

# Holistischer Ansatz für die energieeffiziente Produktion

I. Kovacic

Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement, TU Wien, Österreich

## Kurzfassung

Wenngleich dem Industrie-Sektor die höchsten Energieverbräuche zugeschrieben werden, betragen die Verbräuche für das Betreiben der Gebäude selber nur wenige Prozente im Gesamtsystem Produktion – weshalb das Interesse an der Gebäudeoptimierung im Industriebau bis dato relativ gering war. Doch als Folge der politisch-wirtschaftlichen Veränderungen steigt die Nachfrage für die Gesamt-Energieeffizienz seitens der Unternehmen (gleichzeitig Bauherrn) zunehmend. Die Entwicklung der Maßnahmen zum energieeffizienten Industriebau mit dem ganzheitlichen Ansatz der Betrachtungs-Ebenen Maschine-Fertigungsprozess-Gebäude ist Forschungsschwerpunkt des Projekts INFO, welches in diesem Paper präsentiert wird. Als erwartetes Endergebnis soll dabei eine Integrale Simulation und Optimierung des Fertigungssystems mit allen anfallenden Energieflüssen entstehen.

**Key Words:** Integrale Planung, Industriebau, Energieeffizienz

## 1. Forschungsprojekt INFO

Produktivitätssteigerung und -maximierung waren bislang die Hauptziele bei der Konzipierung oder Optimierung der Industrie- und Gewerbeanlagen. Kriterien wie Betriebszuverlässigkeit, Flexibilität, Zeit und Qualität der Produktion spielten dabei die Schlüsselrolle. Dieser Trend wird jedoch grundsätzlich in Frage gestellt durch die Regulative für die Verwirklichung der Klimaschutzziele, sowie Energie-, Ressourcenschonung und Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen, sowie steigende Unsicherheit bei der Energieversorgung durch politische Abhängigkeiten in diesem Sektor.

Die interdisziplinäre Kooperation mit holistischem, Lebenszyklus-orientiertem Ansatz wurde als angemessene Methode für die Erreichung der Energie- und Ressourcen-effizienten industriellen Anlagen und Prozesse. Dieser Ansatz wird beim Forschungsprojekt INFO (Interdisziplinäre Forschung für energieeffiziente Produktion) der TU Wien angewendet. Das Projekt ist gefördert von FFG und Klimafond: Neue Energien 2020. Sieben TU-Institute der Fakultäten für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften, Informatik, Bauingenieurwesen und Architektur und Raumplanung forschen gemeinsam mit zehn Industriepartnern und spannen somit ein interdisziplinäres Forschungsfeld.

Das Projekt-Ziel ist die Kompilation eines systemisch-integralen Modells der Energieeffizienten Industrieanlage vom Mikro-Level (bestehend aus Produktionsprozess und Werkzeugmaschine) bis zum Makro-Level (Produktionslayout und Gebäude zusammen mit Gebäudehülle und Haustechnik). Das Projekt besteht aus fünf Phasen (Analyse, Modellbildung, Modellierung, Optimierung, Implementierung), in welchen Prozesse, Maschinen und Gebäude behandelt werden. Die detaillierte Betrachtung und die Vernetzung der verschiedenen Ergebnisse ergeben ein ganzheitliches Konzept zur Minimierung des Energieverbrauchs entlang der Wertschöpfungskette.

## 2. Ausgangslage

Bei den Anforderungen für die Planung von Produktionsstätten liegt der Schwerpunkt auf der Flexibilität, Erweiterbarkeit und Wandlungsfähigkeit (Adam, 2004). Der Bedarf nach einem Höchstmaß an Flexibilität hat mehrere Gründe: Die Fertigungsprozesse sind von hoher Dynamik und kurzer Lebensdauer gekennzeichnet.

