

**Jahresbericht 2001, 04. Dezember 2001**

# Analyse und Modellierung des Energiebedarfs in Batch-Prozessen

Autor	Patric S. Bieler
beauftragte Institution	Gruppe für Umwelt- und Sicherheitstechnologie; ETH Zürich
Adresse	ETH Hönggerberg HCI G 138; 8093 Zürich
Telefon, E-mail, Internetadresse	01 / 632 56 66, <a href="mailto:pbieler@tech.chem.ethz.ch">pbieler@tech.chem.ethz.ch</a> , <a href="http://lrcmail.ethz.ch/hungerb/">http://lrcmail.ethz.ch/hungerb/</a>
BFE-Nummern	Projekt: 39592 Vertrag: 79368
Dauer des Projekts	vom 01.09.00 bis 31.03.2004

## Zusammenfassung

Ein Produktionsgebäude wurde bezüglich Energieverbrauch auf Gesamtgebäudeebene untersucht. Untersuchungen den Heizenergiebedarf betreffend wurden ebenfalls durchgeführt. Diese zeigten, dass ein lineares Modell für den Heizenergiebedarf mit Hilfe der sog. Heizgradtage aufgebaut werden kann. Für den Elektrizitätsverbrauch wurde der Gebäudeinfrastrukturverbrauch durch Messungen vom Gesamtverbrauch abgegrenzt. Es zeigte sich, dass dieser Infrastrukturverbrauch ca. 50% des Gesamtverbrauchs ausmachte. Der Produktionsenergieverbrauch konnte den Start- und Endzeiten der verschiedenen Hauptapparate gegenüber gestellt werden. Hieraus konnten jedoch noch keine Rückschlüsse auf den Energieverbrauch der einzelnen Produkte gezogen werden, was detailliertere Messungen einzelner Apparate zur Modellentwicklung nötig machen wird.

Im diesem Jahr ereignete sich ein Brand im untersuchten Gebäude. Deshalb musste der Betrieb eingestellt werden. Es konnte jedoch ein anderes Produktionsgebäude gefunden werden, welches die Anforderungen der Studie ebenfalls erfüllt.

Unter Anwendung der im ersten Gebäude entwickelten Methodik wurde die Analyse im zweiten Gebäude so schnell wie möglich auf den selben Stand wie im ersten Gebäude gebracht. Es zeigte sich wiederum, dass, aufgrund der Komplexität des Gebäudes, vom Gesamtenergiebedarf nicht auf den Energiebedarf einzelner Operationen (mit einer Ausnahme) zurückgeschlossen werden konnte (jedoch konnte in kurzer Zeit ein Überblick über das Gebäude gewonnen werden). Messungen des Gebäudeinfrastrukturverbrauches (Elektrizität) ergaben, dass dieser Verbrauch ca. 50% des Gesamtstromverbrauchs ausmacht. Beim Heizenergieverbrauch (Dampf) ergab sich, da im Gegensatz zum ersten Gebäude keine Infrastrukturanlagen daran angeschlossen sind, eine bessere Korrelation mit den Heizgradtagen und damit ein aussagekräftigeres Modell.

Für eine zweite Messphase, welche genauere Messungen auf Apparateebene, sowie theoretische Betrachtungen beinhaltet, wurde ein als interessant angesehener Produktions- und ein ebenfalls interessanter Infrastrukturprozess

## Projektziele

Als erstes Ziel der Arbeiten im Jahr 2001 stand, wie in [1] erwähnt, die **Einarbeitung in die PI-Software** an. Mit Hilfe dieser Software können die Messwerte der bereits vorhandenen Gesamtenergiezähler auf Gebäudeebene zwanzigminütlich erfasst werden. Die Messwerte sind dadurch direkt auf dem PC zur weiteren Verarbeitung (z.B. graphisch in PI oder mit Standardprogrammen wie Excel<sup>®</sup>) verfügbar. Dies erleichtert die Arbeit mit den globalen Messstellen erheblich.

Nachdem ein erster Überblick über das Produktionsgebäude erhalten worden war, sollte mit Hilfe der **globalen Messstellen** eine **durchschnittliche Produktionswoche** bezüglich **Energiebedarf** auf Gesamtgebäudeebene **analysiert** werden. Die Betriebsvorschriften<sup>1</sup> und die Produktionsprotokolle<sup>2</sup> sollten es ermöglichen, den Energieverbrauch mit den jeweils laufenden Hauptapparaten zu korrelieren und (wenn möglich) **Modelle** zur Energieverbrauchsvorhersage aufzustellen. Falls hierbei grosse Verbraucher auffallen, können diese in einer zweiten Messphase detaillierter untersucht werden. Diese zweite **Messphase mit direkten Messungen** des Energieverbrauches auf **Ebene der Hauptapparate** sollte einen Grossteil der Arbeit der zweiten Hälfte 2001 einnehmen und zu ersten Energieverbrauchsmodellen auf Apparateebene führen.

