



Energieeffiziente Modellfabrik

Technologie- und Anwendungszentrum ETA-Fabrik
vernetzt Energieflüsse von Produktionsprozess und Gebäude



Eine in jeder Hinsicht multifunktionale, vielfach vernetzte Fabrik: 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.

An dem Ziel, die Energie- und Materialflüsse in der Fabrik der Zukunft optimal zu vernetzen, arbeiten 36 Projektpartner aus Wissenschaft und Wirtschaft. Das Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) der TU Darmstadt koordiniert dieses interdisziplinäre Team aus den Bereichen Maschinenbau, Bauingenieurwesen und Architektur, Elektro- und Kommunikationstechnik sowie Versorgungstechnik. Industrie-Arbeitskreise unterstützen die Umsetzung von Forschungsergebnissen in die betriebliche Praxis der Produktionstechnik. ETA steht für Energieeffizienz-, Technologie- und Anwendungszentrum. In den Ingenieurwissenschaften bezeichnet der griechische Buchstabe „eta“ den Wirkungsgrad, eine zentrale Kenngröße von Energieeffizienz. 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 Produktions-

Dieses Forschungsprojekt
wird gefördert vom

Bundesministerium für Wirtschaft
und Energie (BMWi)

prozesskette aus der Metallbearbeitung. 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 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
- 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, Vertikal-drehmaschine, Vertikal-schleifmaschine) sind gegenüber Referenzmaschinen um ein Fünftel energieeffizienter. Dies wurde durch Maßnahmen an allen peripheren Verbrauchern erreicht, unter anderem durch drehzahlvariable Hydraulikaggregate und eine bedarfsgerechte Kühlschmierstoffversorgung. 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 (Abb. 2).

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

Abwärmenutzung in Reinigungsmaschinen

Vor dem nächsten Bearbeitungsschritt werden die Werkstücke gereinigt. Auch die Reinigungsanlagen sind in die zentralen Wärmeversorgungs-systeme eingebunden. Sie verwerten Abwärme aus den Werkzeugmaschinen,



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

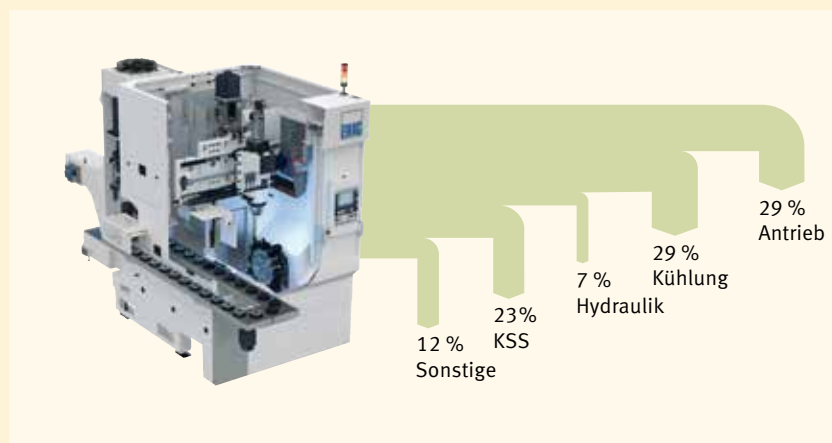


Abb. 2 Wo fließt die eingesetzte Energie hin: Wirkleistungsbedarf einer Drehmaschine.

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 Schalleisungspegel fällt um rund 9 % gegenüber einer nicht isolierten Anlage.

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-An-



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 fabrikin-ternen 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.

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.

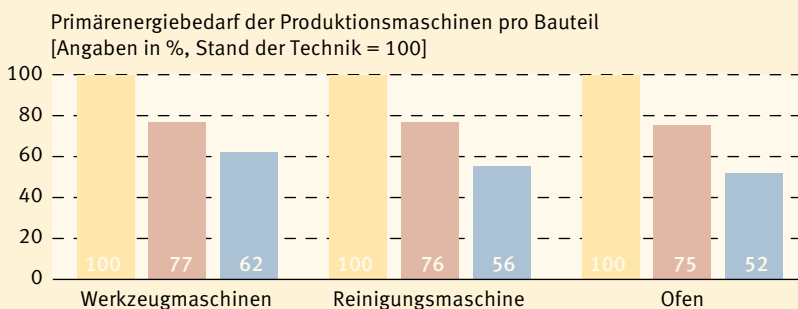
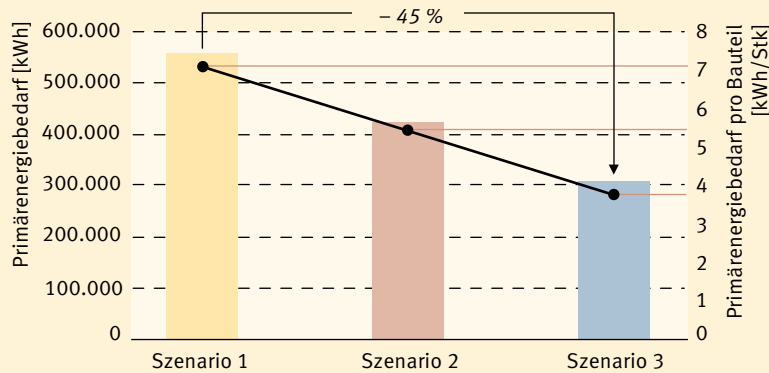
In der Fabrik erreichbare Energieeinsparungen

