

## Beitragsserie: Umweltmanagement in Hochschulen

Hrsg.: Prof. Dr. M. Matthies, Universität Osnabrück, Institut für Umweltsystemforschung, D-49069 Osnabrück

**Teil I:** Das Osnabrücker Umweltmanagement-Modell für Hochschulen (1/99, S. 55-62)

**Teil II:** Die Energiebilanz der Universität Osnabrück (2/99)

**Teil III:** Die Verkehrsbilanz der Universität Osnabrück (3/99)

**Teil IV:** Ein Abfallkonzept für die Universität Osnabrück (4/99)

**Teil V:** Das geplante Umweltinformationssystem der Universität Osnabrück (5/99)

## Teil II: Die Energiebilanz der Universität Osnabrück

### Analyse der Energieflüsse und Folgerungen

Peter Viebahn, Michael Matthies

Universität Osnabrück, Institut für Umweltsystemforschung, D-49069 Osnabrück

**Korrespondenzautor:** Dipl.-Math. Dipl.-Systemwiss. Peter Viebahn; e-mail: Peter.Viebahn@usf.Uni-Osnabrueck.DE;  
Internet: <http://www.usf.Uni-Osnabrueck.DE/projects/sue>

### Zusammenfassung

Das "Osnabrücker Umweltmanagement-Modell für Hochschulen" sieht als zentralen Baustein die Durchführung einer Umweltpflichtprüfung von Hochschulen in Form einer Ökobilanz vor. Der vorliegende Beitrag zeigt die Aufstellung der Energiebilanz für die Universität Osnabrück. Mittels der Software Umberto® wurden die Stoff- und Energieflüsse modelliert, die sich bei der Energieversorgung der Hochschule ergeben.

Danach gehen alleine 37% der Primärenergie in den Vorketten der Energieerzeugung verloren, hauptsächlich bei der Stromerzeugung. Die in der Universität eingesetzte Endenergie teilt sich zu 37% auf Strom und zu 63% auf Wärme auf, während das Verhältnis der CO<sub>2</sub>-Emissionen nahezu umgekehrt ist. Die auf die Fläche bezogenen Stromverbräuche liegen zum Teil oberhalb vergleichbarer Hochschulgebäude in Deutschland, jedoch insgesamt niedriger als bei allen anderen niedersächsischen Universitäten. Da in der Universität jedoch sowohl die Strom- als auch die Wärmeverbräuche und mit ihnen die klimaschädlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen ansteigen, wird die Universität ohne verstärkte Anstrengungen das CO<sub>2</sub>-Reduktionsziel der Bundesregierung nicht erreichen. Empfohlen werden der vermehrte Einsatz von Blockheizkraftwerken zur Eigenstromerzeugung sowie Einsparmaßnahmen insbesondere bei Stromanwendungen mit seinen überproportional hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen.

**Schlagwörter:** Betrieblicher Umweltschutz; CO<sub>2</sub>-Emissionen; Energiebilanz; Energieeinsparung; Energieversorgung; Modellierung; Ökobilanz; Simulation; Stoff- und Energieflußanalyse; Umberto®; Umweltmanagement; Umweltpflichtprüfung; Universität Osnabrück

### Abstract

#### The Energy Balance of the University of Osnabrück: Analysis of the Energy Flows and Conclusions

One central aspect of the environmental management system for universities developed in Osnabrück is the environmental audit of universities as realized by an ecobalance. This article deals with modelling of the material and energy flows caused by the energy supply of the University in Osnabrück using the software Umberto®. The result is the university's energy balance.

37% of the primary energy gets lost in the pre-processes of energy production, mainly during electricity generation. The final energy consumption of the university can be split into 37% electricity and 63% heat, whereas the relation of CO<sub>2</sub> emissions is almost the opposite. Related to this area, the electricity consumption in the different buildings is partially above that seen in similar university buildings in Germany, but below that of all the other values observed for universities located in Lower Saxony. Both the electricity and heat consumption, and therefore also the climate-damaging emissions of CO<sub>2</sub>, have increased over the past years. Without further measures the university will not be able to achieve the CO<sub>2</sub>-reduction target of the federal government. Recommended are the increased use of district heating power stations to produce the university's own electricity with lower emissions and energy saving measures, especially in the field of electricity which is responsible for high CO<sub>2</sub>-emissions.

