

Energiewende in der Industrie

Energy turnaround in industry

Dipl.-Wi.-Ing., Marco Roscher, FIR an der RWTH Aachen, Aachen, Deutschland, Roscher@fir.rwth-aachen.de
 M. Sc., Marcel Graus, FIR an der RWTH Aachen, Aachen, Deutschland, Graus@fir.rwth-aachen.de

Kurzfassung

Die Zeiten, in der die Energiewende allein durch den Ausbau Erneuerbarer Energien beschrieben werden konnte, sind vorbei und die Industrie wird zunehmend unter dem Begriff der Energieeffizienz in die Energiewende integriert. Energie-Auditierung und ISO-Zertifizierung sind dabei nur der Anfang. In diesem Beitrag wird das Internet der Dinge (IoT) als Lösungsansatz untersucht und dabei die Synergien von Energiewende und Industrie 4.0 betrachtet. Der Fokus liegt auf den mit dem IoT verbundenen Potentialen für Energieinformationssysteme und der darin vorhandenen Datenanalytik.

Abstract

The times when the energy turnaround could only be defined as the expansion of renewable energies are over. The industry is becoming increasingly involved in the energy turnaround under the term energy efficiency. Energy auditing and ISO-certification are just the beginning. This article emphasizes the investigation of the internet of things (IoT) as a possible approach and – in doing so – the observation of the synergies between energy turnaround and Industry 4.0. The focus is on the potential correlated to the application of the IoT for energy information systems and the included data analytics.

1 Strommarkt 2.0 und Industrie 4.0

Die Beschlüsse zur Novelle des Erneuerbaren-Energie-Gesetzes (EEG 2017), zum Strommarktgesetz sowie zum Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende bilden die Eckpfeiler für das deutsche Energiesystem für das Zeitalter der Erneuerbaren Energien. [1] Durch das Strommarktgesetz sollen die Ziele des weiterentwickelten Strommarkts (Strommarkt 2.0) vor dem Hintergrund der Energiewende und Versorgungssicherheit zu minimalen volkswirtschaftlichen Kosten, möglichst umweltverträglich erreicht werden. [2] Der zentrale Kern des Strommarkt 2.0 ist das Preissignal, sodass dessen Ziele und Grundprinzipien in das Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) aufgenommen wurden, um so Marktpreissignale möglichst unverzerrt wirken lassen zu können. [2] Diese Regelungen zielen somit auf eine freie wettbewerbliche Preisbildung ab und beabsichtigen weiterhin Preisspitzen an den Strommärkten zuzulassen. [2] Darüber hinaus werden durch den Strommarkt 2.0, Eintrittsbarrieren für Anbieter von Lastmanagementmaßnahmen und Erneuerbare Energien Anlagen im Regelleistungsmarkt abgebaut und auf diese Weise der Einsatz von Flexibilitätsoptionen erleichtert. [2] Dies geht mit einem zentralen Paradigmenwechsel im Stromsystem einher, bei dem die Erneuerbaren Energien schon heute die bestimmende Säule des Strommarktes darstellen [1] und derzeit rund ein Drittel der elektrischen Energie in Deutschland bereitstellen. Dieser Anteil soll sich zum Jahr 2025 auf 45 Prozent steigern. [1] Zeitgleich treibt die Digitalisierung den Übergang von einer Industrie- zu einer Informationsgesellschaft immer weiter voran. [5]

Bei Industrie 4.0 steht die digitale Vernetzung von verteilten, intelligenten, interoperablen Produktionssystemen

über Breitbandtechnologien im Zentrum. Dabei verschmelzen reale und virtuelle Welt zunehmend im Internet der Dinge und Dienste. Wichtigste Ressource zur Steigerung der Produktivität sind Daten und Informationen. Dazu zählen neben den für das Energiemanagement zentralen Energiedaten (Daten zum Energieeinsatz in der Produktion), auch weitere Betriebs-, Bewegungs- und Stammdaten. **(Bild 1)** Industrie 4.0-Unternehmen verknüpfen Produkte, Prozesse und Dienstleistungen miteinander und veredeln diese zu Smart Services. Die Grundlage sämtlicher Industrie 4.0-Anwendungen und den damit verbundenen Smart Services stellt Smart Data dar. [3] Smart Data beschreibt die Fähigkeit sehr große Datenmengen in Echtzeit so intelligent zu verarbeiten und direkt zu analysieren, dass daraus verlässliche Entscheidungen getroffen werden können, die es erlauben laufende Geschäftsprozesse flexibel zu optimieren. Das Energiemanagement kann als erster Schritt auf dem Weg Richtung Industrie 4.0 beschrieben werden [4] und insbesondere im Bereich Smart Data zur Weiterentwicklung des gesamten Unternehmens beitragen. Die notwendige „Verheiratung“ von Energiedaten mit weiteren feinaufgelösten Daten aus der Produktion und deren Analyse in Echtzeit, zur Hebung nicht trivialer Effizienzpotentiale (Eingriffe in die laufende Produktion), stellt daher große Innovationspotentiale für das Energiemanagement durch Smart Data dar. **(Bild 1)** Lohnenswert aus Energiebeschaffungssicht wird eine flexible Produktion allerdings erst mit eigenen Erzeugungsanlagen, mit denen es Unternehmen ermöglicht wird am Markt zu kaufen, Eigenherzeugung zu nutzen oder die Produktion anzupassen. [6] Im Folgenden werden nun die Potentiale durch das Internet der Dinge (IoT) für das industrielle Energiemanagement fokussiert. Dazu werden zunächst die notwendige Grundlagen des Produktionsmanagement zusammengefasst.

