

Beckamp, Marius; Schmitt, Martina; Flögel, Franz; Knobbe, Sonja; Paul, Hansjürgen

Research Report

Digitalisierung der Industrie: Beitrag zur Energiewende und veränderte Arbeitsbedingungen

Forschung Aktuell, No. 10/2019

Provided in Cooperation with:

Institute for Work and Technology (IAT), Westfälische Hochschule, University of Applied Sciences

Suggested Citation: Beckamp, Marius; Schmitt, Martina; Flögel, Franz; Knobbe, Sonja; Paul, Hansjürgen (2019) : Digitalisierung der Industrie: Beitrag zur Energiewende und veränderte Arbeitsbedingungen, Forschung Aktuell, No. 10/2019, Institut Arbeit und Technik (IAT), Gelsenkirchen,
<https://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:wup4-opus-74956>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/206652>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

Digitalisierung der
Industrie –

Beitrag zur
Energiewende
und veränderte
Arbeitsbedingungen

Autorinnen und Autoren:

Marius Beckamp
Martina Schmitt
Franz Flögel
Sonja Knobbe
Hansjürgen Paul

Auf den Punkt

- Die energieintensive Industrie kann zum Ausgleich volatiler Stromspeisungen und somit zum Gelingen der Energiewende beitragen.
- Digitalisierungsprozesse ermöglichen die Flexibilisierung der Produktion, wodurch die Stromnachfrage steuerbarer wird.
- Gegenwärtig sind die Anreize zur Flexibilisierung jedoch für die meisten Unternehmen aufgrund von Investitionsunsicherheiten und der Konkurrenz durch konventionelle Kraftwerke gering.
- Im Rahmen der Transformation des Energiesystems und zunehmender Digitalisierung der Produktion wird die Flexibilisierung für Industrieunternehmen perspektivisch attraktiver.
- Digitalisierung und Flexibilisierung haben Auswirkungen auf Beschäftigte. So werden bereits jetzt Tätigkeiten an eine Abschaltung von Anlagen zur Stabilisierung des Stromsystems angepasst.
- Im Hinblick auf Digitalisierungsprozesse gilt es, Mitarbeiter frühzeitig zu beteiligen und Ängste sowie Anregungen der Beschäftigten ernst zu nehmen.
- Die Akzeptanz von Veränderungsprozessen kann durch eine frühzeitige Einbindung der Beschäftigten und ihrer Vertretung gefördert werden.
- Ein den Digitalisierungsaktivitäten entsprechendes Personalkonzept stellt sicher, dass Beschäftigte mit notwendigem Know-how ausgestattet werden.

Zentrale Einrichtung der
Westfälischen Hochschule
Gelsenkirchen Bocholt
Recklinghausen in
Kooperation mit der
Ruhr-Universität Bochum

 **Westfälische
Hochschule**

**RUHR
UNIVERSITÄT
BOCHUM** **RUB**

1. Hintergrund

Im Vergleich zu konventioneller Energieerzeugung sind erneuerbare Energieträger überwiegend volatil: Windkraftanlagen sind stark wetterabhängig und Photovoltaiksysteme sind auf Sonneneinstrahlung angewiesen. Die Energiewende führt zu einer Zunahme erneuerbarer Energien im deutschen Stromversorgungssystem. Erneuerbare Energieträger bedingen eine sowohl geographisch als auch auf Netzebene dezentrale Stromspeisung, da nun die Stromerzeugung in kleineren Anlagen erfolgt und sich deren Standorte stärker an naturräumlichen Gunstfaktoren und weniger an großen Verbrauchern orientieren. Während die Erzeugungssituation also dezentraler und volatiler wird, gibt es bisher nur bedingt Anpassungen auf Seite der Verbraucher: Es fehlt an einer vergleichbaren Entwicklung hin zu einer flexibleren Abnahme der Energie, um wetterbedingte Schwankungen in der Einspeisung kompensieren zu können. Aufgrund des hohen Strombedarfs kann die energieintensive Industrie eine Rolle in der Stabilisierung des Energiesystems übernehmen, denn insbesondere die Digitalisierung der Produktionsprozesse schafft neue Möglichkeiten flexibel auf die volatile Stromspeisung zu reagieren. Im Projekt *EnerDigit: Energiewende und Digitalisierung zwischen Dezentralität und Zentralität* wurden Verknüpfungen zwischen (energieintensiver) Industrie und Energiesystem untersucht, um bereits existierende Anknüpfungspunkte und mögliche Potentiale zur Unterstützung eines auf volatiler Einspeisung beruhenden Energiesystems durch digitalisierte Prozesse zu erfassen. In einem weiteren Schritt wurde die Betrachtung auf die Unternehmensseite gelenkt, um mögliche Auswirkungen von Digitalisierung und Flexibilisierung auf Prozesse innerhalb von Unternehmen und insbesondere auf die Beschäftigten explorativ zu erfassen. Methodisch wurden hierzu neben Literaturstudien und Experteninterviews zwei Workshops durchgeführt und ein Unternehmen im Rahmen einer Fallstudie näher betrachtet. Vorliegender Beitrag fasst zentrale Ergebnisse des Projekts EnerDigit zusammen.

Im Folgenden wird auf die Rolle der energieintensiven Industrie in der Energiewende und auf Möglichkeiten und Anreize für eine Flexibilisierung von Lasten eingegangen. Weiterhin werden die Rolle der Digitalisierung sowie die durch diese entstehenden Auswirkungen auf Beschäftigte beleuchtet und Möglichkeiten zur erfolgreichen Einführung und Begleitung von Digitalisierungsprozessen betrachtet. Abschließend erfolgt die Zusammenführung der Ergebnisse. Abbildung 1 bietet einen ersten Überblick über die behandelten Themenfelder und ihre Zusammenhänge.