**Keywords:** Ecobalance; CO<sub>2</sub> emissions; energy balance; energy supply; environmental audit; environmental management; material and energy flow analysis; modelling operational environmental protection; Umberto®; saving energy; simulation; University of Osnabrück

## 1 Einleitung

Im ersten Beitrag dieser Serie (VIEBAHN und MATTHIES, 1999) wurde ein Überblick über das "Osnabrücker Umweltmanagement-Modell für Hochschulen" sowie seine einzelnen Bausteine gegeben. Den Kern des Umweltmanagementsystems bildet die Umweltprüfung, die für die Universität Osnabrück mittels einer (betrieblichen) Ökobilanz für die Jahre 1994 - 1996 durchgeführt wurde. Insgesamt wurden die Stoff- und Energieflüsse der Bereiche Energie, Verkehr, Wasser, Abwasser, Materialien und Abfälle betrachtet. Von ihnen werden in diesem Beitrag die Modellierung der Energieflüsse, ihre Ergebnisse sowie deren Konsequenzen für die Umweltpolitik der Universität dargestellt.

Die Zielsetzungen der gesamten Ökobilanz bestimmten auch die Ziele der Energieflußmodellierung:

- Zunächst sollte ein *Gesamt-Überblick über die Energieverbräuche* und ihre Umweltauswirkungen auf der Ebene der Hochschule bzw. der einzelnen Gebäude gegeben werden. Ihre Ergebnisse sind dann Ausgangspunkt für spätere, detaillierte Analysen einzelner Gebäude oder Fachbereiche mit hohen Energieverbräuchen bzw. Emissionen.
- Neben den reinen Energieverbräuchen der Universität sowie den (lokalen) Emissionen durch die Verbrennungsanlagen der Hochschule sollten auch die *Vorketten der Energieversorgung* berücksichtigt werden. Dies betrifft den Weg der Rohstoffe von der Förderung bis zu ihrem Einsatz sowie die Stromerzeugung in den Großkraftwerken.
- Angesichts der Klimaproblematik (Treibhauseffekt) waren die *CO<sub>2</sub>-Emissionen* und ihre Zuordnung zu einzelnen Verbrauchern von besonderem Interesse. Entsprechend der CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele der Bundesregierung (minus 25% bis 2005, bezogen auf 1990) und der Stadt Osnabrück (minus 25% bis 2010, bezogen auf 1987) müssen Instrumente entwickelt werden, wie die Emissionen der Universität reduziert werden können. Dazu müssen jedoch zunächst die Verursacher und die bisherige Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Universität bekannt sein.

Die Ergebnisse der Energieflußmodellierung sollen insgesamt die Grundlage bilden für Maßnahmen zur Reduzierung der universitären Ressourcen- und Energieverbräuche sowie ihrer Emissionen, zu denen sich die Universität Osnabrück 1997 mit der Verabschiedung ihrer Umweltleitlinien verpflichtet hat (Universität Osnabrück, 1997).

## 2 Modellierung der Energie- und Emissionsflüsse

### 2.1 Die Energieversorgung der Universität

Die Universität Osnabrück verteilt sich auf zwei Standorte: Die Geistes- und Gesellschaftswissenschaften mit ihren "niedriginstallierten" Gebäuden befinden sich in der Innenstadt, die Naturwissenschaften mit den "hochinstallierten" Ge-

bäuden am Standort "Westerberg". Erstere sind zum großen Teil in alten, denkmalgeschützten Gebäuden wie dem Osnabrücker Schloß untergebracht, woraus relativ hohe Wärmeverbräuche bei niedrigen Stromverbräuchen resultieren. Die Naturwissenschaften dagegen befinden sich in Neubauten der achtziger Jahre; dort sind eher die hohen Stromverbräuche von Bedeutung, die sich in Physik, Chemie und Biologie ergeben.

