

PROJEKT

„ETA-Fabrik“ der TU Darmstadt



1. DATEN UND FAKTEN

Standort:

Eugen-Kogon-Straße 4, 64287 Darmstadt

Bauherr:

Technische Universität Darmstadt vertreten durch das Dezernat V – Bau und Immobilien

Architektur:

TU Darmstadt, Prof. Jo Eisele mit Frank Lang (LP 1-3); Dietz Joppien Architekten, Frankfurt a.M. (LP 3-9)

Projektkoordination (Gesamtprojekt):

TU Darmstadt, Fachbereich Maschinenbau, Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen, Prof. Eberhard Abele, Martin Beck

Projektkoordination (Gebäude):

TU Darmstadt, Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwissenschaften, Institut für Statik und Konstruktion, Prof. Jens Schneider, Andreas Maier

Planungsbeginn: 2013

Grundsteinlegung: 12. August 2014

Bauzeit: 8/2014 - 3/2016

Fertigstellung: 2016

Laufzeit ETA-Modellfabrik: 2016 - 2018

Nutzfläche: ca. 960 m²

BGF: ca. 1.450 m²

BRI: ca. 10.000 m³ (Nettovolumen V: 6.688,1 m³)

Thermische Hüllfläche: 2.906,6 m²

Primärenergiebedarf: 214,13 kWh/m²a

Endenergiebedarf: 140,92 kWh/m²a

Spez. Transmissionswärmeverlust H'T: 0,611 W/m²K

PROJEKT

„ETA-Fabrik“ der TU Darmstadt

Mittlere U-Werte:

opake Außenbauteile ($\geq 19^\circ\text{C}$): 0,329 W/m²K
transp. Außenbauteile ($\geq 19^\circ\text{C}$): 1,337 W/m²K
opake Außenbauteile (12-19°C): 0,266 W/m²K
transp. Außenbauteile (12-19°C): 1,299 W/m²K
Glasdächer, Lichtbänder und -kuppeln (12-19°C): 1,456 W/m²K

Anmerkung: alle Energiewerte jeweils ohne Berücksichtigung der thermischen Interaktion zwischen Maschinen und Gebäudehülle

Energieträger: Erdgas, Sonne, Luft, Abwärme, Strom (Energieform)

Baukosten: ca. 6,7 Mio. Euro

Förderung/Finanzierung: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, betreut von Projektträger Jülich, unterstützt durch das Land Hessen. Mit Drittmitteln der Industrie sowie TU-Eigenmitteln

Homepage: www.eta-fabrik.de

2. ENTWURFSAUFGABE

Mit der „ETA-Fabrik“ verfolgten die Wissenschaftler der TU Darmstadt ein ehrgeiziges Ziel: wie lässt sich durch intelligente Vernetzung einer innovativen Gebäudehülle und einer im Maschinenbau typischen Produktionsprozesskette deutlich mehr Energie einsparen, als wenn alle Komponenten für sich energetisch optimiert sind?

Für die Beantwortung dieser Frage wurde eigens im Maßstab 1:1 die interdisziplinär entwickelte Modellfabrik, die „ETA-Fabrik“, auf dem Campus Lichtwiese der TU Darmstadt gebaut. Der Neubau wurde quasi zum „Forschungs-großprojekt“: Maschinen und Gebäude arbeiten gleichsam zusammen.

3. PROJEKTBSCHREIBUNG

Auf dem Campus Lichtwiese, einem der zwei großen Standorte der TU Darmstadt, nahm die „ETA-Fabrik“ im März 2016 ihren Betrieb auf. Gestartet war das Projekt allerdings bereits im Mai 2013 mit der Planung und Entwicklung.

Das Kürzel „ETA“ steht für „Energieeffizienz, Technologie- und Anwendungszentrum“. In die „ETA-Fabrik“ ist eine typische Produktionsprozesskette der metallverarbeitenden Industrie integriert. Über eine isolierte Optimierung jeder Subeinheit der ETA-Fabrik hinaus (Maschine, Heizung, Kühlsystem) wird das System als Ganzes gedacht; durch das Verschieben von Systemgrenzen werden zusätzliche Einsparpotenziale generiert. Konkret geht es um die Frage, wie die entstehende Abwärme in einem Produktionsgebäude weiterverwendet werden kann und wie sich dafür die thermische Energie auf verschiedenen Temperaturniveaus sinnvoll speichern lässt. Dazu gingen die Wissenschaftler der Frage nach, wie sich thermisch aktivierte Flächen der Gebäudehülle aktiv zur Erwärmung und Kühlung einer Fabrik nutzen lassen.