Anknüpfungspunkte zwischen den Themenfeldern Energie, Industrie & Beschäftigte

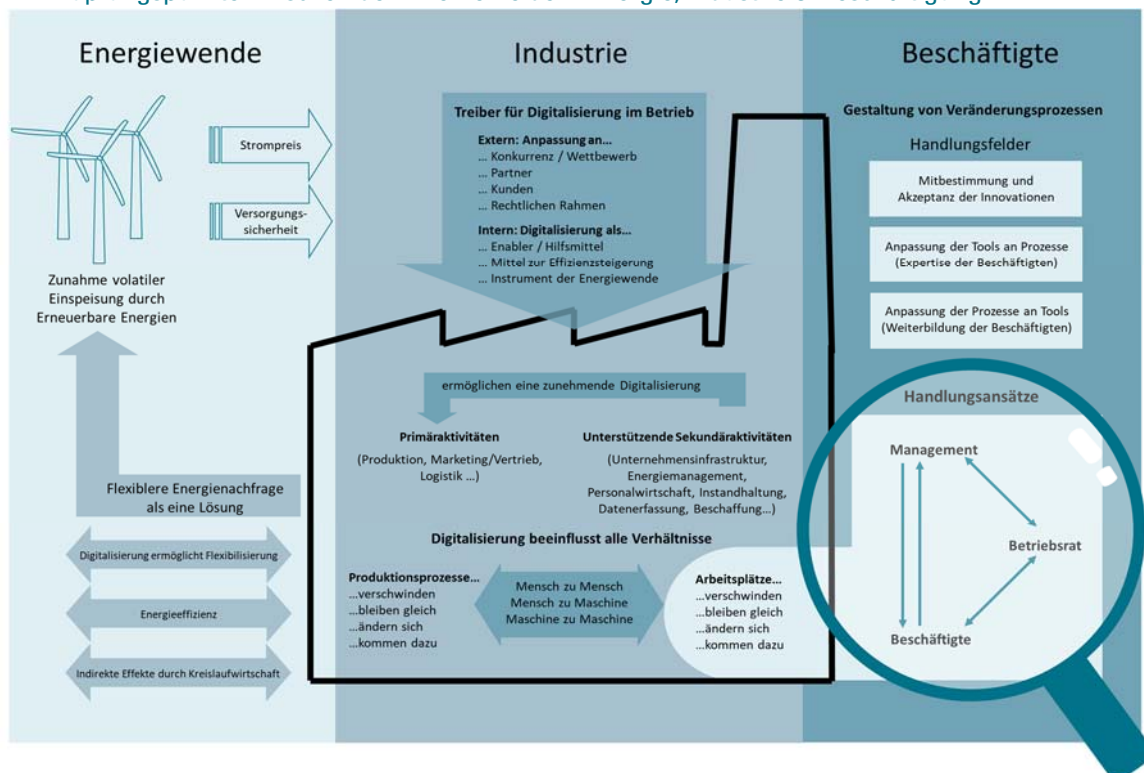


Abbildung 1: Darstellung der Anknüpfungspunkte auf Basis der Ergebnisse eines Workshops (Grafik: Sophia Schambelon, IAT 2019).

2. Digitalisierung und flexible Lasten als ein Beitrag zur Energiewende

Der Industriesektor war für 28,3 % des gesamtdeutschen Energieverbrauchs im Jahr 2016 verantwortlich (Umweltbundesamt (UBA) 2017). Besondere Relevanz weist dabei die energieintensive Industrie auf, welche zwei Drittel des industriellen Energieverbrauchs in Deutschland zu verantworten hat (Ausfelder et al. 2018). Bei der Betrachtung des Energiebedarfs industrieller Abnehmer in Deutschland zeigt sich, dass diese eine große Rolle in der Energiewende spielen müssen. Um die CO₂-Emissionen in Deutschland nachhaltig zu senken, müssen der Energieverbrauch gesenkt und emissionsarme Energiequellen genutzt werden. Energieintensive Unternehmen können hier in beiden Fällen unterstützend wirken: einerseits durch die Einführung energieeffizienterer Produktionsprozesse; andererseits durch eine netzdienliche flexiblere Stromnachfrage (siehe Seidl et al. 2016; Ausfelder et al. 2018; Vallentin et al. 2016; EnergieAgentur.NRW 2016; Buber et al. 2013; Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) 2010). Der hohe Energiebedarf und die grundsätzliche Möglichkeit zur Flexibilisierung der Stromnachfrage im Produktionsprozess bieten dabei in verschiedenen Branchen der energieintensiven Grundstoffindustrie große Potentiale, um zum Ausgleich volatiler erneuerbarer Energien herangezogen zu werden.

Die zunehmende Digitalisierung von Energiesystem und Produktion bietet neue Möglichkeiten und zukünftige Potentiale für eine Flexibilisierung der Energienachfrage: digitalisierte Produktionsprozesse ermöglichen einen genaueren Einblick in den Energieverbrauch einzelner Produktionsschritte und zeigen damit Möglichkeiten für Effizienz- oder Flexibilisierungsmaßnahmen auf. Auch können die Auswirkungen von Lastverschiebungen einzelner Anlagen auf die gesamte Produktion besser abgeschätzt werden. In anderen Fällen wiederum ermöglicht eine intelligente Steuerung der Prozesse überhaupt erst die Flexibilisierung von Lasten, wie zum Beispiel im Fall der TRIMET Aluminium SE:

Der energieintensive Prozess der Aluminium-Elektrolyse – welcher zum Halten einer konstanten Betriebstemperatur zuvor eine durchgängige Stromzufuhr benötigte – konnte durch die Installation von Wärmetauschern und die Modifikation des Stromschienensystems in Kombination mit der Einführung einer innovativen Mess- und Regeltechnik als „virtuelle Batterie“ zur Flexibilisierung nutzbar gemacht werden (TRIMET Aluminium SE; Wehnert et al. 2019).

Eine Digitalisierung der Infrastruktur ist nicht nur für die innerbetriebliche Steuerung der Lasten notwendig, sondern gerade auch für die Kommunikation mit den Energiemärkten und -netzen. Obwohl Unternehmen der Zugang zu Energiebörse bzw. Regelenenergiemärkten offensteht, ist es selbst bei den energieintensiven Industrien zumeist ein Energiedienstleister (Aggregator), welcher diesen Prozess initiiert und organisiert. Aggregatoren verknüpfen Erzeuger, Speicher und Abnehmer, um am Markt Flexibilität anzubieten (Dell-Almak et al. 2018). Diese virtuellen Kraftwerke ermöglichen es, verschiedene (Flexibilitäts-)Märkte zu bedienen, während durch das Aggregieren einzelner Anlagen Skaleneffekte erzielt werden und so auch geringere Potentiale in Kombination gehoben werden können. Grundlage für diese Geschäftsmodelle ist der Einsatz entsprechender Kommunikationstechnologie, um die einzelnen Elemente koordinieren zu können. Einerseits können so Prozessdaten ausgewertet, andererseits auch erforderliche Schaltungen durchgeführt werden (Conrads et al. 2018).

Wie aus den Experteninterviews und der durchgeführten Inhaltsanalyse (Knobbe et al., im Druck) sowie der allgemeinen Debatte unter dem Schlagwort „Industrie 4.0“ hervorgeht, spielt die Digitalisierung auch innerhalb der energieintensiven Industrie eine zunehmende Rolle, auch wenn längst noch nicht in allen Betrieben die Produktion digital gesteuert wird. Entsprechend verbessern sich die (informations-)technischen Voraussetzungen für die Flexibilisierung industrieller Produktionsprozesse. So sind in immer mehr Betrieben die Voraussetzungen für ein Lastmanagement zum Zweck der netzdienlichen Stromnachfrage gegeben.

3. Lastmanagement in Industrieunternehmen – Möglichkeiten und Hemmnisse

Unter Lastmanagement versteht man nach Klobasa eine „...freiwillige Änderung der Stromnachfrage einzelner Endkunden von ihrem gewöhnlichen Verbrauchsmuster in Folge von veränderten Strompreisen im Tagesverlauf oder in Folge von Bonuszahlungen, die darauf ausgerichtet sind, den Ausgleich zwischen Nachfrage und Erzeugung sicherzustellen“ (2007, S. 23). Vereinfacht gesagt geht es also um ein Hochfahren oder Drosseln der Produktion als Reaktion auf damit zu erzielende Boni oder Einsparungen, beispielsweise im Bereich der Energiepreise, so dass Unternehmen auf geringere Energiepreise bedingt durch hohe Einspeisung oder hohe Energiepreise bei geringer Einspeisung reagieren. Hierzu eignen sich insbesondere Produktionsprozesse, in denen Strom in andere speicherbare Energieträger umgewandelt wird, z.B. als Wärme- oder Kälteenergie bzw. in Druckluft. Es geht also um Prozesse, die eine bestimmte Zeit auf Energiezufuhr verzichten können, sowie um Produktionsschritte, welche temporär von anderen Prozessen in der Produktion unabhängig sind, da die daraus hervorgehenden Zwischenprodukte ohne Qualitätseinbußen gelagert oder gespeichert werden können. So können Produktionsprozesse eine Art Stromspeicher bilden, welcher nicht Elektrizität als solche, sondern andere Formen der Endenergie speichert, die nicht zurückgewandelt werden, sondern als Produkte weiterverarbeitet oder zeitversetzt verwendet werden können (Stadler und Eckert 2017): Beispielsweise können bestimmte thermische Prozesse (wie z.B. Bitumentanks oder Kühllager) die thermische Trägheit nutzen und durch ein Erhöhen oder Absenken der Betriebstemperatur ihre Energienachfrage verändern; auch Prozesse, in denen Zwischenprodukte zwischengelagert werden können (z.B. Säge- oder Mahlwerke), können flexibel Energie nachfragen und auf Anreize reagieren, indem beispielsweise zu Zeiten günstiger Energiepreise große Mengen bearbeitet und vor der Weiterverarbeitung gelagert werden.