Der gesamte Standort "Westerberg" wird, zusammen mit den Gebäuden der benachbarten Fachhochschule, über eine einzige Heizzentrale versorgt. Die Wärme wird über ein gasbetriebenes Blockheizkraftwerk (BHKW) sowie gas-/ölbetriebene Spitzenlastkessel erzeugt; der im BHKW gleichzeitig gewonnene Strom deckt nur zu etwa 25% den Strombedarf dieses Standortes und wird durch Stromlieferungen der Stadtwerke ergänzt. Diese bekommen ihren Strom wiederum von den Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerken (RWE). Im Innenstadtbereich existieren drei gasbetriebene Heizzentralen, an die mehrere Gebäude angeschlossen sind, sowie Gas- oder Ölheizungen für einzelne Gebäude. Der gesamte Strombedarf wird hier über die Stadtwerke gedeckt.

Abbildung 1 zeigt schematisch dargestellt die sich aus dieser Situation ergebenden und zu modellierenden Energie- und Emissionsflüsse der Universität (der Standort "Innenstadt" wurde dabei in zwei Teilstandorte aufgeteilt): In den Vorketten wird die an die Universität gelieferte Endenergie (Erdgas, Heizöl und Strom) erzeugt, dabei entstehen entsprechende Emissionen. Heizöl und Erdgas werden in jedem der drei Teilbereiche in die jeweiligen Heizzentralen oder -anlagen geleitet. Die aus ihnen entstehende Wärme, Emissionen und Wärmeverluste werden zusammen mit dem Strom und den Emissionen aus den Vorketten auf die einzelnen Gebäude verteilt. Nach der Nutzung der Energie verbleiben Emissionen und Wärmeverluste als Output eines jeden Gebäudes.

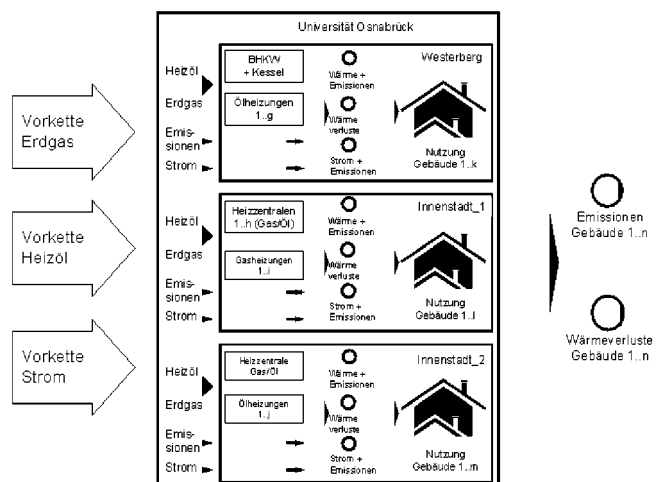


Abb. 1: Schema der Energie- und Emissionsflüsse für die Universität Osnabrück

2.2 Simulation der Stoff- und Energieflüsse mit Umberto®

Die oben dargestellten Stoff- und Energieflüsse wurden mit der Software Umberto® modelliert (SCHMIDT und HÄUSLEIN, 1997). Umberto® dient dazu, auf komfortable Weise Produkt-, Prozeß- und auch Betriebsökobilanzen zu erstellen. Das Programm basiert auf der Methodik der Stoffstromnetze, wie sie von Petri in den 60er Jahren entwickelt wurden (ROSENSTENGEL und WIENAND, 1991). Im Unterschied zu den oft angewendeten Flußdiagrammen können hier zusätzlich Stoffbestände und deren Änderung simuliert werden. Stoffstromnetze setzen sich danach zusammen aus *Transitionen*, in denen Umwandlungsprozesse beschrieben werden, *Stellen*, in denen Bestände abgebildet werden können und *Verbindungen*, in denen Flüsse zwischen Stellen und Transitionen erfolgen. Durch Kombination dieser drei Elemente können beliebig komplexe Netzstrukturen entworfen werden. Eine Vielzahl von Prozessen ist in Umberto® bereits über Input-Output-Relationen beschrieben. In **Abbildung 2** wird als Beispiel die Simulation eines Blockheizkraftwerkes (BHKW) mit Spitzenlastkessel gezeigt.

sition T3 besteht aus einer Gleichung, in der die Differenz zwischen A1 und A4 gebildet und dem Fluß A2 zugewiesen wird. Dadurch ist der Input für die Transition *T1: Gasheizung* (der Spitzenlastkessel) bekannt, so daß auch dort die entsprechende Wärme und Emissionen ermittelt und zu den passenden Stellen geleitet werden können ("Vorwärts-Rechnung"). Der Stelle P8 wird noch der nötige Strombedarf entnommen.

