, sodass sich die Lernenden z. B. mit der Systemerweiterung in einem Wohngebäude oder einem gewerblich genutzten Gebäude befassen. Solche differenzierten Betrachtungen haben für den berufsbildenden Unterricht einen hohen Stellenwert, zumal an der BEA Elektroniker/-innen und Techniker/-innen ausgebildet werden, die im Bereich der Installation von Wohngebäuden und Industrieanlagen tätig sein werden.

Darüber hinaus wird beabsichtigt, die derzeit in der Planung befindliche PV-Anlage in Lernsituationen un-

terschiedlicher Komplexität einzusetzen und somit für die Lernenden aller Ausbildungsjahre zugänglich zu machen. Die Schüler/-innen sollen die Möglichkeit erhalten, verschiedene Verschaltungen und Konfigurationen der Solaranlage selbst durchzuführen. Sie erlernen dabei zunächst das grundlegende Zusammenwirken der Solarmodule und Wechselrichter. Erst im nächsten Schritt wird durch die Lernenden ein Speichersystem hinzugefügt. Dieses schrittweise Vorgehen sorgt für eine Reduktion der Anlagenkomplexität und damit für ein gutes Verständnis des praktischen Nutzens. Nach den jeweiligen Lerneinheiten werden sie in der Lage sein, komplette Systeme aus den Komponenten funktionsfähig zusammenzustellen.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

PV-Anlagen nebst Speichern stellen einen wichtigen Teil der Energieversorgung dar. Sie nehmen im Arbeitsalltag der Elektroniker/-innen einen wesentlichen Anteil ein. Daher ist die Integration der Ausbildungsinhalte für Eigenstromerzeugungsanlagen in die theoretische und praktische Ausbildung unausweichlich. Die Lernenden werden zukünftig diejenigen sein, die

hocheffiziente PV-Systeme konzipieren und installieren werden.

Eine erste PV-Teilanlage ist als Grundlage an der BEA vorhanden. Viele Gespräche und Abstimmungen haben dafür gesorgt, dass erste Schritte zur Umsetzung eines didaktisch ausgefeilten PV-Lehrsystems bereits gemacht wurden. Es gilt, nunmehr nicht nur die technischen Möglichkeiten weiter voranzubringen, sondern vielmehr finanzielle Mittel einzuplanen, um langfristig Lernerfolge sichern zu können, sowie jungen Technikerinnen und Technikern den Erwerb von Fertigkeiten und Fähigkeiten, die für die Arbeit an modernen Energiesystemen erforderlich sind, zu ermöglichen.

Literatur

BMWi (2018): Innovationen für die Energiewende. 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung. Online verfügbar unter: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/7-energieforschungsprogramm-der-bundesregierung.pdf?__blob=publicationFile&v=14 (Zugriff am 30.07.2020).

DENA (2016): Momentanreserve 2030. Bedarf und Erbringung von Momentanreserve 2030. Analyse der dena-Plattform Systemdienstleistung. Online verfügbar unter: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9142_Studie_Momentanreserve_2030.pdf (Zugriff am 30.07.2020).

SELTMANN, T. (2020): Steuerliche Behandlung von Batteriespeichern präzisiert. Online verfügbar unter: <https://www.pv-magazine.de/2020/03/30/steuerliche-behandlung-von-batteriespeichern-precisiert/> (Zugriff am 30.07.2020).

VDEW (1999): Repräsentative VDEW-Profile. Online verfügbar unter: https://www.bdew.de/media/document/www.goots/1999_Repraesentative-VDEW-Lastprofile.pdf (Zugriff am 30.07.2020).

WENIGER, J; QUASCHNING, V.; TJADEN, T. (2013): Optimale Dimensionierung von PV-Speichersystemen. Online verfügbar unter: <https://pvspeicher.htw-berlin.de/wp-content/uploads/2014/04/pv-magazine-2013-Optimale-Dimensionierung-von-PV-Speichersystemen.pdf> (Zugriff am 30.07.2020).

Vom Arbeitsauftrag zur Problemstellung

Die Bedeutung des Einstiegs in eine Lernsituation dargestellt anhand eines Praxisbeispiels aus der Fachdidaktik Metalltechnik – Teil 2 –

Der klassische Unterrichtseinstieg beginnt mit einer Aufgabenstellung, die anhand eines vergleichbaren Lösungsweges zu einer meist eindeutigen Lösung führt. Die Realität der Facharbeit erfordert hingegen die Bearbeitung von Problemstellungen, die unterschiedliche Ergebnisse mit jeweils spezifischen Vor- und Nachteilen ermöglichen. Problemlösendes Denken kann insbesondere anhand eines Dilemmas, das einen Zielkonflikt beinhaltet, vermittelt werden. Am Beispiel eines Unterrichts aus dem Berufsfeld Metalltechnik soll gezeigt werden, wie aus einem bestehenden Arbeitsauftrag eine Problemstellung bzw. ein Dilemma für den Einstieg in eine Lernsituation gestaltet werden kann, um den Anforderungen des Lernfeldkonzeptes gerecht zu werden.

Um ein Dilemma zu erhalten, muss in dem hier beschriebenen Unterrichtsbeispiel die eigentliche Problemstellung um eine Nebenbedingung ergänzt werden. So könnte das Problem der nicht ausreichenden Kolbenkraft in einen Instandhaltungsauftrag eingebettet werden, bei dem hohe Ausfallkosten in der Serien-



MICHAEL KLEINER



PHILIP SPRINGER

fertigung anfallen, wenn die Anlage nicht im Einsatz ist (vgl. Abb. 5, nächste Seite). Hieraus ergibt sich der Konflikt zwischen einer schnell umzusetzenden Lösung und der fachgerechten Ausführung der Reparatur der Anlage. Der Einbau eines Pneumatikzylinders mit einer größeren Kolbenfläche wäre aus fachlicher Perspektive

„Mit der dargestellten Montage- und Bearbeitungsmaschine können Werkstücke automatisch montiert und gebohrt werden. In der Abbildung sind drei Pneumatikzylinder dargestellt, die unterschiedliche Aufgaben ausführen.

Im Rahmen einer Instandsetzung ersetzen Sie den Zylinder MM1 durch ein Produkt eines anderen Herstellers. Beim Probelauf stellen Sie fest, dass der Zylinder die Gehäuse nicht in die Bohrstation verschiebt. Der Zylinder fährt zwar zunächst zum Teil aus, jedoch nicht bis zur Endlage, da er zuvor von dem zu bearbeitendem Gehäuse gestoppt wird. Da die Anlage in der industriellen Serienfertigung eingesetzt wird, entstehen hohe Ausfallkosten.“

Abb. 5: Dilemma „Auslegen von Pneumatikzylindern“

eine tragfähige Lösung, die wegen des Zeitkonfliktes aber ausgeschlossen werden muss. Die Erhöhung des Betriebsdruckes würde die Ausfallszeit minimieren, aber mögliche Folgeschäden provozieren, da die übrigen Elemente der pneumatischen Schaltung nicht auf eine Druckerhöhung ausgelegt sind.