Ein wichtiger Vorteil der Nutzung flexibler, bereits bestehender Prozesse als Energiespeicher ist, dass die Speicherkapazität hier schon vorhanden ist und nicht erst errichtet werden muss (Stadler und Eckert 2017). Die hier genannten Prozesse ermöglichen zumeist eine Verschiebung des Energieverbrauchs; je nach Industriezweig können die Prozesse für mehrere Minuten bis Stunden pausieren oder aufgeschoben werden. Die Anwendungen unterscheiden sich allerdings darin, wie häufig und wie schnell eine Lasterhöhung, -minderung oder -verschiebung stattfinden kann. Weiterhin gibt es große Unterschiede in der durch die Verbrauchsverlagerung freiwerdende oder abgenommene Energiemenge: insbesondere die Metall- und Chemieindustrie zählen zu den energieintensiven Industrien, deren Prozesse einen Großteil des Gesamtenergieverbrauches Deutschlands ausmachen. Wenn es um industrielles Lastmanagement geht, ist es jedoch wichtig, nicht nur die technischen Potenziale zu betrachten, sondern insbesondere auch deren Wirtschaftlichkeit. Auch hier gibt es große Unterschiede zwischen den Branchen und Unternehmen, die beispielsweise von individuellen Stromverträgen, Arbeitszeiten der Beschäftigten, Lieferverträgen, Vertragsverpflichtungen, Zulieferern und der Höhe der jeweiligen Anreize für die Flexibilisierung (Vergütung) abhängen.

Industrieunternehmen sind als Abnehmer mit dem Strommarkt verbunden; je nach Branche und Energiebedarf treten sie entweder direkt als eigenständige Händler bzw. Einkäufer auf oder beziehen ihren Strom indirekt durch Energieversorger, wie z.B. Stadtwerke. Hier gibt es verschiedene Verträge und Regulationen für verschiedene Abnehmer – abhängig von Faktoren wie beispielsweise Energiebedarf und Lastspitzen. Je nachdem, ob sie eigenständig Strom an den Strommärkten (wie z.B. EPEX oder durch bilaterale Verträge) einkaufen oder ihn durch Energieversorger beziehen, gibt es für Unternehmen verschiedene Möglichkeiten, Gewinne durch flexiblen Verbrauch zu erzielen. So sind insbesondere folgende Ausgestaltungen in Form von Verträgen mit Energieversorgern oder direkter Teilnahme an Energiemärkten möglich:

Verträge

- Time-of-Use Verträge z.B. Hochtarif & Niedertarif (festgelegte Zeiten)
- Höhere Strompreise zu Zeiten hoher Nachfrage
- Direkte Weitergabe der Börsenpreise
- Kundenspezifische „Smart Contracts“, um beispielsweise netzdienliches Verhalten zu fördern

Märkte

- Energiebörsen
- Regelenenergiemarkt
- Abschaltbare Lasten

Während Verträge mit Flexibilitätsanreizen grundsätzlich auch für kleinere Unternehmen interessant sein können, ist die direkte Marktteilnahme aufgrund der dafür benötigten Ressourcen (Dell-Almak et al. 2018) in der Regel erst für sehr große Unternehmen mit entsprechend hohem Energiebedarf lohnend. Aber auch diese schalten häufig Aggregatoren dazwischen. Insbesondere sogenannte Märkte für Systemdienstleistungen (Regelenenergiemarkt, abschaltbare Lasten etc.) richten sich überwiegend an Kraftwerksbetreiber, werden zum Teil aber auch von energieintensiven Unternehmen bedient. Um die Sollfrequenz des Netzes zu halten und Störungen ausgleichen zu können, schreiben die vier Übertragungsnetzbetreiber gemeinsam verschiedene Systemdienstleistungen aus. Im Falle einer Unter- oder Überspeisung – bspw. aufgrund des Ausfalls von Erzeugungsanlagen, unerwartet hoher Energienachfrage oder -einspeisung (z.B. aufgrund günstiger Wetterbedingungen) oder aufgrund des Entstehens von Engpässen in bestimmten Netzregionen – können diese abgerufen werden. Auf den hierzu existierenden Märkten können Erzeuger und Abnehmer Flexibilität für bestimmte, vordefinierte Zeiträume anbieten, wobei die günstigsten Angebote seitens der Netzbetreiber bezuschlagt werden, bis ausreichend Leistung zur Systemsicherheit für den jeweiligen Zeitraum akquiriert wurde.

Insbesondere die von den Übertragungsnetzbetreibern ausgeschriebenene verschiedenen Formen abschaltbarer Lasten¹ zielen auf industrielle Großverbraucher ab und tragen im Falle einer Unterspeisung durch die Abschaltung von Anlagen zur Stabilität des Systems bei. Weiterhin gibt es einen Markt für Regelenergie, der sowohl positive als auch negative Regelenergie umfasst. Hierdurch kann nicht nur auf eine Unterversorgung mit Strom reagiert werden, sondern auch auf eine zu hohe Einspeisung, beispielsweise indem Kraftwerke ihre Produktion drosseln oder Unternehmen ihre Lasten hochfahren. Im Falle eines Zuschlags werden die Anbieter für die Bereithaltung (mittels eines Leistungspreises) und im Falle des Eintretens einer Unter- oder Überspeisung für die tatsächliche Anforderung (mittels Arbeitspreis) der Senkung- oder Erhöhung der Energienachfrage entlohnt².

Zur Teilnahme an Flexibilitätsmärkten bzw. Flexibilisierung des Energieverbrauchs im Allgemeinen gibt es verschiedene Voraussetzungen. So benötigt es Energie- und Produktionsmanagementsysteme innerhalb der Unternehmen, welche beispielsweise aktuelle Verbräuche einzelner Prozesse und Prozessschritte maschinengenau darstellen, so dass ein Überblick über die technischen sowie wirtschaftlichen Potenziale für Lastmanagement innerhalb des Unternehmens erfolgen kann. Zur Teilnahme an Systemdienstleistungen muss weiterhin eine Präqualifizierung der Anlagen durch die Übertragungsnetzbetreiber erfolgen, so dass gewährleistet werden kann, dass technische Vorgaben an die kommunikative Anbindung und Steuerbarkeit erfüllt sind (§9AbLaV; 50 Hertz et al. 2018). Unternehmen konkurrieren in den Märkten für Flexibilität insbesondere mit Kraftwerken. Diese weisen geringere Opportunitätskosten auf als Betriebe, deren Tagesgeschäft hauptsächlich die industrielle Produktion (z.B. von Grundstoffen) darstellt. So finden sich nur wenige Unternehmen, die in eine netzdienliche Flexibilisierung ihrer Produktionsprozesse investieren. Für die Abschaltung von Lasten (gemäß AbLaV) sind beispielsweise deutschlandweit 18 Lasten präqualifiziert (BNetzA/Bundeskartellamt 2018) und auch der Anteil von Lasten an der präqualifizierten Leistung für die Regelenergie ist gering. So macht der Anteil präqualifizierter Prozesse im Bereich Nachfrage in den verschiedenen Kategorien der Regelleistung nur jeweils 1-3% der gesamten präqualifizierten Leistung aus (Tennet et al. 2018).

Die Gründe für das noch zurückhaltende Engagement der Industrieunternehmen in der Flexibilisierung der Stromnachfrage sind laut den im Rahmen des Projekts interviewten Experten vielfältig (siehe Abbildung 2), auch wenn die technologischen Voraussetzungen aus Sicht der Experten bereits gegeben sind. Insbesondere die fehlende Investitionssicherheit aufgrund sich häufig ändernder regulatorischer Grundlagen im deutschen Energiesystem und die aktuell kleinen Märkte für Flexibilität mit entsprechend niedriger Vergütung führen dazu, dass sich Investitionen in Flexibilisierung kaum rechnen. Hinzu kommt, dass die Erzeugungspreise im Verhältnis zu den gesamten Stromkosten und insbesondere im Verhältnis zu den gesamten Produktionskosten für viele Betriebe marginal sind, so dass die Anreize zur flexiblen Energienachfrage geringer sind als die durch eine Veränderung der Prozesse entstehenden Kosten, z.B. durch höhere Personalkosten. Abgesehen von der energieintensiven Industrie sind Produktionsprozesse daher insbesondere hinsichtlich des Personaleinsatzes und anderer Kosten optimiert, während Energiepreise oder Möglichkeiten zur Vermarktung von Flexibilität häufig kaum relevant sind. Anreize bestehen also insbesondere für große energieintensive Betriebe. Insbesondere kleinere Betriebe nutzen ein Lastmanagement in der Praxis daher hauptsächlich um Lastspitzen zu vermeiden, damit sie keine höheren Netzentgelte zahlen müssen, da die Netzentgeltstruktur eine konstante Stromabnahme begünstigt.

¹ Geregelt in der Verordnung über Vereinbarungen zu abschaltbaren Lasten (AbLaV). Verordnung zu abschaltbaren Lasten vom 16. August 2016 (BGBl. I S. 1984).

² Die Beschaffung von Regelenergie wird aktuell reformiert, in Zukunft wird diese hauptsächlich über einen Regelarbeitsmarkt ausgeschrieben, während der Regelleistungsmarkt nur als Reserve zur Vorhaltung im Falle eines Ausfalls des Regelarbeitsmarkts dient. Daher sind zukünftig die Arbeitspreise ausschlaggebender Faktor für einen Zuschlag (siehe: Bundesnetzagentur (BNetzA) 2019).

Hemmnisse für die Flexibilisierung

<ul style="list-style-type: none"> • fehlende Investitionssicherheit • Netzentgelte • Aktuell kaum Anreiz aufgrund niedriger Vergütung • Fehlende Preissignale (Verhältnis Erzeugungspreis zu Gesamtenergiepreis) 	Hemmnisse allgemein
<ul style="list-style-type: none"> • Anteil der Energiekosten an den gesamten Produktionskosten • Energieeinkauf in langfristigen Verträgen • Fehlende (Energie-)Managementsysteme 	Insbesondere in kleineren energieintensiven Unternehmen

Abbildung 2: Hemmnisse für die Flexibilisierung industrieller Lasten (eigene Darstellung)

Aktuell besteht folglich nur ein geringer Anreiz dazu, in eine markt- oder netzdienliche Flexibilisierung von Prozessen zu investieren. Entsprechend hält sich die Auswirkung im Rahmen einer durch Lastmanagement flexibilisierten Produktion auf die Beschäftigten in Grenzen. In einem Projektworkshop mit Vertretern aus der Praxis stellte sich allerdings heraus, dass es zwar bisher nur eine begrenzte Anzahl an Unternehmen gibt, die eine Flexibilisierung der Produktion vorantreiben, aber dennoch Auswirkungen auf die Beschäftigten ersichtlich sind: Ein Vertreter eines energieintensiven Unternehmens berichtete beispielsweise, dass die Anlagenwartung, für welche die Anlagen ausgeschaltet sein müssen, mittlerweile dann durchgeführt wird, wenn eine Abschaltung im Rahmen der AbLaV durchgeführt wird. Die hohe Anzahl an Abschaltungen im zweiten Quartal 2019 (siehe Abbildung 3) führt so einerseits dazu, dass Wartungsabschaltungen eingespart werden konnten, indem die auf Anforderung abgeschalteten Anlagen gewartet werden. Andererseits bedeutet diese natürlich auch für die in die Wartung involvierten Abteilungen eine höhere Anforderung bezüglich ihrer Flexibilität. Auch steigt hier die Verantwortung der Produktionsleitung, gegebenenfalls Angestellte zur Wartung anzufordern.

Entwicklung der Abrufe und der jeweiligen Energiemenge abschaltbarer Lasten

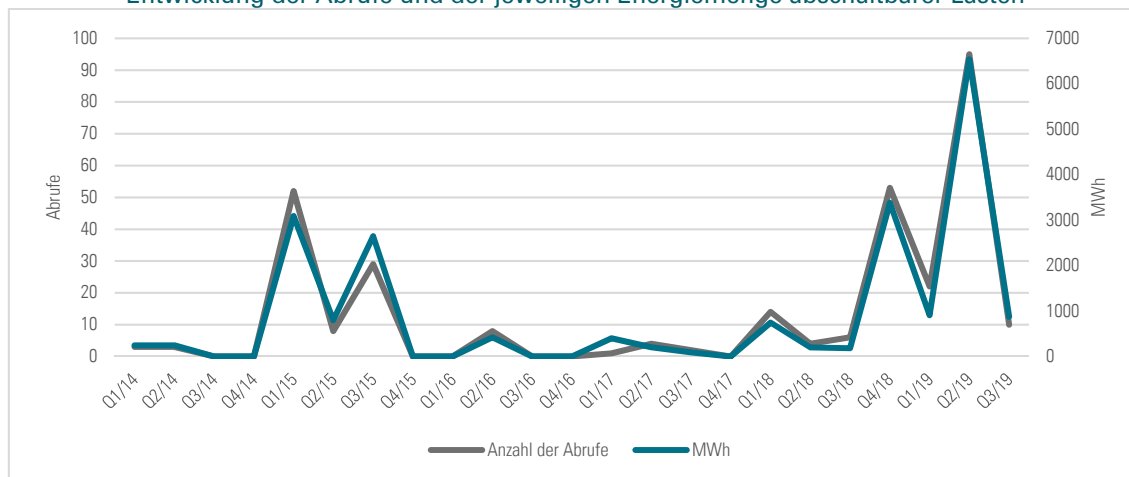


Abbildung 3: Akkumulierte Anzahl der Abrufe sowie Energiemenge (MWh) abschaltbarer Lasten nach Quartalen 2014-2019 (Quelle: www.regelleistung.net; eigene Darstellung)

Im Rahmen einer Transformation des Energiesystems und dem damit verbundenen Ausstieg aus der Kohleverstromung ist zu erwarten, dass eine flexiblere Stromnachfrage insgesamt an Relevanz gewinnt, da der Anteil erneuerbarer Energien weiter steigen wird. Ferner wird die Konkurrenz durch fossil-nukleare Kraftwerke zurückgehen, was zu einem sinkenden Angebot und steigenden Preisen für Flexibilität führen dürfte. Systemdienstleistungen, die heute von konventionellen Kraftwerken erbracht werden, müssen daher in Zukunft anderweitig garantiert werden können und gewinnen im