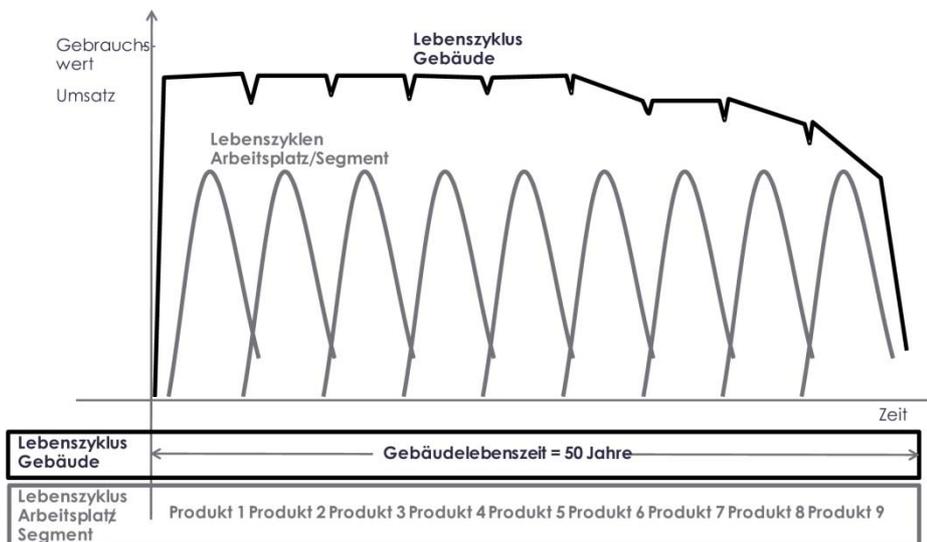


Abb. 1: Lebenszyklen der Produkte und Gebäude (IFU, 2010)

Zweitens herrscht Unsicherheit darüber, ob am Ende der Ausschreibungszeit in der Halle noch dasselbe Produkt hergestellt werden kann wie zu Beginn, also ist das Thema Nachnutzung ein wesentliches Kriterium (Zech, 1984). Im Falle, dass die vorhandene Tragstruktur und Hülle (das „Gehäuse“ für die Fertigung) den geänderten Anforderungen der neuen Produktionslinie nicht entsprechen, also sich nicht kostengünstig und schnell anpassen

und umwandeln können, war bislang der Abriss die Folge. Deshalb ist immer noch oft eine bewährte, kostengünstige Gebäudehülle mit entsprechender Primärstruktur die bevorzugte Lösung für die Produktionsgebäude.

Durch die Wirtschaftskrise kam verstärkt eine Lebenszyklus-orientierte Denkweise bei Betrieben und Investoren auf – eine vor allem durch konstante, wenn nicht sogar reduzierte Betriebskosten gekennzeichnete Gebäudebewirtschaftung wird zunehmend auch im Industriebau zum Planungsziel. Anforderungen an die Wandlungsfähigkeit einer Anlage werden zunehmend ein Planungskriterium (z.B. von Produktion hin zum Lager, Drittverwendbarkeit).