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 (Abb. 3). 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 Maschinentechnologien, 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 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.



Die drei Szenarien basieren auf folgenden Annahmen

- 17 Produktionsschichten pro Woche/8 h Produktion
- Auslastung der Produktionsanlagen: Werkzeugmaschinen 70 %, Reinigungsmaschine 40 %, Wärmebehandlungsöfen 80 %
- Primärenergiefaktoren: Strom 1,8; Erdgas 1,1

Szenario 1 – Stand der Technik

- Standardmaschinen
- Kälteerzeugung mittels Kompressionskälte
- Wärmeerzeugung aus elektrischer Energie

Szenario 2 – Energieeffiziente Maschinen

- Einzelmaßnahmen auf Maschinenebene implementiert
- Beheizung der Wärmebehandlung durch Erdgas-Rekuperationsbrenner

Szenario 3 – Energieeffiziente Maschinen in einer vernetzten Produktion

- Thermische Vernetzung von Ofen und Reinigungsmaschine
- Kühlung des Ofens und Werkzeugmaschinen durch Gebäudehülle

Abb. 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

wendungen 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 durchzogen und dadurch thermisch aktiviert. Zur Wärmedämmung dient ein neuer, ultraleichter Schaumbeton. Die Gebäudekonstruktion ist nahezu vollständig recycelbar. Die Spannbeton-Hohldielen der Fertigtdecken 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



Energieeffiziente und netzdienliche Fabrik

Als Modellfabrik der Zukunft arbeitet die ETA-Fabrik flexibel und vernetzt Maschinen und Gebäude energetisch. Dieses Konzept einer energie- und ressourcen-effizienten Produktion entwickeln Forscher der TU Darmstadt im Projekt PHI-Factory weiter: Sie untersuchen, wie sie Komponenten 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 Speicherlösungen. 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 energie-wendetauglichen Industrie 4.0.

Projektbeteiligte

- » **Leitung Verbundprojekt ETA-Fabrik:** Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Maschinenbau, Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW), Prof. Dr. -Ing. Eberhard Abele, abele@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

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

Mehr vom BINE Informationsdienst

- » Server heizen Bürogebäude. BINE Projektinfo 06/2017
- » Dunstabsaugung im Walzwerk. BINE Projektinfo 05/2017
- » Energie sparen in Gewerbe- und Industrieparks. BINE Projektinfo 12/2014
- » Dieses Projektinfo gibt es auch online und in englischer Sprache unter www.bine.info/Projektinfo_03_2018

BINE Informationsdienst berichtet aus Projekten der Energieforschung in seinen Broschürenreihen und dem Newsletter. Diese erhalten Sie im kostenlosen Abonnement unter www.bine.info/abo

Impressum

Projektorganisation
Bundesministerium
für Wirtschaft und Energie (BMWi)
11019 Berlin

Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich GmbH
Steffen Linsmayer
52425 Jülich

Förderkennzeichen
03ET1145A-F, 46ETA01, 03ET1455A-G

ISSN
0937-8367

Herausgeber
FIZ Karlsruhe · Leibniz-Institut
für Informationsinfrastruktur GmbH
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Autor
Gerhard Hirn

Urheberrecht
Titelbild und Abb. 1:
Eibe Sönnecken, TU Darmstadt, PTW
Abb. 2: EMAG Salach Maschinenfabrik,
TU Darmstadt, PTW
Abb. 3: TU Darmstadt, PTW

Eine Verwendung von Text und
Abbildungen aus dieser Publikation ist
nur mit Zustimmung der BINE-Redaktion
gestattet. Sprechen Sie uns an.

Kontakt · Info

Fragen zu diesem Projektinfo?
Wir helfen Ihnen weiter:

0228 92379-44
kontakt@bine.info

BINE Informationsdienst
Energieforschung für die Praxis
Ein Service von FIZ Karlsruhe

Kaiserstraße 185–197
53113 Bonn
www.bine.info

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages