

Multifunktional und vielfach vernetzt

Eine energieeffiziente Modellfabrik

Die ETA-Fabrik auf dem Campus der Technischen Universität Darmstadt ist zugleich Forschungsgegenstand, Großdemonstrator und Lernort. Sie vernetzt Gebäudehülle und industrielle Prozesskette technologie- und disziplinübergreifend in Einzel- und Verbundlösungen: Dadurch steigt die Energieeffizienz des Gesamtsystems. Gegenüber einer konventionellen Fabrik ergeben sich durch Verschieben der Systemgrenzen zwischen Maschinen und Gebäude wirtschaftlich realisierbare Energieeinsparpotenziale von bis zu 40 Prozent. ETA steht für Energieeffizienz-, Technologie- und Anwendungszentrum. In den Ingenieurwissenschaften bezeichnet der griechische Buchstabe „eta“ den Wirkungsgrad, eine zentrale Kenngröße von Energieeffizienz. | [Gerhard Hirn](#)

Bei der ETA-Fabrik ist das Gebäude, anders als bisherige Hallen, nicht bloß Hülle für die Produktionsanlagen: Maschinen und Gebäude sind energetisch vernetzt; die Energieströme werden in Produktionsprozessen, Gebäude, Versorgungs- und Gebäudetechnik optimal abgestimmt genutzt. Wie eine Fabrik ganzheitlich energieeffizienter arbeiten kann, demonstrieren die Forscher anhand einer Produktionsprozesskette aus der Metallbearbeitung. 36

Projektpartner aus Wissenschaft und Wirtschaft arbeiten an dem Projekt; koordiniert wird das interdisziplinäre Team aus den Bereichen Maschinenbau, Bauingenieurwesen und Architektur, Elektro- und Kommunikationstechnik sowie Versorgungstechnik durch das Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) der TU Darmstadt. Industrie-Arbeitskreise unterstützen die Umsetzung von Ergebnissen in

Auf dem Campus Lichtwiese der Technischen Universität Darmstadt wurde eine Fabrik errichtet, die als Forschungs- und Demonstrationsanlage dient.



die betriebliche Praxis der Produktionstechnik. Über die Forschung für eine energie- und ressourcenoptimierte industrielle Produktion von morgen hinaus dient die multifunktionale Forschungsfabrik der Vernetzung und dem Wissensaustausch zwischen Forschern und Anwendern, sie ist Lernumgebung für Industrie und Lehre und unterstützt den Wissenstransfer in die Praxis.

Das Energiesystem verstehen und optimal einsetzen

Bei der Konzeption der Fabrik ging es darum, den Energiebedarf zu senken und zugleich die Lastflexibilität zu steigern. Für die Forscher bestand die Herausforderung darin, jeweils die richtige Energieform in der notwendigen Menge zur richtigen Zeit am richtigen Ort einzusetzen. Gleichzeitig sind Überkapazitäten in der Infrastruktur, bei Erzeugung, Verteilung, Speicherung und Wandlung zu vermeiden. In der ETA-Fabrik zeigen sie, welche Einsparungen erreichbar sind, wenn das Energiesystem einer Fabrik als Gesamtheit erkannt wird. Einsparungen wurden erreicht durch die Optimierung von:

- Produktionsmaschinen und Querschnittstechnologien im Maschinenbau,
- Technischer Gebäudeausrüstung und Versorgungstechnik,
- Gebäudehülle, Fassaden und Konstruktion,
- Monitoring, Energiedatenmanagement und -mining durch „Industrie 4.0“-Ansätze,
- Lastflexibilität und Regelungsoptimierung sowie
- Simulationsansätze zum Planen und Betreiben von Produktionsstätten.

Für jedes einzelne der Handlungsfelder, wie der Bearbeitung und Reinigung der Werkstücke, der Gebäudenutzung sowie der Systemsteuerung, lassen sich die Einsparerfolge verdeutlichen.

Energieeffiziente Zerspanung

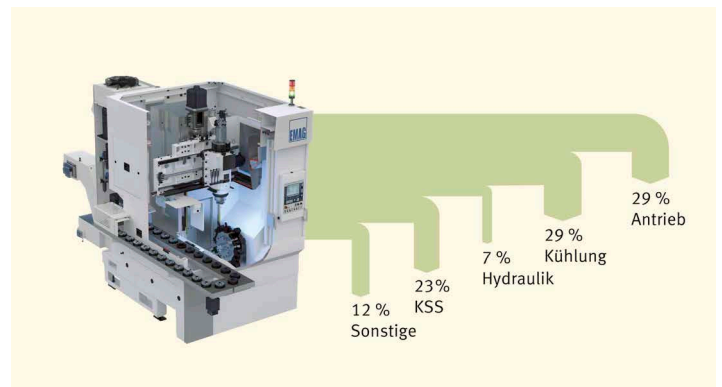
Die in der Fabrik eingesetzten Werkzeugmaschinen (Bearbeitungszentrum, Vertikaldrehmaschine, Vertikalschleifmaschine) sind gegenüber Referenzmaschinen um ein Fünftel energieeffizienter. Dies wurde durch Maßnahmen an allen peripheren Verbrauchern erreicht, unter anderem durch drehzahlvariable Hydraulikaggregate und eine bedarfsgerechte Kühlschmierstoff-Versorgung. Die durch den Prozess definierten Zerspanungsparameter wurden hierbei beibehalten.

Außerdem wurden das Kühlsystem und die Nutzung der unvermeidlich entstehenden Abwärme verbessert. Beispielsweise setzt die Motorspindel einer Drehmaschine etwa ein Fünftel der zugeführten elektrischen Energie in Wärme um. Mit dezentraler Kühlung konnten über 40 % der Abwärme abgeführt und für andere Prozesse genutzt werden.

Bei der Kühlung der Schleifmaschine wurde die dezentrale Kompressionskältemaschine durch ein neu entwickeltes Wärmeaustauschmodul ersetzt, das ins zentrale Kältenetz der Fabrik eingebunden ist. Die fluidgebundene Wärmeabfuhr reduziert auch den Wärme-



1 15



2

eintrag in die Produktionshalle, dadurch sinkt wiederum der Energiebedarf zur Klimatisierung.

Reinigungsmaschinen nutzen Abwärme

Vor dem nächsten Bearbeitungsschritt werden die Werkstücke gereinigt. Auch die Reinigungsanlagen sind in die zentralen Wärmeversorgungssysteme eingebunden. Sie verwerten Abwärme aus den Werkzeugmaschinen, indem sie in Verbindung mit Wärmepumpen das Reinigungsbad beheizen. Die Forscher dämmten die Reinigungsmaschine nach dem „Thermoskannen-Prinzip“. Dadurch reduziert sich der Wärmebedarf zur Badbeheizung während eines Reinigungsprozesses um bis zu 29 %. Bezogen auf den Gesamtenergiebedarf der Maschine beträgt das Optimierungspotenzial 15 %. Zusätzlich sinkt der Kältebedarf der Produktionsstätte und der Schalleistungspegel fällt um rund 9 % gegenüber einer nicht isolierten Anlage.

1 In der ETA-Fabrik sind die Produktionsmaschinen und das Gebäude energetisch vernetzt; unvermeidlich entstehende Abwärme wird im System weiter genutzt.

2 Wirkleistungsbedarf einer Drehmaschine.

Energieflüsse in der Fabrik erfassen und optimal regeln

Die energetische Vernetzung der Teilsysteme in der ETA-Fabrik braucht ein intelligentes Steuerungssystem, das die verschiedenen Energiewandler und -speicher sowie zahlreichen Pumpen und Ventile bedient. Zur Optimierung entwickelten die Forscher maßgeschneiderte Auslegungswerkzeuge für die Fabrikplanung. Mit Simulationsversuchen können sie optimale Betriebsstrategien planen sowie Auswirkungen auf den elektrischen und thermischen Gesamtenergieverbrauch der Fabrik ermitteln.

Über das Optimieren von Energieflüssen in der Produktion hinaus lassen sich Energiekosten sehr wirkungsvoll reduzieren. Für Industrie-4.0-Anwendungen stellt die ETA-Fabrik mit ihrer informationstechnisch vernetzten Infrastruktur ein vielseitig nutzbares Testfeld dar: Innovative Regel- und Optimierungsverfahren können hier auf Komponenten-, Anlagen- und Systemebene erprobt werden. In Nachfolgeprojekten werden Lösungen entwickelt, die es ermöglichen, im Echtzeitbetrieb die Kosten zu optimieren. Dazu gehört eine modellbasierte prädiktive Regelung, die sich mithilfe sogenannter „Künstlicher Intelligenz“ beständig verbessert.

Die energieoptimierte Gebäudehülle in der Prozesskette

Die Gebäudehülle besteht aus Betonfertigteilen; diese sind kapillarähnlich mit Rohrleitungen aus Kunststoff

› BINE Informationsdienst – Energieforschung für die Praxis

Die Informationen dieses Artikels sind als Projektinfo III/2018, Energieforschung konkret, „Energieeffiziente Modellfabrik – Technologie- und Anwendungszentrum ETA-Fabrik vernetzt Energieflüsse von Produktionsprozess und Gebäude“, des BINE Informationsdienstes erschienen. Das Projektinfo ist kostenfrei unter www.bine.info oder 0228-92379-0 erhältlich.

BINE Informationsdienst berichtet über Themen der Energieforschung: neue Materialien, Systeme und Komponenten, innovative Konzepte und Methoden. BINE-Leser werden so über Erfahrungen beim Einsatz neuer Technologien in der Praxis informiert. Denn erstklassige Informationen sind die Grundlage für richtungweisende Entscheidungen, sei es bei der Planung energetisch optimierter Gebäude, der Effizienzsteigerung industrieller Prozesse oder bei der Integration Erneuerbarer Energien in bestehende Systeme. BINE Informationsdienst ist ein Service von FIZ Karlsruhe und wird gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Weitere Informationen unter www.bine.info.

durchzogen und dadurch thermisch aktiviert. Zur Wärmedämmung dient ein neuer, ultraleichter Schaumbeton. Die Gebäudekonstruktion ist nahezu vollständig recycelbar. Die Spannbeton-Hohldielen der Fertigdecken fungieren zugleich als Luftkanalnetz, über das temperierte Zuluft zugeführt wird. Dadurch entfällt die sonst erforderliche aufwändige Installation von Lüftungskanälen.

Die Vernetzung von Gebäude und Produktion ermöglicht es, überschüssige thermische Energie aus den Maschinenprozessen zur Klimatisierung zu nutzen: Die thermisch aktivierten inneren und äußeren Oberflächen der Gebäudehülle fungieren als große Heiz- und Kühlflächen.

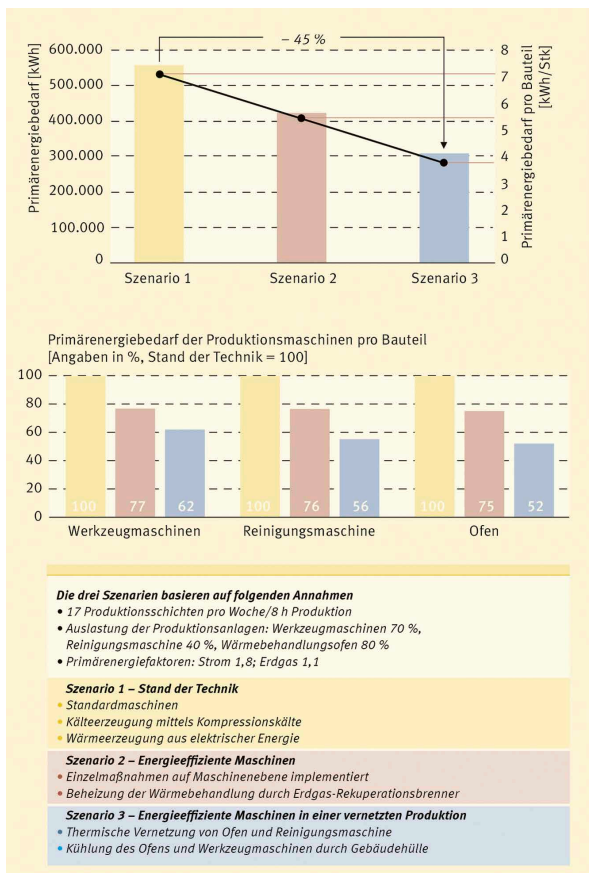
In der Isolierglas-Südfassade integrierte Lamellen lenken das einfallende Sonnenlicht weit ins Gebäude hinein; das Tageslicht wird optimal genutzt, bedarfsgerecht gesteuert und unterstützt durch eine dimmbare LED-Beleuchtung der Halle.