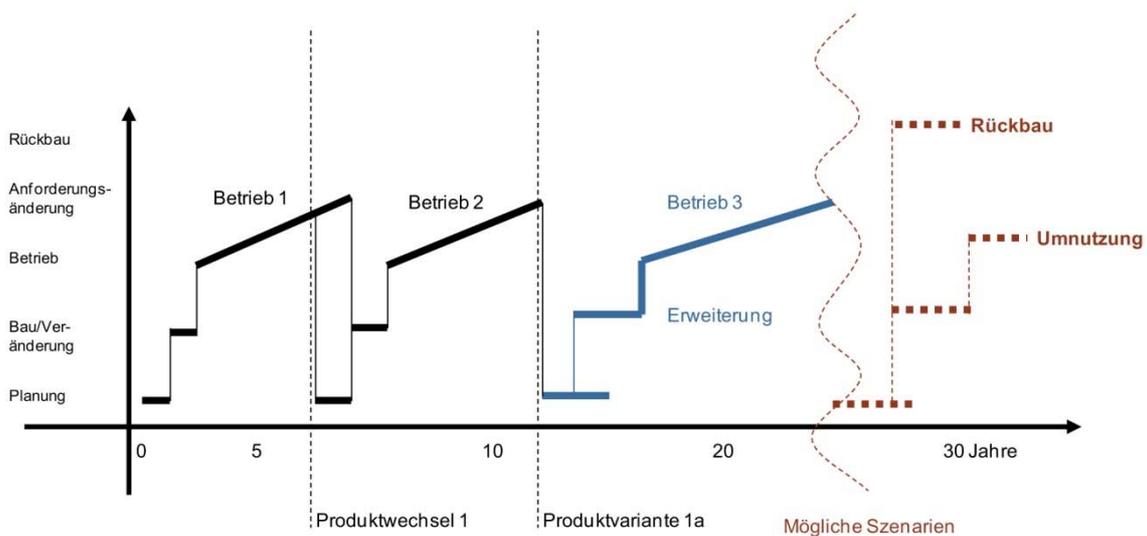


Abb. 2: Szenarien für Nachnutzung (IFU, 2010)

Stichworte wie „Green Business“ sowie die durch die aufkommende Anzahl der internationalen Gebäude-Zertifikate auch anerkannten „Green Buildings“ sind einige Ergebnisse der Bestrebungen hin zu einem umweltbewussten Unternehmensimage, welches auch eine wesentliche, ganzheitliche Vermarktungsstrategie darstellt.

### 3. Interdisziplinäre, Lebenszyklus-orientierte Planung

Die Entwicklung der Maßnahmen zur Energieeffizienz (Energiekonzept) sollte schon in den frühen Planungsphasen stattfinden – die Heranführung des Industriebau-Bestands an den State of the Art ist wegen der Störung des Produktionsprozesses sehr kostspielig bis unmöglich. Die Planung für energieeffiziente industrielle Gebäude verlangt nach zahlreichen Simulationen, da hier nicht nur der Energiebedarf eine Rolle spielt, sondern gleichzeitig auch die Beseitigung oder Reduzierung der Abwärme. Die Energieverbräuche sind hier im Gegensatz zum Wohn-

oder Bürobau selten konstant, sondern variieren sehr stark nach Auftragslage oder Produktionsschicht (hohe Spitzenlasten).

Oft wissen die Betriebe selbst nicht, wie viel Energie sie verbrauchen, beziehungsweise wie sich die Aufteilung von Produktionsverbräuchen zum Gebäudebetrieb verhält. Selten wird der Energieaufwand für die Produktion vom gebäudebezogenen Energieverbrauch für Heizen, Kühlen und Beleuchtung getrennt erfasst. Zunehmend werden die getrennten Zähler installiert, jedoch wird die Kosten-Erfassung meistens ohne Trennung durchgeführt. Bei Instandhaltung und Wartung der Fertigungsanlagen kommt es auch zu Überschneidungen zwischen Gebäude und Produktion, was eine Problematik für die Lebenszykluskosten-Diagnostik und -Prognostik mit sich bringt (Ast, 2008).



Abb. 3: Berechnete Betriebskosten für das Jahr 2007 (Ast, 2008)

Aus diesem Grund ist es notwendig, dass die FM-Zuständigen von frühesten Planungsphasen an am Planungsprozess mitbeteiligt sind, zusammen mit der Entwicklung einer ganzheitlichen Betriebsstrategie, welche Synergien zwischen Produktionsanlagen und Gebäudebetrieb berücksichtigt.

Weiteres setzen die Messung und Veranschaulichung des Verbrauchs die ersten Schritte zur Erörterung der Einspar-Potentiale und zur Erarbeitung der Maßnahmen für die Energieeffizienz, sowie tragen zur Bewusstseinsbildung und Änderung des Nutzerverhaltens bei.

#### 4. Grundlagenerhebung

Durch Fallstudien der Betriebe und Prozesse der Forschungspartner mittels empirischen Sozialforschungsmethoden (Leitfadeninterview, Beobachtung) sowie Vorort-Messungen wurden die IST-Zustände und Defizite identifiziert.

