

Einfluss von Industrie 4.0 auf die Anwendbarkeit von Lastmanagement in der industriellen Produktion

Zweitveröffentlichung Autorenmanuskript

Originalbeitrag erschienen in: Smajic, H. Hrsg.: Tagungsband AALE 2018. 01.-02.03.2018, Köln; S. 55–66. VDE-Verlag ISBN 978-3-8007-4523-4. E-Book: ISBN 978-3-8007-4523-4.



Dieses Dokument ist lizenziert unter der Lizenz:
Creative Commons Namensnennung 4.0 (CC BY 4.0):
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

DOI dieser Zweitveröffentlichung: <https://doi.org/10.25968/opus-2706> .

Einfluss von Industrie 4.0 auf die Anwendbarkeit von Lastmanagement in der industriellen Produktion

Von Andreas Würger¹, Karl-Heinz Niemann²

1 Einleitung

Technische Energiemanagementsysteme (im Folgenden tEnMS genannt) sind ein Instrument des allgemeinen, organisatorischen Energiemanagements, wie es in der ISO 50001 [1] definiert ist. In der produzierenden Industrie kommen tEnMS heute meist für das Messen, Speichern und Auswerten von Energieverbrauchsdaten zum Einsatz. Darüber hinaus können tEnMS die Energieaufnahme von Produktionsanlagen vorhersagen und beeinflussen. Derartige Funktionen werden als Prognose- und Lastmanagementfunktionen bezeichnet.

Nach VDI 5600 Blatt 6 [2] ist ein technisches Energiemanagementsystem in der Ebenenstruktur der Automatisierungstechnik (Automatisierungspyramide) auf Ebene 3 angesiedelt (siehe Bild 1). Damit befindet es sich auf der Ebene des Fertigungsmanagementsystems (Engl. Manufacturing Execution System, im Folgenden MES genannt) bzw. ist im Idealfall in dieses integriert. In [3] wird ein Energie-/ Lastmanagementsystem beschrieben bei dem Energie auf MES Ebene als Ressource wie Material oder Personal behandelt wird.

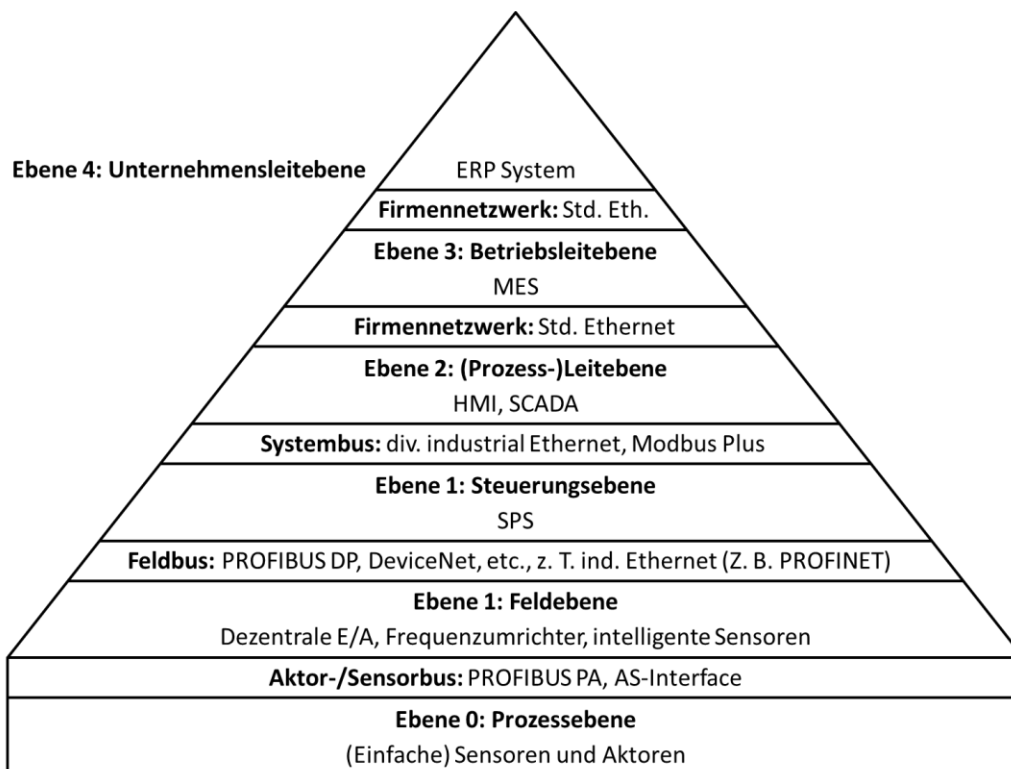


Bild 1 Automatisierungspyramide, angelehnt an die Abbildung 3 aus [4]

¹ Andreas Würger M. Eng., Hochschule Hannover

² Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Niemann, Hochschule Hannover

Laut [5] und [6] können tEnMS weiterhin in stark unterschiedlichem Maße in die Automatisierungssysteme von Produktionsanlagen integriert sein. Für die Anwendung von Lastmanagement in der industriellen Produktion wird eine hohe Integration von tEnMS und Automatisierungstechnik benötigt [7]. Zum einen, weil das Kommunikationssystem des Automatisierungssystems auch zum Transport von den Energiemanagement-Daten genutzt werden kann. Zum anderen, weil es meist nicht möglich ist, Automatisierungsanlagen beliebig abzuschalten, bzw. es nicht möglich ist, energiesparende Betriebsmodi von Automatisierungsanlagen beliebig anzufahren. Die einzelnen Komponenten und Teilanlagen und deren Zusammenspiel und Verhalten sind beim Energiemanagement zu berücksichtigen. Daher benötigt ein tEnMS mit integrierten Lastmanagement- und Prognosefunktionen immer auch Programme in den Steuerungen, wo z. B. Abschaltbefehle von den höheren Ebenen der Automatisierungspyramide entgegengenommen, koordiniert ausgeführt und an die Aktoren weitergeleitet werden.