In der Fabrik erreichbare Energieeinsparungen

Mit dem ganzheitlichen Ansatz der ETA-Fabrik lassen sich gegenüber der Optimierung einzelner Komponenten zusätzlich 15 bis 20 % an Energie einsparen. Die Forscher verglichen den Energieverbrauch einer herkömmlichen Fabrik mit zwei weiteren Szenarien. Bei einer Fabrik mit energieeffizienten Maschinen in einer vernetzten Produktion liegt der Primärenergie-Verbrauch um bis zu 45 % niedriger als bei der herkömmlichen Fabrik.

Beispielhaft seien hier einige Daten zu erreichten Verbrauchsreduzierungen aufgeführt:

- › Bei der Zerspanung können effizientere Maschinentechнологien, beispielsweise bei Hydraulikpumpen und Kälteerzeugung, über die Hälfte der Energie einsparen. Durch Abwärme-Rückgewinnung bei der Kühlung von Maschinen und Kühlschmierstoff lassen sich weitere Einsparungen erreichen.
- › Bei der Wärmebehandlung der Werkstücke sind durch



3 Oben: Primärenergiebedarf der ETA-Fabrik sowie pro Bauteil; unten: Vergleich des Primärenergiebedarfs der einzelnen Produktionsmaschinen pro Bauteil, Gegenüberstellung von Stand der Technik und zwei Effizienz-Szenarien

veränderte Prozessabläufe und Rückgewinnung von Abwärme deutliche Einsparungen bei Nitriergas und Brenngas möglich. Im ETA-Projekt konnten ohne Mehrverbrauch an anderer Stelle mehr als 20 % des Erdgases eingespart werden, das für den Härteprozess benötigt wird.

➤ Auch die Reinigung der Bauteile vor dem nächsten Bearbeitungsschritt konnte durch neue Verfahren und Hilfsstoffe deutlich sparsamer gestaltet werden, je nach Maßnahme um 25 bis über 65 %.

Durch den thermischen Austausch zwischen Gebäude, Gebäudetechnik und Prozesskette konnten mittels elektrischer Wärmepumpe, VSI-Schichtspeichern sowie Optimierung der thermischen Netze hohe Einsparungen von ca. 27 % gegenüber Einzelmaßnahmen verwirklicht werden.

Der kinetische Energiespeicher

In der ETA-Fabrik wurde ein neuartiges Schwungrad installiert, das als kinetischer Energiespeicher schnelle, leistungsstarke Lastschwankungen im Bereich von Millisekunden bis hin zu Sekunden ausgleicht. Kinetische Energiespeicher bewirken eine Lastgangglättung und ermöglichen eine Reduzierung der Anschlussleistung der Fabrik – beides trägt dazu bei, die Netzurückwirkungen der Fabrik zu reduzieren und die Effizienz auf Stromnetzebene zu steigern. Wird die Funktionalität bei der Planung des fabrikinernen Microgrids mit einbezogen, können z. B. Netzanschlusstransformatoren kleiner ausfallen und deren Effizienz lässt sich durch eine konstantere Auslastung steigern. Daneben erhöht der kinetische Energiespeicher die Netzqualität des Microgrids der Fabrik.

Energieeffiziente Fabrik wird netzdienlich

Als Modellfabrik der Zukunft arbeitet die ETA-Fabrik flexibel und vernetzt Maschinen und Gebäude energetisch. Dieses Konzept einer energie- und ressourceneffizienten Produktion entwickeln Forscher der TU Darmstadt im Projekt PHI-Factory weiter: Sie untersuchen, wie sie Kom-

ponenten und Anlagen sowie das energetische Gesamtsystem der Fabrik anpassen müssen, um die Produktion sowohl energieeffizient als auch in Abhängigkeit dynamischer Energiemärkte flexibel zu betreiben. Sie entwickeln und erproben damit auch Konzepte, wie der Industriesektor in Zukunft zur Stabilisierung des Stromnetzes beitragen kann. An dem Ende 2016 gestarteten Verbundprojekt sind drei Institute der TU Darmstadt, zwei kleinere sowie vier große Unternehmen beteiligt. Durch eine flexible Fertigung und flexible Führung des elektrischen Fabriknetzes soll der Energieeinsatz so gesteuert werden, dass es gelingt, die Energieeffizienz systemübergreifend zu steigern und Schwankungen zwischen Stromangebot und -nachfrage zu glätten.

Die Forscher aktivieren dabei bisher ungenutzte Potenziale zur energetischen Flexibilisierung, die in Produktionsanlagen und Industrieprozessen stecken, und ergänzen diese durch unterschiedliche Speicherslösungen. Sie ertüchtigen die entsprechenden Produktionsprozesse und -anlagen, um systemrelevante Netzdienstleistungen kostenoptimiert bereitzustellen. So kann die Fabrik zusätzlich zur Warenproduktion das lokale Verteilnetz stützen durch Spitzenlastglättung, dynamische Blindleistungskompensation, Eigenverbrauchserhöhung sowie Bereitstellung von Regelleistung. Auch machen die Forscher die PHI-Factory inselnetzfähig – sie kann dann bis zu eine Stunde im Notbetrieb fahren, dabei werden wichtige Aufgaben priorisiert. Mit den neuen Technik- und Managementsystemen gelingt es, Energie ziel- und zeitgenau einzusetzen – ein wichtiger Schritt auf dem Weg zur energiewendetauglichen Industrie 4.0. ◀

Links und Literatur

TU Darmstadt. PTW (Hrsg.): ETA – die Modell-Fabrik, Vernetzte Energieeffizienz im System, Darmstadt, 2018
 ETA-Fabrik | www.eta-fabrik.de
 PHI-Factory | www.phi-factory.de
 Energieeffizienz-Netzwerk ETA-Plus | www.netzwerk-eta-plus.de
 Forschungsnetzwerk Energie in Industrie und Gewerbe, Forschungsfeld Fertigungstechnik
www.forschungsnetzwerke-energie.de/industrie-und-gewerbe/forschungsfelder/fertigungstechnik

Aufmacherfoto:
 Eibe Sönnecken,
 TU Darmstadt, PTW
 Abbildung 1:
 Eibe Sönnecken,
 TU Darmstadt, PTW
 Abbildung 2: EMAG Salach Maschinenfabrik,
 TU Darmstadt, PTW
 Abbildung 3:
 TU Darmstadt, PTW

➤ Projektbeteiligte

Leitung Verbundprojekt ETA-Fabrik:

Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Maschinenbau, Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW), Prof. Dr.-Ing. Eberhard Abele, info@ptw.tu-darmstadt.de

Energiecontrolling und Steuerung der Energieflüsse:

Bosch Rexroth Aktiengesellschaft – DC/PJ-GoGreen, Lohr

Energieeffiziente Zerspanungsprozesse:

EMAG Maschinenfabrik GmbH, Salach

Energie- und medieneffiziente Wärmebehandlung:

IVA Schmetz GmbH, Werk Dortmund

Energieeffiziente Bauteilreinigung:

MAFAC – Ernst Schwarz GmbH & Co. KG, Alpirsbach

Thermische Interaktion Fabrikgebäude, Gebäudetechnik,

Prozesskette: Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung, e. V. – Bereich Energiespeicherung, Garching b. München

Verbreitung von Forschungsergebnissen der ETA-Fabrik:

Technische Universität Darmstadt



GERHARD HIRN

➤ Wissenschaftlicher Redakteur für den BINE Informationsdienst mit den Themenschwerpunkten Energieeffiziente Industrieverfahren und Photovoltaik

NEU: ALLPLAN BRIDGE RAISE YOUR LEVEL

JETZT ZUR KOSTENLOSEN
PRODUKT-DEMO ANMELDEN:
allplan.com/bridge



ALLPLAN BRIDGE DIE EINZIGARTIGE BIM-LÖSUNG FÜR DEN BRÜCKENBAU

Allplan Bridge ist die völlig neu entwickelte, leistungsstarke Lösung für die parametrische Modellierung von Brücken.

Konstruieren Sie Ihre Brücken effizienter:

- > Intuitives und zeitsparendes Erstellen parametrischer Brückenmodelle
- > Absolute Gestaltungsfreiheit bei der Brückengeometrie
- > Planungsänderungen in Minuten statt in Tagen



ALLPLAN BRIDGE EINSTIEGSANGEBOT

Entdecken Sie Allplan Bridge zum Kennenlernpreis und **sparen Sie 2.000 €** gegenüber dem Listenpreis.*

*Dieses Angebot gilt bis 27. September 2018.
Voraussetzung ist die installierte Version Allplan 2018-1.

JETZT ANGEBOT SICHERN

Stichwort: DIB1805

info@allplan.com

T +49 89 92793 – 25 00