Dieses Beispiel verdeutlicht bereits einen generellen Aspekt von Umberto®: Indem zwei verschiedene Berechnungsrichtungen möglich sind, können "unbekannte" Stoffströme ermittelt werden. Möglich wird dies durch die in den Transitionen "versteckten" Informationen über die Prozesse. Das oben dargestellte Stoffflußnetz kann auf komfortable Weise mit einem Netzeditor aufgebaut werden. Über eine graphische Benutzeroberfläche können die Netzelemente bequem mittels Maus an ihre Positionen gesetzt bzw. die Verbindungen zwischen Elementen gezogen werden. Per drag-and-drop können Materialien aus der Materialliste den Transitionen, Stellen und Verbindungen zugewiesen werden. Ein weiterer

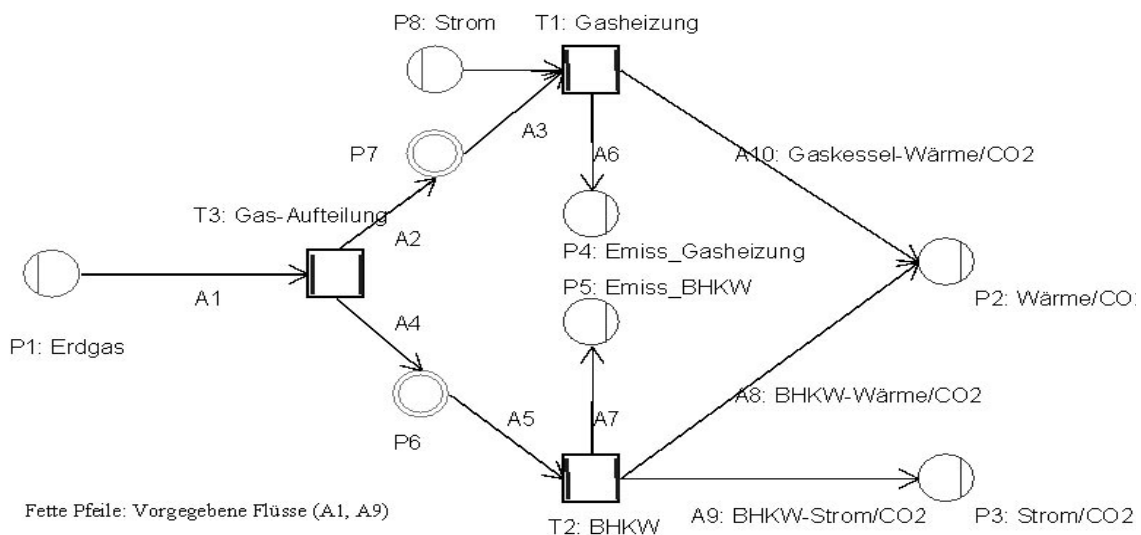


Abb. 2: BHKW und Spitzenlastkessel

Das System wird begrenzt durch die Inputstellen P1 und P8 und die Outputstellen P2 bis P5. Analog zur realen Situation an der Universität ist nur der Gasinput in die gesamte Anlage (Fluß A1) und der durch das BHKW erzeugte Strom (Fluß A9) bekannt. Ausgehend vom Fluß A9 wird über die Transition *T2: BHKW* der nötige Gasinput (A5) sowie die entstehenden Emissionen (A7) und die erzeugte Wärme (A8) als Output berechnet. Die Wärme wird in die Stelle P2 geleitet; die CO<sub>2</sub>-Emissionen werden anteilig dem Wärme- und Stromoutput zugewiesen und die anderen Emissionen in der Stelle *P5: Emiss\_BHKW* gesammelt.<sup>1</sup> Der nun berechnete Gasinput von T2 wird weitergeleitet zur Transition *T3: GasAufteilung*, in der von der Stelle P1 als Input der gesamte Gasbezug A1 eintrifft ("Rückwärts-Rechnung"). Die Tran-

vorteil ist, Teilnetze über Netzhierarchien darstellen zu können. So könnte das obige Netz Inhalt einer neuen Transition *T: BHKW\_plus\_Kessel* werden, die in ein größeres Netz, wie es in **Abbildung 3** gezeigt wird, eingehängt wird.