2 Betrachtung von Verbrauchern im industriellen Umfeld

Um die Anwendbarkeit von Lastmanagement in der industriellen Produktion untersuchen zu können, gilt es zunächst die, potentiell im Rahmen eines Lastmanagements schaltbaren, Verbraucher zu betrachten. In [8] wird eine Kategorisierung von Verbrauchern nach ihrer Schaltbarkeit in nicht schaltbar, organisatorisch schaltbar, manuell schaltbar und automatisch schaltbar vorgenommen. Das grundsätzliche Konzept der Kategorisierung von Verbrauchern wird übernommen um prinzipiell schaltbare Verbraucher hinsichtlich ihres Abschaltverhaltens in die folgenden Typen zu unterteilen:

a.) Verbraucher

- die sich ohne nennenswerte Start- oder Abschaltzeiten vom laufenden Betrieb in den Betriebszustand minimaler Energieaufnahme umschalten lassen und
- deren Betriebsartenwechsel, zu mindestens für eine definierte Zeit, keinerlei Einfluss auf die Energieaufnahme anderer Verbraucher hat

b.) Verbraucher wie unter Punkt a.)

- bei denen Start- und Abschaltzeiten beim Umschalten vom laufenden Betrieb in den Betriebszustand minimaler Energieaufnahme zu berücksichtigen sind

c.) Verbraucher wie unter Punkt a.)

- deren Betriebsartenwechsel Einfluss auf die Energieaufnahme anderer Verbraucher hat

d.) Verbraucher

- bei denen Start- und Abschaltzeiten, beim Umschalten vom laufenden Betrieb in den Betriebszustand minimaler Energieaufnahme, zu berücksichtigen sind und
- deren Betriebsartenwechsel Einfluss auf die Energieaufnahme anderer Verbraucher hat

Bild 2 verdeutlicht diese Kategorisierung der Verbraucher.

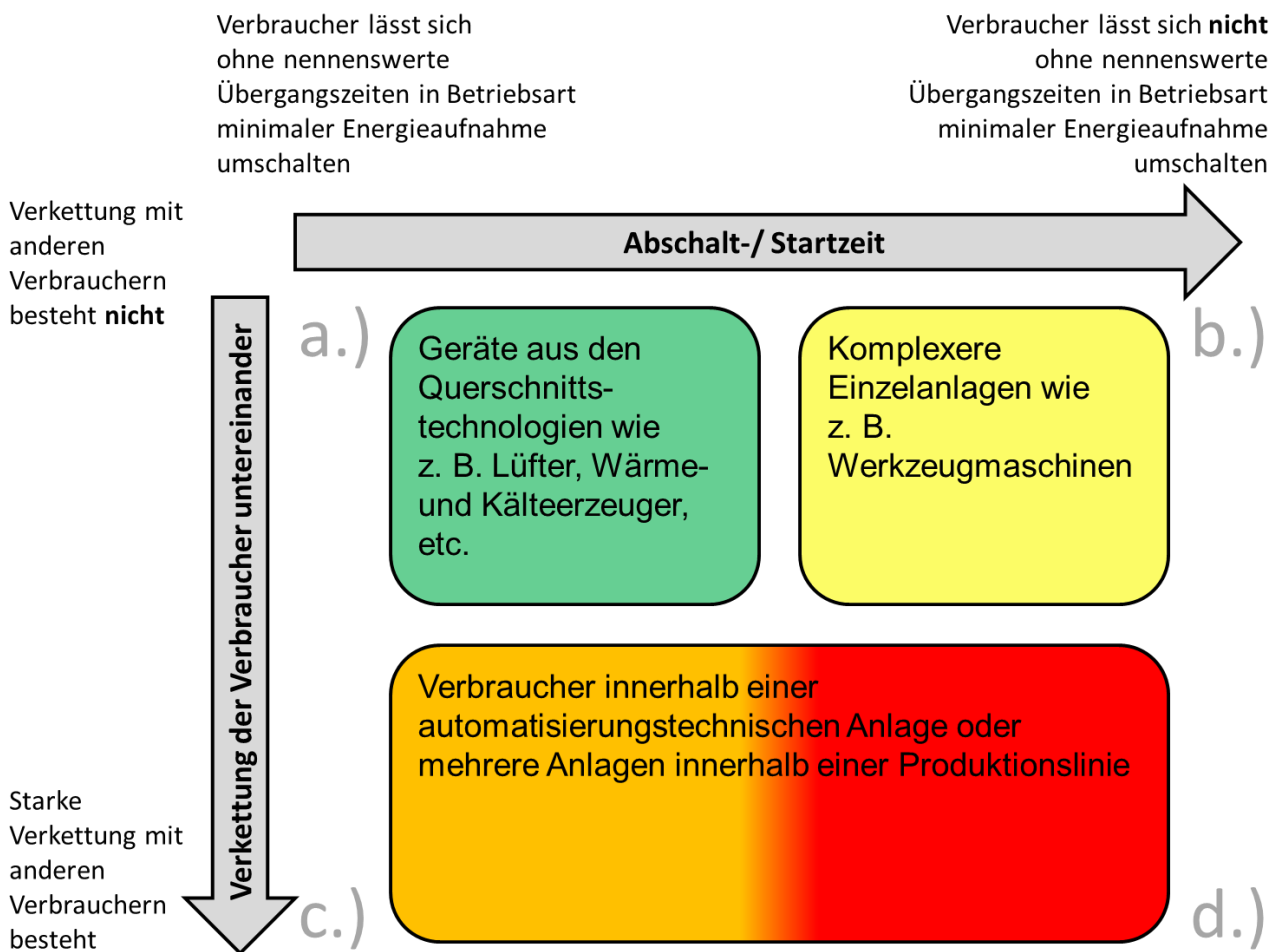


Bild 2 Kategorisierung Lastmanagementfähiger Energieverbraucher

Beispiele für Verbraucher des Typs a.) in der industriellen Produktion sind Geräte aus den Querschnittstechnologien wie z. B. Lüfter oder Wärme- und Kälteerzeuger. Verbraucher des Typs b.) können komplexere Einzelanlagen wie z. B. Werkzeugmaschinen oder auch die individuellen Technologien der energieintensiven Industrien, wie z. B. die Zementmühlen der Zementindustrie oder die Holzschleifer der Papierindustrie sein. Verbraucher der Typen c.) und d.) sind Einzelanlagen in einem Anlagenverbund aus verketteten Einzelanlagen mit unterschiedlicher Funktion, wie z. B. einer Produktionslinie oder einer Fertigungsstraße. Dabei können die beiden Kategorien fließend ineinander übergehen. Die Entscheidung, ob es sich letztlich um eine Anlage des Typs c.) oder um eine Anlage des Typs d.) handelt, wird anhand der Komplexität der Anlage selbst getroffen.

Die einzelnen Verbrauchertypen lassen sich nun hinsichtlich der individuellen Anforderungen, die für die Umsetzung der Lastmanagement- und Prognosefunktionen zu erfüllen sind, untersuchen. Es ist allerdings zu bedenken, dass im Einflussbereich eines technischen Energiemanagementsystems mit integrierten Lastmanagement- und Prognosefunktionen nicht nur eine der genannten Formen der o. g. Verbrauchertypen vorkommt, sondern im Normalfall alle. Sollen die Anforderungen an ein tEnMS, dessen Lastmanagement- und Prognosefunktionen alle der vier Teilbereiche umfassen, welche unter Kapitel 3 eingeführt werden, herausgearbeitet werden, ist dies zu berücksichtigen. Des Weiteren ist bei der Anwendung der voran-

gehend vorgenommenen Kategorisierung zu beachten, dass es sich bei allen vier Verbrauchertypen um prinzipiell schaltbare Verbraucher handelt, es aber auch grundsätzlich nicht schaltbare Verbraucher gibt. Grundsätzlich nicht schaltbare Verbraucher können zum Beispiel Lüftungsanlagen zum Austrag giftiger Dämpfe sein, die aus Gründen des Gesundheitsschutzes dauerhaft laufen müssen.

3 Anwendungen von Lastmanagement- und Prognosefunktionen

Lastmanagement- und Prognosefunktionen in tEnMS lassen sich, gemäß Bild 3, in vier Teilbereiche unterteilen. Sie werden in den folgenden Unterkapiteln einer genaueren Betrachtung unterzogen.

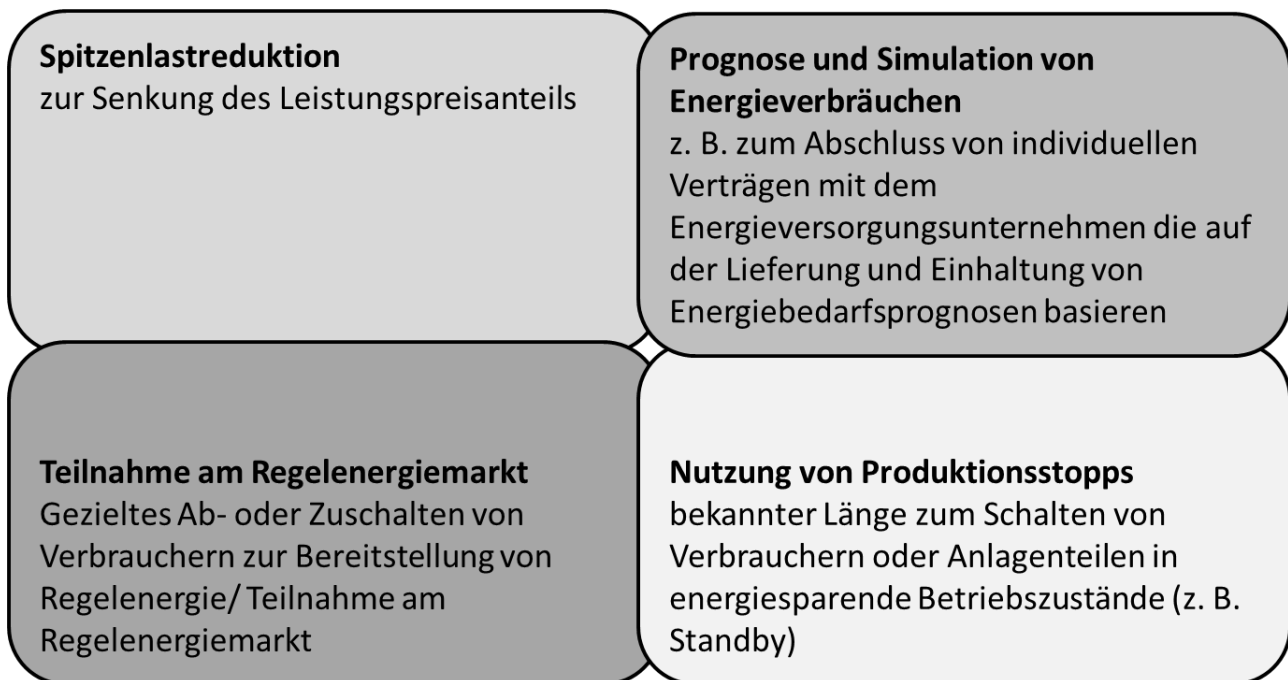


Bild 3 Teilbereiche von umfassenden Lastmanagement- und Prognoseanwendungen

3.1 Spitzenlastreduktion

Bei dem Teilbereich Spitzenlastreduktion ist weiterhin zu unterscheiden zwischen Spitzenlastreduktion in Echtzeit, also dem Abschalten von Verbrauchern als unmittelbare Reaktion auf eine bevorstehende Lastspitze sowie der präventiven Spitzenlastreduktion während der Produktionsplanung. Während sich für die Spitzenlastreduktion in Echtzeit nur die Verbraucher eignen, die sich ohne nennenswerte Verzögerungszeit in den Zustand minimaler Energieaufnahme schalten lassen, also Verbraucher der Typen a.) und c.), ist eine Spitzenlastreduktion während der Produktionsplanung nur möglich, wenn sich Energieverbräuche zutreffend modellieren lassen, sodass der Energiebedarf eines Produktionsplans prognostiziert werden kann. Für die präventive Spitzenlastreduktion ist also die Umsetzung des Teilbereichs Simulation und Prognose, wenn auch nur auf relativ groben Maßstäben, Voraussetzung. Die Voraussetzung für die Spitzenlastreduktion in Echtzeit ist die ausreichend fein aufgelöste Erfassung von Energieverbräuchen.