2 Produktion und Energiemanagement

In diesem Kapitel werden die zentralen Begrifflichkeiten und Grundlagen der Produktionstechnik und des industriellen Energiemanagements möglichst kompakt zusammengefasst, um folgende Inhalte auch Lesern ohne Vorkenntnisse in diesem Bereich leichter zugänglich zu machen. Produktion (auch: Fertigung) beschreibt die Herstellung von Gütern mithilfe der Elementarfaktoren Material, Personal und Betriebsmittel (Werkzeuge, Maschinen). Hierbei unterscheidet man in Abhängigkeit des zu fertigenden Produkts und der Stückzahlen zwischen diskreter Fertigung (zählbare Güter: Autos) und Prozessfertigung (nicht zählbare Güter: Kunststoffgranulat). Innerhalb der diskreten Fertigung lassen sich weitere vier Fertigungsarten unterscheiden: Einmal-, Einzel- bzw. Kleinserien-, Serien- und Massenfertigung. Die Güterproduktion erfolgt immer mit dem Ziel möglichst hohe Gewinne durch den Verkauf der Güter an Kunden zu erzielen. Die Auftragsabwicklung beschreibt somit den vom Kunden ausgelösten Prozess zur Güterproduktion (Auftrag: produziere schwarzes Auto) und umfasst alle Schritte von der Anfragebearbeitung über Konstruktion, Einkauf, Fertigung und Montage bis hin zum Versand des fertigen Produkts [7]. Die Produktionsplanung und -steuerung (PPS) verfolgt das Ziel, den Einsatz der Elementarfaktoren Material, Personal und Betriebsmittel zur Güterproduktion optimal aufeinander abzustimmen [8], damit kostengünstig produziert und somit möglichst hohe Margen erzielt werden können. In der Produktionsplanung fällt die Entscheidung über das Produktionsprogramm (vormittags schwarze Autos, nachmittags rote Autos) und die Ressourcennutzung innerhalb eines bestimmten Planungshorizonts. Die Produktionssteuerung umfasst die Veranlassung, Überwachung und Sicherung der Auftragsdurchführung im Hinblick auf Menge, Termin, Qualität und Kosten. [9] Die PPS ist dabei mit ihren Aufgaben und Prozessen heute nahezu vollständig in IT-Systemen abgebildet. IT-Systeme, die durchgängig die Aufgaben der Auftragsabwicklung (technisch: Maschinenbelegung, Teilezuführung; kaufmännisch: Einkauf, Rechnungsstellung) unterstützen, werden als Enterprise-Resource-Planning (ERP) Systeme bezeichnet. Ergänzend zu dieser Grobplanung, werden zur Feinplanung, Simulation, Optimierung und Überwachung der Produktion sogenannte Manufacturing-Execution-Systeme (MES) verwendet. [10] Die Kommunikation zwischen MES bzw. ERP- / PPS-Systemen und der Produktion wird durch Systeme der Betriebs- und Maschinendatenerfassung (BDE / MDE) unterstützt. [10] Grundsätzlich bilden dort Stamm- (statisch-zustandsorientiert), Bestands- (statisch/dynamisch-zustandsorientiert) und Bewegungsdaten (dynamisch-abwicklungsorientiert) der Produktionsfaktoren die Grundlage der Planung. Stamm- (Lieferantenadresse, Artikelbezeichnung etc.) und Bestandsdaten (Lagerbestand, Arbeitszeitkonten etc.) besitzen im Gegensatz zu Bewegungsdaten (Maschinendaten, Mess- und Sensordaten) für einen längeren Zeit-

raum Gültigkeit. **(Bild 1)** Bisher genannte Systeme erweitert um Prozessleitebene (Supervisory Control and Data Acquisition, SCADA), speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) der Maschinen sowie Systeme der Feld- (Schnittstelle zu technischen Prozessen) und Sensorebene (Datensammlung) bilden die sog. Automatisierungspyramide. Diese ist hierarchisch aufgebaut mit dem führenden ERP-System in der Spitze (Level 4), gefolgt von MES (Level 3), SCADA (Level 2), SPS (Level 1) sowie Feld- (Level 1) und Prozessebene (Level 0). Bei den meisten Unternehmen ist der Einsatz eines ERP-Systems heute Standard. MES, MDE und BDE finden dahingegen bei weniger als der Hälfte der Unternehmen Anwendung. [11]

Energieeffizienzüberlegungen sind über alle Ebenen der Automatisierungspyramide hinweg zu führen [12] und werden in der Praxis durch ein Energieinformationssystem (EnIS) im Rahmen des industriellen Energiemanagements unterstützt. In der Fertigung sind heute noch große Effizienzpotentiale vorhanden die durch Informationstransparenz über Energie- und Ressourceneinsatz mithilfe heutiger Mess- (Smart Metering) und Automatisierungstechnik, der technischen Möglichkeiten der schnellen Bereitstellung (Breitbandtechnologien) sowie der Fähigkeit zur dezentralen und zentralen Datenverarbeitung in Echtzeit auch schon gehoben werden könnten. Die Tatsache, dass dies in der Praxis heute nicht geschieht ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass Energiedaten in den vorher genannten Unterstützungssystemen der Produktion selten / keine Berücksichtigung finden. Damit die für die Produktion in Zukunft immer wichtigeren Energiedaten den Weg in die Produktionsplanung finden können, müssen diese an anderer geeigneter Stelle gesammelt und verarbeitet werden. Erst so werden kurzfristige Produktionsplanungsanpassungen der laufenden Produktion zur Optimierung der energiebezogenen Leistung auf Basis verlässlicher Daten möglich. Dazu müssen interoperable EnIS etabliert werden, die über geeignete Schnittstellen über das IoT mit anderen betrieblichen Anwendungssystemen Informationen austauschen können. Die Art und Weise wie diese EnIS arbeiten unterscheidet sich grundsätzlich von konventionellen Systemen. Entscheidungsunterstützung in immer komplexeren Situationen durch leistungsfähige intelligente Datenanalytik, prägnante Visualisierungen und intuitive Bedienbarkeit bildet dabei das Fundament. **(Bild 1)** Gleichzeitig verspricht das Internet der Dinge in diesem Zusammenhang viele der neuen Anforderungen durch Digitalisierung und Energiewende an die Produktion erfüllen zu können und so die Voraussetzung zur weiteren Erhöhung der Energieeffizienz, der Reduzierung der Treibhausgasemissionen sowie dem Angebot von Energiedienstleistungen (Vermarktung von Flexibilität im Energieeinsatz) zu ermöglichen. Außerdem unterstützen solche Systeme auch die Integration Erneuerbarer Energien bspw. in Form unternehmenseigener Photovoltaikanlagen, die laut einer Studie von PwC bei nahezu allen Unternehmen die bereits in Energieeffizienzmaßnahmen investiert haben, heute schon Standard sind. [13] Im nächsten Kapitel rücken daher EnIS im Internet der Dinge weiter in den Fokus der Betrachtung.

3 Energieinformationssysteme im Internet der Dinge

Die Diskussion über die Notwendigkeit der stärkeren Integration von Flexibilitäten auf Verbraucherseite ist in vollem Gange. Dennoch werden auch in Zukunft nicht sämtliche Potentiale im gewünschten Maße gehoben werden können, solange die Anforderungen der industriellen Verbraucherseite nicht beachtet werden. Für jedes produzierende Unternehmen stehen die Kernprozesse, also alle Tätigkeiten, die der tatsächlichen Wertschöpfung des Unternehmens dienen, im Mittelpunkt. Kernprozess eines klassischen Elektronikgeräteherstellers wären bspw. der Produktionsprozess „Laptops produzieren“. Strom und andere Energieformen gehören zu den Betriebsstoffen und werden bei der Produktion zwar benötigt, gehen aber nicht in das Produkt ein und dienen so in der Regel zum Betreiben der Maschinen. In der klassischen Produktionsplanung spielten Energieeffizienz- und Energieverbrauchsflexibilitätsbetrachtungen bislang in der Regel keine Rolle. Allenfalls bei energieintensiven Unternehmen wurden der Energieverbrauch in der Vergangenheit schon detailliert erfasst und floss so neben anderen Ressourcen in Form von kalkulatorischen Kosten in die Produktionsprogrammplanung mit ein. Auf diese Weise sind heutige Produktionsplanungssysteme und deren zugrundeliegenden Planungsheuristiken im Allgemeinen nicht für die Berücksichtigung von Energiedaten ausgelegt. Aufgrund fehlender Anreize wird sich dies wahrscheinlich kurzfristig auch nicht ändern, sofern die Energiepreise nicht massiv steigen oder die Erlöse aus Energiedienstleistungen die Opportunitätskosten durch Planabweichungen überkompensieren können. In der Praxis hat sich gezeigt, dass alleine das Bewusstsein des technischen Personals für „Energiefragestellungen“ keine hinreichende Voraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung des Energiemanagements darstellt und das aus diesem Grund auch einfach umzusetzende Einsparpotentiale in der Vergangenheit trotz Anstrengungen durch industrielle Energieeffizienzprogramme nicht umgesetzt werden konnten. [14] Dies setzt einen wie in **Bild 1** dargestellten ganzheitlichen Energiemanagementansatz voraus, der über unternehmensgrenzen hinweg und über sämtliche Energieträger gedacht wird. Energiemanagementsysteme spielen daher in diesem Zusammenhang eine entscheidende Rolle [15], da sie der systematischen Erfassung und als Basis zur Entscheidung für Investitionen zur Verbesserung der Energieeffizienz dienen können. Auf diese Weise beinhalten Energiemanagementsysteme alle Elemente einer Organisation, die zur Erstellung einer Energiepolitik, der Festlegung der strategischen Ziele und der Erreichung dieser Ziele nötig sind. Sie umfassen somit die zur Verwirklichung des Energiemanagements erforderlichen Organisations- und Informationsstrukturen einschließlich der hierzu benötigten Hilfsmittel. [16]