Die Energieeffizienz oder sogar Energie-Einsparungs-Maßnahmen wurden erst bei Neubau, Sanierung oder bei Dringlichkeit der Umsetzung der gesetzlichen Auflagen ein Thema.

Dem liegt zu Grunde, dass bei einer Produktion

- die Produktivitätssteigerung oberste Priorität hat und sich alle Energieeffizienz-Maßnahmen während des Betriebs im Vergleich zur Produktivitätssteigerung als weniger wirtschaftlich erwiesen haben
- die Energiekosten für den Bereich Gebäude im Gesamtverbrauch gering bzw. schwer nachweisbar sind (5-15%)
- die tatsächliche Splitting der Energieverbräuche teils oder gänzlich unbekannt ist und somit auch die Potentiale oder Defizite in Bezug auf Energieeinsparung

## 5. Konzeptuelles Modell

Zur optimalen Koordination des großen Konsortium mit breit gestreuten Kompetenzen ist das konzeptuelle Modell vom Forschungsprojekt INFO auf drei Hauptforschungsbereiche aufgegliedert: Produktion, Gebäude und Energie, wodurch eine ganzheitliche Modelllösung von Mikro- (Maschine) bis zum Makro-Level (Gebäude) abgebildet wird. Forschungsfokus liegt auf der Metallzerspanenden Industrie, welche durch einen sehr intensiven Stromverbrauch mit hoher Abwärme-Produktion gekennzeichnet ist. Die integrale Simulation soll die Energieflüsse für den Betrieb von Maschinen, Gebäuden (Heizen, Kühlen), Gebäudetechnik (Lüftung und Beleuchtung) und den Einsatz der erneuerbaren Energien durch Gebäude-integrierte Photovoltaik oder Erdwärme berücksichtigen.

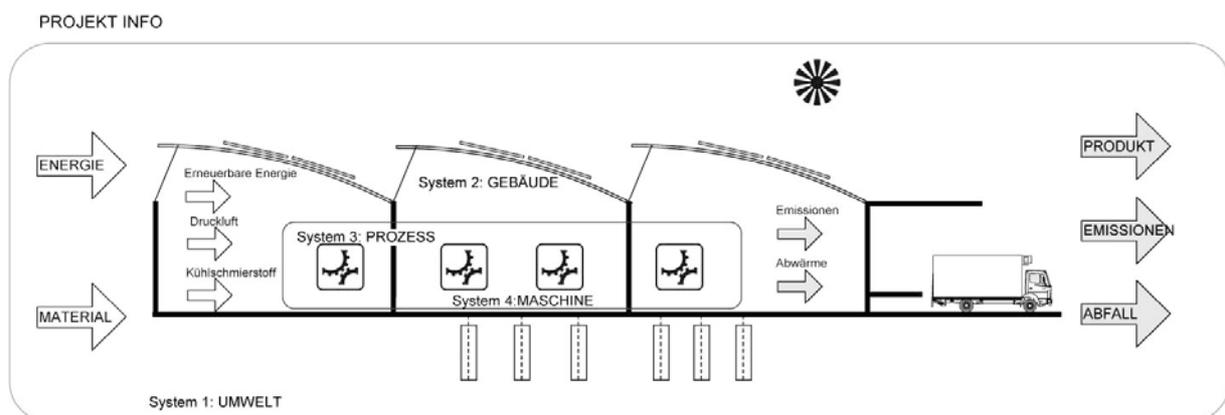


Abb. 4: Projekt INFO – Modell für Intergrale Simulation

## 6. Gebäude

Als Ausgangspunkt für das konzeptuelle Modell wurde eine bestehende Industrieanlage auf Betriebsprozesse (Anlieferung, Lager und Produktion), Energieflüsse, Emissionen (Öl, Staub, Luftfeuchtigkeit, Lärm und Anwärme), Belegungsdaten (Arbeitsschichten, Arbeitsstunden für beide Büros und Produktionsstätte) analysiert. Ein Building Information Model (BIM) als parametrisches 3D Modell, welches die Darstellung der interaktiven, datenreichen Elemente erlaubt, wird für die Modellierung einer idealen Anlage benutzt und in weiterer Folge für das Konzept-Modell.