Ein Ausweg aus dem Dilemma könnte die Steigerung des Wirkungsgrades der Verschiebestation sein, indem die Haft- bzw. Gleitreibung beim Vereinzeln der Gehäuse minimiert wird. Die Gleitfläche, auf der die Gehäuse in die Bohrstation geschoben werden, könnte beispielsweise stündlich mit einem Schmiermittel versehen werden. In einer automatisierten Anlage ist eine solche manuell ausgeführte Tätigkeit sicher keine Dauerlösung, die den Ansprüchen der industriellen Facharbeit entspricht. Als Übergangslösung, bis zum Einbau eines Pneumatikzylinders mit einer größeren Kolbenkraft, kann dieser Nachteil jedoch akzeptiert werden.

FAZIT

Um den Unterricht an berufsbildenden Schulen nicht auf das Lösen von Aufgaben zu reduzieren, ist eine ergebnisoffene Problemstellung oder ein fachliches Dilemma zum Einstieg in eine Lernsituation zu bevorzugen.

„Vom Problem sind Aufgaben zu unterscheiden, bei denen wir in der Regel über das nötige Wissen oder Know-how verfügen, weil wir die Regeln zur Aufgabenlösung gelernt haben. Man nennt solche Strategien auch Algorithmus (=genaue Verfahrensvorschrift). Wenn aber unser bisheriges Wissen nicht reicht, vom Ausgangszustand zum Zielzustand auf direktem oder gewohntem Wege zu kommen, ist Heuristik gefragt: unterschiedliche Formen problemlösenden Denkens.“ (GUDJONS 2003, S. 229)

Die Kompetenzentwicklung der Lernenden ist hierbei nicht auf die einfach strukturierte Anwendung von bestehenden fachspezifischen Lösungsstrategien, die zudem häufig durch das Fachkundebuch oder die Lehr-

kraft vorgegeben werden, begrenzt, sondern schließt im Sinne eines eigenverantwortlichen Lernens auch überfachliche Kompetenzen mit ein. Außerdem wird bei einer Lernsituation mit einem problemorientierten Einstieg die Komplexität der beruflichen Realität eher berücksichtigt, sodass ein Transfer der in der Schule erworbenen Kompetenzen in die Facharbeit erleichtert wird.

„Das Wesentliche dieser forschenden Methodenkonzeption liegt darin, daß der Schüler [bzw. die Schülerin, Anm. d. A.], in eine metalltechnische Problemsituation gestellt wird, das im Lerngegenstand enthaltene Problem erkennt, formuliert, möglichst selbständig löst und die Problemlösung in der Praxis überprüft und anwendet.“ (NASHAN & OTT 2000, S. 63)

Am Beispiel der Auslegung eines Pneumatikzylinders, die die Berechnung der Kolbenkraft beinhaltet, konnte gezeigt werden, dass mit wenigen Veränderungen aus einem aufgaben- ein problemorientierter Unterricht gestaltet werden kann. In der Regel kann durch eine ergänzende Nebenbedingung auch ein Dilemma formuliert werden, sodass die Lernenden einen fachlichen Konflikt lösen müssen.

Die Gestaltung und Bearbeitung einer Problemstellung bzw. eines Dilemmas wird erleichtert, wenn die Lernsituation einen größeren zeitlichen Umfang besitzt. Eine Lernsituation mit nur 45 Minuten Dauer ist grundsätzlich kritisch einzuschätzen und wurde hier nur deshalb gewählt, um die Bedeutung des Einstiegs anhand einer übersichtlichen Lernsituation darzustellen.

Literatur

- GUDJONS, H. (2003): Pädagogisches Grundwissen. Bad Heilbrunn: Verlag Klinkhardt
- NASHAN, R. & OTT, B. (1995): Unterrichtspraxis Metalltechnik, Maschinentchnik. Didaktisch-methodische Grundlagen für Schule und Betrieb. Bonn: Dümmlers Verlag

Vom Spielzeug zur Industrieanwendung

Maker-Boards im Lichte gewerblich-technischer Facharbeit



SVEN JÄGER



AXEL GRIMM

Preiswerte Minicomputer – sogenannte Maker-Boards – werden von technik-begeisterten Hobbybastlerinnen und -bastlern schon lange geschätzt und benutzt. Die zumeist mit Open-Source-Hardware und -Software realisierten Boards hielten zunächst Einzug in die Bildung und nun auch in die Wirtschaft. Auf Industriemessen und bei gewerblich-technischen Didaktikausstattungen wird für den Einsatz der ehemaligen „Spielzeuge“ geworben. Offen ist bisher, ob Maker-Boards tatsächlich in der industriellen Facharbeit angekommen sind.

MAKER-BOARDS UND INDUSTRIEHARDWARE

Maker-Boards wie Raspberry Pi und Arduino wurden entwickelt, um Technik für Lernzwecke preiswert erfahrbar zu machen. Mit offenen Entwicklungsumgebungen und einem freien Lernen und Teilen des Wissens sind diese „Mini-Computer“ das Gegenteil von Industriesteuerungen, die eher teuer, in sich geschlossen und oftmals systemisch verschlossen sind. Die Hannover-Messe zeigte nun schon vermehrt Maker-Boards in industriespezifischen Anwendungen und auch die Didaktikausstattungen der beruflichen Bildung setzen auf Maker-Boards. In diesem Beitrag wird der Frage nachgegangen, ob Maker-Boards bereits als Gegenstand gewerblich-technischer Facharbeit eingesetzt werden.

Das Internet-of-Things („Internet der Dinge“, IoT) ist als Überbegriff für den Themenbereich Digitalisierung und Vernetzung nun auch Thema der Berufsbildung. Im Smart-Home sind alle nur denkbaren Geräte, von Smart-TVs über Alarmanlagen bis hin zu Küchengeräten, per Netzwerkschnittstelle ins heimische (W)LAN – und damit ins Internet – eingebunden. Diese smarten Geräte – sprich „Dinge“ – kommunizieren mit Herstellern, Usern und auch untereinander, wodurch neue Anwendungen möglich gemacht werden. In der Industrie werden ebenfalls die traditionell getrennten „Digitalisierungsebenen“ vom Shopfloor zur Managementebene

ne nun in ein Kommunikationsnetz eingebunden (vgl. GRIMM 2020).

Maker-Boards eignen sich hervorragend für die Entwicklung von Internet-of-Things-Hardware, als Entwicklungsplattform oder als fester Bestandteil des Geräts (als Embedded Controller).

Über cyber-physische Systeme (CPS) werden mechanische Komponenten über Netzwerke mit moderner Informationstechnik verbunden. Sie ermöglichen die Steuerung und die Kontrolle von komplexen Systemen und Infrastrukturen. Diese Verbindung von physikalischen und informationstechnischen Systemen bedeutet technisch nichts anderes als eine Analog-Digital-Wandlung wie bspw. in einem System-on-Chip (SoC) oder eingebettet in technische Systeme (Embedded Systems).

KURZE HISTORISCHE ENTWICKLUNG

Im Jahr 1971 bildete der als erster am Markt käuflich zu erwerbende Mikroprozessor, 4004 von Intel, – einhergehend mit der Technik der integrierten Schaltkreise – die technische Grundlage der Digitallogik (vgl. RÖBEN 2017).