Rahmen einer weiteren Zunahme volatiler Energieerzeugungseinheiten an Relevanz. Zusätzlich ermöglicht auch die zunehmende Digitalisierung des Energiesystems zumindest in der Theorie eine Deregulierung von Systemdienstleistungen und Märkten zum Handel mit Flexibilität, sodass ein verändertes Marktdesign zukünftig neue Anknüpfungspunkte für Unternehmen ermöglichen könnte (Reetz 2017). Auch wenn in der Industrie große Teile des Digitalisierungsprozesses aktuell häufig abseits der energieintensiven Prozesse stattfinden und sich vermehrt auf produktionsunterstützende Prozesse fokussieren, welche einen verhältnismäßig geringen Energieverbrauch aufweisen, so bilden diese doch die Grundlage für eine weitere Digitalisierung und Flexibilisierung der Produktion. Daher ist es bereits jetzt relevant zu betrachten, welche Auswirkungen eine Flexibilisierung von Produktionsprozessen sowie die in der Regel damit verbundene Digitalisierung im Betrieb auf Beschäftigte haben.

4. **Veränderungen im Produktions- und Arbeitsprozess durch Digitalisierung**

Digitalisierung wird weiter an Bedeutung gewinnen und als kontinuierlicher mit zunehmender Geschwindigkeit voranschreitender Prozess, der alle Unternehmensbereiche einbezieht, wahrgenommen. Weniger betroffen sind Bereiche, die nicht automatisiert sind (z.B. „wo die Beschäftigten am Gießofen stehen“). Veränderungen durch Digitalisierung erfahren vor allem:

- Der kaufmännische Bereich (Betriebswirtschaft, Buchhaltung),
- die Produktionsplanung und Produktion, um über Datenerfassung und -analyse sowie Monitoring (Mess-, Steuerungs-, Auswertungs- und Regeltechnik) Prozesse durchgängig zu gestalten – bis hin zur Vernetzung von Maschinen,
- das Energiemanagement (Heben von Effizienzpotentialen, Zugang zu Vermarktungsmöglichkeiten sowie Vorqualifizierung von Lasten, um als Unternehmen Regelleistung anbieten zu können),
- die Instandhaltung und Wartung (anlagenbedingte Störungen / Störungen in Prozessabläufen sowie Fehler erkennen und schnelles Nachsteuern, Predictive Maintenance),
- Logistik / Vertrieb (Lagerhaltung / Bestellwesen).

Die zunehmende Digitalisierung schlägt sowohl auf die Primäraktivitäten (Produktionsprozesse) wie auch auf unterstützende Aktivitäten (z.B. Verwaltung / Buchhaltung) durch und führt dort zu Veränderungen auf der Arbeitsebene. Auch können im Bereich der unterstützenden Aktivitäten Veränderungen erfolgen, die in keinerlei Zusammenhang mit den Primäraktivitäten stehen (Mehrfachbetroffenheit unterstützender Aktivitäten). Insofern wirkt Digitalisierung modifizierend auf die Beziehungen zwischen „Mensch-Maschine“, „Maschine-Maschine“ und „Mensch-Mensch“. Welche Beschäftigtengruppen stark von der Digitalisierung betroffen sind, hängt von den Projekten und Bereichen ab, in denen Digitalisierungsaktivitäten stattfinden.

Technologiebedingte Änderungen spiegeln sich in einer Neugestaltung bzw. einem Wandel der Arbeitsorganisation und -gestaltung wider. Digitalisierung wird als Hilfsmittel gesehen, das es erlaubt, Abläufe zu vereinfachen und Stress zu reduzieren. Im betrieblichen Alltag werden u.a. Smartphones, Laptops, Clouds und digitale Kommunikationsprogramme und -medien eingesetzt. Heute verfügen Beschäftigte, die vormals mechanische Kontrollen ausgeführt haben, häufig über ein Terminal, mit dem eine Priorisierung der Tätigkeiten festgelegt wird, die auf Basis des Automatisierungssystems erfolgt und bedarfsorientiert dynamisch angepasst wird (Workforce-Management). Andere digitale Systeme ermöglichen es komplexe verfahrenstechnische Prozesse zu erfassen, auszuwerten und zu modellieren. Sowohl die Komplexität wie auch die Möglichkeiten im Gesamtsystem effektiv steuern zu können haben sich erhöht und damit auch der Wirkungsgrad der Steuerung. Digitalisierung, etwa in Form von Mess-, Regel- und Steuerungstechnik, trägt wesentlich dazu bei, Prozesse transparenter zu machen und Entscheidungen auf der Grundlage gewonnener Einblicke datenbasiert zu treffen. Mit

den Erkenntnissen, die über das System gewonnen werden, können intelligentere Algorithmen entwickelt werden, mit dem Ziel, Unzulänglichkeiten zu reduzieren und Fehler zu vermeiden. Ferner wird davon ausgegangen, dass künstliche Intelligenz ungleich schnellere und sicherere Entscheidungsprozesse erlaubt als menschliche Entscheidungsprozesse dies ermöglichen. Hierdurch lassen sich zusätzlich erhebliche Einsparungspotentiale erzielen.

Prozesse laufen heute deutlich standardisierter ab, was von den Mitarbeitenden in unterschiedlicher Weise wahrgenommen wird: Zum einen tragen die standardisierten Prozesse dazu bei, die Last der Verantwortlichkeit der Beschäftigten für Fehler zu reduzieren. Zum anderen bedeutet dies für die Beschäftigten eine Einschränkung, da ein kreatives Einwirken kaum mehr möglich ist. Dadurch, dass einfache Aufgaben vom System übernommen werden, ergibt sich für die Beschäftigten ein Gestaltungs- und Verwirklichungsgewinn, da sie sich mit anspruchsvolleren Aufgaben befassen können. Gleichwohl kommt es durch den Wegfall einfacher Tätigkeiten zu Zeitersparnissen und folglich zur Übertragung anderer Aufgaben (z.B. Planungsaufgaben). Insofern sind sie teilweise stärker gefordert, da mehr unterschiedliche Tätigkeiten ausgeführt werden müssen. Überdies ermöglichen digitale Systeme eine verstärkte Leistungs- und Verhaltenskontrolle, da sich die Arbeitsergebnisse in digitalen Systemen abbilden lassen und somit unterschiedliche Qualitätsprofile sichtbar werden. Dadurch wird ein wechselseitiges Benchmarking möglich; zum Umgang hiermit bedarf es wechselseitigen Vertrauens bzw. der Regelung (z.B. unter Einbezug des Betriebsrates).

Die erfolgreiche Implementierung digitaler Technik in ein Unternehmen ist daher in erheblichem Maße davon abhängig, wie die Beschäftigten mit der neuen Technik und ihren Auswirkungen vertraut gemacht werden und wie Ängsten im Umgang mit der neuen Technik begegnet wird (z.B. Arbeitsplatzverlust, Mangel an Qualifikation).