3.2 Nutzung von Produktionsstopps

Die prinzipielle Grundvoraussetzung zur Nutzung von Produktionsstopps zur Umschaltung der Betriebsart in die Betriebsart mit dem geringsten Energieverbrauch ist, dass die Dauer des bevorstehenden Produktionsstopps bekannt ist. Ist dies der Fall muss seitens des tEnMS, im einfachsten Fall, geprüft werden ob die Dauer des Produktionsstopps lang genug ist, damit der abzuschaltende Verbraucher in den Betriebszustand minimaler Energieaufnahme und wieder zurück in die Betriebsbereitschaft wechseln kann. Ggf. ist auch noch eine Mindestverweildauer im Betriebszustand minimaler Energieaufnahme einzuhalten, damit der Betriebsartenwechsel, gegenüber einem dauerhaften Verbleiben in der Betriebsbereitschaft, rentabel wird. Bei einer Automatisierungstechnischen Anlage besteht ein Verbraucher, dessen Betriebsart umgeschaltet werden soll, möglicherweise selbst aus mehreren, ggf. verketteten Verbrauchern, die in ihren Betriebszuständen verändert werden können. In diesem Fall müssen bei den Umschaltungen der Betriebsarten der einzelnen Verbraucher noch Start- oder Abschaltreihenfolgen oder sonstige Abhängigkeiten berücksichtigt werden. [9]

Die Voraussetzung für die Umsetzung des Teilbereiches Nutzung von Produktionsstopps zur Umschaltung der Betriebsart in die Betriebsart mit dem geringsten Energieverbrauch ist also, dass sich Anlagen dynamisch hoch und herunterfahren lassen. Dynamisch meint in diesem Kontext automatisch, als Reaktion auf ein Signal, ohne Zutun eines Bedieners und ohne das erhöhte Risiko von Störfällen.

3.3 Teilnahme am Regelenergiemarkt

Regelenergie ist der Anteil elektrischer Energie in einem Energieversorgungssystem, der von dem Netzbetreiber verwendet wird um Energieerzeugung und Energieverbrauch auf gleichem Niveau zu halten. Unterschieden wird zwischen negativer und positiver Regelenergie. Negative Regelenergie wird benötigt, wenn aktuell mehr Energie erzeugt als verbraucht wird. Sie wird erzeugt, indem z. B. Verbraucher ihre Verbrauchslast erhöhen. Positive Regelenergie wird benötigt, wenn aktuell mehr Energie verbraucht als erzeugt wird. Sie wird erzeugt in dem Verbraucher ihre Verbrauchslast senken. [10] In diesem Beitrag wird nur die Verbraucherseite der Regelenergie betrachtet, es besteht jedoch auch die Möglichkeit zur Erzeugung von Regelenergie durch die Beeinflussung der Erzeugungsleistung von Kraftwerken.

Regelenergie wird von den Übertragungsnetzbetreibern in die drei Regelenergiequalitäten, Primärregelenergie, Sekundärregelenergie und Minutenreserve unterschieden. Die Unterscheidung der drei Regelenergiequalitäten erfolgt anhand der Zeit nach der die Leistung voll zur Verfügung steht. Bei Primärregelenergie ist dies nach spätestens 30 Sekunden der Fall, bei Sekundärregelenergie nach spätestens fünf Minuten und bei Minutenreserve nach siebeneinhalb Minuten, wobei die Minutenreserve mindestens 15 Minuten lang in konstanter Höhe abgerufen wird. [10]

Für eine Abschaltung zur Bereitstellung von Regelenergie eignen sich also in erster Linie Verbraucher der Typen a.) und c.). Verbraucher der Typen b.) und d.) könnten jedoch dann für eine Abschaltung zur Erbringung von Regelenergie verwendet werden, wenn sie sich dynamisch herunter und wieder herauffahren lassen würden und die Abschaltzeit derartig kurz ist, dass eine der drei Regelenergiequalitäten erreicht werden kann.

Eine Voraussetzung, die ein tEnMS für die Umsetzung des Teilbereiches „Teilnahme am Regelenergiemarkt“ erfüllen muss ist also, dass sich Anlagen dynamisch herauf- und herunterfahren lassen, so wie unter Kapitel 3.1 definiert. Eine weitere Voraussetzung für diesen

Teilbereich ist eine durchgängige Vernetzung, die über die Grenzen der Automatisierungspyramide hinausgeht. So sind flexibel schaltbare Verbraucher, wie Beleuchtung, Lüfter und Wärme- oder Kälteerzeuger häufig der Gebäudetechnik zugeordnet, weshalb für die Erreichbarkeit und Schaltbarkeit dieser Verbraucher eine Kopplung von tEnMS und Gebäudeleitsystem, wie sie z. B. unter [11] beschrieben wird, notwendig ist. Des Weiteren wird für eine Teilnahme am Regelenergiemarkt eine schnelle bidirektionale Schnittstelle zum Energieversorger, bzw. zum Regelenergiemarkt benötigt, wie z. B. der unter [12] beschriebene Industriestandard VHPready.

3.4 Simulation und Prognose von Energieverbräuchen

Der Teilbereich Simulation und Prognose von Energieverbräuchen kann als Schlüsselfunktionalität von tEnMS mit integrierten Lastmanagementfunktionen betrachtet werden. So kann effizientes Lastmanagement nur dann betrieben werden, wenn vor der Durchführung von Schaltmaßnahmen deren Auswirkungen auf die gesamte Energieaufnahme einer Produktion simuliert, bzw. prognostiziert werden können.

4 tEnMS mit integrierten Lastmanagement- und Prognosefunktionen

Als Schlussfolgerung aus der unter Kapitel 2 vorgenommenen Kategorisierung von prinzipiell, im Rahmen von Lastmanagement, schaltbaren Verbrauchern und der unter Kapitel 3 vorgenommenen Betrachtung der Teilbereiche der Lastmanagement- und Prognosefunktionen lassen sich nun Aussagen über Schlüsselfunktionalitäten und –technologien eines allumfassenden tEnMS treffen.

An erster Stelle lässt sich sagen, dass die Fähigkeit zur Simulation und Prognose von Energieverbräuchen eine Schlüsselfunktionalität für alle Lastmanagementfunktionen darstellt. Auch eine ausreichend fein aufgelöste Erfassung von Energieverbräuchen wird benötigt, z. B. zur Reaktion auf bevorstehende Lastspitzen in Echtzeit. An nächster Stelle steht die Notwendigkeit der durchgängigen Vernetzung des tEnMS mit allen Ebenen der Automatisierungspyramide, sowie mit dem Regelenergiemarkt und mit parallelen Systemen, wie z. B. dem Gebäudemanagement.

Bild 4 zeigt die Vernetzung eines allumfassenden tEnMS auf Basis der in Bild 1 eingeführten Automatisierungspyramide. Die Steuerungsebene erhält bei der dargestellten Konfiguration eine besondere Bedeutung für die Realisierung von Lastmanagementfunktionen. In der Steuerungsebene werden die allgemeinen Schaltbefehle von dem tEnMS geprüft und umgesetzt, außerdem werden in den Steuerungen Abschalt-routinen sowie die Schnittstellen zu den Einzelverbrauchern implementiert. Das heißt also, dass ein allumfassendes tEnMS immer das Vorhandensein von SPS-Teilprogrammen voraussetzt. Das tEnMS selbst ist bei der dargestellten Konfiguration auf MES-Ebene integriert.

Unterhalb der Steuerungsebene sind in der dargestellten Konfiguration Energieprofile eingezeichnet. Energieprofile, wie z. B. PROFenergy [13] für PROFINET oder Sercos Energy [14] für Sercos, können einen wichtigen Beitrag dazu leisten, dass sich Anlagen dynamisch herunter- und herauffahren lassen. Sie verlagern Mess- und Lastmanagementfunktionen direkt in die, an das Industrial Ethernet angeschlossenen, Verbraucher. Durch standardisierte Schnittstellen können dann Messdaten durch die SPS angefordert und Abschaltbefehle von der SPS an die Verbraucher gesendet werden.

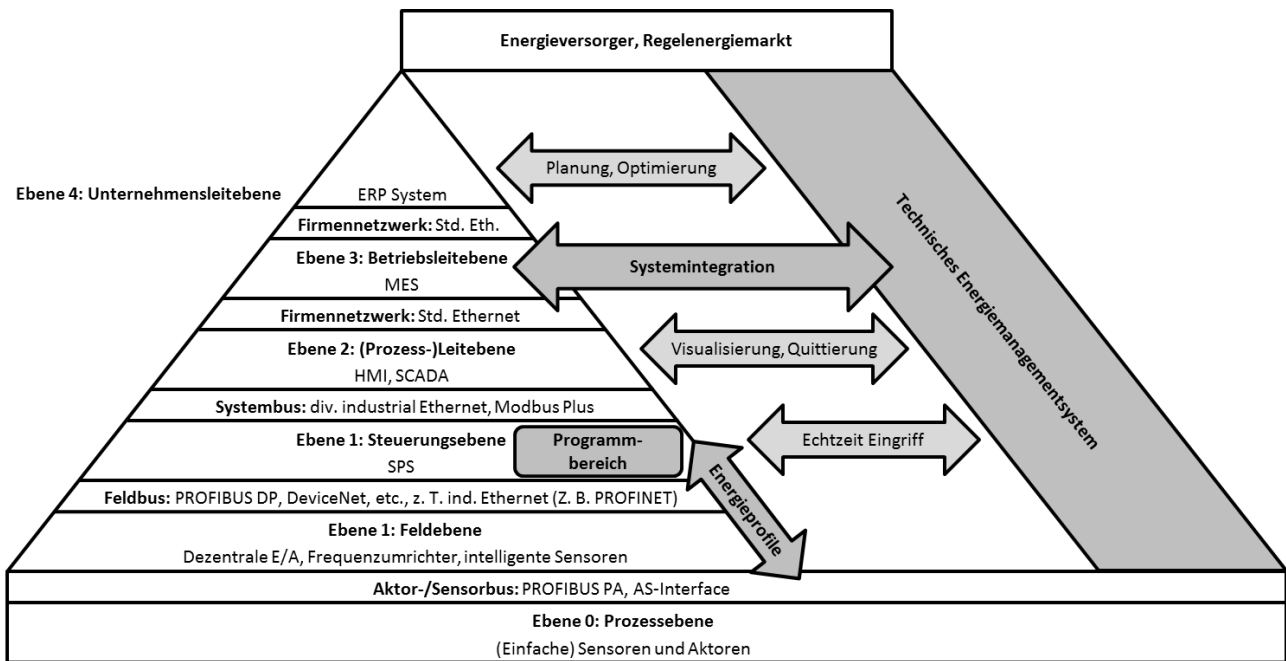


Bild 4 Integration eines tEnMS in die Automatisierungspyramide

5 Einfluss von Industrie 4.0

Konkret wird im Rahmen von Industrie 4.0 oft von der Integration von Cyber-Physical Systems (kurz CPS) in die Produktion gesprochen. Bei Cyber-Physical Systems handelt es sich um eigenständige, technische Systeme, welche selbst Daten aus physikalischen Prozessen mit Sensoren erfassen und mittels Aktoren auf physikalische Prozesse einwirken. Außerdem sind CPS über ein Netzwerk miteinander und mit der Außenwelt verbunden und können im Netzwerk verfügbare Daten und Dienste nutzen und anbieten. Des Weiteren verfügen sie teilweise über eine Mensch-Maschine Schnittstelle (z. B. einen integrierten Webserver). [15] Im Rahmen von Industrie 4.0 ergeben sich tiefgreifende Veränderungen der Infrastruktur von Produktionsanlagen auf allen Ebenen. Einige dieser Veränderungen bergen Chancen aber auch Herausforderungen für zukünftige, technische Energiemanagementsysteme. In den folgenden Unterkapiteln gilt es die, für ein zukünftiges tEnMS, wichtigsten Industrie 4.0 Themen zu beleuchten und hinsichtlich ihres Einflusses auf zukünftige tEnMS zu untersuchen.