Die Frage, welcher Anteil des Energieverbrauches auf **Infrastrukturverbräuche** und welcher auf die **tatsächliche Produktion** zurückzuführen ist, stellt ebenfalls eine Hauptfrage der Untersuchungen im Jahre 2001 dar. Nur wenn der Infrastruktur- und Gebäudeverbrauch klar vom Produktionsverbrauch abgegrenzt werden kann, besteht die Möglichkeit, aussagekräftige Energieverbrauchsmodelle zu generieren. Zudem zeigt dies auch, ob grosse Sparpotenziale überhaupt im Bereich der Produktion bestehen oder ob nicht vielmehr die energieverbrauchenden Infrastrukturen optimiert werden sollten.

Die **Literaturstudie** sollte während all dieser Arbeiten kontinuierlich weitergeführt werden.

## Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Vorgängig muss erwähnt werden, dass sich im **Jahre 2001** im Produktionsgebäude ein **Brand** ereignete. Aufgrund dieses Ereignisses, wurde die Studie in diesem Produktionsgebäude<sup>3</sup> nicht mehr weiter geführt. Es konnte jedoch ein anderes Produktionsgebäude<sup>4</sup> gefunden werden, welches die Anforderungen eines **Fallstudiengebäudes** ebenfalls erfüllt. Das Betrachtungsgebiet dieser Studie wurde somit **gewechselt** und auf das Gebäude 2 ausgerichtet. Hiermit änderten sich die betreuenden Personen und Zuständigkeiten und das gesamte Projekt erfuhr eine Verzögerung.

Die zweite Messphase mit detaillierten Messungen auf Hauptapparateebene stand vor dem Ereignis unmittelbar bevor und konnte dementsprechend nicht in Angriff genommen werden. Es wurde vielmehr versucht, mit der im Gebäude 1 entwickelten Methodik, im Gebäude 2 so schnell wie möglich auf einen vergleichbaren Stand, wie im Gebäude 1, zu kommen. In der folgenden Präsentation des momentanen Standes werden deshalb die **zwei Gebäude einander gegenübergestellt** und erste Schlussfolgerungen gezogen.

In Tabelle 1 sind die Charakteristiken beiden Gebäude einander gegenübergestellt. Es ist erkennbar, dass sich die beiden Gebäude zwar bezüglich Grösse unterscheiden, ansonsten aber

---

<sup>1</sup> BVO

<sup>2</sup> PP

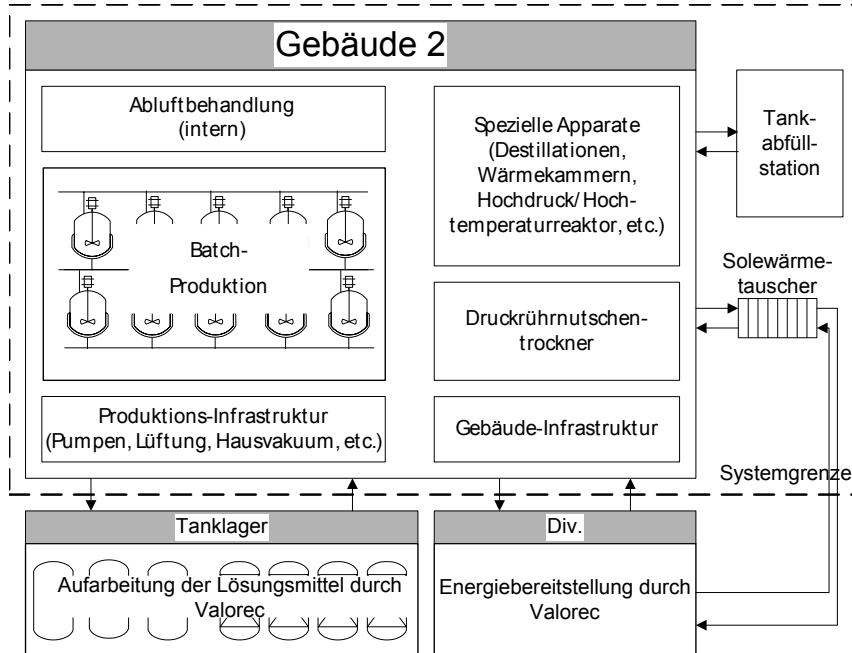
<sup>3</sup> Im Folgenden „Gebäude 1“ genannt

<sup>4</sup> Im Folgenden „Gebäude 2“ genannt

ähnliche Charakteristiken aufweisen. Figur 1 gibt einen Überblick über das Gebäude 2, mögliche Unterteilungen und die gezogene Systemgrenze<sup>5</sup>.

Tabelle 1: Gegenüberstellung von Gebäude 1 und 2

Gebäude 1	Gebäude 2
Verschiedene organische Lösungsmittel	Verschiedene organische Lösungsmittel
Reaktionen von < -10°C bis > 100°C	Reaktionen von < -10°C bis > 200°C
Synthese von ca. 16 versch. Produkten pro Jahr	Synthese von ca. 14 versch. Produkten pro Jahr
Grosse Produktevielfalt	Grosse Produktevielfalt
46 Batch Reaktoren	24 Batch Reaktoren (davon 1 Hochdruck / Hochtemperaturreaktor (HDT-Reaktor))
12 Destillationsapparaturen	1 Kurzwegdestillation 1 Dünnschichtverdampfer
4 Druckrührnutschen 4 Zentrifugen	1 Druckrührnutsche
1 Schaufeltrockner	4 Druckrührnutschentrockner
Kühlkreislauf mit Glykolsole	Separater Kühlkreislauf mit Salzsole
Keine kontinuierliche Produktion	Keine kontinuierliche Produktion
Linienproduktion eines grosstonnagigen Produktes	Keine Linienproduktion; ausschliesslich Mehrzweckanlagen (ausg. HDT-Reaktor)
Indirektes Heiz-Kühlsystem (Druckwassersysteme)	Indirektes Heiz-Kühlsystem (Druckwasser- und sekundäre Wärmeträgersysteme)
Manuelle und automatisierte Apparate	Etwas grösserer Automatisierungsgrad
5-Tage-Betrieb	7-Tage-Betrieb

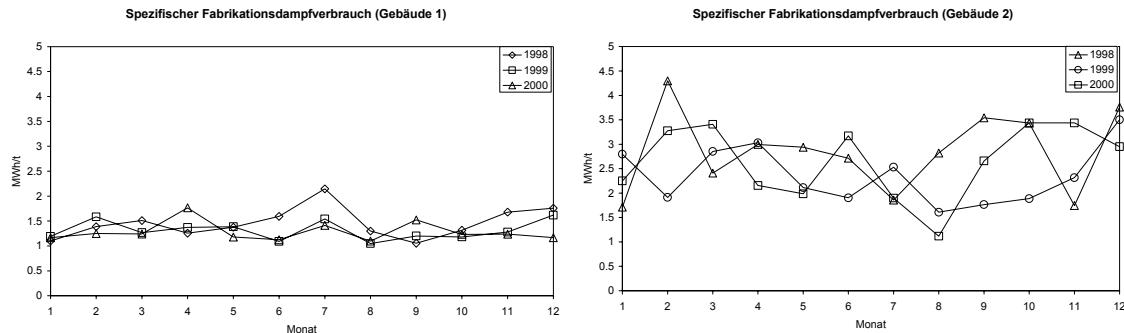


Figur 1: Überblick über Produktionsgebäude 2

<sup>5</sup> Eine analoge Abbildung für Gebäude 1 kann in [1] gefunden werden.

## ANALYSE DER HISTORISCHEN DATEN BEIDER GEBÄUDE

Um einen Überblick über die Gebäude zu erlangen, wurden zuerst die historischen Daten der letzten drei Jahre (Monatsbasis) analysiert. Ein Beispiel einer solchen Analyse für den historischen Fabrikationsdampfverbrauch der beiden Gebäude ist aus Figur 2 ersichtlich.



Figur 2: Spezifischer Fabrikationsdampfverbrauch der beiden Gebäude

Durch Vergleich der beiden Abbildungen von Figur 2 lässt sich erkennen, dass der Energieverbrauch der Produkte im Gebäude 1 wesentlich homogener war, als er es im Gebäude 2 ist: Die Schwankungen des spezifischen Energieverbrauchs sind beim Gebäude 1 im Vergleich zum Gebäude 2 kleiner. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass, wie in Tabelle 1 erwähnt, im Gebäude 1 eine Linienproduktion vorhanden war, welche zu einem hohen Grundproduktionsverbrauch führte. Diese Last dämpft die Schwankungen des Energieverbrauchs. Zudem dürfte bei einem grösseren Gebäude auch der absolute Infrastrukturverbrauch und Grundverlust (sog. Grundlast) grösser sein, was ebenfalls zu einer Nivellierung führt. Diese Annahme konnte aufgrund des Ereignisses aber für den Dampf und für die Sole nicht überprüft werden. Darüber hinaus stimmen die Definitionen des Begriffes „produzierte Tonne Produkt“ der beiden Gebäude nicht exakt überein, was die Vergleichbarkeit der spezifischen Verbräuche der beiden Gebäude einschränkt.

Der durchschnittliche Produktionsdampfverbrauch des Gebäudes 2 beträgt ca. 860 MWh/Monat<sup>6</sup>, wohingegen derjenige des Gebäudes 1 ca. 1080 MWh/Monat<sup>6</sup> beträgt. Obwohl also das Gebäude 2 erheblich kleiner ist, als das Gebäude 1 (vgl. Tabelle 1), ist somit der absolute Produktionsdampfverbrauch nicht wesentlich kleiner und der spezifische Produktionsdampfverbrauch sogar etwa doppelt so gross, wie der des Gebäudes 1. Erste Untersuchungen das Dampfnetz betreffend ergaben keine offensichtlichen grossen Verluste, was einer einfachen Erklärung des erstaunlichen Sachverhaltes entgegensprach. Spezielle Apparate (wie z.B. die Dampfstrahlsauger, die Druckrührnutschentrockner oder der Hochdruck / Hochtemperaturreaktor) dürften im Gebäude 2 mehr Dampf verbrauchen, als die eher konventionellen Apparate im Gebäude 1. Zudem wird im Gebäude 2 ein Produkt mit höherem spezifischen Dampfverbrauch hergestellt (Hochtemperaturreaktion) und die im Gegensatz zum Gebäude 1 intern durchgeführte Trocknung der Produkte dürfte hier ebenfalls eine Rolle spielen. Eine andere Erklärung wäre, dass Kondensatabscheider defekt sind<sup>7</sup>. Zur Abklärung dieser Fragen werden jedoch weitere Untersuchungen benötigt. Ebenfalls wird, wie oben erwähnt, die Grösse „produzierte Tonne Produkt“ nochmals einer kritischen Prüfung unterzogen werden.

## ANALYSE EINER DURCHSCHNITTLICHEN WOCHE / INFRASTRUKTURVERBRAUCH

Als repräsentative, zur Analyse geeignete, nicht von gewichtigen Ausnahmesituationen geprägte Produktionswochen wurden in Zusammenarbeit mit den Meistern der betreffenden Gebäude die

<sup>6</sup> Gemittelt über die Jahre 1998-2000

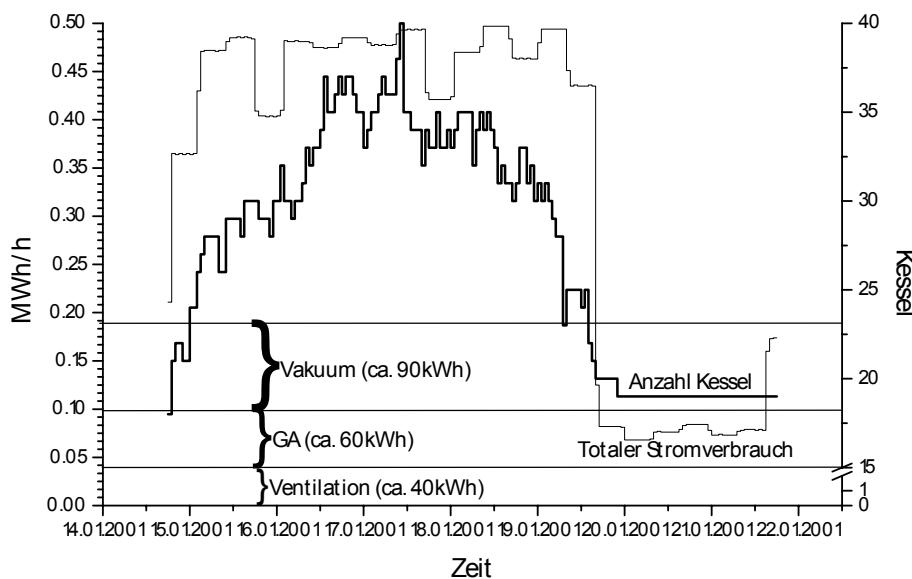
<sup>7</sup> Untersuchungen bei anderen Gebäuden ergaben, dass ein grosser Prozentsatz dieser Kondensatabscheider im täglichen Betrieb kaputt geht, was ohne intensive Kontrollen jedoch nur schwer festgestellt werden kann

Woche 3 für das Gebäude 1 und die Woche 19 für das Gebäude 2 ausgewählt. Für diese beiden Wochen wurde sodann der Energiebedarf der Gesamtgebäude (5 bar und 15 bar Dampf, Sole, 400 V und 500 V Elektrizität) mit Hilfe des PI-Systemes aufgenommen.

Im Gebäude 1 wurden die Motoren teilweise mit 400 V und teilweise mit 500 V angetrieben (Neuinstallationen fast ausschliesslich mit 400 V). Im Gebäude 2 werden hingegen ausschliesslich Infrastrukturapparate mit 400 V angetrieben. Allerdings benötigen auch im Gebäude 2 einige Infrastrukturapparate 500 V Strom, was auch in diesem Gebäude separate Messungen des Elektrizitätsverbrauches erforderte.

Da die Gesamtheit der erhaltenen Daten den Umfang dieses Jahresberichtes sprengen würde, wird im Folgenden anhand des Elektrizitätsverbrauchs exemplarisch dargestellt, wie die Analysen vorgenommen wurden und welche Schlussfolgerungen sich daraus ergaben.

Figur 3 und Figur 4 zeigen, wie sich die erwähnten Analysen der ausgewählten Wochen ausnehmen. Auch detaillierte Analysen bestätigten, was sich schon aus dem visuellen Eindruck ergab: Von den globalen Energiemessungen lässt sich der Energieverbrauch einzelner Hauptapparate nicht ableiten. Die Betriebe sind zu komplex (es laufen zu viele Apparate parallel), als dass sich Rückschlüsse auf den Energieverbrauch der einzelnen Apparate machen lassen. Für den Stromverbrauch wurde zudem analysiert, ob sich dies ändert, wenn der Energieverbrauch der Infrastrukturanlagen vom Gesamtverbrauch abgezogen wird (rel. einfache Messung des Infrastrukturverbrauches). Hierbei wurde angenommen, dass der Infrastrukturverbrauch (Lüftung, Vakuum, Abluftbehandlung) zeitlich konstant bleibt. Diese Annahme wurde durch Messungen zu verschiedenen Zeitpunkten bestätigt. Bei beiden Gebäuden zeigte sich, dass der Infrastrukturverbrauch der Elektrizität ca. 50% des gesamten Strombedarfes ausmacht (vgl. Figur 3 und Figur 4).



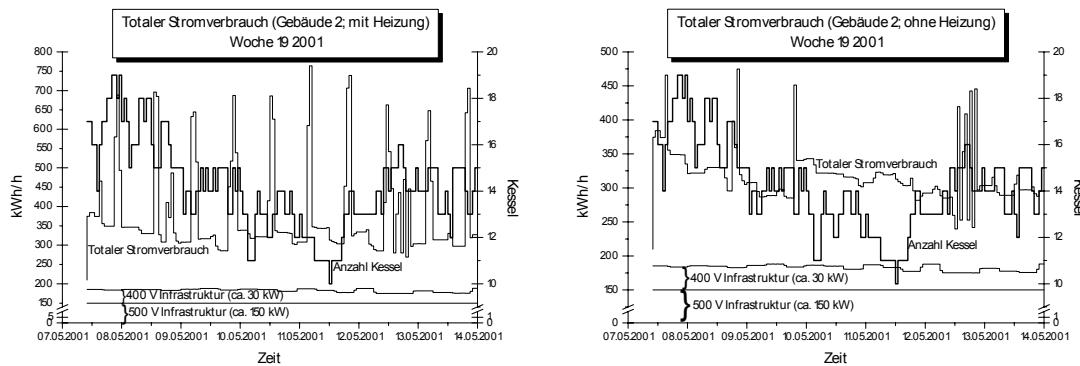
Figur 3: Stromverbrauch sowie Anzahl betriebener Kessel im Gebäude 1 (Woche 3 2001)

Beim Gebäude 1 existierten keine fest installierten Messstellen für den Infrastrukturverbrauch der Elektrizität. Es wurde deshalb angenommen, dass sich dieser über die Zeit nicht verändern würde und somit punktuelle Messungen zur Festlegung dieser Grösse ausreichend seien. Diese Annahme konnte beim Gebäude 2 für den 400 V Infrastrukturverbrauch verifiziert werden. Wie aus Figur 4 ersichtlich ist, verharrt der 400 V Infrastrukturverbrauch über die Zeit ziemlich konstant bei 30 kW. Auch mehrfache punktuelle Messungen in beiden Gebäuden zeigten relativ kleine

Schwankungen dieses Verbrauches, wodurch die Annahme des konstanten Verbrauches bestätigt werden konnte.

Die aus Figur 4 (linker Teil) ersichtlichen Peaks im Elektrizitätsverbrauch konnten mit Hilfe der Produktionsprotokolle und der BVOs sowie Diskussionen mit den Betriebschemikern einem bestimmten Prozess zugeordnet werden. Dieser Prozess weist einen grossen Stromverbrauch auf, da die Heizung über ein zu Beginn mit Dampf, ab einer gewissen Temperatur aber mit Elektrizität beheiztes Wärmeträgeröl abläuft. Der hieraus ermittelte Durchschnittliche Verbrauch dieser elektrischen Heizung beträgt somit ca. 300 kW (durchschnittliche Höhe der Peaks in Figur 4 (linker Teil)), was einem Verhältnis von Nutzleistung zu Nennleistung von ca. 75 % entspricht. In weiteren Versuchen bleibt nun abzuklären, ob dies stimmt und wie sich Nutz- und Nennleistung bei anderen Operationen und Apparaten verhalten.

Zieht man den Verbrauch dieser Heizung vom Gesamtverbrauch ab (Annahme eines konstant auf dem Anfangswert verbleibenden Stromverbrauches der anderen Apparate), ergibt sich das in Figur 4 (rechter Teil) ersichtliche Bild. Bei beiden Gebäuden ist eine Modellbildung aufgrund des ausgeglichenen Stromverbrauches nicht möglich.

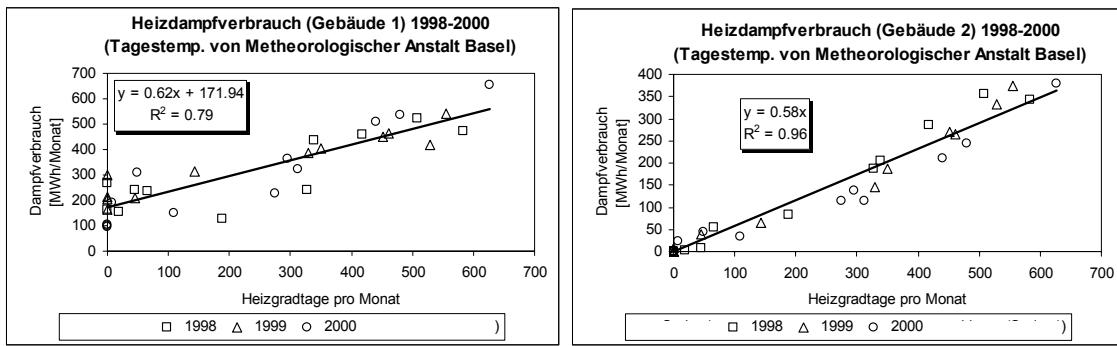


Figur 4: Stromverbrauch und Anzahl betriebener Kessel des Gebäudes 2 (Woche 19 2001)

## HEIZENERGIEBEDARF

Der Heizenergiebedarf in Abhängigkeit der Heizgradtage<sup>8</sup> ist aus Figur 5 ersichtlich. Beim Gebäude 1 wurde auch für einige Produktionsinfrastrukturanlagen Heizdampf benötigt, weshalb selbst bei null Heizgradtagen ein Dampfverbrauch existierte. Dies erklärt auch die grössere Schwankung der Werte im Vergleich zum Gebäude 2. Die Regressionsgeraden der Heizdampfverbräuche beider Gebäude weisen trotzdem eine ähnliche Steigung auf, was darauf hindeutet, dass die unterschiedliche Grösse der beiden Produktionsgebäude nur einen kleinen Einfluss auf den Heizenergiebedarf hat. Ein lineares Modell mit Hilfe der Heizgradtage scheint für den Heizenergiebedarf genügend zu sein. Festzustellen bleibt, dass die beiden Gebäude, trotz unterschiedlicher Grösse, ähnliche Heizdampfverbräuche aufweisen. Dies dürfte eine Charakteristik von Produktionsgebäuden sein, hängt hier die Menge der zu erwärmenden Luft doch hauptsächlich von der Häufigkeit des Luftaustausches und weniger von der absoluten Grösse des Gebäudes ab.

<sup>8</sup> Angenommene Heizgrenze: 12°C; zur Erklärung der Heizgradtage siehe z.B. <http://www.fh-wolfenbuettel.de/tww/EnEV-files/Heizgradtage%20und%20Gradtagszahl.pdf>



Figur 5: Heizdampfverbrauch in Abhängigkeit der Heizgradtage der beiden Gebäude

## AUSWAHL EINES DETAILLIERT ZU UNTERSUCHENDEN PRODUKTIONSPROZESSES

Anschliessend an die Untersuchungen auf Gebäudeebene soll ein relevanter Produktionsprozess ausgewählt und sowohl theoretisch als auch praktisch analysiert werden. Das Vorgehen hierzu ist weiter unten kurz beschrieben.

Als Beispiel eines energieintensiven und für die Untersuchungen geeigneten Produktionsprozesses wurde in Zusammenarbeit mit dem Betriebsleiter der Produktionsprozess für die mit Hilfe des Hochdruck / Hochtemperaturreaktors hergestellte Chemikalie ausgewählt. Dieser Prozess läuft bei > 10 bar und > 200°C ab, was ihn energetisch sehr interessant macht. Zudem sind die hierfür verwendeten Hauptapparate etwas vom übrigen Produktionsprozess abgesondert, was eine Abgrenzung und Analyse vereinfacht. Interessant ist zudem das Heizsystem, welches auf einem sekundären Kreislauf beruht, der zu Beginn mittels Dampf, nach erreichen einer gewissen Temperatur aber mit Hilfe von Elektrizität beheizt wird. Eventuell mögliche Optimierungen im Hinblick auf die Temperaturniveaus sollten in der Untersuchung mitberücksichtigt werden.

Ebenfalls wurde ein Infrastrukturprozess ausgewählt, welcher genauer analysiert werden sollte. Hierfür wurden die Dampfstrahlsauger gewählt, welche für einen bestimmten Produktionsprozess das Vakuum bereit stellen. Diese sind, sofern sie in Gebrauch stehen, sicherlich grosse Dampfverbraucher, was sie für die Analyse interessant macht.

## Nationale Zusammenarbeit

Die Zusammenarbeit im Forschungsprojekt findet zwischen der ETH Zürich und **einer Industriefirma** statt, welche das als Fallstudie dienende Produktionsgebäude zur Verfügung stellt, statt. Trotz der grossen Veränderungen, welche das Ereignis dieses Jahres ergab, kann die Zusammenarbeit als sehr konstruktiv und angenehm bezeichnet werden und wird auch weiterhin bestehen bleiben.

Weitere nationale Zusammenarbeiten, finden momentan nicht statt.

## Internationale Zusammenarbeit

Es findet zur Zeit keine internationale Zusammenarbeit, speziell dieses Projekt betreffend, statt.

## Bewertung 2001 und Ausblick 2002

### BEWERTUNG 2001

Als Erstes muss erwähnt werden, dass die **Zusammenarbeit mit der Industriefirma** das ganze Jahr hindurch sehr positiv verlief und als äußerst fruchtbar bezeichnet werden darf. Dies insbesondere mit Hinblick auf das Ereignis dieses Jahres. Sehr schnell konnte ein anderes Gebäude gefunden werden, in welchem die Arbeit weiter geführt werden kann.

Das erwähnte **Ereignis** hatte eine **Verzögerung** des ganzen Projektes zur Folge. Die Auswertungen auf Gebäudeebene waren kurz vorher abgeschlossen worden und detaillierte Messungen des Infrastrukturverbrauchs und auf Apparateebene standen unmittelbar bevor, konnten aber nicht mehr durchgeführt werden. Beim Gebäude 2 musste nun vorerst die Analyse auf den selben Stand gebracht werden, um einen vergleichbaren Startpunkt zu haben und einen Überblick über das gesamte Gebäude zu gewinnen. Diese Einarbeitung konnte relativ rasch durchgeführt werden, sodass zum jetzigen Zeitpunkt gesagt werden kann, dass die Analyse des Gebäudes 2 auf dem selben Stand ist, wie diejenige des Gebäudes 1 kurz vor dem Ereignis war. Zudem kann die Methodik der Analyse einer ausgewählten, durchschnittlichen Produktionswoche als sehr geeignet bezeichnet werden, um sich möglichst schnell einen Überblick über ein Produktionsgebäude und die darin stattfindenden Reaktionen zu machen.

Es zeigte sich, dass zur Analyse des **Energieverbrauches auf Gebäudeebene** das neu installierte **PI-System** hervorragend geeignet ist. Zudem konnte mit Hilfe der **BVOs** und der **PP** genau eruiert werden, welche Apparate und Prozesse welche Energien benötigten und wann sie genau an- und abgefahrene wurden. Dies erlaubt eine genaue Gegenüberstellung von Energieverbrauch und laufenden Apparaten, welche aber **nicht zur Modellbildung verwendet** werden konnte (siehe oben).

Für den **Heizenergiebedarf** konnte ein **lineares Modell**, basierend auf den Daten der beiden Gebäude erstellt werden: Heizenergiebedarf (in MWh/Monat) =  $0.6 * \text{Heizgradtage/Monat}$ .

Die Methodik, welche zur Auswahl des näher zu untersuchenden Produktionsprozesses angewandt wurde, kann auch bei weiteren Selektionen angewandt werden und ist im Folgenden kurz beschrieben:

1. Bestimmung, welche Prozesse im Betrieb ablaufen
2. Definition, welche dieser Prozesse bezüglich Energieverbrauch noch nicht untersucht worden sind (momentan sind dies noch alle Prozesse)
3. Erkennen, welche Prozesse auch in nächster Zukunft noch laufen werden (für eventuelle spätere Verifikationsmessungen der Modelle unerlässlich)
4. Auswählen des Prozesses, welcher (von den jetzt noch verbleibenden) den grössten Energieverbrauch hat
5. Beginn des genauen Studiums der BVO dieses Prozesses
6. Weiterer Verlauf wie im nächsten Kapitel beschrieben

Die **Literaturstudie** wurde parallel zu den Arbeiten durchgeführt. Es konnten aber, trotz intensiver Suche, nur relativ wenige relevante Unterlagen gefunden werden (siehe z.B. [2] oder [3]).

## AUSBLICK 2002

Der ausgewählte **Produktionsprozess** und der **Infrastrukturprozess** werden sowohl **theoretisch**, wie auch mit **Messungen** gemäss den folgenden Schritten detailliert untersucht:

- Theoretische Durchdringung des Prozesses hinsichtlich Energie- und Stoffströmen auf der Basis vorliegender Unterlagen (BVO, Massenbilanzen, Apparatespezifikationen, etc.)
- Identifikation und Quantifizierung der Unsicherheiten / Ungenauigkeiten aus der theoretischen Betrachtung (wo liegen mögliche Fehlerquellen?)
- Entscheidung über weitere erforderliche praktische Untersuchungen (Messungen, etc.)
- Durchführung der praktischen Untersuchungen (Messungen, etc.)
- Vergleich der aus der theoretischen Untersuchung und den praktischen Massnahmen gewonnen Erkenntnissen und ggf. Überarbeitung der vorherigen Schritte; Identifikation der Unsicherheiten und Verluste, sowie Verallgemeinerung der Ergebnisse
- Erstellung eines endgültigen Models für den Prozess
- Untersuchung der Übertragbarkeit der Vorgehensweise und Ergebnisse aus dem Prozess auf einen anderen Prozess

Die aus der Abfolge entstehenden **Modelle** sollen so aufgebaut werden, dass sie relativ einfach auf andere Prozesse übertragen werden können. Durch Untersuchungen an **weiteren Prozessen** und durch **Hochrechnung** auf den ganzen Betrieb können die einzelnen Modelle verifiziert und ihre Genauigkeit ermittelt werden. Hierbei soll das oben beschriebene Vorgehen erneut durchlaufen werden, jedoch dürften von Mal zu Mal weniger praktische Messungen vonnöten sein, da das theoretische Verständnis der energetischen Aspekte der Prozesse und deren zu erwartende Verluste oder Fehler steigt. Grundlage für die Analysen sollen hierbei immer die BVOs und die Apparatespezifikationen bilden.

## Referenzen

- [1] P. Bieler: **Jahresbericht 2000**, Jahresbericht zu Handen BFE, 2000
- [2] F. C. Knopf et. al: **Optimal Design of Batch / Semicontinuous Processes**, Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev., Nr. 1, Vol. 21, Seiten 79-86, 1982
- [3] J. A. Vaselenak: **Studies in the Optimal Design and Scheduling of Batch Processing Plants**, Ph.D. thesis, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, 1985