Abbildung 3 stellt die gesamte Energieversorgung des Standortes "Westerberg" dar. Neben dem oben beschriebenen BHKW wurde noch eine Ölheizung sowie der externe Strombezug ergänzt. Weiterhin wurden die Vorketten der Heizöl-

<sup>1</sup> Aufgrund der speziellen Betrachtung der CO<sub>2</sub>-Emissionen wurden nur sie zusammen mit der entstehenden Wärme und dem Strom weitergeleitet; die anderen Emissionen könnten jedoch auch auf P2 und P3 verteilt werden, anstatt sie in P5 zu sammeln.

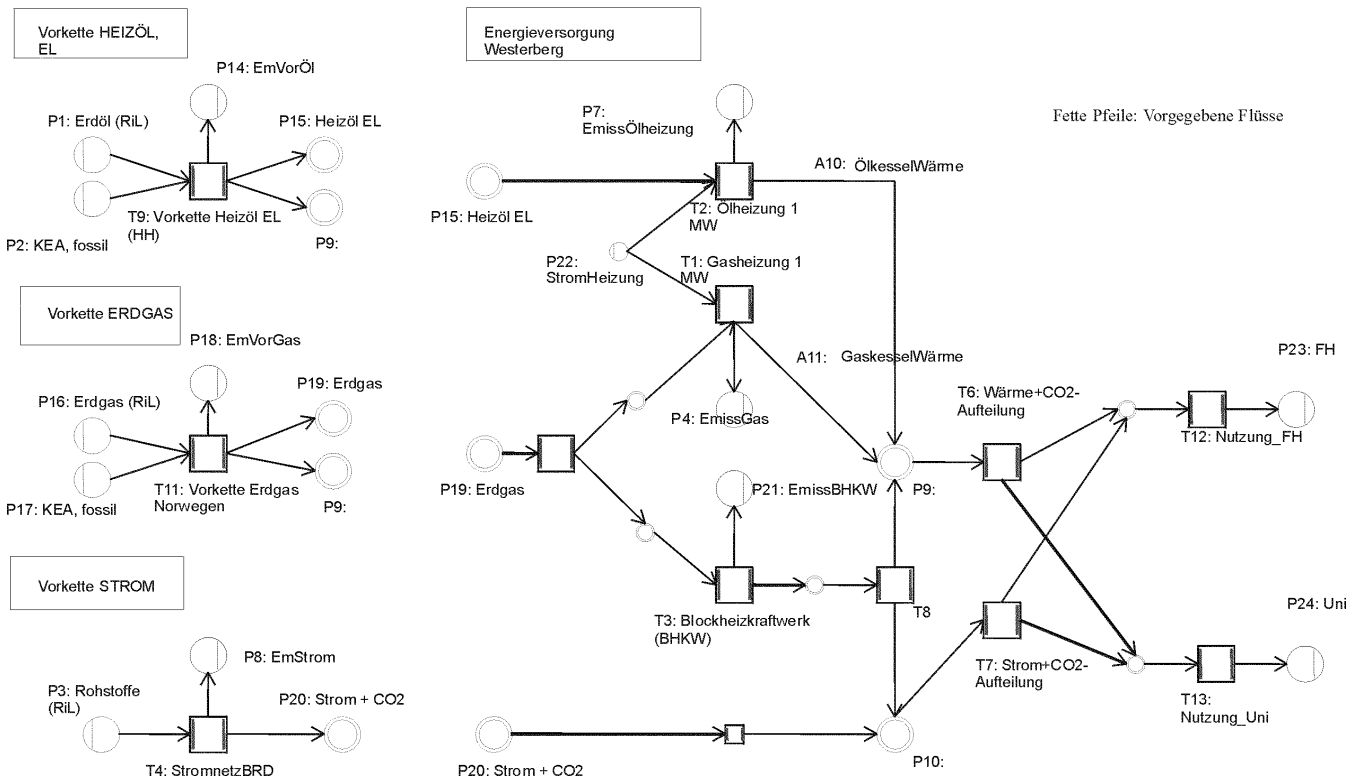


Abb. 3: Energieversorgung Standort "Westerberg"