Innerhalb von Energiemanagementsystemen erbringen EnIS die Erfassung, Analyse und Aufbereitung aller energiebezogener Leistungsdaten eines Unternehmens. Auf

diese Weise sind Daten und Informationen zu Energieflüssen und zur Situationsanalyse innerbetrieblich vorhanden und können kontinuierlich ergänzt werden. EnIS sind hierbei allerdings nicht nur als Hilfsmittel zu verstehen, sondern eignen sich außerdem auch zur Information aller betroffenen Stakeholder (Mensch und Maschine) in dem sie als Kommunikationsplattform für das gesamte Unternehmen eingesetzt werden können. [21]

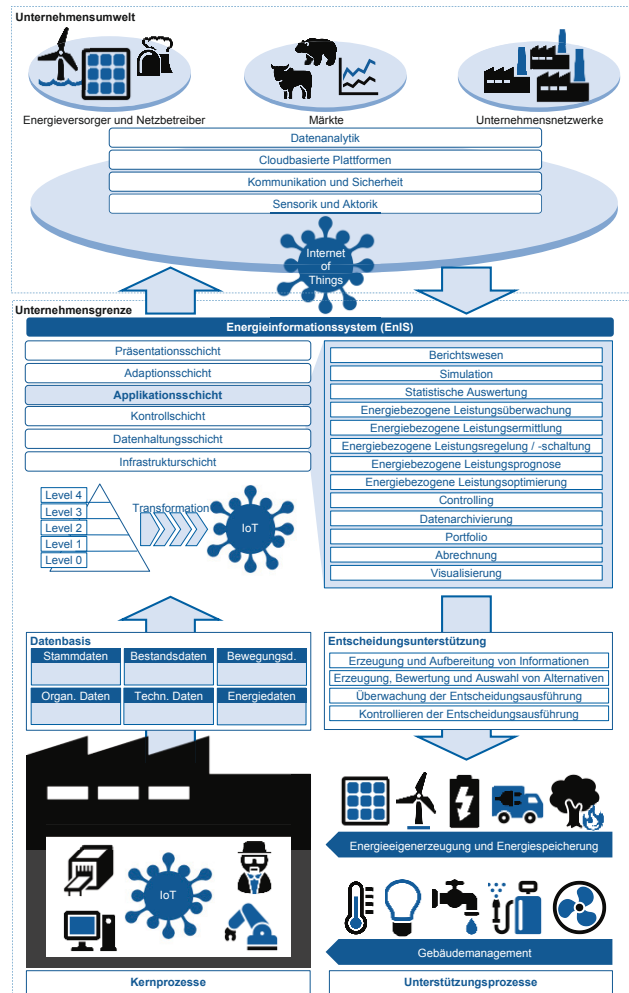


Bild 1: Industrielles Energiemanagement im IoT (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an [17], [18], [19], [20])

Im Gegensatz zu IT-Systemen, beziehen Informationssysteme (IS) explizit den Menschen und sein Handeln mit ein. Angebunden an das IoT entfalten IS erst ihr volles Leistungspotential. Internetbasierte Smart Services und das Cloud-Computing stellen insbesondere für KMU vielfältige Wachstumschancen und Entwicklungspotentiale dar, da sie selbst nicht in eigene IT-Infrastruktur und Know-How investieren müssen, um auf innovative kapitalintensive Technologien und Expertenwissen zurückgreifen zu können, sondern diese, je nach Marktsituation bedarfsgerecht (X-as-a-Service) zukaufen können. Grundvoraussetzung nutzenstiftender Smart Services bildet die Datenanalytik. Diese wird im nächsten Kapitel im Kontext Energiemanagement ausführlich eingeführt.