Die Planungsanforderungen für die neue Anlage wurden durch IST-Stand-Analyse und Bedarfserfassung mit dem Bauherrn erstellt. Diese Methoden ergaben folgende Planungsziele:

- Steigerung der Kommunikation zwischen den Bereichen für Forschung und Entwicklung (F&E) und Produktionshalle.
- Höchste Flexibilität der Produktionshalle – Modulares Prinzip – durch die Flexibilität des Produktionsprozesses und sehr kurze Produktzyklen müssen die spezialisierten Produktionsbereiche fähig sein, neue oder sogar völlig andere Nutzungen aufzunehmen (mit minimalem Umbau-Aufwand). Zum Beispiel soll der Bereich für Metallzerspanung zum Lager umgewandelt werden, falls notwendig.
- Erweiterbarkeit der Produktionshalle und F&E Bereiche – da der konkrete Betrieb im ständigen Wachstum ist, müssen die Erweiterungsphasen bereits beim Vorentwurf berücksichtigt werden. Im engen Zusammenhang mit diesem Aspekt sind Wiederverwendbarkeit und Recyclingfähigkeit der Fassade.

Der entwickelte Raum und das Funktionsprogramm wurden in einem Ideal-Layout (Organigramm), wo die Beziehungen der Raumeinheiten und Funktionen, sowie Produktionsflüsse dargestellt wurden, erfasst. Letztendlich wurde ein Real-Layout durch die Anpassung des Ideal-Layouts an das Grundstück entwickelt, welches die Gebäudeorientierung, Organisation der Raumeinheiten, Infrastruktur und mikroklimatische Verhältnisse widerspiegelt.

Der Lösungsvorschlag besteht aus einem Büro-Riegel im Norden und der Produktionshalle im Süden, in Verlängerung der Vertikalachse. Der Büroblock mit dem Haupteingang für die Mitarbeiter und Kunden ist zur Nachbarschaft hin orientiert, wodurch die kurzen Wege vom Parkplatz und öffentlichen Verkehr gewährleistet sind, sowie Emissionsfreiheit (Lärm, Staub usw.) für die Nachbarschaft. Der innovative Aspekt repräsentiert die Einführung von der „Brücke“- die direkt in der Produktionshalle eingehängten F&E-Büros, welche direkten visuellen Kontakt und durch die kurzen Wege auch direkte Kommunikation zwischen Produktion und

F&E zulassen. Der Patio ist als Treff- und Kommunikationspunkt konzipiert und bildet somit eine Sichtachse vom Haupteingang direkt in die Produktion. Die neben dem Patio situierte Cafeteria benutzt diesen als Sitz- und Essbereich, beide Einheiten können auch als vermietbare Flächen für Events oder Präsentationen genutzt werden. Die modulare Bauweise (15x15 Meter) erlaubt maximale Flexibilität. Beidseitige Erweiterung nach Ost und West ist möglich.