5. Einbindung der Beschäftigten in die Planung und Umsetzung von Digitalisierungsprozessen

Wie Neuerungen an Beschäftigte herangetragen werden und wie diese eingebunden werden, ist abhängig von der Art der Entscheidungen, die zu treffen sind, und den Erkenntnissen, die umgesetzt werden sollen. In den Unternehmen finden sich Top-down- und Bottom-up-Prozesse und in größeren Unternehmen auch eine Mischung aus beiden Ansätzen. Da technische Innovationen meist aufwendig und kostenintensiv sind, werden diesbezügliche Entscheidungen häufig auf der Managementebene gefällt. Das mittlere Management wird meist über partizipative Prozesse eingebunden. Weitere Möglichkeiten, die genutzt werden um die Beschäftigten einzubeziehen, sind:

- **Gespräche:** beispielsweise mit der IT-Leitung und den Abteilungsleitungen, um Handlungsstränge – Status-quo und Zielvorstellungen – zu identifizieren.
- **Teambildung:**
 - Es werden gemischte Teams gebildet (z.B. IT, Mess- und Regeltechniker und Prozessingenieure), um das notwendige Know-how zu Fragen der Prozesssteuerung aufzubauen.
 - Teams werden auch eingerichtet, um neue Anwendungen in Pilotprojekten zu erproben, bei Bedarf werden zudem externe Dienstleister hinzugezogen.
- **Feedback-Schleifen:** Die Meinung der Beschäftigten wird zu spezifischen Aspekten (z.B. zum Informationsbedarf) eingeholt.
- **Kaizen-Prozesse und -Schulungen:** Alle Beschäftigten sind aufgefordert Optimierungsvorschläge zu machen, um Verschwendung (z.B. Ressourcen, Energie, u.a.) auszuschließen.

- **Betriebliches Vorschlagswesen:** Beschäftigte können mit einer Idee an das Management herantreten. Wird diese nach Prüfung umgesetzt, so wird von Seiten des Unternehmens eine Gratifikation gewährt.
- **Mitarbeiter-/Betriebsversammlungen:** Um die Beschäftigten bei (größeren) Umstrukturierungen mitzunehmen werden seitens des Unternehmensmanagements Beschäftigtenversammlungen und / oder von Seiten des Betriebsrates Betriebsversammlungen einberufen.

Digitale Veränderungsprozesse stellen weiterhin auch neue Anforderungen an die Qualifikationen der Beschäftigten.

6. Möglichkeiten zur Vorbereitung der Beschäftigten auf die neuen Anforderungen

Nach den vorliegenden Daten erfolgt die Anpassung der Kompetenzen und Qualifikationen an veränderte Erfordernisse in der Regel bedarfsorientiert und damit abgestimmt auf die Erfordernisse der in den Unternehmen umgesetzten „digitalen Projekte“. Konkrete Standards sind dabei nicht identifizierbar; als wichtig betrachtet werden jedoch Flexibilität und Augenmaß, also „zur richtigen Zeit das Richtige zu tun“.

Qualifiziert wird über die Ausbildung von Beschäftigten in den für das Unternehmen relevanten Ausbildungsberufen (z.B. Industriemechaniker, Elektriker, Anlagenführer). Die Auszubildenden werden im Rahmen der dualen Ausbildung im Unternehmen geschult, spezielle Fähigkeiten und Kenntnisse aufzubauen, die über den (Ausbildungs-)Markt nicht gut bedient werden können. Dabei kommt den Ausbildungskräften und Lehrkräften an den Berufsschulen die Aufgabe zu, den Ausbildungskanon bedarfsorientiert anzupassen. Ferner können Auszubildende wie auch andere Beschäftigte über themenbezogene innerbetriebliche Patenschaften unterstützt werden. Unternehmensseitig werden Schulungen, Fort- und Weiterbildungsmaßnahmen für Führungskräfte und Beschäftigte angeboten. Die Umsetzung dieser Art von Qualifizierungsmaßnahmen erfolgt betriebsintern, soweit die Kompetenzen im Unternehmen vorhanden sind. Externe Dienstleister übernehmen betriebsinterne Schulungen einerseits als Anbieter oder Hersteller digitaler Technik oder Software, andererseits können externe Schulungen zu spezifischen Schulungsinhalten eingekauft werden. Spezielle (qualifizierte) Lehrgänge, z.B. zu Messtechnik, werden über externe Dienstleister angeboten, wie die Industrie- und Handelskammer oder die Akademien des TÜV oder des Vereins Deutscher Ingenieure. Häufig erfolgt die Anpassung des Know-hows der Beschäftigten an die neuen Erfordernisse durch Learning-by-Doing.

Eine gängige unternehmerische Praxis ist es, das notwendige Know-how in Form von Fachkräften, die z.B. im Umgang mit digitalen Systemen geschult sind bzw. die Fähigkeit besitzen den Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologie mit dem Produktionsbereich zu vernetzen, über den Arbeitsmarkt hinzu zu kaufen. Ferner arbeiten Unternehmen mit Studierenden in Form von Praktika, Diplom-, Master- und Promotionsarbeiten zusammen, um digitale und auf die betrieblichen Erfordernisse abgestimmte Lösungen (weiter-) zu entwickeln. Aus diesem Pool an Studierenden wird von den Unternehmen bevorzugt zukünftiges Personal rekrutiert.

7. Stellschrauben für die erfolgreiche Implementierung digitaler Technologie auf Beschäftigtenebene

Um Digitalisierungsprozesse erfolgreich in Unternehmen verankern zu können bedarf es der Akzeptanz der Beschäftigten und einer Vertrauenskultur, die durch transparente Prozesse untermauert wird. Informations- und Kommunikationsprozesse, z.B. über Betriebs-, Mitarbeiter- und/oder Abteilungsversammlungen, können dazu einen Beitrag leisten. Auch andere Kommunikationsmedien wie

Betriebszeitungen, Rundmails und andere Kanäle können genutzt werden, um über (geplante) Veränderungsprozesse (auch bezogen auf die Energiewende, ihre Gründe und Vorteile) zu informieren. Beschäftigte, die mit einem neuen System arbeiten werden, sind so frühzeitig wie möglich in anstehende Veränderungsprozesse einzubinden; Beteiligung ist als strategischer Aspekt der Planung zu betrachten. Offenheit für die Ideen und das Feedback der Beschäftigten kann als vertrauensbildende Maßnahme und Bedingung für eine erfolgreiche Implementation angesehen werden.

Um zu einer zielgerichteten Digitalisierungsstrategie zu gelangen wird es als relevant betrachtet die Perspektive der Beschäftigten – zumindest vertreten durch den Betriebsrat – einzubinden. So können unterschiedliche Sichtweisen abgeglichen und bestenfalls in Einklang gebracht werden. Open Space Ansätze können dazu dienen, alle Beschäftigten über einen breit angelegten gemeinsamen unternehmensinternen Prozess einzubinden. Ein solches Vorgehen ermöglicht es, Anknüpfungspunkte für Digitalisierungsmaßnahmen zu identifizieren und zu entscheiden, ob die Implementierung bestimmter Technologien als sinnvoll angesehen werden kann. Insgesamt wird eine ganzheitliche Herangehensweise als sinnvoll erachtet, wenngleich eingeräumt werden muss, dass die Gestaltung solcher Prozesse stark von der jeweiligen Unternehmenskultur abhängt. Partizipative Prozesse erweisen sich insofern als vorteilhaft, als dadurch eine erhöhte Akzeptanz erreicht werden kann und auf dieser Basis definierte Anknüpfungspunkte und Maßnahmen zum Unternehmen und den Beschäftigten gleichermaßen passend gestaltet werden können. Auch ließe sich die Meinung der Belegschaft zu „digitalen Zukunftsvisionen“ über eine Beschäftigtenbefragung einholen. Unterschiede in den Sichtweisen von Management, Betriebsrat und Beschäftigten würden sichtbar und es könnte zu einem frühen Zeitpunkt ein Austausch dazu stattfinden. Mit Blick auf die eingesetzte Technik ist es empfehlenswert, wenn möglich auf einfach bedienbare und übersichtliche, digitale technische Lösungen zu setzen, z.B. erleichtern Geräte mit großem Touch-panel und übersichtlichem Bildschirm die Les- und Bedienbarkeit. Hilfreich ist es überdies, Forschungs- und Versuchsanlagen für Schulungszwecke zu nutzen, um die Beschäftigten an die neue Technik heranzuführen (diese können beispielsweise in der Umgebung der alten Anlage aufgebaut werden). Vom Einsatz der Beschäftigten nach ihren typabhängigen Neigungen (z.B. Anlagen, Belastbarkeit, Kompetenzen) gehen ebenfalls positive Impulse aus.

