

## **Jahresbericht 2000**

Zu den Arbeiten gemäss dem Vertrag 79368

### **Analyse und Modellierung des Energiebedarfs in Batch-Prozessen**

#### **Zusammenfassung:**

Nach einer umfassenden Literaturstudie wurde ein erster Überblick über das als Fallstudie dienende Produktionsgebäude der Ciba SC im Werk Schweizerhalle gewonnen. Die Systemgrenzen zur Produktionsumgebung wurden abgesteckt, eine Grobunterteilung des Gebäudes wurde vorgenommen und eine Charakterisierung des Gebäudes hinsichtlich der Art der Produktion wurde durchgeführt.

Weiterhin wurde der Gesamtenergieverbrauch des untersuchten Gebäudes für das Jahr 1999 zusammengestellt und eine Unterteilung nach Art der Energieträger sowohl hinsichtlich MWh, als auch nach Kosten vorgenommen. Im untersuchten Gebäude wurden im Jahre 1999 knapp 11 kt Chemikalien produziert. Zur Produktion dieser Menge wurde eine Energiemenge (Sole, Eis, Dampf, Elektrizität) von gut 22 GWh benötigt, was Kosten von 1.8 Mio. sFr. verursachte.

Das untersuchte Gebäude wurde hinsichtlich der Systemgrenzen, Charakteristika der Produktion, sowie der ersten Energiebilanzen mit dem in einer früheren Studie untersuchten Gebäude (Ciba SC K-90) verglichen, wobei deutliche Unterschiede zwischen beiden Gebäuden ersichtlich wurden.

Ein Ausblick auf die Arbeiten im neuen Jahr beschliesst diesen Jahresbericht. Durch die Einführung eines Energieinformationssystems wird sich die Möglichkeit zur kontinuierlichen Überwachung des Gesamtenergieverbrauches ergeben. Zur genaueren Untersuchung des Betriebes sind diverse Messstellen (sowohl temporäre, wie auch fest installierte) einzurichten und zu unterhalten, sowie die Modellbildung und das Modellverständnis voranzutreiben.

**Dauer des Projektes: 01.09.2000 – 31.08.2003**

**Beitragsempfänger: Gruppe für Umwelt- und Sicherheitstechnologie /  
ETH Zürich**

**Berichterstatter: Patric S. Bieler**

**Adresse: ETH Zentrum, CAB C32.8  
8092 Zürich**

**Telefon: 01-632-56-66**

**e-mail: pbieler@tech.chem.ethz.ch**

# 1 Projektziele 2000

Das Projekt startete im Herbst des Jahres 2000.

Als erstes sollte eine umfassende **Literaturübersicht** erstellt werden. Das Ziel dieser Literaturübersicht bestand darin, den aktuellen Stand der Forschung auf dem Gebiet der Energieanalyse – insbesondere mit Bezug auf die chemische Batch-Produktion – zu eruieren.

Parallel zur Literaturübersicht sollte ein erster **Überblick über das als Fallstudie dienende Produktionsgebäude** der Ciba SC in Schweizerhalle (im Folgenden Produktionsgebäude genannt) und seine Eingliederung in die Produktionskette erarbeitet und die Systemgrenzen für die nachfolgenden Analysen festgelegt werden. Hierbei sollte das Augenmerk nicht nur auf die grundlegende Struktur des Betriebes gelegt werden, sondern auch auf die bereits vorhandenen Energiezähler und die Möglichkeiten der sinnvollen Einteilung des Betriebes zur effizienten Messung der Energien mit portablen oder zu installierenden Energiemessgeräten.

Des Weiteren sollte eine erste **Charakterisierung des Gebäudes** anhand des Gesamtenergieverbrauchs sowie weiterer Kriterien (z.B. Art und Menge der produzierten Chemikalien) erarbeitet werden.

Ein erster Vergleich zwischen dem Produktionsgebäude und dem in einer früheren Studie untersuchten Gebäude (Ciba SC Produktionsgebäude K-90 – im Folgenden K-90 genannt – vgl. (Blickenstorfer 1999)) sollte durchgeführt werden. Grundlegende Unterschiede sowie Gemeinsamkeiten der beiden Gebäude sollten erkannt werden.

## 2 2000 durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

### 2.1 Literaturübersicht

Die durchgeführte Literaturübersicht zeigte, dass ausser der ersten Studie (Blickenstorfer 1999) kein systematischer Angang an das Problem des Gesamtenergieverbrauches in chemischen Batch-Produktionsbetrieben besteht.

Für kontinuierliche Betriebe, sowie für nicht-chemische Fragestellungen (z.B. (Boustead and Hancock 1979)) oder aber für Einzelprobleme, wie der Dampfverbrauch in Batch-Produktionsbetrieben existieren zwar einige Lösungsansätze und Studien, eine integrierte Untersuchung für den gesamten Energiebedarf (Dampf, Elektrizität, Sole, Eis) von Batch-Betrieben existiert allerdings nicht. Dies erstaunt umso mehr, als ca. 50 % sämtlicher industrieller Prozesse Batch-Prozesse sind (Stoltze et al. 1995). Für kontinuierliche Prozesse existieren gut akzeptierte Lösungen, wie die Pinch-Analyse für Wärmetauschnetzwerke von (Linnhoff et al. 1982). Einige Autoren versuchten nun, diese gut etablierte Methodologie auch auf Batch-Produktionsbetriebe anzuwenden (z.B. (Ashton 1993; Grau et al. 1996; Oppenheimer and Sorensen 1997)). Aufgrund der grossen Investitionen in Wärmetauschnetzwerke, sowie für die erforderliche Energiespeicherung, welche diese Technik benötigt, sind die Resultate für schnell wechselnde Produktionslinien (wie sie in Multipurpose-Batch-Anlagen anzutreffen sind) gemäss (Stoltze et al. 1995) eher ungeeignet.

Zur allgemeinen Technik der Energieanalyse existieren diverse Publikationen, welche allerdings mehr auf Bürogebäude und sonstige nicht-industrielle Gebiete abzielen (vgl. (Bhatt 2000; Breniere et al. 1990; Ganji 1999; Hoshida 1995)). Für einen Überblick über die Technik der Energieanalyse sind diese Publikationen allerdings gut geeignet.

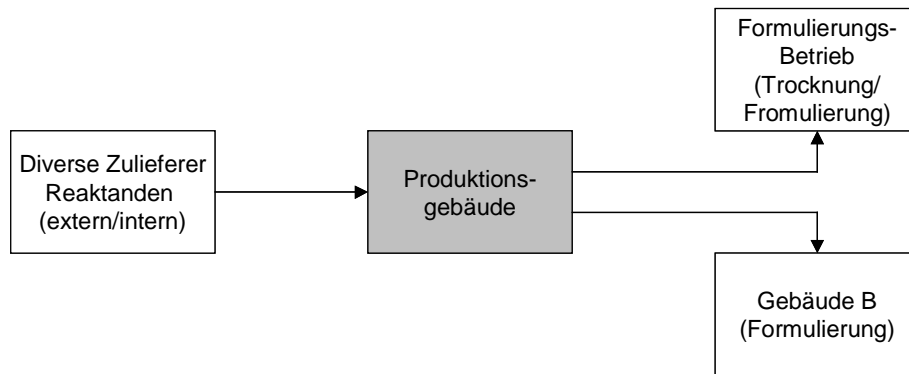
### 2.2 Grobunterteilung des Fallstudien-Gebäudes und Systemgrenzen

Das Produktionsgebäude steht in engem Kontakt zu weiteren Gebäuden sowohl auf dem Platz Schweizerhalle, als auch an anderen Standorten (über die bezogenen Rohmaterialien). Die Eingliederung des Produktionsgebäudes in die Produktionsumgebung ist aus Abbildung 2-1 ersichtlich.

Rohmaterialien und Zwischenprodukte (allg.: Reaktanden) werden sowohl von Gebäuden in Schweizerhalle als auch von Ciba SC-Betrieben an anderen Produktionsstandorten und von externen Lieferanten bezogen. Einige wenige Produkte werden im Produktionsgebäude direkt formuliert, die meisten werden jedoch in einem anderen Gebäude getrocknet und formuliert (im Produktionsgebäude existiert nur ein einziger Trockner, der kontinuierlich betrieben wird). Im eng mit dem Produktionsgebäude vernetzten Gebäude B wird ein spezielles in Linienproduktion<sup>1</sup> produziertes Produkt formuliert.

---

<sup>1</sup> Batch-Monoanlage für ein spezifisches Produkt

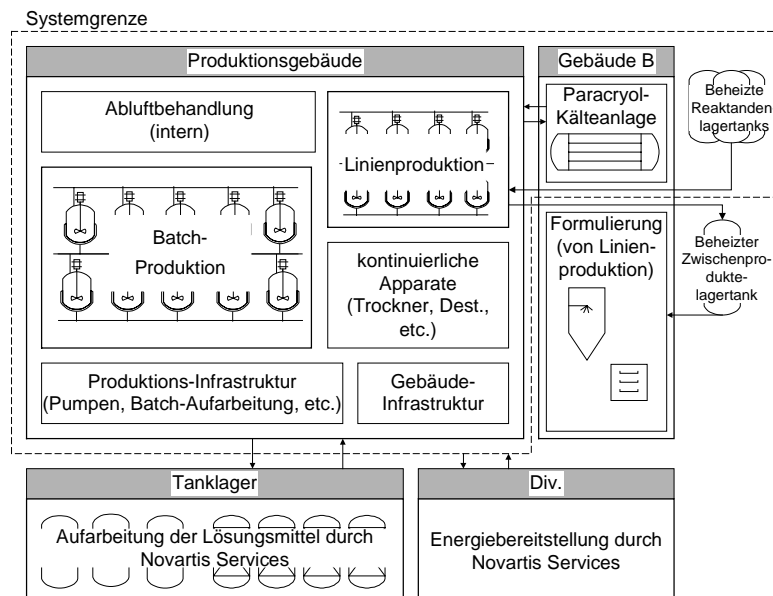


**Abbildung 2-1:** Eingliederung des Produktionsgebäudes in die Produktionskette

Abbildung 2-2 zeigt den generellen Aufbau des Produktionsgebäudes in die einzelnen Teilbereiche und eine erste Aufgliederung der Energiebezüge. Durch den in einem ersten Durchgang durch das Gebäude gewonnenen Überblick konnte eine Aufteilung durchgeführt werden. Das Gebäude wird demnach in die folgenden Teile unterteilt: Batch-Produktion, Linienproduktion, Abluftreinigung, Produktionsinfrastruktur, kontinuierliche Apparate und Gebäudeinfrastruktur. Zusätzlich wurde die Systemgrenze soweit erweitert, dass die im Nebengebäude (Gebäude B) stehende Paracryol-Kälteanlage ebenfalls erfasst wird. Diese Anlage wird für einige Syntheseschritte verwendet, die vermutlich im Verlauf dieses Projektes näher untersucht werden. Aufgrund der unsicheren Weiterentwicklung der Formulierung im Gebäude B und aus Gründen der Fokussierung auf das Hauptgebäude wurde darauf verzichtet, die Formulierung der Linienproduktion ebenfalls in das System zu integrieren. Wäre dies geschehen, wäre aus Gründen der Vergleichbarkeit der einzelnen Produkte zu überlegen gewesen, ob auch die Formulierung der weiteren Produkte untersucht werden sollte, was eine beträchtliche Vergrößerung des Systems zur Folge hätte.

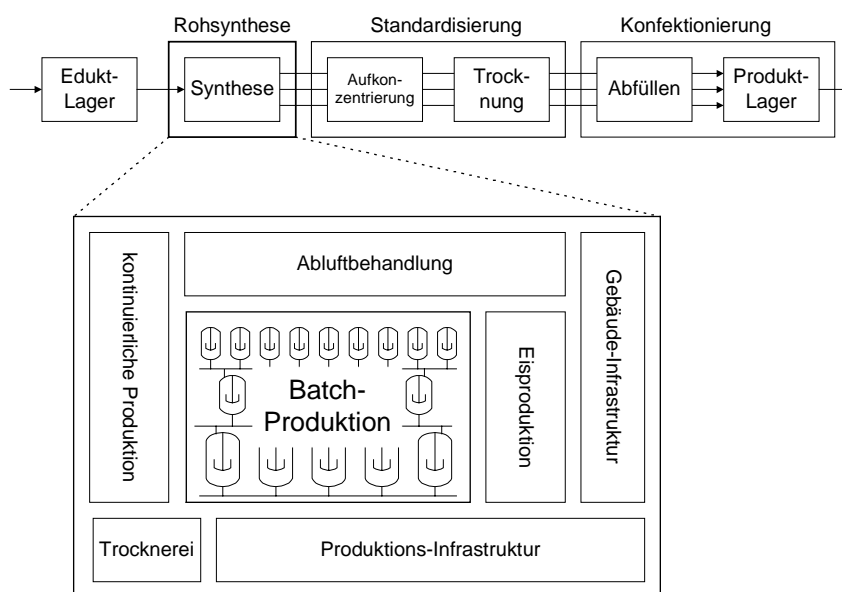
Die Energien, welche im Produktionslokal benötigt werden, stammen allesamt aus verschiedenen Betrieben von Novartis Services (SN). Diese Energien werden zentral gemessen (Gebäudeeingang), verrechnet und anschliessend intern verteilt. Da für die interne Verteilung keine oder nur ungenügende Messstellen zur Verfügung stehen, werden diverse zusätzliche Messstellen installiert werden müssen (sowohl temporäre, als auch feste Installationen), um den genauen Energieverbrauch den einzelnen Positionen und weiteren Untereinheiten zuordnen zu können.

Die im Produktionsprozess benötigten Lösungsmittel werden zu einem geringen Teil intern aufgearbeitet. Der grösste Teil der verbrauchten Lösungsmittel wird jedoch zum Tanklager zurück geschickt (von wo sie auch bezogen werden) und dort durch Fremdfirmen wiederaufbereitet. Inwieweit diese Wiederaufbereitung und der damit verbundene Energiebedarf (resp. Energiegutschrift bei einer thermischen Verwertung der Lösungsmittel) in die Betrachtungen miteinbezogen werden, kann zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht bestimmt werden.



**Abbildung 2-2:** Überblick über das Produktionsgebäude

Ein Vergleich der obigen Abbildungen mit der Abbildung 2-3 zeigt einige grundlegende Unterschiede des Produktionsgebäudes zu K-90 auf. Die Eingliederung des Produktionsgebäudes in den Prozessablauf der Produkte ist nicht so einheitlich, wie bei K-90. Im Produktionsgebäude werden sowohl Grundchemikalien, wie auch Zwischenprodukte zur Synthese benutzt und auch der weitere Verlauf der Produkte ist nicht so geradlinig, wie bei den Produkten im K-90 (sicherlich damit zusammenhängend, dass im K-90 die Produktvielfalt geringer ist, als im Produktionsgebäude (siehe unten)). Der hauptsächliche Unterschied der beiden Gebäude besteht sicherlich darin, dass im Produktionsgebäude keine kontinuierliche Produktion und keine grosse Trocknerei, eine auf organischen Lösungsmitteln basierte Chemie, sowie keine Eisproduktion vorhanden sind. Selbst die Paracryol-Kälteanlage befindet sich in einem angegliederten Gebäude und kann somit gut abgegrenzt werden. Die Definition der System-grenzen ist somit schwieriger, als im K-90. Sie kann der Abbildung 2-2 entnommen werden.



**Abbildung 2-3:** Gesamter Prozessablauf und Aufteilung des Synthesegebäudes K-90 in Anlagen

## 2.3 Charakteristiken des Produktionsgebäudes und K-90

In der Tabelle 2-1 werden die Hauptcharakterisierungen der beiden Gebäude (Produktionsgebäude und K-90) einander in sehr knapper Form gegenübergestellt (vgl. zur Illustration der Komplementarität auch die Abbildungen in Kapitel 2.2).

**Tabelle 2-1:** Charakteristiken der beiden Betriebe

Produktionsgebäude (Baujahr: 1947)	K-90 (Baujahr: 1958)
Verschiedene organische Lösungsmittel	Wasserbasierte Chemie
Ganzes Spektrum von Umwandlungen bei $-30^{\circ}\text{C}$ (Kristallisationen) bis zu Reaktionen bei Temperaturen $> 100^{\circ}\text{C}$	Reaktionsführung im Temperaturbereich von 0 bis $30^{\circ}\text{C}$ (ausgenommen die Cyanurfluorid-Produktion (kontinuierlich))
Synthese von ca. 16 verschiedenen Produkten pro Jahr	Synthese von ca. 140 verschiedenen Chemikalien pro Jahr
Grosse Produktvielfalt (Additive)	Geringe Produktvielfalt (Reaktivfarbstoffe)
46 Batch Reaktoren	180 Batch Reaktoren
Sämtliche Energieträger werden von SN bereitgestellt und nicht selbst produziert	Produktion einiger benötigter Energieträger vor Ort (z.B. Eisproduktion)
Keine kontinuierliche Produktion, jedoch Linienproduktion eines Produktes mit grossem Umsatz	Ein Reaktand (Cyanurfluorid) wird kontinuierlich produziert
Destillationsanlagen zur Produktreinigung und für Reaktionen	Keine Destillationen
Heizung und Kühlung indirekt über Heizmantel der Reaktoren	Direktheizung der Reaktoren mit Heizdampf und Direktkühlung mit Eis
Manuelle und automatisierte Apparate	Manuelle und automatisierte Apparate

## 2.4 Erste Daten zum Energieverbrauch des Produktionsgebäudes

Wie aus mehreren Gesprächen mit Produktionschemikern ersichtlich wurde, bestimmt der Energieverbrauch bei der Produktion ca. fünf bis zehn Prozent der gesamten Herstellungskosten eines Produktes. Da verschiedene andere kostentreibende Faktoren einen bedeutenderen Einfluss auf die Produktkosten besitzen, wurde bis anhin der Energieverbrauch der einzelnen Produkte nur abgeschätzt und nicht weiter verfolgt. In Zukunft dürfte sich dies durch strengere Gesetzesvorgaben und Energiesteuern aber wahrscheinlich ändern, womit der Energieverbrauch eines Produktionsprozesses einer genaueren Untersuchung bedürfen wird (vgl. z.B. (Kreß and Renn 2000; Schlesinger et al. 2000)).

Erste generelle Daten zum Energieverbrauch auf Werks- und Gebäudeebene wurden durch SN bereitgestellt. Der gesamte Energieverbrauch des Werkes Schweizerhalle von Ciba SC im Jahre 1999 ist aus Tabelle 2-2 ersichtlich. Es wird deutlich, dass der Hauptverbrauch an Energie (bezogen auf die in dieser Studie betrachteten Energieträger Dampf, Elektrizität, Sole und Eis) beim Dampf liegt.

**Tabelle 2-2:** Gesamtenergieverbrauch des Ciba SC Werkes Schweizerhalle (Datenbasis: 1999; Quelle: SN)

Produktionsdampf <sup>2</sup>	32'200 MWh
Komfortdampf <sup>1</sup>	24'500 MWh
Elektrizität	15'900 MWh
Sole	2'500 MWh
Eis <sup>3</sup>	1'700 t
Fabrikwasser	3'430'000 m <sup>3</sup>
Trinkwasser	93'000 m <sup>3</sup>
Deionisiertes Wasser	1'340 m <sup>3</sup>
Stickstoff (gasförmig)	1'840'000 Nm <sup>3</sup>
Stickstoff (flüssig)	80'000 kg
Druckluft	11'500'000 Nm <sup>3</sup>

Der Energieverbrauch des Produktionsgebäudes (inkl. Gebäude B) ist aus Tabelle 2-3 und aus den Abbildungen 2-4, 2-6 und 2-7 ersichtlich. Obschon der Dampfverbrauch mit Abstand den (energiemässig) grössten Teil des Energieverbrauches ausmacht, ist ersichtlich, dass die Sole wertmässig den grössten Anteil darstellt. Es ist ebenfalls ersichtlich, dass Elektrizität eine sehr hochwertige Energie darstellt, da ihr Anteil an den Gesamtkosten ebenfalls grösser ist, als am Gesamtenergieverbrauch (unter der Annahme, dass der Preis ein Mass für die Güte einer Energie darstellt).

**Tabelle 2-3:** Energieverbrauch des Produktionsgebäudes (inkl. Gebäude B) (Datenbasis: 1999; Quelle: Betriebsingenieur Produktionsbetrieb)

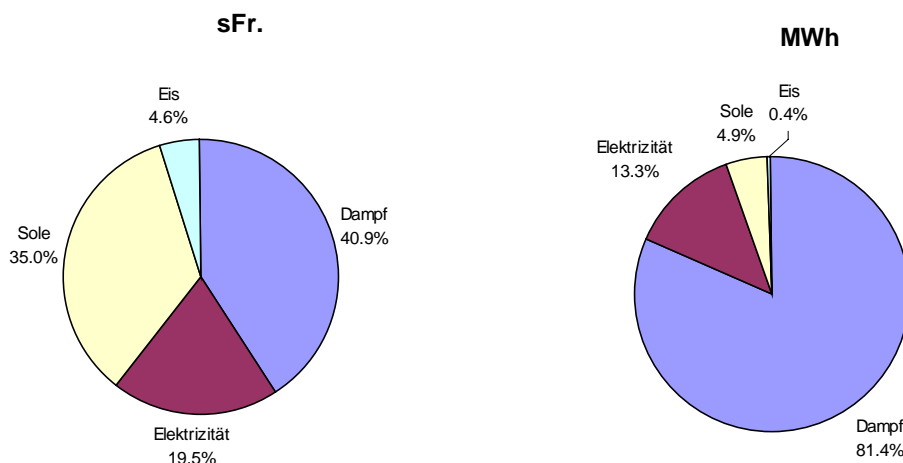
Produzierte Chemikalienmenge	11'000 t	-
Produktionsdampf <sup>1</sup>	14'200 MWh	518'000 sFr.
Komfortdampf <sup>1</sup>	4'070 MWh	199'000 sFr.
Elektrizität	3'000 MWh	342'000 sFr.
Sole	1'100 MWh	614'000 sFr.
Eis <sup>2</sup>	850 t	80'800 sFr.
Fabrikwasser	1'340'000 m <sup>3</sup>	215'000 sFr.
Trinkwasser	52'400 m <sup>3</sup>	53'500 sFr.
Stickstoff (gasförmig)	858'000 Nm <sup>3</sup>	172'000 sFr.
Druckluft	4'280'000 Nm <sup>3</sup>	193'000 sFr.
Total	-	2'390'000 sFr.

In Abbildung 2-5 ist die Aufteilung des Energieverbrauches von K-90 aufgeführt. Ein Vergleich mit Abbildung 2-4 zeigt deutliche Unterschiede. Der Strom nimmt im Produktionsgebäude einen viel unbedeutenderen Stellenwert ein, als im K-90 (auch wenn hier bemerkt werden muss, dass die Eisproduktion im K-90 ebenfalls über den Stromverbrauch abgerechnet wurde, jedoch die für analoge Zwecke verwendete Sole im Produktionsgebäude einzeln aufgeführt wird; der Stromverbrauch der Eisproduktion im K-90 macht ca. 25 % des Gesamtstromverbrauches aus (also ca. 10.5 % bei der Aufteilung nach MWh resp. ca. 12.4 % bei der Aufteilung nach Kosten)). Dies ist sicherlich darauf zurückzuführen.

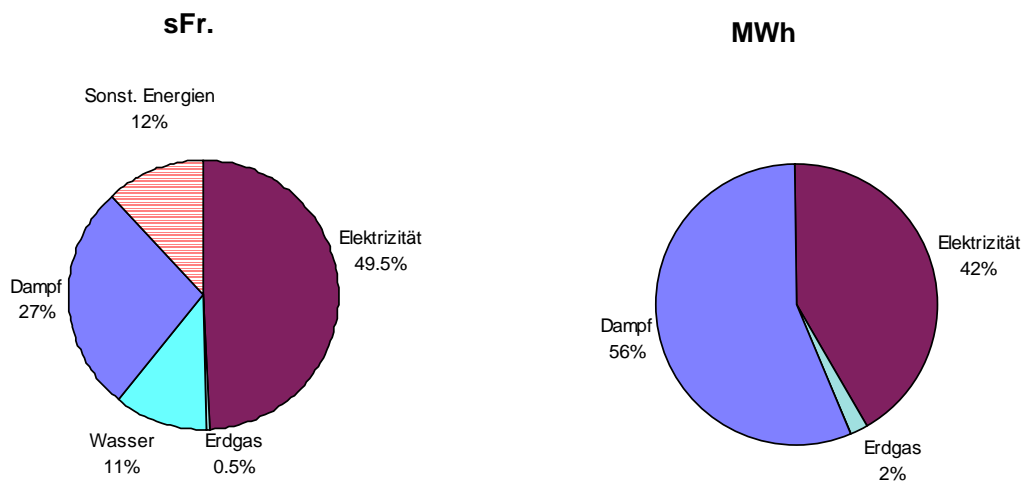
<sup>2</sup> 1 Tonne Dampf entsprechen 0.80749 MWh

<sup>3</sup> 1 Tonne Eis entsprechen 10.8 MWh

ren, dass im Produktionsgebäude nicht nur Reaktionen bei moderaten Temperaturen durchgeführt werden, sondern auch strengere Reaktionsbedingungen und Destillationen vorkommen, welche einen vermehrten Dampfeinsatz erfordern. Erneut kann erkannt werden, dass die Elektrizität eine hochwertige und teure Energie darstellt: Ihr prozentualer Anteil steigt beim Übergang der Berechnung auf MWh-Basis zur Basis sFr. Unter der Annahme, dass sich der energetische Nutzen eines Energieträgers (wieviel seiner Energie tatsächlich nutzbringend übertragen lässt (Konzept der Exergie eines Energiestromes)) in seinem Preis niederschlägt, wird dieser Sachverhalt einsichtig. Das gleiche Bild zeigt auch die Sole, welche zwar gut einen Drittel der Kosten, aber nur ca. einen Zwanzigstel der Energiebezüge in MWh ausmacht. Selbst kleine Energieeinsparungen dürften sich hier somit deutlich in den Kosten niederschlagen.

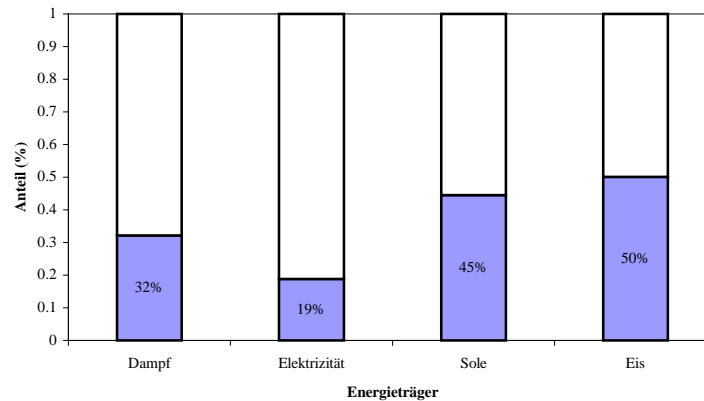


**Abbildung 2-4:** Aufteilung des Energieverbrauchs im Produktionsgebäude (inkl. Gebäude B) nach Kosten und nach MWh (Datenbasis: 1999)



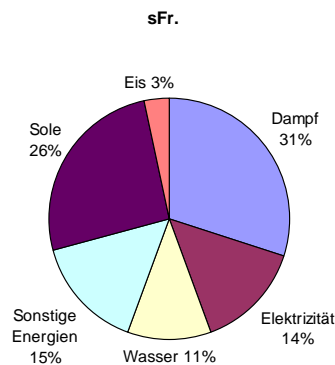
**Abbildung 2-5:** Aufteilung des Energieverbrauchs im K-90 nach Kosten und nach MWh (Datenbasis: 1998; Quelle: (Blickenstorfer 1999))

Aus Abbildung 2-6 ist der Anteil des Energieverbrauches des Produktionsgebäudes in Bezug auf das Ciba SC Werk Schweizerhalle ersichtlich. Ein bedeutender Anteil der Energie (sowohl Dampf, als auch Elektrizität, Sole und Eis) werden durch die Produktion im zu untersuchenden Produktionsgebäude konsumiert.



**Abbildung 2-6:** Anteil des Energieverbrauches (in MWh) des Produktionsgebäudes (inkl. Gebäude B) am Gesamtverbrauch des Werkes Schweizerhalle von Ciba SC (Datenbasis: 1999)

Die gesamten Energiekosten des Produktionsgebäudes betrugen im Jahre 1999 ca. 2.3 Mio. sFr. Die Aufteilung dieses Betrages auf die verschiedenen Energieträger ist aus Abbildung 2-7 ersichtlich. Es wird deutlich, dass der gesamte Wasserkonsum (sowohl Trink-, als auch Fabrikwasser) und die Sonstigen Energieträger (Stickstoff und Druckluft) zusammen ca. einen Viertel der gesamten Energiekosten ausmachen. Die Energieträger, auf welche sich das Projekt fokussieren wird (Sole, Eis, Dampf und Elektrizität), machen somit den Hauptteil (ca.  $\frac{3}{4}$ ) der Energiekosten aus. Ein weiterer Grund der Fokussierung auf diese Energieträger ist die Vergleichbarkeit mit (Blickenstorfer 1999).



**Abbildung 2-7:** Gesamtaufteilung der Kosten aller Energieträger im Produktionsgebäude (inkl. Gebäude B) (Datenbasis: 1999)

### 3 Zusammenarbeit

Das vorliegende Projekt wird in Zusammenarbeit mit Ciba SC in Schweizerhalle durchgeführt. Als Fallstudie fungiert hierbei ein Produktionsbetrieb in Schweizerhalle. Eine detaillierte Auflistung der näheren Betreuer seitens der Ciba SC und ihrer Funktion kann Tabelle 3-1 entnommen werden.

**Tabelle 3-1:** Betreuer des Dissertationsprojektes seitens der Ciba SC und ihre Funktionen

Lenkungsteam	Dr. W. Tschanen (EHS Koordinator)	Leiter und Koordinator des Projektes bei Ciba SC
	R. Schmid (Betriebsleiter)	Leiter des Produktionsgebäudes
	A. Kofler (Leiter Betriebsengineering)	Energiebeauftragter; Ansprechpartner
Projektteam	M. Gahan (Projektleiter Energie)	Energiebeauftragter und Mentor
	R. Gisin (Meister)	Meister des Produktionsgebäudes; Ansprech-partner für spezifisch den Betrieb betreffende Fragen; Unter-stützung bei Messungen / Installationen
	S. Häring (Betriebsingenieur)	Betriebsingenieur des Produktionsgebäudes; Ansprechpartner bei Installationen etc.

## 4 Perspektiven für 2001

Die Betriebsvorschriften (BVOs) der verschiedenen im Produktionsgebäude produzierten Substanzen sollen einer genaueren Prüfung unterzogen werden und daraus der theoretische Energieverbrauch der einzelnen Reaktionen und Produktionsschritte eruiert werden. Erste theoretische Modelle der Energieverbräuche können mit den von (Blickenstorfer 1999) entwickelten Modellen verglichen werden.

Zu Beginn des neuen Jahres sollte im Produktionsgebäude ein computerbasiertes Energieinformationssystem installiert sein, welches stündliche Messungen des Energieverbrauches erlaubt. Die bereits jetzt vorhandenen Messstellen (Globalmessungen am Gebäudeeingang) werden in einer ersten Phase mit diesem System verbunden. Diese Daten zusammen mit den genauen Produktionsdaten und den BVOs werden einen ersten Vergleich des theoretischen und des praktischen Energieverbrauches zulassen. Mit Hilfe dieses Vergleiches lassen sich genauere Energie-modelle auf Gebäudeebene erarbeiten.

Durch den genaueren Einblick in den Energieverbrauch, den diese Messungen liefern, lassen sich eventuell erste grosse Energieverbraucher ausmachen und die weiteren Untersuchungen können fokussierter durchgeführt werden. Weitere Untersuchungen auf Anlagenkomplex- und Anlagenebene (evtl. auch bereits auf detaillierteren Ebenen (vgl. (ISA 1995))) können sodann durchgeführt werden. Diese Untersuchungen verlangen die Installation weiterer Messstellen und umfangreiche Messungen. Ob diese ebenfalls direkt über das Energieinformationssystem geführt werden können, steht zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht fest. Die Installation dieser Messstellen wird voraussichtlich einen Grossteil der Arbeit im nächsten Jahr in Anspruch nehmen.

Zudem wird die Ausarbeitung einer vertieften Methodologie zur Energieanalyse und die Generierung weiterer Prozessmodelle fortgeführt.

## 5 Publikationen 2000

Im Jahre 2000 wurden keine Publikationen oder öffentliche Vorträge gemacht.

## 6 Literatur

- Ashton, G. (1993). "Design of Energy Efficient Batch Processes." *Energy Efficiency in Process Technology*, P. A. Pilavachi, ed., Elsevier Applied Science, London, 1050-1062.
- Bhatt, M. S. (2000). "Energy Audit Case Studies I - Steam Systems." *Applied Thermal Engineering*(20), 285-296.
- Blickenstorfer, C. (1999). "Analyse des Energieverbrauchs eines Mehrprodukte-Batch-Betriebes," Ph.D., ETH, Zurich.
- Boustead, I., and Hancock, G. F. (1979). *Handbook of Industrial Energy Analysis*, John Wiley & Sons, New York.
- Breniere, F., Maugain, P., and Zibell, L. (1990). "Formation et Pratique de l'Audit Energétique et de la Prévention de la Pollution de l'Air dans l'Industrie Tchecoslovaque." *Rev. Gén. Therm. Fr.*, 29(347), 656-657.
- Ganji, A. R. (1999). "Conducting an Energy Audit." *Chemical Processing*, 62(9), 64-70.
- Grau, R., Graells, M., Corominas, J., Espuña, A., and Puigjaner, L. (1996). "Global Strategy for Energy and Waste Analysis in Scheduling and Planning of Multiproduct Batch Chemical Processes." *Computers chem. Engng.*, 20(6/7), 853-868.
- Hoshide, R. K. (1995). "Effective Energy Audits." *Energy Engineering*, 92(6), 6-17.
- ISA. (1995). "Batch Control Part 1: Models and Terminology." *ISA-S88.01-1995*, ISA, Raleigh, NC.
- Kreß, A., and Renn, O. (2000). "Ökologische Steuerreform - ein Gewinn für die Umwelt oder ein Verlust an Arbeitsplätzen." *Gaia*, 9(1), 58-59.
- Linnhoff, B., Townsend, D. W., Boland, D., Hewitt, G. F., Thomas, B. E. A., Guy, A. R., and Marsland, R. H. (1982). *A User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy*, The Institution of Chemical Engineers, Rugby, UK.
- Oppenheimer, O., and Sorensen, E. (1997). "Comparative Energy Consumption in Batch and Continuous Distillation." *Computers chem. Engng.*, 21(Suppl.), 529-534.
- Schlesinger, M., Eckerle, K., Haker, K., Hobohm, J., Hofer, P., Scheelhaase, J. D., Kreuzberg, M., Nolden, A., Schuppe, T., Schulze, W., and Starrmann, F. (2000). *Prognos Energiereport III: Die längerfristige Entwicklung der Energiemärkte im Zeichen von Wettbewerb und Umwelt*, Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart.
- Stoltze, S., Mikkelsen, J., Lorentzen, B., Petersen, P. M., and Qvale, B. (1995). "Waste-Heat Recovery in Batch Processes Using Heat Storage." *Journal of Energy Resources Technology; Transactions of the ASME*, 117(2), 142-149.