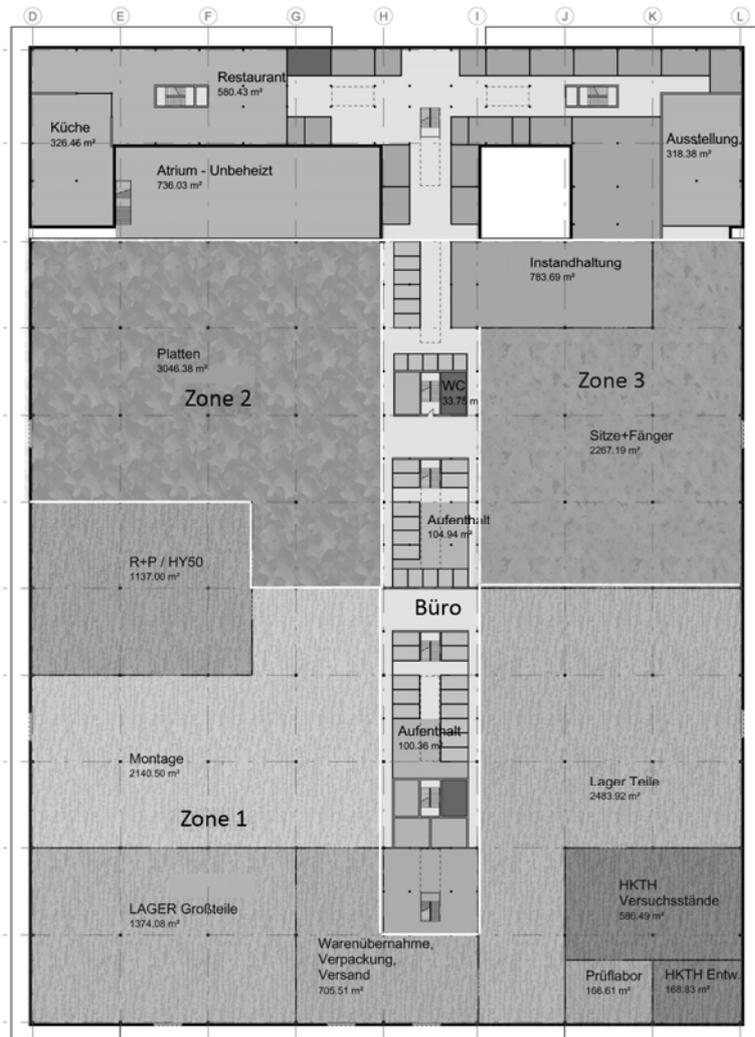


Abb.5: Grundriss EG

Die Scheddach-Konstruktion erlaubt ein Maximum an Tageslichteintrag durch die zum Norden orientierten Glasflächen, die zum Süden orientierten Flächen ermöglichen die Anbringung der PV- und/oder Solarmodule. Auf diese Weise wird das Nordlicht, welche eine sommerliche Überhitzung verhindert, in die Halle eingebracht. Die kleinen Atrien in der "Brücke" haben Mehrfach-Funktion: Kommunikationsflächen, Gewährleistung freier Sicht nach außen sowie nächtliche Lüftung und Kühlung.

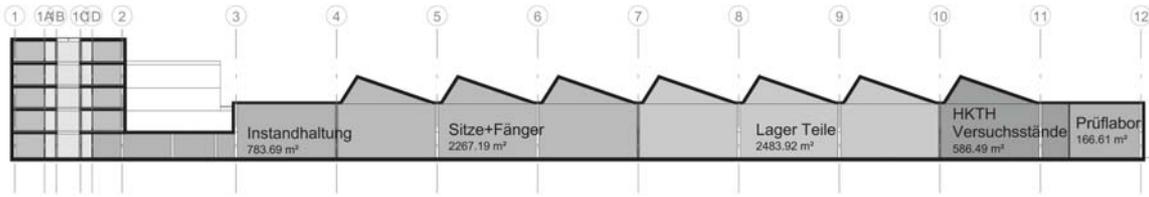


Abb.6: Längsschnitt

## 7. Simulationsmodell

Durch die Messungen und Prozessanalyse der existierenden Produktionshalle, sowie Erhebung der Erfahrungswerte und Zielsetzungen bei den Investoren durch Umfrage, wurden die Eingangs-Parameter für die Simulation der Heiz- und Kühl-Lasten bestimmt. Das Simulationsmodell unterteilt die Fertigungshalle in vier Zonen (Abb. 5), die unterschiedliche innere Lasten aufweisen. Die Zonen sind durch die unterschiedlichen Prozesse, Anzahl der Arbeiter und die Betriebszeiten definiert.

Die Zonen-Parameter der Produktionshalle sind in Tabelle 1 erfasst.