Die Parameter und der Entwurf wurden fachbereichsübergreifend von Instituten der TU Darmstadt entwickelt, ab Leistungsphase 3 wurde zudem das Architekturbüro Dietz Architekten aus Frankfurt am Main eingebunden, die das Projekt bis zur Leistungsphase 9 begleiteten. Der Neubau ist rund 39 m lang, 19 m breit und 11,50 m hoch. Die Nutzfläche beträgt circa 960 Quadratmeter. Drei Viertel der Grundfläche von circa 810 Quadratmetern nimmt die Maschinenhalle ein; an der nördlichen Stirnseite befindet sich die Verwaltung. Dieser Bereich ist unterkellert und beinhaltet im Erdgeschoss einen großen Seminarraum, in den beiden Obergeschossen Büros. In der Maschinenhalle ist im Originalmaßstab eine reale,

PROJEKT

„ETA-Fabrik“ der TU Darmstadt

im allgemeinen Maschinenbau typische Produktionsprozesskette installiert, an deren Ende Steuerscheiben für Hydraulikpumpen vom Band laufen. Beispielhaft werden in der „ETA-Fabrik“ die Stufen der industriellen Fertigung vom Roh- bis zum Fertigteil abgebildet. Von den Maschinen bis zur Gebäudeausrüstung und Gebäudehülle ist alles darauf ausgerichtet, Energie optimal zu nutzen und den Energiebedarf zu senken. Dafür sind die einzelnen Elemente vernetzt. So dient beispielsweise die Abwärme der Werkzeugmaschinen, die eigentlich verloren wäre, in der 550 Quadratmeter großen Maschinenhalle dazu, weitere Anlagen mit Wärme zu versorgen oder die Halle zu beheizen.

Ursprünglich prognostizierten die Wissenschaftler ein Einsparungspotenzial im Bereich von 15 bis 20 Prozent. Das Ergebnis zum Abschluss der zweijährigen „ETA-Fabrik“ im April 2018 übertraf dann alle Erwartungen: mit einer nach ETA-Kriterien neu aufgebauten Fabrik ist ein Energie-Einsparpotenzial von 40 Prozent gegenüber einer konventionellen Produktionsstätte möglich. Auch in Zukunft wird in der „ETA-Fabrik“ weiter geforscht, so laufen bereits Anschlussprojekte zum Thema Energieeffizienz und Energieflexibilität wie das vom Bund im Rahmen des Kopernikus-Programms geförderte Projekt „SynErgie“. Die ebenfalls in der „ETA-Fabrik“ angesiedelte „PHI-Factory“ erforscht technische und organisatorische Lösungen, mittels derer Industriebetriebe als energieflexibles, aktives Regelelement zeitgleich Energiekosten einsparen und das Stromnetz stützen können. In direktem Zusammenhang mit der „ETA-Fabrik“ steht auch das Projekt „ETA-Transfer“, das untersucht, wie sich die entwickelten Prinzipien mit marktgängigen Technologien in der Wirtschaft anwenden lassen.

4. PLANER

a) Architekten

Architektur (LP 1-3)

TU Darmstadt
Fachbereich Architektur
FG Entwerfen und Baugestaltung, Prof. Jo Eisele mit Frank Lang
El-Lissitzky-Straße 1
64287 Darmstadt
www.eub.architektur.tu-darmstadt.de

Architektur (LP 3-9)

Dietz-Joppien Architekten AG
Schaumainkai 69
60596 Frankfurt am Main
Tel.: 069 96244960
frankfurt@dietz-joppien.de
www.dietz-joppien.de

b) Fachplaner

Tragwerksplanung (LP 1-3) und Fassadenplanung (LP 1-8)

TU Darmstadt
Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwissenschaften
Institut für Statik und Konstruktion, Prof. Jens Schneider
Franziska-Braun-Straße 3
64287 Darmstadt
www.ismd.tu-darmstadt.de