5.1 Entwicklung des Energieerfassungsnetzes

Der Trend, im Rahmen von Industrie 4.0 selbst einfache Aktor-/ Sensorsysteme mit einer Kommunikationsschnittstelle auszurüsten, sie also zu CPS zu entwickeln, bzw. sukzessive durch CPS zu ersetzen, führt zu einer Zunahme der Datenmenge auf der untersten Ebene der Automatisierungspyramide. Diese Zunahme der komplexen Schnittstellen, selbst an einfachsten Geräten auf der Feldebene, kann sich positiv auf das technische Energiemanagement auswirken. Als Beispiel dafür kann z. B. eine neue Generation von Motorschutzschaltern mit Kommunikationsschnittstelle genannt werden. Ein konkretes Produktbeispiel bilden hier Motorschutzschalter der Firma Siemens [16]. Diese liefern über ihre integrierte Kommunikationsschnittstelle unter anderem auch für das tEnMS relevante Daten, wie z. B. den Motorstrom, die Motorspannung, den Phasenwinkel, etc. Damit wird jeder Motorschutzschalter automatisch zu einer Energiemesstelle. Eine durchgängige Verbreitung derartiger Geräte

würde dazu führen, dass Energieverbräuche auf Geräteebene, in den Anlagensteuerungen verfügbar sind, ohne das hierfür zusätzlicher Aufwand, in Form von Engineering sowie Hardware Installation und Integration, betrieben werden müsste.

Einflüsse auf zukünftige tEnMS:

Die Verfügbarkeit von zusätzlichen Informationen auf der untersten Ebene der Automatisierungspyramide führt auch zu einer Zunahme von, für das tEnMS relevanten, Daten.

Ein weiterer Trend, neben der in die einzelnen Geräte integrierten Kommunikationsschnittstelle ist, dass Ethernet/ Industrial Ethernet als durchgängige Kommunikationstechnologie über alle Ebenen der Automatisierungspyramide genutzt wird. Hieraus ergeben sich neue Anwendungsfälle für Energieprofile, bzw. für Energieprofil-unterstützende tEnMS. In den Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 der Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft [17] wird die Nutzung von Produktionsstopps bekannter Länge zum Schalten von Verbrauchern in einen Betriebszustand verminderter Energieaufnahme als eine aus Industrie 4.0 resultierende Innovation genannt. Begründet wird dies damit, dass die für derartige Funktionen benötigte Vernetzung erst durch die flächendeckende Verbreitung von IoT-Technologien³ gegeben ist. In der genannten Quelle wird direkt auf die, durch die durchgehende Vernetzung entstehende, Möglichkeit verwiesen die Funktionalität, Verbraucher in energiesparende Betriebszustände zu versetzen, direkt in die Verbraucher zu integrieren.

Einflüsse auf zukünftige tEnMS:

Der Ebenenübergreifende Einsatz von Industrial Ethernet wird eine Infrastruktur schaffen, in der Energieprofile von integraler Bedeutung für die Realisierung von Energieschnittstellen zwischen SPS und Feldgeräten sind.

5.2 Entwicklung der Automatisierungspyramide

Trends im Rahmen von Industrie 4.0, wie z. B. der durchgängige Einsatz Industrial Ethernet, oder der Einsatz von CPS, führen dazu, dass die unter Kapitel 1 vorgestellte konventionelle Automatisierungspyramide um parallel zur Ebenenstruktur liegende Mehrwertdienste erweitert wird. Eine derartige Erweiterung ist in der NAMUR Open Architecture [18] konzipiert. Die daraus resultierende Konfiguration ist auf Bild 5 dargestellt. Ethernet ist hier auf allen Zwischenebenen der Automatisierungspyramide zu finden. Die Erweiterung der Automatisierungspyramide bietet den, alle Ebenen übergreifenden, sicheren Zugriff auf Mehrwertdienste. Auch kann eine Kommunikation durch die parallel zur Automatisierungspyramide liegende Zusatzschicht der NAMUR Open Architecture direkt von einer Ebene zu einer anderen erfolgen, ohne dabei zunächst durch die Systeme auf den Ebenen dazwischen kommunizieren zu müssen. Eine Kommunikation mit externen Systemen kann ebenfalls durch die Zusatzschicht erfolgen. [19]

³ IoT steht für Internet of Things, zu Deutsch: Internet der Dinge

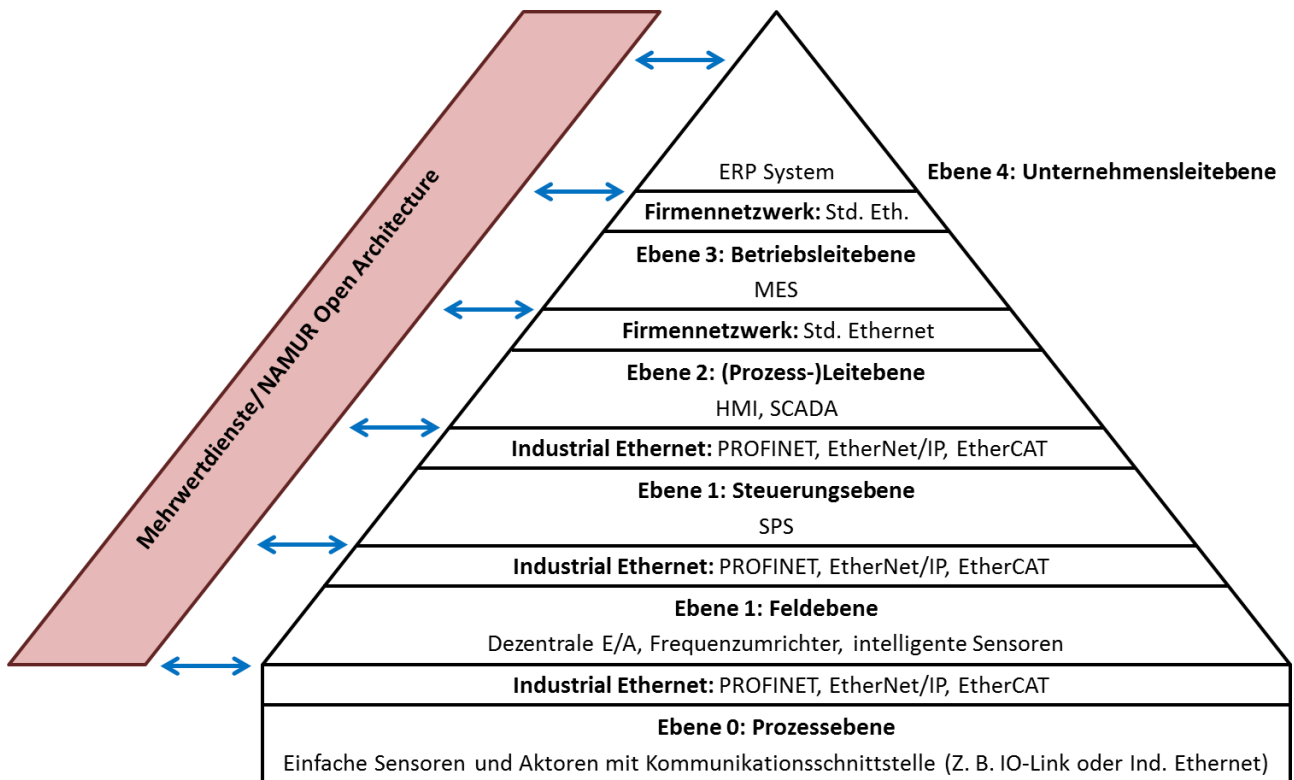


Bild 5 Automatisierungspyramide mit NAMUR Open Architecture [18]

Vergleicht man die in Bild 5 dargestellte Struktur mit der in Bild 4 dargestellten, um ein allumfassendes tEnMS erweiterten, Automatisierungspyramide, so stellt man fest, dass sich die beiden Darstellungen ähneln. Das tEnMS kann hier als Mehrwertdienst, welcher in die Zusatzschicht der NAMUR Open Architecture implementiert wird, interpretiert werden. Durch die Zusatzschicht wird eine direkte Kommunikation über alle Ebenen der Automatisierungspyramide, sowie eine Anbindung an externe Systeme, möglich. Damit kann die, für das tEnMS auf Bild 4, benötigte Schnittstellenvielfalt erreicht werden. Es kann also die Aussage getroffen werden, dass sich die Veränderung der Ebenen-Struktur der Automatisierungstechnik im Rahmen von Industrie 4.0 positiv auf zukünftige tEnMS auswirkt.

Einflüsse auf zukünftige tEnMS:

Die Veränderungen der Automatisierungspyramide ermöglichen dem tEnMS eine durchgängige und direkte Kommunikation mit jeder Ebene der Automatisierungspyramide sowie mit externen Systemen, wie z. B. dem Gebäudemanagement.

5.3 Veränderung von Produktionsumgebungen

Die Industrie-3.0-Fabrik ist darauf ausgelegt eine möglichst hohe Stückzahl von einem immer gleichen Produkt zu produzieren. Die Verkettung der Einzelanlagen untereinander ist hierbei hoch, die Arbeit der beschäftigten Personen ist weitgehend monoton. Die Berücksichtigung individueller Kundenwünsche ist gar nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich. Die Umstellung auf ein anderes Produkt, bzw. auf das aktuelle Produkt in abgewandelter Form, ist aufwendig.

Die Industrie 4.0 Fabrik ist darauf ausgelegt, ein möglichst breites Portfolio von Produkten herstellen zu können, um individuellen Kundenwünschen möglichst flexibel nachkommen zu können. Um dies bewerkstelligen zu können, sind die Einzelanlagen weit weniger verkettet. Die Fabrik besteht nun vielmehr aus einem Park autonomer Fertigungs- und Montagestationen, die nach Bedarf eingesetzt werden können.

Die industrielle Produktion wandelt sich weg von einer starren, hoch verketteten Konfiguration hin zu einem Park aus autonomen Modulen die flexibel gegeneinander ausgetauscht werden können. [20] Betrachtet man die Lastmanagementfähigkeit der Produktion nach der unter 2 vorgenommen Kategorisierung, als Ganzes, bedeutet das, dass sich die Produktion von einem Verbund aus, definitionsgemäß verketteten, Verbrauchern des Typs d.) zu einer Sammlung von einzelnen Produktionsstationen des Typs b.) entwickelt, wodurch die Lastmanagementfähigkeit prinzipiell steigt.

Einflüsse auf zukünftige tEnMS:

Die Modularisierung und Flexibilisierung von Produktionsumgebungen wirkt sich positiv auf deren Lastmanagementfähigkeit aus.

Neben den positiven Auswirkungen, die die Veränderung von Produktionsumgebungen im Industrie 4.0 Umfeld für das technische Energiemanagement mit sich bringt, sind auch die negativen Auswirkungen zu nennen. Durch die Modularisierung der Produktion auf der einen Seite und die Individualisierung der automatisiert produzierten Güter auf der anderen Seite werden Produktionspläne zu mindestens in einigen Branchen wesentlich individueller und flexibler. Die Individualisierung und Flexibilisierung von Produktionsplänen und die Unvorhersehbarkeit der Produktion, die in Echtzeit auf Anforderungen seitens der Kunden und des Marktes reagiert, erschweren die Prognose von Energiebedarfen erheblich. Der Beitrag [21] thematisiert dies und zeigt neuartige Verfahren zur Prognose von Energiebedarfen auf.

Einflüsse auf zukünftige tEnMS:

Durch die Individualisierung und Flexibilisierung von Produktionsplänen und die Unvorhersehbarkeit der Produktion werden neue Verfahren für die Prognose von Energiebedarfen benötigt.

6 Zusammenfassung und Fazit

Dieser Beitrag hat den Themenkomplex Lastmanagement in der industriellen Produktion beleuchtet. Hierzu wurden Lastmanagementfähige Verbraucher anhand ihres Abschaltverhaltens und ihrer Verkettung untereinander kategorisiert. Auch Lastmanagementfunktionen selbst wurden anhand der Motivation ihrer Anwendung in Teilbereiche aufgeteilt. Basierend auf den vorangegangenen Betrachtungen wurden Schlüsselfunktionalitäten und –technologien eines tEnMS mit Lastmanagement- und Prognosefunktionen herausgearbeitet. Durch Betrachtung von, für das technische Energiemanagement relevanten, Industrie 4.0 Themen wurden die sich ergebenden Chancen und Herausforderungen für die Anwendbarkeit von Lastmanagement in der industriellen Produktion aufgezeigt. Als Aspekte, die sich positiv auf zukünftige tEnMS auswirken werden, konnten dabei die teilweise Auflösung der Automatisierungspyramide, die Wandlung von einfachen Aktor- Sensorsystem zu CPS sowie die zunehmende Modularisierung industrieller Produktionsumgebungen, genannt werden.