4 Datenanalytik für ein EnIS im Internet der Dinge

Die Datenanalytik (DA) bildet den Kern von dem, was in der Einleitung Smart Data genannt wurde, und erst mit ihr bekommt das Internet der Dinge eine Intelligenz, welche notwendig ist, um den Übergang vom Monitoring zum Management der Energie umzusetzen. Aus heutiger Sicht ist der nächste Schritt dabei nicht die Vollautomatisierung aller Energiemanagementprozesse, was ohnehin nur in einem begrenzten Teil der Fälle ein erstrebenswertes Ziel darstellt. Der nächste Schritt ist die Etablierung eines Unterstützungssystems, welches den Anwendern eines EnIS beim Entscheidungsprozess unterstützt. Dazu müssen primär die in **Bild 1** erstgenannten Aufgaben, die Erzeugung und Generation von Informationen, sowie die Erzeugung, Bewertung und Auswahl von Alternativen für das Energiemanagement spezifisch umgesetzt werden. Grundsätzlich muss dabei zwischen drei Kategorien von computerbasierten Systemen zur Unterstützung des Entscheidungsprozesses unterschieden werden. Automatisierte Entscheidungssysteme sind dafür konzipiert den Entscheidungsprozess zu automatisieren und eignen sich daher besonders bei wohl strukturierten, wiederkehrenden Situationen. Im Kontrast dazu dienen Decision Support Systeme, kurz DSS, der Entscheidungsunterstützung bei einer großen Vielfalt an wiederkehrenden Entscheidungssituationen. Für spezielle Situationen können Tools für eine durch einen technischen Experten durchgeführte Analyse der spezifischen Einzelsituation eingesetzt werden. [22] Da beim industriellen Energiemanagement der Einsatz im operativen Betrieb von besonderer Relevanz ist, handelt es sich in der Regel um wiederkehrende Entscheidungssituationen, welche nicht automatisiert gelöst werden sollen, sondern in Kombination mit den rein produktionsspezifischen Systemen, wie ERP-System und MES, und dem EnIS gelöst werden sollen. Das Ziel für das Energiemanagement ist demnach die Etablierung eines DSS mit dem Fokus auf den Einsatz der Ressource Energie im Unternehmen. Power unterteilt DSS grundsätzlich in fünf Typen: kommunikationsgetriebene DSS, datengetriebene DSS, dokumentengetriebene DSS, wissensgetriebene DSS und modellgetriebene DSS. [23] Für das industrielle Energiemanagement bietet sich eine Mischung aus einem datengetriebenen und modellgetriebenen DSS an. Modellgetriebene DSS zeichnen sich dadurch aus, dass ein oder mehrere Modelle die dominierende Komponente in der Architektur sind und sich aus dem Modell die Funktionalitäten des DSS ableiten. [22] Für die wiederkehrenden Entscheidungsprozesse im Produktionsmanagement bzw. Energiemanagement können dabei Modelle entwickelt werden, die die Entscheidungssituation theoretisch erfassen und der Generation von Handlungsempfehlungen dienen. Als Input für diese Modelle dienen Informationen, welche erst aus den Daten gewonnen werden müssen, was durch einen datengetriebenen Ansatz realisiert werden kann. Datengetriebene DSS erhalten ihre Funktionalität durch den Zugang und die Manipulation von großen Mengen strukturierter Daten. [22] Ein

Großteil der Entscheidungssituationen im industriellen Energiemanagement ist geprägt durch ein hohes Maß an Komplexität. Dies ist bedingt durch eine gewisse Grundkomplexität, die das Produktionsmanagement an sich innehat. Das Hinzunehmen einer weiteren Komponente, hier der Höher-Priorisierung des Managements der Ressource Energie, erhöht die Komplexität weiter und stellt Entscheidungsträger vor neue Herausforderungen. Im Allgemeinen sind die Antworten in unternehmensinternen Entscheidungsproblemen nicht trivial aus den Daten zu extrahieren. Die Antworten werden dabei in der Regel nicht erreicht, indem einfach eine Methode aus Statistik oder Operation Research angewandt wird. Es ist vielmehr ein Prozess erforderlich, in dem sequentiell aufeinanderfolgend eine Reihe von Methoden angewandt wird. [24] Dazu definiert Schniederjans Business Analytics als Prozess, der mit einer Sammlung von Daten beginnt und durch den sequentiellen Einsatz von Analytik-Komponenten Entscheidungsprozesse unterstützt, um die organisatorische Performance im Unternehmen zu verbessern. [24] Je nach Autor und Quelle gibt es drei bzw. vier Analytik-Komponenten. Zusätzlich zur deskriptiven, prädiktiven und präskriptiven Komponente [24] wird zwischen der Deskription und Prädiktion teilweise noch die Diagnostik positioniert. [25] In diesem Kontext ist seit Jahren auch Business Intelligence als Lösungskonzept benannt, das traditionell jedoch seinen Fokus eher auf das Speichern und Visualisieren großer Mengen historischer Daten legt und damit vorwiegend strategische Fragestellungen innerhalb eines Unternehmens im Rahmen einer Entscheidungsunterstützung für spezielle Situationen durch Experten anvisiert. Im Bereich der Business Analytics wird weiter zwischen einer logikgetriebenen und einer datengetriebenen Modellierung unterschieden. Logikgetriebene Modelle basieren auf Erfahrungen, Wissen und logischen Zusammenhängen zwischen Variablen und Konstanten. Logikgetriebene Modelle sind häufig jedoch nur der erste Schritt, um letztendlich mit einem datengetriebenen Modell weiterzuarbeiten. Beispiele für datengetriebene Modelle sind Regressionsanalysen, Simulationen oder stochastische Methoden. [24] Wie bereits oben erläutert, bietet sich aufgrund der hohen Komplexität für die Weiterentwicklung eines industriellen Energiemanagements ein datengetriebener Ansatz an, um nützliche Informationen aus den Daten zu extrahieren. Diese Informationen können dann den verschiedenen Entscheidungssituationen spezifischen Modellen zugeführt werden. Die mit Business Analytics vorgeschlagene Sequenz von Analytik-Komponenten lässt sich als Referenz für ein Vorgehen deuten, das die Gestaltung einer Datenanalytik ermöglicht. Eine anwendungsspezifische Lösung wird dadurch jedoch noch nicht determiniert. Aufgrund der oben hergeleiteten Notwendigkeit ein für das industrielle Energiemanagement spezifisches DSS zu realisieren, soll im Folgenden nun expliziert werden, wie die Analytik-Komponenten in diesem Fall aussehen könnten und wie das Internet der Dinge bei deren Realisierung eingesetzt werden kann. Dazu wird Datenanalytik allgemein als Prozess definiert, der Daten zu

Informationen transformiert, welche für eine Entscheidungsunterstützung nützlich sind. Im Kontext eines EnIS soll dieser Prozess mit der Modellierung der zugrundeliegenden Daten beginnen und über eine systematische Untersuchung der Daten hinsichtlich aller bestimmenden Faktoren und Komponenten zu einer Handlungsempfehlung für den Anwender eines EnIS führen. Entscheidungsprobleme im Kontext des Energiemanagements produzierender Unternehmen ergeben sich vor allem durch die Herausforderung, dass für das Management der Produktion eine Reihe von Zielgrößen beachtet werden müssen und der Energieeinsatz dabei lediglich ein Aspekt ist. Wie in Kapitel 3 motiviert bedeutet dies, dass notwendige Entscheidungen bei der Planung und Steuerung des Energieverbrauchs im industriellen Kontext sehr komplex sind und sich aus den Entscheidungsproblemen eine Reihe von Informationsbedarfen ergeben. Einem Entscheidungsproblem liegen generell drei Elemente zugrunde. Zum einen gibt es eine Anzahl von Alternativen von denen eine ausgewählt werden muss. Zum anderen existieren unabhängige Ereignisse, die in der Zukunft geschehen könnten. Das dritte Element ist der von den beiden vorher genannten Elementen abhängige Aspekt und damit die Folge der ausgewählten Alternative und des eingetroffenen unabhängigen Ereignisses. [24] Aus diesen Elementen ergeben sich folgende grundlegende Informationsbedarfe zur Lösung des Entscheidungsproblems:

- Welche Handlungsalternativen liegen dem Entscheidungsproblem zugrunde?
- Welche Folge hat die Wahl einer bestimmten Handlungsalternative?
- Welche Handlungsalternative sollte bevorzugt ausgewählt werden?

Zur Beantwortung der ersten Frage ist es vor allem notwendig das betrachtete System, im Fall dieses Papers der Energieeinsatz innerhalb eines produzierenden Unternehmens, hinreichend zu verstehen. Dadurch wird es erst möglich zwischen dem Einfluss von echten Handlungsalternativen und unabhängiger Ereignissen auf die Folgen zu unterscheiden. Die zweite Frage baut darauf auf und erfordert eine gewisse Prognosefähigkeit bezüglich der Folgen einer Wahl der einzelnen Handlungsalternativen. Außerdem ist zur Beantwortung der zweiten Frage auch notwendig die Folgen der unabhängigen Ereignisse abzuschätzen und diese bei der Wahl der besten Handlungsalternative zu berücksichtigen. Im oben genannten Beispiel ist die Aufgabenstellung, den Eigenverbrauch mit einer eigenen PV-Anlage zu optimieren. Die Menge der durch die PV-Anlage generierten Energie hängt von der Sonneneinstrahlung ab und ist nicht damit nicht beeinflussbar. Sie ist jedoch bei der Wahl der besten Handlungsalternative, d.h. in diesem Fall die Planung und Steuerung der Produktion mit dem Ziel den Energieverbrauch vor allem auf Zeiten großer Eigenenergieerzeugung zu verlagern, von großer Relevanz. Mit der dritten Frage wird das Entscheidungsproblem gelöst, da dem Informationsbenutzer ein für die Entscheidungssituation zu präferierende Handlungsalternative vorgeschlagen wird. Dadurch wird ein DSS, wie es oben beschrieben

wird, realisiert. Bezogen auf das industrielle Energiemanagement lassen sich aus den oben genannten generellen Fragestellungen bei der Lösung von Entscheidungsproblemen spezifischere Informationsbedarfe ableiten, die mit den verschiedenen Analytik-Komponenten gestillt werden können. (Siehe **Bild 2**)

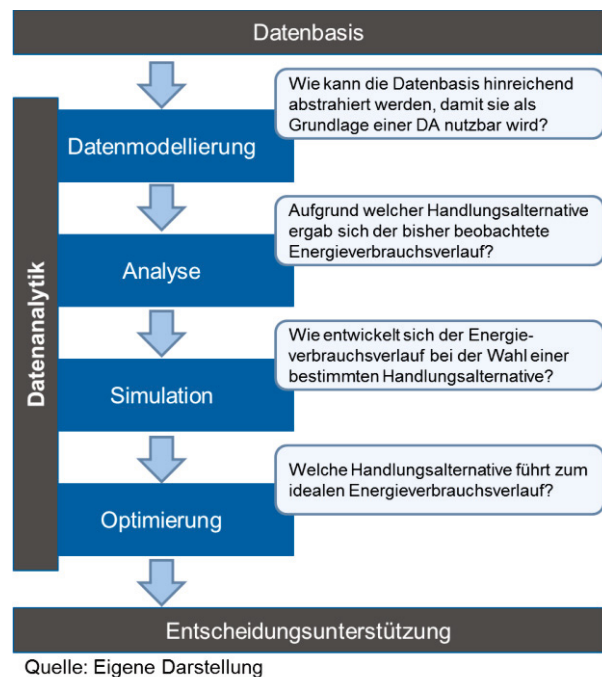


Bild 2: EnIS-spezifischer Datenanalytik Prozess

In diesem Kontext wird unter „Energieverbrauchsverlauf“ die zeitliche Entwicklung des Energieverbrauchs verstanden. Beim Beispiel der optimierten PPS bezüglich Eigenverbrauch des selbst erzeugten PV-Stroms entsprechen die Handlungsalternativen den Möglichkeiten, die Feinplanung und –steuerung in der Produktion unter Berücksichtigung der weiteren produktionsspezifischen Zielgrößen hinsichtlich der PV-Erzeugung anzupassen. Die Datenmodellierung dient der Abstraktion einer Datenbasis, welche im Kontext des Beispiels auf Planungs-, Maschinen- und Energieverbrauchs-, sowie Energieerzeugungsdaten reduziert werden kann. Eine Abstraktion ist insbesondere bei den heterogenen Formaten der Planungsdaten zum Soll-Zustand der künftigen Prozessparameter aus den PPS-Systemen, sowie den Maschinendaten zum Ist-Zustand im tatsächlichen Prozessablauf aus der BDE von großer Relevanz. Die Energieverbrauchsdaten sind ein hier besonders hervorgehobener Teil einer BDE, der auch häufig durch separat installierte Energiemessgeräte realisiert wird. Die Analyse der Energieerzeugungsdaten ist kein hier betrachteter Aspekt und es wird das Vorliegen von geeigneten Prognosen vorausgesetzt. In einem Analysemodell sollen auf Basis des Datenmodells die Korrelationen zwischen den verschiedenen Datentöpfen aus den historischen Daten ermittelt werden. Die übergeordnete Zielstellung ist dabei den Zusammenhang von dem Ergebnis der Produktionsplanung in Form der Planungsdaten und des tatsächlichen Energieverbrauchsverlaufs in Form der Energiedaten in einem stochastischen Modell abzubilden. Die fundamentale

Herausforderung besteht in einer vorauszusetzenden Diskrepanz zwischen Planung und tatsächlichen Prozessablauf in der Produktion. Dadurch bedingt lassen sich Prognosen auch nur durch Simulation mithilfe der Ergebnisse aus dem Analysemodell herleiten. Mithilfe der Prognosen zur Auswirkung der einzelnen Handlungsalternativen auf den Energieverbrauchsverlauf kann die beste Wahl durch eine Optimierung realisiert werden. In dieser Optimierung werden die prognostizierten Energieverbrauchsverläufe, welche mit einer stochastisch beschriebenen Unschärfe versehen sind, als zusätzliche Information für ein in die Feinplanung und -steuerung integriertes Lastmanagement berücksichtigt. Eine cloudbasierte Plattform als Element eines Internets der Dinge bietet bezüglich der Datenanalytik eine Reihe an Vorteilen. Zum einen kann durch die Cloud-Struktur die notwendige informationstechnische Infrastruktur bereitgestellt werden, was eine Vielzahl von Möglichkeiten einer Datenanalytik erst ermöglicht und die Skalierbarkeit der Lösung sicherstellt. Zum anderen können die Analytik-Komponenten als Funktionsbausteine in der Plattform implementiert werden und auf diese Weise ein ganzheitliches Energiemanagement mit der für den Anwendungsfall spezifischen Ausprägungsstufe umgesetzt werden ohne einen lokalen Softwareeinsatz zu erfordern. Das Optimierungsmodell kann als Ergänzung zur bestehenden Software zur PPS im Unternehmen eingeführt werden. Die besonderen Anforderungen an die technische Infrastruktur für die Analyse- und Simulationskomponenten der Datenanalytik können in einer IoT-Plattformumgebung stattfinden. Das Datenmodell kann die Daten dabei in einer abstrahierten Form darstellen, sodass sensible Informationen nicht das Unternehmen verlassen. Die Ergebnisse der Algorithmen aus der Plattform sollen durch das Datenmodell innerhalb des Unternehmens interpretierbar werden und mittels Optimierungsmodell in die PPS eingebunden werden. Die Anwendung der Datenanalytik soll ermöglichen, dass die optimale Verwendung des eigenerzeugten PV-Stroms durch Einsatz eines DSS als Komponente des EnIS in den Rahmen des Produktionsmanagements integriert wird. Dieses Beispiel verdeutlicht, wie mit geringen Investitionskosten mithilfe des Internets der Dinge ein EnIS samt Datenanalytik realisiert werden kann, um datenbasiert die Energiewende in das Zentrum der Industrie zu integrieren.