PROJEKT

„ETA-Fabrik“ der TU Darmstadt

Tragwerksplanung/Thermische Bauphysik

osd GmbH & Co. KG - office for structural design
Gutleutstraße 96
60329 Frankfurt am Main
Tel.: 069 2722170
Fax: 069 27221720
office@o-s-d.com
www.o-s-d.com

Tragwerksplanung Südfassade

SGS - Schütz · Goldschmidt · Schneider
Ingenieurdienstleistungen im Bauwesen GmbH
Kolpingstraße 20
63150 Heusenstamm
Tel.: 06104 962490
Fax: 06104 962499
info@sgs-ing.de
www.sgs-ing.de

Tragwerksplanung West-, Nord- und Ostfassade

Medzech Ingenieure GmbH
Siemensstraße 14
61352 Bad Homburg v.d.H.
Tel.: 06172 48350
Fax: 06172 483522
info@medzech.eu
www.medzech.eu

Freiraumplanung

Sommerlad Haase Kuhli Landschaftsarchitekten
Lonystraße 18
35390 Gießen
Tel.: 0641 932680
Fax: 0641 9326890
info@shk-landschaftsarchitekten.de
www.shk-landschaftsarchitekten.de

c) Weitere beteiligte Forschungsinstitute

TU Darmstadt, Fachbereich Maschinenbau, Institut für Mechatronische Systeme im Maschinenbau,
Prof. Dr.-Ing. Stephan Rinderknecht
www.ims.tu-darmstadt.de

Universität Stuttgart, Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwissenschaften, Institut für Werkstoffe im Bauwesen,
Prof. Dr.-Ing. Harald Garrecht
www.iwb.uni-stuttgart.de

TU Darmstadt, Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwissenschaften, Institut für Werkstoffe im Bauwesen,
Albrecht Gilka-Bötzow
www.wib.tu-darmstadt.de

PROJEKT

„ETA-Fabrik“ der TU Darmstadt

ZAE Bayern, Zentrum für Angewandte Energieforschung
www.zae-bayern.de

5. PRESSESCHAU

Web

„Dreidimensionale Fassade für die ETA-Fabrik an der TU Darmstadt“, www.detail.de, 8.8.2016

„DETAIL-Produktpreis 2017: ETA-Fabrik/TU Darmstadt: Thermisch interagierende Gebäudehülle“, www.detail.de, 8.5.2017

„ETA-Fabrik in Darmstadt“, www.baunetzwissen.de/Glas

Fachzeitschriften

„Theorie und Praxis: Produktionshalle mit vorgefertigter, thermisch aktivierter Hülle in Darmstadt“, db deutsche bauzeitung 1-2.2017, Technik Spezial

Auszeichnungen

Deutscher Ingenieurbaupreis 2016 - Auszeichnung

DGNB Nachhaltigkeitspreis 2016 - Finalist

DETAIL Produktpreis 2017 - Auszeichnung

DAM - Preis 2018 - Longlist

Deutschland, Land der Ideen 2017 - Auszeichnung

Architekturpreis Beton 2017 - Engere Wahl

ICONIC Award 2017 - Auszeichnung

Heinze Award 2017 - Shortlist

German Design Award 2018 - Winner

6. INTERVIEW MIT LARS PETRUSCHKE, M. SC. VOM INSTITUT FÜR PRODUKTIONS MANAGEMENT, TECHNOLOGIE UND WERKZEUGMASCHINEN (PTW) DER TU DARMSTADT

Was ist auf den Punkt gebracht die Idee hinter der ETA-Fabrik?

Die ETA-Fabrik repräsentiert einen systemorientierten Forschungsansatz. Bei dem Konzept steht die technologie- und disziplinübergreifende Kopplung von Lösungen im Fokus, um die Energieeffizienz im Gesamtsystem zu steigern. Die ETA-Fabrik ist ein Großdemonstrator für exzellente Einzel- und Verbundlösungen der unterschiedlichen Ingenieurdisziplinen. Vom Maschinenbau über Bauingenieurwesen und Architektur, Elektro- und Versorgungstechnik bis zur Kommunikationstechnik hat ein interdisziplinäres Team herausragende Innovationen identifiziert, praktisch umgesetzt und im Kontext einer industriellen Prozesskette und deren Gebäudehülle demonstriert.

Worauf kam es bei der Konzeption des Neubaus an?

Bei der Konzeption des Neubaus waren neben der Erfüllung von grundlegenden Anforderungen wie statischen Anforderungen oder dem Wetterschutz auch wichtig, eine thermische Aktivierbarkeit des Gebäudes zu ermöglichen und Behaglichkeit im Inneren zu gewährleisten. Der Neubau sollte letztlich sämtliche notwendigen Voraussetzungen für den Industriebetrieb von morgen erfüllen. Nicht zuletzt sollte das Gebäude auch Einblicke in das Fabrikgeschehen ermöglichen, was durch die parametrischen Glaselemente der Südfassade realisiert wurde.

PROJEKT

„ETA-Fabrik“ der TU Darmstadt

Welche Funktionen und Anforderungen muss die Architektur der ETA-Fabrik erfüllen?

Eine Vernetzung von Gebäude und Produktion eröffnet die Chance, überschüssige thermische Energie aus den Maschinenprozessen zur Klimatisierung des Gebäudes zu nutzen bzw. effizient abzuführen, indem man die inneren und äußeren Oberflächen der Gebäudehülle dafür aktiviert. Diese fungieren entsprechend den grundlegenden Szenarien als große Heiz- und Kühlflächen. Um die maschinell verursachte Abwärme weiterzuverwenden oder kontrolliert abzuführen, bedarf es spezieller Hüllelemente im Dach- und Wandbereich, die hoch dynamisch thermisch aktiviert werden können.

Aus welchen Gründen haben Sie sich bei Heizung/Stromversorgung für zwei BHKWs entschieden?

Durch den Einsatz der beiden BHKWs konnte die benötigte Anschlussleistung der Fabrik reduziert werden und auf einen erheblich teureren Anschluss an das Stromnetz verzichtet werden, da keine weiteren Trafos erforderlich waren. Ferner dienen die BHKWs dazu, die komplexe energetische und thermische Vernetzung der ETA-Fabrik zu untersuchen. Darüber hinaus tragen die BHKWs dazu bei, das im Rahmen des Projekts PHI-Factory verfolgte Ziel der Energieautarkie bzw. Inselnetzfähigkeit der Fabrik zu erreichen. Durch die hohen Vorlaufemperaturen der BHKWs wird zudem der Betrieb einer Absorptionskältemaschine ermöglicht.

Nach Abschluss der ETA-Modellfabrik sind die Ergebnisse der Forschung und Lehre zufriedenstellend?

Nach fünf Jahren Forschung und zwei Jahren Betrieb ist das ETA-Projekt nun im April 2018 offiziell abgeschlossen worden. Es hat gezeigt, dass mit einer nach ETA-Kriterien neu aufgebauten Fabrik ein Energie-Einsparpotenzial von 40 Prozent gegenüber einer konventionellen Produktionsstätte besteht. Mit jährlich rund 2.000 Besuchern und über 25 Workshops wurden Vertreterinnen und Vertreter aus der Industrie in puncto Energieeffizienz in der Produktion fit gemacht. Nicht zuletzt konnte mit der im Wintersemester 2017/2018 gestarteten Vorlesung „Energieeffizienz und Energieflexibilität in der Produktion“ das Wissen an die Studierenden weitergegeben werden.

7. BAUKONSTRUKTION**Tragwerk**

Das Prinzip der Hallenkonstruktion gleicht einem Tunnelbau, dessen beide Portale jeweils mit Ganzglasfassaden verschlossen sind. Das statische System der Halle basiert auf Zweigelenrahmen, die über die Baukörperlänge aneinandergereiht sind und die in einer Rahmenecke durch ein elastisches Querkraftgelenk auf die zusätzlichen Lasten reagieren können, die aus den thermisch aktivierten Bauteilen resultieren. Alle Wandelemente sind in Streifenfundamenten über die Stützen der PI-Platten eingespannt. Die Satteldachbinder liegen wiederum auf den Wandelementen auf. Das elastische Querkraftgelenk ermöglicht ein Gleiten der Binder auf den Wandelementen – es ist eine Relativverschiebung von bis zu 55 mm möglich. Die Koppelung zwischen Wand und Dach übernehmen sogenannte Dornen- und Tassen-Systeme, die zugleich ein Herunterrutschen der Binder verhindern.

Gebäudehülle

Die Dach- und Wandelemente der „ETA-Modellfabrik“ sind aus Stahlbetonfertigteilen (PI-Platten aus Normalbeton C50/60) zusammengefügt. Sie wurden werksseitig mit mineralisiertem Schaum (Rohdichte 180 kg/m³, Wärmeleitfähigkeit 0,06 W/mK) gedämmt und abschließend mit ebenfalls vorgefertigten Dach- und Fassadenplatten aus mikrobewehrtem, ultra-hochfestem Beton (mrUHPC) bekleidet. Sowohl in die tragenden PI-Platten als auch in die 5 cm dicken, hinterlüfteten mrUHPC-Platten ist oberflächennah ein wassergefülltes Rohrleitungsnetz (Kapillarrohr-Matten) aus Polypropylen eingebunden, das die Betonmasse sowohl zum Innenraum hin als auch außenseitig an der Fassade thermisch aktiviert. Somit fungieren beide Oberflächen als übergroße Heiz- oder Kühlfläche, die schnell auf die Erfordernisse der Raum- und Maschinenklimatisierung reagieren können.

PROJEKT

„ETA-Fabrik“ der TU Darmstadt

Süd/Nord-Fassade

Der Baukörper der „ETA-Modellfabrik“ endet an den Stirnseiten verglast. Die Nordfassade ist eine geschossweise Pfosten-Riegelkonstruktion, der südliche Gebäudeabschluss eine dreifach gegliederte Elementfassade mit geschosshoher Unterkonstruktion aus pulverbeschichtetem Stahl ohne tragende Zwischenstrukturen. Auf der Südfassade verhindern Lichtlenklamellen in den Scheibenzwischenräumen der oberen beiden Isolierglasreihen eine direkte Solareinstrahlung. Sie lenken das Tageslicht an die Decke, wo es reflektiert wird und die Fabrikhalle gleichmäßig ausleuchtet. Prägnantes Element in der Südfassade sind allerdings die parametrischen Glaselemente in der unteren Fassadenreihe. Diese bestehen aus sechs vorgefertigten, je 3,5 x 2,4 Meter großen dreidimensionalen Glaselementen aus dreieck- und trapezförmigen Modellscheiben, die von einem Aluminium-Rohrrahmensystem eingefasst sind. Bei den drei oberen, stärker der Sonne ausgesetzten Scheiben sind 32 Prozent des Glases mit einem Punktmuster als Sonnenschutz bedruckt. Die unterste Scheibe ist transparent und nach vorn zum Boden geneigt. So lassen sich störende Reflexionen vermeiden, Passanten können blendfrei in die Halle schauen.

8. TECHNISCHER AUSBAU**Wärme- und Stromversorgung**

Mithilfe von zwei Blockheizkraftwerken (BHKW) Vitobloc 200 von Viessmann konnte ein günstigerer Stromanschluss installiert werden, da auf die Anschaffung weiterer Trafos verzichtet werden konnte. Mithilfe der BHKWs ließ sich zudem die komplexe energetische und thermische Vernetzung der „ETA-Fabrik“ untersuchen.

Mit BHKWs lassen sich durch die Kraft-Wärme-Kopplung auf wirtschaftliche Weise Wärme und Strom erzeugen. Bei den BHKWs Vitobloc 200 handelt es sich um die Ausführung Modul EM-9/20 und EM-6/15, die beide mit Erdgas betrieben werden. Durch die hohen Vorlauftemperaturen der BHKWs wurde zudem der Betrieb einer Absorptionskältemaschine ermöglicht.

Neben den BHKWs kam auch ein Gas-Brennwert-Wandgerät Vitodens 200-W als redundanter Spitzenlastwärmeerzeuger zum Einsatz.

Im Bereich der Prozesswärme wurde als Bestandteil des Vernetzungsprüfstands zwischen Werkzeugmaschine und Reinigungsmaschine eine Wasser/Wasser-Wärmepumpe Vitocal 350-G von Viessmann in Kombination mit zwei hydraulischen Heizwasser-Pufferspeichern Vitocell 300-B installiert.

Die Beheizung bzw. Kühlung der „ETA-Fabrik“ erfolgte über die thermisch aktivierte Gebäudehülle. Die in die Fassadenbauteile eingebrachten Kapillarrohrmatten dienten als Niedertemperaturflächenheizung bzw. -kühlung.

Autor: Katharina Ricklefs

Fotos: Eibe Soenneken
Jan Hosan
Joachim Stephan
Sibylle Scheibner