Als Herausforderung wurden die Flexibilisierung der Produktion und der weitgehende Wegfall von Produktionsplänen, welche sich negativ auf die Prognostizierbarkeit von Energiebedarfen auswirken, identifiziert.

Ein weiterer positiver Aspekt ist die Ausprägung einer durchgängigen Industrial Ethernet Struktur, welche eine Chance für einen höheren Verbreitungsgrad von Energieprofilen bietet. Daher wird bei den Energieprofilen und bei Energieprofilanwendungen in zukünftigen tEnMS ein akuter Forschungs- und Entwicklungsbedarf gesehen.

7 Literaturverzeichnis

- [1] DIN EN ISO 50001: Energiemanagementsysteme - Anforderung mit Anleitung zur Anwendung. 2011.
- [2] VDI 5600 Blatt 6: Fertigungsmanagementsysteme (Manufacturing Execution Systems – MES): Energiemanagement mit MES. 2016.
- [3] Vogel-Heuser, B., Weisenberger, B., Meyer, H. und Plössnig, J.: Modeling of power consumption in manufacturing: Gross and detailed planning in consideration of all forms of energy as planning resources including load management during runtime. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology, 2014, S. 659–663.
- [4] Fischbacher, G.: Durchgängig kommunizieren. SPS-Magazin, 07 Mai. 2014.
- [5] Niemann, K. H.: Bestandsaufnahme von Energiemanagementfunktionen in Automatisierungssystemen: Studie für den Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI). Hannover, 2011. Verfügbar unter: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:960-opus4-11393> (15.11.2017).
- [6] Güldner, F. und Menze, T.: ARC Advisory Group - Energy Management Online Survey The Findings. 2014.
- [7] Bartsch, M. und Niemann, K.-H.: Anforderungen an Bausteine für ein zukünftiges Energie- und Lastmanagement in Automatisierungssystemen. In: Tagungsband AALE 2016: Automatisierung im Fokus von Industrie 4.0/ 13. Fachkonferenz | Lübeck. DIV Deutscher Industrieverlag GmbH, München, 2016, S. 75–84.
- [8] von Roon, S. und Gobmaier, T.: Demand response in der Industrie: Status und Potenziale in Deutschland. 2010.
- [9] Mechs, S., Lamparter, S., Peschke, J. und Müller, J. P.: Start-Stopp-Automatik für Nicht-Produktivphasen: Höhere Energieeffizienz in Automatisierungssystemen. atp Edition, Nr. 6, 2013, S. 32–39.
- [10] Bundesnetzagentur: Erläuterungen zum Thema Regelenergie. Verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/cln_1411/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Stromnetze/Engpassmanagement/Regelenergie/regelenergie-node.html (31.05.2017).
- [11] Matzler, S., Wollschlaeger, M., Fernbach, A., Kastner, W. und Huschke, M.: An OPC UA cross-domain information model for energy management in automation systems. In: IECON - 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2013, S. 7513–7518.
- [12] Garcés, D.: Power mit Ethernet. SPS-Magazin, 03 Sep. 2015, http://www.sps-magazin.de/?inc=artikel/article_show&nr=101965.
- [13] PROFIBUS Nutzerorganisation e. V. (PNO): PI White Paper: The PROFenergy Profile: Increasing the Energy Efficiency of Automation Systems using Smart Energy Manage-

ment over PROFINET. 76131 Karlsruhe, Mrz. 2010. Verfügbar unter:
<http://www.profinet.com/nc/download/brochures-white-paper/downloads/pi-white-paper-the-profienergy-profile/display/> (02.05.2017).

- [14] Schlechtendahl, J.: Whitepaper SERCOS Energy. 73079 Süßen, 2010. Verfügbar unter:
http://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwit1o2nyZnUAhWEkCwKHVQ1CI0QFggiMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.sercos.de%2Fdownloads%2Fbroschueren%2F%3Ftx_vdsercosdownloads_downloads%255Bfile%255D%3Dsercos_energy_whitepaper_de_0.pdf%26tx_vdsercosdownloads_downloads%255Baction%255D%3Ddownload%26tx_vdsercosdownloads_downloads%255Bcontroller%255D%3DFile%26cHash%3Def9c6855f9e21f860a95c4ea3107d952&usq=AFQjCNHeFc5XasGAmDfAotKP_Q5cQicaZg (31.05.2017).
- [15] VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik: Cyber-Physical Systems: Chancen und Nutzen aus Sicht der Automation Thesen und Handlungsfelder. Verfügbar unter: http://www.vdi.de/uploads/media/Stellungnahme_CPS_2013-03-28_final_01.pdf (17.04.2013).
- [16] Siemens AG: IO-Link für volle Transparenz bis in die unterste Feldebene: Einfache Verdrahtung, schnelle Fehlerdiagnose, effizientes Engineering. Verfügbar unter: <https://c4b.gss.siemens.com/resources/images/articles/e20001-a840-p210-v1.pdf> (28.04.2017).
- [17] Kagermann, H. e. a.: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0: Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Frankfurt am Main, Apr. 2013. Verfügbar unter: http://www.plattform-i40.de/sites/default/files/Bericht_Industrie%204.0_0.pdf (23.04.2013).
- [18] Klettner, C., Tauchnitz, T., Epple, U., Nothdurft, L., Diedrich, C., Schröder, T., Großmann, D., Banerjee, S., Urbas, L. und Iatrou, C.: NOA – NAMUR Open Architecture – Die NAMUR-Pyramide wird geöffnet für Industrie 4.0. atp Edition, 01-02/2017, S. 20–37.
- [19] Diedrich, C., Schröder, T. und Riedl, M.: Kommunikationskonzept von NAMUR Open Architecture - NOA. In: Kommunikation in der Automation, 2017.
- [20] Andelfinger, V. und Hänisch, T.: Industrie 4.0: Wie cyber-physische Systeme die Arbeitswelt verändern. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden, 2017.
- [21] Würger, A., Niemann, K.-H. und Fay, A.: Potenziale für modellbasierte Energiebedarfsprognosen: Energiemanagement im Kontext von Industrie 4.0. atp Edition, 10/2017, S. 58–66.