5 Literatur

- [1] Kahlen, C.; Sasch, C.: Ein neues Kapitel der Energiewende. <https://www.bmwi-energie-wende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2016/14/Video/topthema.html>
- [2] Deutscher Bundestag: 18. Wahlperiode, Entwurf eines Gesetzes zur Weiterentwicklung des Strommarktes (Strommarktgesetz) ISSN: 0722-8333, 2016.
- [3] Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF): Die neue Hightech-Strategie Innovationen für Deutschland. 2014.
- [4] Six, B.: Wirtschaft-regional.net: „Energiemanagement ist der erste Baustein für Industrie 4.0“, unter <http://www.wirtschaft-regional.net/energiemanagement-ist-der-erste-baustein-fuer-industrie-4-0/> (abgerufen am 09.08.2016)
- [5] Schenk, M.; Wirth, S.; Müller, E.: Fabrikplanung und Fabrikbetrieb. Heidelberg [u.a.]
- [6] Bolay, S.; Meyer, M.: Faktenpapier Eigenerzeugung und Stromdirektlieferung. Chancen, Risiken, Rechtsrahmen. Hrsg.: DIHK, Berlin [u.a.] 2015.
- [7] Schmidt, C.: Konfiguration überbetrieblicher Koordinationsprozesse in der Auftragsabwicklung des Maschinen- und Anlagenbaus. Aachen 2008.
- [8] Meissner, S.: Logistische Stabilität in der automobilen Variantenfließfertigung, Garching 2009.
- [9] Westphal, J.; Kummer, S.: Komplexitätsmanagement in der Produktionslogistik., Wiesbaden 2001.
- [10] Schuh, G.; Stich, V.: Produktionsplanung und -steuerung, Berlin [u. a.] 2012.
- [11] Schuh, G.; Nyhuis, P.; Reuter, C. et Al.: Produktionsdaten als Enabler für Industrie 4.0. In: wt Werkstattstechnik online 105, 2015
- [12] Siemens: Energiemanagement und Energieoptimierung in der Prozessindustrie, Karlsruhe 2011.
- [13] Zuberer, S.: Mittelständler profitieren von Investitionen in Energieeffizienz. PwC-Studie, 2015
- [14] Hirzel, S.; Sontag, B.; Rohde, C.: Betriebliches Energiemanagement in der industriellen Produktion. Karlsruhe 2011.
- [15] Bauernhansl, T.: Energieeffizienz in Deutschland - eine Metastudie, Berlin [u.a.] 2014.
- [16] Kahlenborn, W.; Kabisch, S. et Al.: Energiemanagementsysteme in der Praxis. ISO 50001: Leitfaden für Unternehmen und Organisationen. Berlin, 2012.
- [17] GRONAU, N.: Enterprise Resource Planning. Architektur, Funktionen und Management von ERP-Systemen, München 2014.
- [18] VDI 4602: Energiemanagement - Begriffe. VDI Richtlinie 4602 01.040.27, 27.010. Beuth, 2007
- [19] Metha, R.: Intelligent Enterprise 2.0, <http://www.cio.com/article/2977651/predictive-analytics/why-industrial-iot-platform-is-best-hope-for-it-and-ot-convergence.html>
- [20] Buchholz, P.: Große Netze der Logistik, Berlin 2009
- [21] Schmid, C.: Energieeffizienz in Unternehmen. Eine wissenschaftliche Analyse von Einflussfaktoren und Instrumenten, Zürich 2004.
- [22] Power, D. J.; Sharda, R.: Model-driven decision support systems: Concepts and research directions, In: Decision Support Systems 43 1044-1061 ,2007
- [23] Power, D.J.: Understanding data-driven decision support systems, In: Information Systems Managements 25: 149-154, 2008
- [24] Schniederjans, M. J.; Schniederjans, D. G.; Starkey, C. M.: “Business Analytics Principles, Concepts, and Applications – What, Why and How”, Pearson Education, ISBN: 978-0-13-355218-8, 2014
- [25] Lin, N.: „Applied Business Analytics“, Pearson, New Jersey (u.a.), ISBN: 978-0-13-348150-1, 2015