30 Jahre später hatte sich der Softwarearchitekt Massimo Benzi, der sich am Interaction Design Institute Ivrea in Norditalien mit Physical Computing beschäftigte, der enormen Herausforderung gestellt „how to teach

students to create electronics, fast“ (KUSHNER 2011). In den Folgejahren vereinigte er eine leicht zu bedienende Entwicklungsumgebung mit einer günstigen und schnell einsatzbereiten Entwicklungsplatine. Nach dem Schließen des Instituts lebt die Idee – seither benannt nach der Studierendenbar Arduino in Ivrea – als Projekt unter der Creative Commons (CC) Lizenz weiter. Das Ziel ist es, Elektronik in einem nicht-ingenieurwissenschaftlichen Do-It-Yourself (DIY)-Kontext – auch ohne Mathematik studiert zu haben – zu vermitteln und dies nicht mit dem Zweck, Entwicklungsingenieurinnen und -ingenieure zu ersetzen, sondern vielmehr, um die Zusammenarbeit mit ihnen zu erleichtern.

Eine ähnliche – mehr auf die Informationstechnik hienzielende – Absicht hatte auch der Informatiker Eben Upton. Er ist Gründer und kaufmännischer Leiter der Stiftung, die den Einplatinencomputer Raspberry Pi entwickelt hat und vertreibt. Während seiner Arbeit am St. John's College in Cambridge stellte er fest, dass sich seine Studierendenanzahl stark verringerte und dass sich deren Leistungsfähigkeit stark verschlechterte. Er führte dies darauf zurück, dass das Technikinteresse der Jugendlichen abnahm, da die tatsächlichen Hardwarekomponenten in Telefonen, Fernsehern, Laptops, Spielsystemen und sogar Thermostaten zunehmend tief in versiegelten Glas-, Kunststoff- oder Aluminiumgehäusen vergraben sind (vgl. SEVERANCE 2013). In der US-amerikanischen Computerzeitschrift „wired“ bezeichnet Upton die aktuelle Generation als eine eher Hardware konsumierende statt produzierende Generation (vgl. SOLON 2013).

ZUM POTENTIAL VON MAKER-BOARDS ALS INDUSTRIEANWENDUNG

Im Jahr 2016, in dem der Raspberry Pi 3 sein Debüt hatte, erklärte Jens Kahrweg, damaliger Director Field

Application Engineering bei Atmel (mittlerweile Microchip), dass in nahezu jedem 3D-Drucker am Markt ein Chip von Atmel verbaut ist, aber „Maker-Boards nicht ausreichen, um ein Projekt den ganzen Weg von der Idee bis zur Produktion zu tragen. Auch wenn ein professioneller Entwickler mit einem Maker-Board anfängt, steigt er irgendwann auf eine professionelle Entwicklungsumgebung um“ (STROH 2016).

David Andeen (Maxim Integrated) und Emmanuel Sambuis (NXP Semiconductors) sehen Maker-Boards zu dieser Zeit lediglich für sogenannte Proof-of-Concepts (CoP) einsetzbar, da ihre Leistungsfähigkeit mit der von industriellen Chips und Entwicklungsumgebungen nicht vergleichbar ist. Ein Jahr später analysiert und entwickelt die Hilscher Gesellschaft für Systemautomation mbH zusammen mit dem Raspberry Pi Hersteller Element14 (als Teil von Premier Farnell Ltd.) die netPI-Plattform, die die bisherigen Grenzen zum Einsatz in der Industrie auflöst. Dazu zählen CPU-Leistung, Speicherlösungen, Schnittstellen, Softwareanpassungen und die Konnektivität an das IoT (vgl. BECK/HILSCHER 2017). Ohne jede einzeln zu erörtern, gibt es inzwischen einige industrielle Anwendungen, die auf einer der vielen Varianten des Raspberry Pi basieren (z. B. emPC-A/RPI, Kunbus). Manche schätzen das Leistungsvermögen, die Schnittstellenvielfalt und die Erweiterbarkeit mit sogenannten Hardware-Attached-on-Top (HATs) (vgl. BATZ/KUTHER 2018). Durch die Abbildung 1 lässt sich die Vielzahl an Ein- und Ausgängen, die es ermöglichen, verschiedene Sensoren und Aktoren anzuschließen, erkennen.

Farnell hat 2019 seine Kunden in einer weltweiten nicht-repräsentativen Umfrage zur Nutzung des Raspberry Pi befragt. Demnach nutzen Ingenieurinnen und Ingenieure Raspberry Pi in erster Linie für IoT-Anwen-

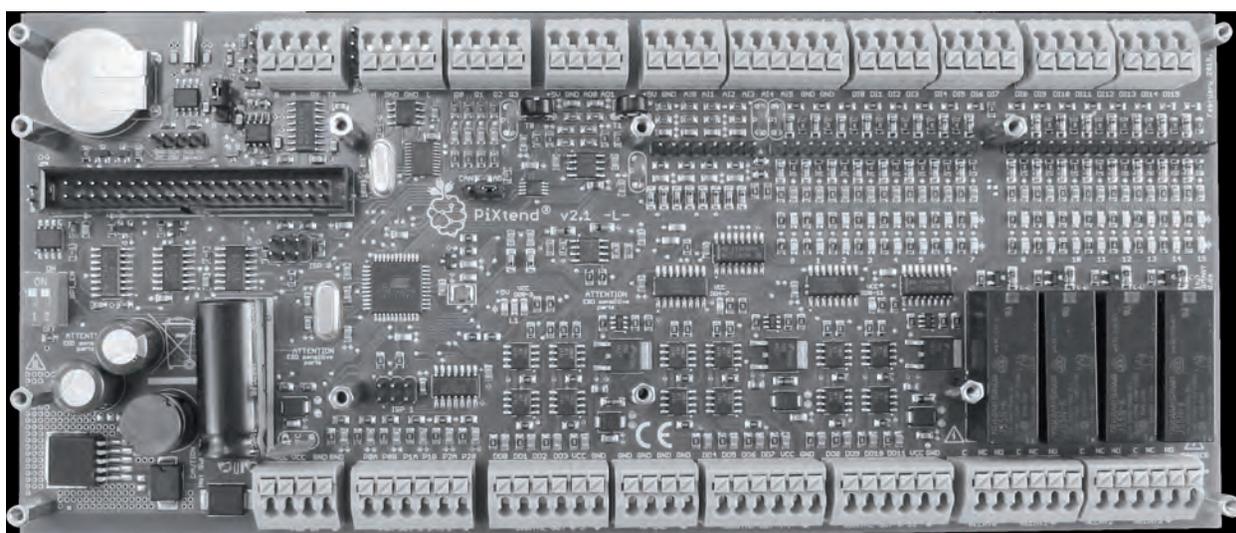


Abb. 1: Beispiel für eine auf einem Raspberry Pi Einplatinencomputer basierende, speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) (Quelle: Quelle: <https://www.reichelt.de/de/de/raspberry-pi-shield-sps-pixtend-v2-l-board-pixtend2-l-board-p239543.html?search=PIXTEND2&r=1>)

dungen, dicht gefolgt von Industrial Automation & Control. Andere Anwendungen umfassen Robotik, Anzeige- und Nutzeranwendungen (vgl. FARNELL 2019).

Die Ergebnisse zeigen, dass der Raspberry Pi nicht nur in der Maker-Szene, sondern ebenfalls in der Industrie einen immer höheren Stellenwert einnimmt (vgl. HÄNISCH 2017). Ob und in welcher Weise Maker-Boards in der Industrie eingesetzt werden, ist derzeit noch unklar; ebenso fehlt zum jetzigen Zeitpunkt die Verbindung zu beruflichen Arbeitsaufgaben.

METHODIK DER UNTERSUCHUNG UND FELDZUGANG

Um die Frage, ob Maker-Boards bereits als Gegenstand gewerblich-technischer Facharbeit in Unternehmen eingesetzt werden, empirisch beantworten zu können, wurde sich forschungsmethodisch für eine Arbeitsbeobachtung mit einem Expertengespräch als halbstrukturiertes Fachinterview (vgl. BECKER 2006) entschieden. Der Ablauf des Fachinterviews wurde nach NIETHAMMER (vgl. 2006) strukturiert.

Dem Feldzugang lag die Problematik zugrunde, dass Unternehmen nicht direkt damit werben, derartige Geräte zu benutzen und dadurch der Feldzugang erschwert ist. Es hätte sich den industrietypischen Begriffen Embedded System und CPS bedient werden können, aber selbst dann gestaltet sich die Suche nach derartigen Unternehmen (besonders im ländlichen Raum von Schleswig-Holstein) schwierig. Weiterhin sollte der Fokus der vorliegenden Untersuchung nicht nur auf der Technik selbst, sondern vielmehr ihrer Anwendung und den damit verbundenen subjektorientierten Lösungen liegen. Da die Verwendung eines „Spielzeuges“ in jenem Zusammenhang als unprofessionelles Handeln eingeschätzt werden kann, erschwert sich auch dadurch die Kontaktaufnahme. Letztendlich konnte der Feldzugang somit nur durch Wissen Dritter zu einem Unternehmen in der Fertigungs- und Logistikdienstleistungsbranche in der Elektronik und Mechatronik hergestellt werden. In einer kleinen Abteilung dieses Unternehmens werden individuelle Testgeräte zur Überprüfung der Serienprodukte konzipiert. Drei Personen konnten für die Untersuchung gewonnen werden.

DURCHFÜHRUNG DER UNTERSUCHUNG UND ERGEBNISSE

Nach einer persönlichen Vorstellung konnten die Arbeitsbeobachtungen und Fachinterviews nacheinander durchgeführt werden. Proband A hat vor sechs Jahren Technische Informatik an einer Hochschule studiert. Nach kurzer Beschäftigung bei einem anderen Unternehmen arbeitet er bei dem hier betrachteten Arbeitgeber. Dagegen hat der zweite Proband B vor fünf Jahren eine gewerblich-technische Berufsausbildung zum Elektroniker für Geräte und Systeme (EGS) in ei-

ner Ausbildungswerkstatt der Bundeswehr absolviert, anschließend einige Semester Elektrotechnik an einer Fachhochschule studiert und arbeitet nunmehr als Techniker. Proband C ist bereits seit 13 Jahren im Unternehmen als Techniker angestellt. Zuvor absolvierte er eine Ausbildung zum Industrieelektroniker mit der Fachrichtung Gerätetechnik ebenfalls in einer Ausbildungswerkstatt der Bundeswehr.

Für eine zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse werden die Antworten nach ihrer Intension kategorisiert, vereinfacht und einzelne Unterschiede gesondert betrachtet.

Zur täglichen Facharbeit

Den täglichen Anforderungen im Testerbau kann nur durch ein hohes Maß an Interesse und Spaß (am Gegenstand selbst) begegnet werden. Jeder Arbeitstag verläuft anders. Diese Abwechslung trägt bei allen Befragten zur Berufszufriedenheit bei. Die Facharbeit kann nicht (immer) als Arbeitsprozess mit den Schritten Annahme, Planung, Durchführung und Abnahme trennscharf abgegrenzt werden, sondern hat eher Projektcharakter, der sich i. d. R. über mehrere Monate – und zwar in individueller Einzelverantwortung – erstreckt. Im Allgemeinen verstehen sich die Probanden als Problemlöser, da sie vom Kunden eine Prüfanweisung bekommen und anschließend einen Testadapter – mitsamt dessen Peripherie – komplett in Eigenregie entwickeln. C fügt hinzu, dass besonders bei einer Fehlersuche im Testgerät selbst, die es im Tischaufbau zu suchen und zu finden gilt, fundamentale Grundlagen der Elektrotechnik vonnöten sind. Die Einarbeitungszeit für neue Facharbeiter benennt er mit einem Jahr. Seiner Meinung nach muss man ein „Nerd“ sein, um in diesem Tätigkeitsfeld arbeiten zu können.

Zur Identifikation mit dem Produkt

Die Identifikation mit dem Produkt und somit mit der Facharbeit ist auf einem hohen Niveau. Die Probanden erzählen nicht nur von ihren Erfolgen, sondern gehen mit dem Interviewer an das Gerät und präsentieren ihre Arbeit. Dabei berichten sie unter Einbezug einzelner Bauteile von den damit verbundenen Herausforderungen. Proband B lötet bspw. selbst entwickelte Schaltungen auf Lochrasterplatten, auf die er selbst ein besonderes Augenmerk legt. Eine extreme Identifikation stellt sich bei den Funktionen und Baugruppen dar, die nicht dem normalen Testerbau gleichen, sondern sich durch besonders kreative Lösungen unterscheiden.

Kreative Facharbeiten mit Maker-Boards und „Spieltrieb“ in der Facharbeit

Proband A präsentiert einen Raspberry Pi, den er an einem Tester-Arbeitsplatz mit einem Monitor verbun-

den hat. Das Bedienpersonal kann sich nunmehr durch Abscannen des Testprodukts zusätzlich die Prüfanweisung zu diesem Testschritt aus einer Datenbank abrufen und sie sich am Monitor papierlos anzeigen lassen. B deutet auf ein „Gimmick“, dass er in einem der Tester implementiert hat: Der Status der Messung wird dem Benutzer durch die Farbe eines RGB-Leuchtdioden-Streifens signalisiert. Die Umsetzung erfolgte per Arduino. Er gibt zu, bei diesem Projekt seinen „Spieltrieb“ ausleben zu können; natürlich hätte eine einfarbige Anzeige den gleichen Zweck verfolgt, aber die wechselnden Farben seien ein zusätzliches Hilfsmittel zur besseren Signalisierung des Status, dessen Implementierung Spaß machte.

C wird zu einem Ausfall der Anlage gerufen und erklärt, dass das Team zunehmend versucht, eigene Überwachungsfunktionen in die Prozesse einzubauen. Zwar meldet sich das Bedienpersonal der Maschinen auch telefonisch bei den Technikern, das gesamte Team fokussiert aber eine zusätzliche, technische Meldung. Bspw. wird dazu ein Raspberry Pi an eine vorhandene Steuerungstechnik mit der sogenannten Logocontrol via Netzwerk verbunden, um eine Kommunikation zur Steuerung herzustellen.

Ein anderes Beispiel sei ein verbautes Arduino-Maker-Board, mit dem „Timings“ eines Schrittmotors gesteuert werden. Er betont, dass er dafür mit diskreter Elektronik zu lange gebraucht hätte und es auch zu kompliziert sei. Maker-Boards, wie Arduino, dienen ihm als kleine „Zwischenproblemlöser“ im Gestaltungsraum jeden Elektroniklers.

Zur Entwicklung der Interessen

A hat sich bereits im Jugendalter gefragt, wie „Sachen“ funktionieren – z. B. wie Informationen auf einer Webseite dargestellt werden und wo sie herkommen. In einer Informatik Arbeitsgemeinschaft der allgemeinbildenden Schule wurde – begründet durch die Fachfremdheit der Lehrkraft – zwar keine Programmierung angeboten, jedoch steckte er Logikgatter auf einem Steckbrett zusammen, um die Funktion zu verstehen. Anfangs gelangweilt und den Sinn und Zweck nicht nachvollziehend, löste dieses manuelle Stecken ein besonderes Interesse bei ihm aus. Insbesondere der Wiedererkennungswert, bezogen auf diese Grundlagen, ist für ihn einer der Schlüsselmomente für seine aktuellen informationstechnischen Herausforderungen, wenn er sich bspw. bei der Programmierung einer UND-Verknüpfung im Quelltext an seine Anfänge in der schulischen Arbeitsgemeinschaft zurückerinnert.

Zum Einsatz eines „Spielzeuges“ in der Facharbeit

A sieht es keineswegs als Problem an, ein zuvor als „Spielzeug“ entwickeltes Gerät in seiner Facharbeit einzusetzen. B ergänzt, dass das Maker-Board Arduino für ihn kein Spielzeug ist.

Zur Zielfixierung in der Facharbeit

A betont, dass es nicht reiche, wenn die Funktion am Ende der Facharbeit gegeben ist. Vielmehr ist ein Verständnis vonnöten, die Problemlösungsstrategie zu erkennen und umzusetzen. Das „Wie“ und „Warum“ nehmen einen hohen Stellenwert ein.

Zu berufsfremden Tätigkeiten und der „richtigen“ Qualifikation

Laut A sei es unerheblich für die Facharbeit, ob Mitarbeiter/-innen eine Berufsausbildung oder ein Studium absolviert haben. Wichtiger sei es, eine breite, weit gefächerte Ausbildung erhalten zu haben, die eine Problemorientierung und weniger das Auswendiglernen fördert, um ein Problem in eine Lösung „übersetzen“ zu können. Seiner Meinung nach ist dazu „Hilfe zur Selbsthilfe“, also die richtige Benutzung einer Suchmaschine im Internet, notwendig. Wenn etwas zuvor Vorhandenes kopiert und in die eigene Arbeit eingefügt wird, ist das Wissen darüber, an welcher Stelle diese Vorlage angepasst werden muss, entscheidend.

B merkt an, dass neue Themenbereiche zu seinem Arbeitsalltag gehören, auch wenn diese mit seiner Berufsausbildung nichts gemein haben. Hierzu gehören z. B. Druckmessungen in Kühlkreisläufen, Lackieranlagen, Kleberdispenser und Schraubvorgang-Programme. Er sieht dies als spannenden neuen Teil seines Aufgabensbereichs an und als hervorragende Möglichkeit, sich persönlich weiter zu entwickeln.

C ist der Meinung, dass – trotz eines hohen Entwicklungsanteils in der täglichen Arbeit – eine gute Berufsausbildung genauso ausreichend ist, wie ein Studium.

Zur Beschäftigung in der Freizeit mit elektrotechnischen und/oder informationstechnischen Inhalten und zur Zugehörigkeit zur Maker-Szene

A beschäftigt sich in seiner Freizeit mit der Entwicklung von Softwareelementen und sieht „Basteln“ (im elektronischen Sinn) als sein Hobby an. Er nimmt an interaktiven Wettbewerben wie bspw. „hackthebox“ teil und betont die Wichtigkeit dieser stetigen Interessenerweiterung. C betreibt ein Smart-Home in seinem Eigenheim, das er auch in Eigenentwicklung auf Basis des Raspberry Pi erweitert. Da er auch privat C-Sharp und Roboter programmiert, kann er Hobby und Beruf

miteinander vereinen. Erneut betont er, dass man dafür nicht studiert haben müsse.

Zum Wissenserwerb während der Arbeit

Alle Interviewten beschreiben die gleiche Vorgehensweise: Diese sieht ein kleinschrittiges „Langhangeln“ im Selbststudium vor, um sich vom Anfänger zum Experten während der Arbeitszeit zu entwickeln. Das Fragen von Kollegen und besonders die Internetrecherche werden dazu als legitime Methoden verstanden.

Zum Teilen des Wissens

A hat bei der Weitergabe von selbst erarbeitetem Wissen an Dritte – selbst wenn diese Erarbeitung mehrere Stunden gedauert hat – keinerlei Bedenken. Gerne hilft er Kollegen – auch aus anderen Abteilungen und auch mehrfach – bei eigentlich profanen Fragen der Informationstechnik weiter. Er entwickelt und betreibt firmenintern sogar ein eigenes GitLab zur Verteilung von Dateiversionen.

Zur Work-Life-Balance

A fällt es eher schwer, während eines Projektes abzuschalten und arbeitet deshalb auch nach der Arbeit zu Hause daran weiter. Im Gegensatz dazu trennt B strikt zwischen Arbeit und Freizeit.

Zur Anwendung von Maker-Boards in der zukünftigen digitalisierten Arbeitswelt

B sieht Probleme in der IT-Sicherheit. Seiner Meinung nach sind Serverlösungen innerhalb des Betriebes (und nicht in einer Cloud) die bessere Alternative. In dem Falle, dass ein Kunde eine Verbindung zum System benötigt, könnte dies maximal über ein Virtual Private Network (VPN) realisiert werden. In der digitalen Zukunft stellt er sich die Umstellung von seriellen auf IP-basierte Schnittstellen vor. B geht davon aus, dass das Maker-Board Arduino zukünftig mehr zum Einsatz kommen wird. Dies führt er auf die Flexibilität, den schnellen und günstigen Ersatz sowie die teilweise einfachere Wissensaneignung zurück. Proband C befürchtet Probleme durch die immer weitreichenderen Softwareimplementierungen. Dahingehend sollten Schüler mehr in C, Arduino und SPS ausgebildet werden.

BEANTWORTUNG DER FRAGESTELLUNG

Aus den Untersuchungen geht hervor, dass Maker-Boards wie Arduino und Raspberry Pi in der Industrie zum Einsatz kommen. Der Vorwurf, sie würden sich lediglich für das Proof-of-Concept eignen, kann insofern zurückgewiesen werden, als dass die Interviewten technisch keinerlei Bedenken dabei haben, diese auch im operativen Geschäft einzusetzen. Die betrachteten Handlungsfelder lassen nicht auf eine Prototypentwick-

lung schließen – auch wenn die produzierten Geräte Einzelstücke bleiben.

In Verbindung mit einem nahezu uneingeschränkten Wissensaustausch kann – zumindest für die, dieser Studie zugrunde liegende Facharbeit – ein Zusammenhang zur Maker-Szene postuliert werden, auch kann die Programmierung eines RGB-LED-Streifens als ein sehr beliebtes Projekt bei Makern eingeschätzt werden. Der durch die hiesige Erhebung extrahierte Arbeitsprozess unterscheidet sich in der Herangehensweise von weniger kreativen Arbeitsaufgaben: Von der Problemstellung oder einer Idee, einen Prozess zu verbessern, ausgehend, informieren sich die Facharbeiter/-innen insbesondere im Internet in entsprechenden Communitys über Lösungsansätze, die sie auf ihr eigenes Problem projizieren und anpassen. Anschließend benutzen sie handelsübliche, erschwingliche Hardware (mit offenen Schnittstellenstandards) zur Realisierung dieses Projekts und distribuieren ihr Wissen wiederum frei in Communitys. Eine weitere Analogie zur Maker-Szene lässt sich durch das nicht-hierarchische Handeln und Denken ausmachen: Alle Interviewten stellen ihre Fachkompetenz über formalisierte Qualifikationen. Diese Fachkompetenz spiegelt sich auch in einer besonderen Fachsprache wider, die die Durchführung eines solchen Interviews erschwert und die Involviertheit des Forschers im Sinne einer geteilten Fachsprache notwendig macht. Ist dies nicht gegeben, so könnte sich die besondere Ebene der Subjektorientierung erst gar nicht öffnen, da „der Interviewer als (Gesprächs-) Partner von der Praxisgemeinschaft anerkannt sein (muss)“ (NIETHAMMER 2006, S. 596).

BERUFSDIDAKTISCHE IMPLIKATIONEN

Die Analyse eines Innovationsbereiches innerhalb der beruflichen Facharbeit erlaubt Rückschlüsse auf zukünftige Kompetenzbedarfe. Die dargestellte Untersuchung hat gezeigt, dass in der elektrotechnisch-informatischen Facharbeit Technik zum Einsatz kommt, die bis vor kurzem noch als „Spielzeug“ abgetan worden wäre. Aufgrund von Zugänglichkeit und Kosten sind Maker-Boards nun aber als Arbeitsmittel anerkannt und stehen als technisches Artefakt den bisherigen geschlossenen und teuren Industriesystemen entgegen. Mit der Nutzung dieser Technik wurde eine Veränderung der Arbeit – bei der Bewältigung konkreter Arbeitsaufgaben – analysiert. Die offenen Technikstandards erlauben es, frei zur Verfügung stehendes Wissen, das in sozialen Netzwerken durch Fachcommunitys geteilt und distribuiert wird, einzubeziehen. Weiterhin zeigen sich hinsichtlich einer Gestaltungsorientierung kreative Freiräume bei der Umsetzung konkreter Problemstellungen.

Perspektivisch sollten in der bereits adressierten gewerblich-technischen Berufsbildung Lehr-/Lernarran-

gements nicht nur etablierte Industriesysteme thematisieren, sondern sich exemplarisch mit Maker-Boards auseinandersetzen und dafür neben einem veränderten Zugang zu Informationen auch kreative Gestaltungsprozesse stärker mit aufnehmen. Die fundamentale Idee der informationstechnischen Nutzung offener Schnittstellen und damit des geteilten Wissens kann auch ein Umdenken hinsichtlich der eigenen Personal- und Sozialkompetenz bewirken, was letztlich die Teambildung unterstützt und einem tradierten Wissensegoismus entgegensteht.

Maker-Boards haben das Potential, aktuelle Themenbereiche wie bspw. IoT oder Long Range Wide Area Networks (LoRaWANs) – auch in Verbindung mit 3D-Druck – technisch zu realisieren und tradierte Lernkulturen zu innovieren. Lernorte wie die sogenannten Maker-Spaces und Hackertons stehen für ein kollaboratives und kreatives Lernen. In einem nächsten Schritt wird untersucht, inwieweit deren weitestgehend intrinsisch motiviertes Potential für formales (berufliches) Lernen nutzbar gemacht werden kann.

LITERATUR

- BATZ, M./KUTHER, M. (2018): Warum Raspberry Pi 3B+ ideal für die Industrie ist. Online verfügbar unter: <https://www.industry-of-things.de/warum-raspberry-pi-3b-ideal-fuer-die-industrie-ist-a-719300/> (Zugriff am 04.02.2020)
- BECK, A. (2017): Raspberry Pi in der Industrie: 10 Fallstricke beseitigt. Online verfügbar unter <https://www.industr.com/de/raspberry-pi-industrie-2297374> (Zugriff am 14.09.2020).
- BECKER, M. (2006): Beobachtungsverfahren. In F. RAUNER (Hrsg.), Handbuch Berufsbildungsforschung. 2. Auflage. Bielefeld: wbv, S. 628-634.
- FARNELL (2019): New Insights into Raspberry Pi Market Emerge from Premier Farnell User Survey. Online verfügbar unter: <https://www.element14.com/news/new-insights-into-raspberry-pi-market-emerge-from-premier-farnell-user-survey/> (Zugriff am 14.09.2020).
- GRIMM, A. (2020): Automatisierungstechnik – ein Querschnittsthema der beruflichen Fachrichtungen. In: lernen & lehren, Heft 137, 35. Jhrg., S. 6-12.
- HÄNISCH, T. (2017): Grundlagen Industrie 4.0. In: ANDELFINGER, V. P.; HÄNISCH, T. (Hrsg.): Industrie 4.0: Wie cyber-physische Systeme die Arbeitswelt verändern. Wiesbaden: Springer, S. 9-32.
- KUSHNER, D. (2011): The Making of Arduino. How five friends engineered a small circuit board that's taking the DIY world by storm. Online verfügbar unter: <https://spectrum.ieee.org/geek-life/hands-on/the-making-of-arduino> (Zugriff am 14.09.2020).
- NIETHAMMER, M. (2006): Fachinterview. In: RAUNER, F. (Hrsg.): Handbuch Berufsbildungsforschung. 2. Auflage. Bielefeld: wbv, S. 595-601.
- RÖBEN, P. (2017): Industrie 4.0 und Berufsbildung 4.0: Zwei Projekte, eine Nummer? In: BECKER, M.; DITTMANN, C.; GILLEN, J.; HIESTAND, S.; MEYER, R. (Hrsg.): Einheit und Differenz in den gewerblich-technischen Wissenschaften. Münster: LIT, S. 246-267.
- SEVERANCE, C. R. (2013): Eben Upton: Raspberry Pi. In: Computer, Heft 10, 46. Jhrg., S. 14-16.
- SOLON, O. (2013): Raspberry Pi's Eben Upton: we need to create a generation of producers not consumers | Wired 2013 video. Wired UK. Online verfügbar unter: <https://www.wired.co.uk/article/eben-upton-raspberry-pi> (Zugriff am 27.01.2020).
- STROH, I. (2016): Professionelle versus Maker-Boards: Proof-of-Concept ist möglich, mehr aber auch nicht. Online verfügbar unter: <https://www.elektroniknet.de/markt-technik/embedded/proof-of-concept-ist-moeglich-mehr-aber-auch-nicht-130973-Seite-2.html> (Zugriff am 04.02.2020).

FELIX RAUNER: Ausbildungsberufe. Berufliche Identität und Arbeitsethik. Eine Herausforderung für die Berufsentwicklung und die Berufsausbildung. Reihe „Pädagogik: Forschung und Wissenschaft“, Band 19, LIT Verlag Dr. W. Hopf Berlin 2019, 234 Seiten, 34.90 EUR, br., ISBN 978-3-643-14419-5

Mit dem Band „Ausbildungsberufe“ hat FELIX RAUNER ein weiteres Werk im Rahmen seiner Studien zur „Large-Scale-Kompetenzdiagnostik“ herausgegeben. Der Bremer Wissenschaftler stellt darin Ergebnisse spezieller Auswertungen seiner schon seit einigen Jahren unter dem etablierten Projekttitel „COMET“ laufenden Arbeiten zum „Messen“ von Kompetenzen vor. Diesmal steht vor allem der von HERWIG BLANKERTZ bereits 1983 geäußerte Zusammenhang zwischen Identitäts- und Kompetenzentwicklung im Mittelpunkt der Betrachtungen. Der erste Untertitel „Berufliche Identität und Arbeitsethik“ soll verdeutlichen, worauf hier der Fokus gelegt wird. Dass es dabei um einen Kontext zur Kompetenzentwicklung geht, versteht sich bei Rauner – zumindest in den vergangenen zehn Jahren – beinahe von selbst. Kritiker könnten allerdings anmerken, dass der vielversprechende Titel nicht wirklich gehalten wird. Es geht primär eben nicht allgemein um Ausbildungsberufe sowie die Rollen von beruflicher Identität und Arbeitsethik, die diese Aspekte im Kontext von Berufsausbildung und -ausübung spielen können. Vielmehr werden in empirischer Auswertung Facetten beruflicher Kompetenzentwicklung von Auszubildenden verschiedener Ausbildungsberufe in den Kontext u. a. von beruflicher Identität und Arbeitsethik gerückt.

RAUNER, dem sieben Mitstreiterinnen und Mitstreiter beim Zusammenstellen der Detailauswertungen zur Seite standen, fasst die wichtigsten Ergebnisse vorneweg zusammen und gibt Handlungsempfehlungen (S. 3–13). Vielen Aussagen kann man vermutlich auch ohne empirischen Nachweis, aber mit berufspädagogischem Gefühl leicht folgen; etwa dass die Ausbildung im Wunschberuf eine wichtige Voraussetzung für die Entwicklung beruflicher Identität und beruflichen Engagements sei (siehe S. 3). Wesentlich ist sicherlich, dass Ausbildungsberufe – nach den Untersuchungen der Bremer Forschungsgruppe – über ein unterschiedliches Identifikationspotential verfügen (siehe S. 4 ff.).

Ehe in die Empirie eingestiegen wird, erläutert RAUNER einige Hintergründe. Von daher greift er theoretische Überlegungen auf und entwickelt solche auch weiter.

So kommt er bei „der Modellierung der Zusammenhänge zwischen Identität und Engagement“ zu insgesamt fünf Formen, die es zu unterscheiden gilt: berufliche und betriebliche Identität einerseits sowie berufliches Engagement, betriebliches Engagement und Arbeitsmoral andererseits (S. 33 f.). Bei der Arbeitsmoral handelt es sich nach dem hier zugrunde gelegten Verständnis um eine Leistungsbereitschaft, „die darauf basiert, Anweisungen mehr oder weniger ‚blind‘ auszuführen“ (S. 34); es geht um „eine Identifizierung mit der Arbeit ‚an sich‘, ohne die Berücksichtigung konkreter Inhalte“ (ebd.). Für alle fünf Formen sind entsprechende Items benannt (S. 34–36).

Die von RAUNER und z. B. JENNY FRENZEL – sie ist am Beginn des vierten Kapitels explizit ausgewiesen (siehe S. 136) – vorgestellten empirischen Ergebnisse sind jedoch vielfältiger. So wird man ebenfalls fündig, wenn man etwas über Einschätzungen der Auszubildenden zur Qualität der Ausbildung (Kap. 3, S. 88 ff.) und dabei z. B. zur erlebten Lernortkooperation (S. 92) sucht. Separate Auswertungen mit Einschätzungen zu Ausbildungsqualität und Lernortkooperation gibt es u. a. für Industriemechaniker/-innen (S. 99 ff.) oder Kfz-Mechatroniker/-innen (S. 104 f.). Immer wieder werden Schwächen in der Kooperation der Lernorte (z. B. S. 5, S. 94, S. 97, S. 101 usw.; bilanzierend: S. 116 ff.) und die Unterschätzung der Bedeutung der Berufsschule (siehe z. B. S. 100 f.; S. 129 f.) resümiert, wobei mögliche Begründungen geliefert werden (S. 134 f.). Hier dürften viele Anknüpfungspunkte für weitere Arbeiten bestehen, zumal mitunter unklar bleibt, inwiefern manche Erklärungen empirisch überprüft oder nicht doch eher gemutmaßt sind. Unabhängig davon wird der Berufsschule in der Wahrnehmung der Auszubildenden kein gutes Zeugnis ausgestellt. So heißt es speziell für die Ausbildung der Industriemechaniker/-innen: „Die Berufsschule wird als Juniorpartner in der dualen Berufsausbildung wahrgenommen. Sie erreicht mit ihren Lehrinhalten und Methoden aus der Sicht der Mehrheit der Befragten nur unzureichend die Relativität der Arbeitswelt.“ (S. 100 f.)

Für Leserinnen und Leser von „I&I“ sind weitere Detailergebnisse interessant. In der Liste der Ausbildungsberufe (S. 39) schneiden „Fachinformatiker/-in Systemintegration“ (2. Platz unter 45 konkret benannten Ausbildungsberufen; 84 %), „Kfz-Mechatroniker/-in“ (3./74,1 %) und „Fahrzeuglackierer/-in“ (5./66,2 %) mit sehr hohen Quoten als Wunschberufe erfreulich gut ab. „Elektroniker/-in EEG“ (51,1 %) und „Industriemechaniker/-in“ (50,0 %) liegen hingegen nur knapp über dem Gesamtdurchschnitt von 45,4 Prozent. Unterdurchschnittlich oft sind z. B. „Konstruktionsmechaniker/-in“ (31,8 %) und „Mechatroniker/-in“ (30,9 %) die Wunschberufe der Auszubildenden. Der Beruf „Fachinformatiker/-in Systemintegration“ liegt bei der beruflichen Identität (siehe S. 46) und beim beruflichen Engagement (siehe S. 48) sogar auf Platz 1. Industriemechaniker/-innen weisen indes eine sehr heterogene Identitätsentwicklung über die Ausbildungszeit mit einem starken Abfall im zweiten und einem folgenden Anstieg im dritten Jahr auf (siehe S. 51), was sich mit dem Verlauf zum beruflichen Engagement (siehe S. 52) deckt. In solcher Art kann man aus dem insgesamt 234seitigen Werk jede Menge Einzelergebnisse für einen interessierenden Ausbildungsberuf – nicht nur aus dem gewerblich-technischen Bereich – entnehmen.