Tab. 1: Zonenaufteilung nach Intensität der inneren Lasten (Dorn et al, 2011)

Zone	m <sup>2</sup> /BGF	m <sup>2</sup> / Pers.	Woche	Wochen- ende	Bereich	Arbeitsst./ Tag
Zone 1	9095 m <sup>2</sup>	100 m <sup>2</sup>	5W/ m <sup>2</sup>	5W/ m <sup>2</sup>	Montage und Lagerbereiche	24
Zone 2	3026 m <sup>2</sup>	1000 m <sup>2</sup>	37W/ m <sup>2</sup>	0 W/ m <sup>2</sup>	Laser- maschinen	24
Zone 3	2252 m <sup>2</sup>	100 m <sup>2</sup>	49W/ m <sup>2</sup>	5W/ m <sup>2</sup>	Werkzeug- maschine	24
Büro	3312 m <sup>2</sup>	10m <sup>2</sup>	15	0 W/ m <sup>2</sup>	Büro	12

Die Zonen sind durch sehr unterschiedliche Nutzungsprofile und innere Lasten gekennzeichnet. Einerseits ist ein sehr großes Volumen (Zone 1) mit geringen internen Gewinnen im Winter zu klimatisieren, andererseits ist die Zone 3 im Sommer vor Überhitzung zu schützen. Da das Briefing ein sehr flexibles und wandlungsfähiges Raumprogramm vorschreibt, soll das Gebäude auch bauphysikalisch den variablen Anforderungen standhalten.

Der Forschungspartner Institut für Bauphysik und Bauökologie der TU Wien hat im ersten Schritt die Simulation der Gebäudeoperation durchgeführt (Belüftung, Beschattung und Beleuchtungskontrolle) mit default U-Werten (0,4 W/m<sup>2</sup>K Wand; 0,2 W/m<sup>2</sup>K Dach; 0,26 W/m<sup>2</sup>K Bodenplatte; 0,8 W/m<sup>2</sup>K Fenster; 1,5 W/m<sup>2</sup> K Scheddach) um die für die Energieeffizienz wichtigsten TGA-Parameter zu identifizieren. Dabei umfassten die Varianten die Luftwechselraten von 0,2 bis 1 h<sup>-1</sup>, unterschiedliche Klimaregime (Tag/Nacht, Winter/Sommer) sowie Steuerung der Beleuchtung (500 lux) und Beschattung (ab 120 W der Fassadenbestrahlung) (Dorn et al 2011).

Im Vergleich zu einem Szenario ohne Beleuchtungs- und Beschattungskontrolle sowie standardisierten Luftwechselraten von 0,5 h<sup>-1</sup>, ist eine Reduktion der Heiz-Last um rund 50% und eine Reduktion der Kühl-Last um rund 20% durch erhöhte Luftwechselrate im Sommer und eine niedrige Luftwechselrate im Winter; sowie eine ganzheitliche Belichtungsteuerung für Kunst- als auch Tageslicht möglich (Waltenberger, 2011).

Tab.2: Szenarien – Standard im Vergleich zu Optimum

Szenario	Luftwechselzahl ( h <sup>-1</sup> )					
	Sommer Tag	Sommer Nacht	Winter Tag	Winter Nacht	Beleuchtungs- Steuerung	Beschattungs- Steuerung
S1	0.5	0.5	0.5	0.5	nein	nein
S9	1	1	0.2	0.2	ja	ja

Diese Ergebnisse wurden im weiteren Schritt für die Simulation der Fassadenvarianten als Konstanten angenommen (Kontrollierte Beleuchtung und Beschattung, niedrige Luftwechselraten im Winter, hohe im Sommer).

Tab.3: Fassadenvarianten

Fassade	Stärke	U-Wert (W/m <sup>2</sup> K)
Metall-Kassette	185mm	0,32
PU-Paneel	160mm	0,14
Holzmassiv-Wand	140mm	0,21

Während zwischen den Varianten gravierende Unterschiede bezüglich deren U-Werte bestehen, differenzieren die Heiz- und Kühllasten für das simulierte Gebäude um weniger als 4% (Waltenberger, 2011).