Mit der Einführung digitaler Technik verbinden sich häufig Ängste der Beschäftigten, die ernst zu nehmen sind. Eine wichtige Rolle spielt in diesem Kontext das Thema Arbeitsplatzverlust, welches auch in der öffentlichen und wissenschaftlichen Diskussion mit Digitalisierungsmaßnahmen verbunden wird (siehe z.B. Lütkenhorst 2018). Dazu kommen Unsicherheiten im Umgang mit der neuen Technik, die sich über passfähige Qualifizierungsangebote, ausreichende Eingewöhnungszeiten (insbesondere für ältere Beschäftigte) und Tandembildung minimieren lassen.

Von Belang ist des Weiteren ein Personalentwicklungskonzept, das sich an geplanten Veränderungsprozessen orientiert und ein Skill-Management umfasst, Ferner ist ein Augenmerk darauf zu richten, dass neben den technikaffinen Beschäftigten auch solche in Schulungsmaßnahmen einbezogen werden, die bisher nur geringen persönlichen Zugang zu diesem Bereich hatten. Für einfache Tätigkeiten könnte sich ein Projekt „digitale Grundbildung“ als förderlich erweisen, um Verständnis für Digitalisierungsaktivitäten aufzubauen. Fehlender Qualifizierung kann entgegengewirkt werden, indem Beschäftigte für die Teilnahme an Qualifizierungsmaßnahmen honoriert werden (z.B. Jahresbildungsbudget) und / oder Weiterbildungsmaßnahmen während der Arbeitszeit angeboten werden.

Neben der Qualifizierung wird die Bedeutung von Kompetenzentwicklung unterstrichen. Dabei wird im Zusammenhang mit Digitalisierung und Arbeitsverdichtung auf die Notwendigkeit der Ausbildung von Kompetenzen im Bereich des Selbstmanagements und weiterer Soft-Skills aufmerksam gemacht.

8. Fazit

Energieintensive Industrien (z.B. Grundstoffindustrien wie Aluminiumhütten) sind aufgrund ihrer hohen Stromnachfrage prädestiniert dafür Flexibilität anzubieten und können so einen Beitrag zum Ausgleich volatiler Stromeinspeisungen liefern. In der Regel ist jedoch eine Digitalisierung der Produktion notwendig um Flexibilisierungspotentiale zu heben (u.a. da Grundstoffproduktion nicht beliebig hoch und runtergefahren werden kann) und ein Lastmanagement einzuführen. Flexibilisierungsmärkte (z.B. Regelenergiemarkt) sind für Industrieunternehmen gegenwärtig aufgrund von Investitionsunsicherheiten und der Konkurrenz durch konventionelle Kraftwerke kaum wirtschaftlich. Im Rahmen einer Transformation des Energiesystems und der weiteren Digitalisierung der Industrieproduktion wird eine netzdienliche Flexibilisierung der Industrieproduktion jedoch voraussichtlich an Bedeutung gewinnen. Mit Auswirkungen auf die Beschäftigten ist zu rechnen, etwa indem Produktions- und Wartungsplanung sich auch an der weniger planbaren bzw. volatileren Stromeinspeisung orientiert.

Im Rahmen des Projekts EnerDigit hat sich gezeigt, dass eine Anpassung der Arbeitsprozesse an technologische Änderungen häufig im Rahmen eines „Learning-by-doing“ stattfindet. Dies wurde unter anderem anhand der Fallstudie ersichtlich, in welcher seitens der Unternehmensvertreter einerseits betont wurde, dass die Digitalisierung der Prozesse keine größeren Auswirkungen auf die in der Produktion Beschäftigten habe, andererseits jedoch auch erwähnt wurde, dass die durch neue Technologien ermöglichte Flexibilisierung von Lasten dennoch indirekte Auswirkungen auf innerbetriebliche Prozesse hat. So ermöglicht eine vorrausschauende Wartung (Predictive Maintenance) beispielsweise, Instandhaltungsarbeiten dann durchzuführen, wenn Anlagen als abschaltbare Lasten zur Systemstabilisierung heruntergefahren werden. Hier führen Digitalisierung und Flexibilisierung zwar zu keiner grundlegenden Veränderung des Arbeitsprozesses, jedoch ermöglichen sie das Einsparen von Wartungsabschaltungen, führen zu Veränderungen in der Planung von Wartungszyklen und fordern teilweise eine gewisse Flexibilität der in der Instandhaltung Beschäftigten, da die Wartungszeitpunkte so teilweise von äußeren Einflüssen (z.B. der Netzsituation) bestimmt werden. Auch findet eine partielle Verschiebung von Verantwortung auf die Ebene des mittleren Managements statt, welches zum Zeitpunkt der Abschaltung die Entscheidung für oder gegen eine Wartung treffen muss. Aus der guten Unternehmenspraxis in Digitalisierungsprozessen kann gelernt werden, dass es gilt Beschäftigte zu beteiligen und Ängste sowie Anregungen der Beschäftigten ernst zu nehmen sowie die (betroffenen) Beschäftigten schon früh in Digitalisierungsprozesse einzubeziehen, Information und Qualifizierungsmaßnahmen anzubieten. Um Flexibilisierung zu realisieren bedarf es automatisierter Prozesse und digitaler Erfassung von Daten. Die Digitalisierung liefert hier das Werkzeug. Die Wirkung, die von Digitalisierungsprozessen im Kontext von Energiewende und Lastenmanagement ausgeht, unterscheidet sich insofern, wie die Studie gezeigt hat, kaum von der, die in anderen Unternehmen bzw. Branchen vorzufinden ist.

Danksagung

Wir bedanken uns bei allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern der Workshops und Experteninterviews sowie der Fallstudie und für die finanzielle Unterstützung durch das Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes NRW.

Literaturverzeichnis

- 50 Hertz; Amprion; Tennet; Transnet BW (2018): Bericht der Übertragungsnetzbetreiber zu abschaltbaren Lasten gem. § 8 Abs. 3 AbLaV. Berlin, Dortmund, Bayreuth, Stuttgart. Online unter: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Service-Funktionen/Beschlusskammern/Beschlusskammer4/BK4_01_Aktuelles/Downloads/2018-06-29_ABLA-Bedarfsbericht_final_BF.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (14.09.2018).
- Ausfelder, Florian; Seitz, Antje; Roon, Serafin von (Hg.) (2018): Flexibilitätsoptionen in der Grundstoffindustrie. Methodik, Potenziale, Hemmnisse: Bericht des AP V.6 „Flexibilitätsoptionen und Perspektiven in der Grundstoffindustrie“ im Kopernikus-Projekt „SynErgie – synchronisierte und energieadaptive Produktionstechnik zur flexiblen Ausrichtung von Industrieprozessen auf eine fluktuierende Energieversorgung“. DECHEMA, Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie. 1. Auflage. Frankfurt am Main: DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. Online unter: <https://edocs.tib.eu/files/e01fn18/1018510079.pdf>.
- Buber, Tim; Gruber, Anna; Klobasa, Marian; Roon, Serafin von (2013): Lastmanagement für Systemdienstleistungen und zur Reduktion der Spitzenlast. In: Vierteljahrshefte zur Wirtschaftsforschung 82 (3), S. 89–106. DOI: 10.3790/vjh.82.3.89.
- Bundesnetzagentur (BNetzA) (2019): Teilgenehmigung der für die Implementierung eines Regelarbeitsmarkts erforderlichen Modalitäten für Regelreserveanbieter. BK6-18-004-RAM.
- Bundesnetzagentur (BNetzA); Bundeskartellamt (2018): Monitoringbericht 2018. Bericht. Monitoringbericht gemäß § 63 Abs. 3 i. V. m. § 35 EnWG und § 48 Abs. 3 i. V. m. § 53 Abs. 3 GWB. Bonn. Online verfügbar unter https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2018/Monitoringbericht_Energie2018.pdf?__blob=publicationFile&v=3, zuletzt geprüft am 28.12.2018.
- Conrads, Lisa; Ebersbach, Nathalie; Wagner, Jasmin; Litzenburger, Judith (2018): Virtuelle Kraftwerke. Elemente, Systemwert und Märkte. EnergieAgentur.NRW. Wuppertal (EA.Paper, 11).
- Dell-Almak, Olga; Dick, Bernhard; Dietrich, Andreas; Gall, Jan; Hasselmann, Maïke; Grunwald, Leander et al. (2018): Gemeinsamer Abschlussbericht des Forschungsvorhabens "Die Stadt als Speicher". Energietechnische und -wirtschaftliche Bündelung vielfältiger lokaler Speicherkapazitäten innerhalb städtischer Lastzentren zum Ausgleich der Fluktuation erneuerbarer Einspeiser. Oberhausen. Online unter: <http://publica.fraunhofer.de/starweb/servlet.starweb?path=urn.web&search=urn:nbn:de:0011-n-5000083>.
- Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (2010): dena-Netzstudie II. Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015 – 2020 mit Ausblick auf 2025. Hg. v. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). Berlin.
- EnergieAgentur.NRW (2016): Lastmanagement in Nordrhein-Westfalen: Potenziale, Hemmnisse, Handlungsoptionen. Düsseldorf. Online unter: <https://broschueren.nordrheinwestfalendirekt.de/herunterladen/der/datei/eigenpublikation-lastenmanagement-in-nrw-web-final-pdf/von/lastmanagement-in-nordrhein-westfalen-potenziale-hemmnisse-handlungsoptionen/vom/energieagentur/2279> (31.10.2019).
- Klobasa, Marian (2007): Dynamische Simulation eines Lastmanagements und Integration von Windenergie in ein Elektrizitätsnetz auf Landesebene unter regelungstechnischen und Kostengesichtspunkten. DISS ETH Nr. 17324. Dissertation. Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich. Online unter: http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-686156.pdf (27.09.2018)

- Knobbe, Sonja; Beckamp, Marius; Götz, Ann-Kristin (im Druck): Zwischen Wettbewerbsfähigkeit und Versorgungssicherheit – Wie wird der Megatrend „Digitalisierung“ im Lichte einer umzusetzenden Energiewende in der Industrie diskursiv verhandelt? In: Die (un)erwartete Zukunft - Wechselwirkungen zwischen Megatrends und Nachhaltigkeit. Transcript Verlag, Bielefeld.
- Lütkenhorst, Wilfried (2018): Creating wealth without labour? Emerging contours of a new techno-economic landscape. In: DIE Discussion Paper. DOI: 10.23661/dp11.2018.
- Reetz, Fabian (2017): Welche Chancen ein digitales Energiemarktdesign bietet. Erkenntnisse eines Foresight-Prozesses. Hg. v. Stiftung Neue Verantwortung. Berlin. Online unter: https://www.stiftung-nv.de/sites/default/files/chancen_eines_digitalen_marktdesigns.pdf, (04.09.2018).
- Seidl, Hannes; Schenuit, Carolin; Teichmann, Mario (2016): Roadmap Demand Side Management. Industrielles Lastmanagement für ein zukunftsfähiges Energiesystem. Schlussfolgerungen aus dem Pilotprojekt DSM Bayern. Hg. v. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). Berlin.
- Stadler, Ingo; Eckert, Fabian (2017): Lastmanagement als Energiespeicher. In: Michael Sterner und Ingo Stadler (Hg.): Energiespeicher - Bedarf, Technologien, Integration. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Tennet; 50 Hertz; Transnet BW; Amprion (2018): Präqualifizierte Leistung in Deutschland. Online verfügbar unter www.regelleistung.net/ext/download/pq_capacity, zuletzt aktualisiert am 12.11.2018 (08.02.2019)
- TRIMET Aluminium SE: Die Aluminiumhütte als „Virtuelle Batterie“. Online unter: https://www.trimet.eu/de/ueber_trimet/energiewende/virtuelle-batterie (08.10.2019).
- Umweltbundesamt (UBA) (Hg.) (2017): Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Sektoren. Online unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/2_abb_entw-eev-sektoren_2018-02-14_0.pdf (28.09.2018).
- Vallentin, Daniel; Wehnert, Timon; Mölter, Helena; Best, Ben (2016): Klimaschutz- und Energiewende-Innovationen in der (energieintensiven) Industrie. Fallstudien zur Entstehung innovativer Prozesse und Produkte. Wuppertal Inst. for Climate, Environment and Energy. Wuppertal.
- Verordnung über Vereinbarungen zu abschaltbaren Lasten (AbLaV). Verordnung zu abschaltbaren Lasten vom 16. August 2016 (BGBl. I S. 1984).
- Wehnert, Timon; Mölter, Helena; Vallentin, Daniel; Best, Benjamin (2019): Klimaschutz-Innovationen in der Industrie. Abschlussbericht. Wuppertal Institut. Wuppertal. Online unter: https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/7321/file/7321_Klimaschutz-Innovationen.pdf (08.10.2019).

Autorinnen und Autoren:

Marius Beckamp, Franz Flögel und Hansjürgen Paul sind Mitarbeiter des Forschungsschwerpunktes Raumkapital am Institut Arbeit und Technik. Martina Schmitt ist Mitarbeiterin der Abteilung „Nachhaltiges Produzieren und Konsumieren“ am Wuppertal Institut. Sonja Knobbe ist Mitarbeiterin am Kulturwissenschaftlichen Institut Essen.

Kontakt:

beckamp@iat.eu ; floegel@iat.eu

Forschung Aktuell 2019-10

ISSN 1866 – 0835

Institut Arbeit und Technik der Westfälischen Hochschule
Gelsenkirchen – Bocholt – Recklinghausen

Redaktionsschluss: 5.11.2019

<http://www.iat.eu/forschung-und-beratung/publikationen/forschung-aktuell.html>

Redaktion

Claudia Braczko

Tel.: 0209 - 1707 176 Institut Arbeit und Technik

Fax: 0209 - 1707 110 Munscheidstr. 14

E-Mail: braczko@iat.eu 45886 Gelsenkirchen

IAT im Internet: <http://www.iat.eu>