Insgesamt zeigt sich, dass FELIX RAUNER mit der nächsten Detailauswertung – zuvor erschien eine ähnliche Studie zur Kreativität – eine weitere vertiefte Darstellung zu im Ausbildungsberuf liegenden Einflussfaktoren der Kompetenzentwicklung vorgelegt hat. Dem Band hätte nicht nur ein passender Titel, sondern eine bessere „innere Ordnung“ gut getan, doch besticht das Werk durch verständliche Abbildungen und Tabellen sowie Zusammenfassungen bzw. Fazits. Dadurch kann ein zügiges Lesen und ein Verstehen zentraler Botschaften des Autors erreicht werden. Gewöhnungsbedürftig ist indes u. a., dass ein separates Literaturverzeichnis fehlt und stattdessen die Quellen mit weiteren Erläuterungen in einem dem Textkörper anschließenden Anmerkungsstück zu finden sind.

Volkmar Herkner

Verzeichnis der Autorinnen und Autoren

BISS, HENNING

LiV, Emil-Possehl-Schule, Lübeck, E-Mail: henning.biss@epshl.de

FASOLD, FRANK

Sachverständiger Photovoltaik, FFaCon Industrieberatung ENERGIE Planungs- und Beratungsbüro, E-Mail: info@frank-fasold.com

GRIMM, AXEL

Prof. Dr., Hochschullehrer, Europa-Universität Flensburg, Berufsbildungsinstitut Arbeit und Technik, E-Mail: axel.grimm@uni-flensburg.de

HERKNER, VOLKMAR

Prof. Dr., Hochschullehrer, Europa-Universität Flensburg, Berufsbildungsinstitut Arbeit und Technik, E-Mail: volkmar.herkner@biat.uni-flensburg.de

JÄGER, SVEN

Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Europa-Universität Flensburg, Berufsbildungsinstitut Arbeit und Technik (biat), Berufliche Fachrichtungen Elektrotechnik und Informationstechnik und deren Didaktiken, E-Mail: sven.jaeger@uni-flensburg.de

JOCHIMSEN, ULRICH

Vorstandsmitglied „Netzwerk Dezentrale Energienutzung e.V.“, Potsdam, E-Mail: jochimsen@netzwerk-den.de

KLEINER, MICHAEL

Dr., Fachdirektor für Metalltechnik und Bildungswissenschaften, Landesinstitut für Schule in Bremen (LIS), E-Mail: mkleiner@uni-bremen.de

RICHTER-HONSBROK, TIM

Dr., Studienrat an den BBS Burgdorf in der Region Hannover, E-Mail: tim.richter@bbs-burgdorf.de

RUKS, MICHAEL,

Berufsschullehrer, Oskar-von-Miller-Schule Kassel, E-Mail: m.ruks@ovm-kassel.de

SCHÜTT-SAYED, SÖREN

Wissenschaftlicher Mitarbeiter für Didaktik der Fachrichtungen Metall- und Elektrotechnik am Institut für Berufs- und Wirtschaftspädagogik der Universität Hamburg, E-Mail: soeren.schuett@uni-hamburg.de

SPRINGER, PHILIP

Berufsschullehrer, Technisches Bildungszentrum Mitte, Bremen, E-Mail: spr@tbz-bremen.de

STETZA, ANDREAS

Oberstudienrat, Dipl.-Ing. (FH), Beauftragter für das Energieprofil der G 10, Leiter des Smart Grid Labors, Staatliche Gewerbeschule Energietechnik – G 10, E-Mail: stetza@g10.de.

VOLLMER, THOMAS

Universitätsprofessor (i.R.) für Didaktik der Fachrichtungen Metall- und Elektrotechnik am Institut für Berufs- und Wirtschaftspädagogik der Universität Hamburg; Vorsitzender der BAG ElektroMetall e. V., E-Mail: vollmer@bag-elektrometall.de.

Impressum

„lernen & lehren“ erscheint in Zusammenarbeit mit den Bundesarbeitsgemeinschaften für Berufsbildung in den Fachrichtungen Elektro-, Informations-, Metall- und Fahrzeugtechnik e. V.

www.lernenundlehren.de

Herausgeber

Axel Grimm (Flensburg), Volkmar Herkner (Flensburg), Klaus Jenewein (Magdeburg),
Georg Spöttl (Bremen)

Beirat

Matthias Becker (Hannover), Thomas Berben (Hamburg), Ralph Dreher (Siegen), Peter Hoffmann (Dillingen), Claudia Kalisch (Rostock), Andreas Lindner (München), Tamara Riehle (Siegen), Reiner Schlausch (Flensburg), Friedhelm Schütte (Berlin), Ulrich Schwenger (Heidelberg), Nikolaus Steffen (Freiburg), Thomas Vollmer (Hamburg), Lars Windelband (Schwäbisch-Gmünd)

Heftbetreuer: Thomas Vollmer

Titelbild: Tim Caspary/Pixelio.de

Schriftleitung (V. i. S. d. P.) lernen & lehren

StD Dr. Michael Tärre, Rehbockstr. 7, 30167 Hannover, taerre_michael@hotmail.com

Dr. Britta Schlömer, BBS Ammerland, Elmendorfer Str. 59, 26160 Bad Zwischenahn, britta.schloemer@freenet.de

Dr. Torben Karges, Technische Universität Berlin, Institut für Berufliche Bildung und Arbeitslehre, Marchstraße 23, 10587 Berlin, torben.karges@tu-berlin.de

Dr. Tim Richter-Honsbrok, BBS Burgdorf, Berliner Ring 28, 31303 Burgdorf, tim.richter@bbs-burgdorf.de

Alle schriftlichen Beiträge und Leserbriefe bitte an eine der obenstehenden Adressen senden. Manuskripte gelten erst nach Bestätigung der Schriftleitung als angenommen. Namentlich gezeichnete Beiträge stellen nicht unbedingt die Meinung der Herausgeber dar. Theorie-Beiträge des Schwerpunktes werden einem Review-Verfahren ausgesetzt. Unverlangt eingesandte Rezensionsexemplare werden nicht zurückgesandt.

Layout/Gestaltung

Brigitte Schweckendieck/Winnie Mahrin

Verlag, Vertrieb und Gesamtherstellung

Roco Druck GmbH, Neuer Weg 48a, 38302 Wolfenbüttel, Telefon: (0 53 31) 97 01-0

Als Mitglied einer BAG wenden Sie sich bei Vertriebsfragen (z. B. Adressänderungen) bitte stets an die Geschäftsstelle, alle anderen wenden sich bitte direkt an den Verlag.

Geschäftsstelle der BAG Elektro-, Informations-, Metall- und Fahrzeugtechnik
c/o ITB – Institut Technik und Bildung der Universität Bremen, Am Fallturm 1 – 28359 Bremen
kontakt@bag-elektrometall.de

ISSN 0940-7340

ADRESSAUFKLEBER

BAG

WWW.BAG-ELEKTROMETALL.DE
KONTAKT@BAG-ELEKTROMETALL.DE