Als weitere Schritte wurden folgende Untersuchungen geplant oder sind bereits durchgeführt worden:

- Entwicklung des Evaluierungstools für Lebenszyklusanalyse und -Kosten der Fassaden im Industriebau (EEFA)
- Auswirkungen der unterschiedlichen Raumhöhen (8 – 10 m) auf die Flexibilität, das Raumklima und den Energieverbrauch
- Auswirkungen der Atrien auf Raumklima und Energieeffizienz (offen-geschlossen)

## **8. Schlussfolgerung**

Gerade in der Planung der energieeffizienten Industrie- und Gewerbebauten ist eine enge Zusammenarbeit der Planung mit FM notwendig - einerseits um ein Energiekonzept zu erstellen, da die Zusammenwirkung der Produktionsprozesse und Maschinen mit dem Baukörper, der Gebäudetechnik und -Steuerung ein Schlüssel-Kriterium für das effiziente Werk darstellt. So kann beispielsweise die überschüssige Wärme der Produktion für die Heizung der Büros oder Warmwasserzubereitung benutzt werden. Der zweite Schwerpunkt dieser Zusammenarbeit sollte auf der Konzipierung eines getrennten Mess- und Erfassungssystems für den Energieverbrauch liegen, einerseits um die Einspar-Potentiale zu identifizieren sowie Anlagenperformance zu optimieren, andererseits um den Verbrauch zu veranschaulichen und damit zur Bewusstseinsbildung beizutragen. Um bei der Errichtung richtige Investitionsentscheidungen treffen zu können ist eine Energie-Simulation und Analyse der Lebenszykluskosten zur Identifikation der Hebel für Energieeffizienz bereits in den frühen Planungsphasen notwendig. Beim Industriebau, spielt ganz anders als beim Wohnbau der U-Wert der Gebäudehülle eine wesentlich geringere Rolle bei der Energieeffizienz, dagegen liegt der Schwerpunkt eindeutig auf der Beseitigung der Abwärme und den damit verbundenen TGA-Systemen, dieses Konzept steht jedoch in Widerspruch zu allen in den Medien propagierten Maßnahmen und ist bei Investoren ohne entsprechende zuverlässige Tools nur schwer argumentierbar.

Danksagung: Die in diesem Paper präsentierte Forschungsarbeit ist in Zusammenarbeit mit DI Lars Oberwinter, Linus Waltenberger BSc. und DI Dr. K. Orehounig, sowie weiteren Projektpartnern des Forschungsprojekts INFO ([www.projekt-info.org](http://www.projekt-info.org)) entstanden.

## Literaturverzeichnis

- Adam, J. (2004) Industriebau – eine Positionsbestimmung. In: Adam et al (ed.) Entwurfsatlas Industriebau, Basel, Berlin, Boston: Birkhäuser-Verlag für Architektur, 21-26
- Ast, H. (2008) Kennwerte und Kostentreiber, In: Industriebau 2/2008, 50-53
- Dorn C., Kovacic I., Orehounig K., Oberwinter L., Brandstetter S., Dimitriou A., Bleicher F., Mahdavi A., (2011): Energy Efficient Production – Interdisciplinary, Systemic Approach through Integrated Simulation, In: Proceedings of the 6th Dubrovnik Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, Dubrovnik, 2011
- IFU (2010) Schlussbericht Planungsleitfaden Zukunft Industriebau, Forschung an der Technischen Universität Braunschweig Technische Universität Braunschweig, 2010
- Waltenberger, L. (2011): LCC und LCA von Fassadensystemen im Industriebau, Diplomarbeit am Forschungsbereich für Interdisziplinäre Bauplanung und Industriebau, TU Wien 2011
- Zech, U. (1984): Arbeitsstätten in München, Probleme des Standorts und Gestalt.
- In: Ackermann K. (ed.) Industriebau , Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt, 262-265