und Erdgaslieferung hinzugefügt. Die fett gezeichneten Flüsse stellen wiederum die vorgegebenen Größen dar (da die FH keinerlei Energiezähler hat, wird ihr Verbrauch durch Differenzbildung ermittelt). Die Aufteilung von Wärme, Strom und CO<sub>2</sub>-Emissionen wurde hier nur in Uni und FH vollzogen; hinter der Transition T13: *Nutzung\_Uni* verbirgt sich die weitere Aufteilung auf die einzelnen Uni-Gebäude. Auf ähnliche Weise wie in obiger Abbildung für den Bereich "Westerberg" dargestellt, setzen sich die Teilnetze für die Bereiche "Innenstadt\_1" und "Innenstadt\_2" zusammen. Verwendet werden die Module Gasheizung und Ölheizung zusammen mit der Stromversorgung.

Folgende Daten wurden in das Netz eingegeben:

- Nutzenergieverbräuche der Gebäude, die von einer Heizzentrale aus versorgt werden
- Endenergieinput in Heizzentralen und in Gebäude mit Einzelheizung
- Dichte und Heizwert der verwendeten Energiearten und
- Wirkungsgrade der Heizanlagen.

Ausgehend von diesen Daten und den in Umberto® vorhandenen Transitionen (Stromnetz BRD, Erdgas Norwegen, Heizöl) wurden dann die fehlenden Flüsse berechnet. Dargestellt werden im folgenden die Ergebnisse der Simulation des Jahres 1994, das repräsentativ für die Energiesituation an der Universität ist.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1 Energieverbräuche und CO<sub>2</sub>-Emissionen 1994

##### Energiebilanz

In der Energiebilanz werden alle Stoffe aufgelistet, die zur Erzeugung der benötigten Energie (Strom und Wärme) in das gewählte Netz hereinfließen (z.B. Rohstoffe) und es wieder in anderer Form (z.B. Emissionen) verlassen. Als Bilanzraum wählt Umberto® alle Elemente zwischen Input- und Outputstellen. **Tabelle 1** stellt die Energiebilanz der Universität Osnabrück für 1994 dar.<sup>2</sup>

Da die Bilanzgrenze so gewählt wurde, daß die Vorketten mit einbezogen wurden, erscheinen auf der Input-Seite nicht direkt "Energie, thermisch" und "Energie, elektrisch", wie es in anderen Betriebsökobilanzen üblich ist. Stattdessen sind die Energieträger angegeben, aus denen die Endenergie erzeugt wird. Ebenfalls entstehen einige Stoffe wie Aschen und Schlacken oder REA-Gips nicht in der Hochschule, sondern in den vorgelagerten Prozessen. Insgesamt bilanziert wurden folgende Energieverbräuche:

<sup>2</sup> Dabei muß beachtet werden, daß ein Teil der benachbarten FH mit bilanziert ist, was aufgrund fehlender Zähler in der FH nicht anders machbar war. In den folgenden Tabellen und Abbildungen ist der FH-Anteil jedoch eliminiert.

**Tabelle 1:** Energiebilanz der Universität Osnabrück 1994

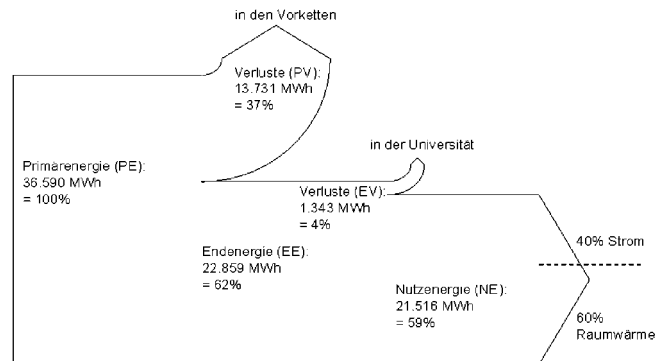
Input			Output		
Material	Menge	Einheit	Material	Menge	Einheit
KEA (Kernenergie)	8.946	MWh	Abfälle		
KEA (Wasserkraft)	473	MWh	Abfälle zur Beseitigung (AzB)		
KEA, fossil gesamt	34.161	MWh	Sondermüll (AzB)	251	kg
KEA, un spez.	337	MWh	Aschen u. Schlacken (AzB)	129.398	kg
Kühlwasser	167.313	m <sup>3</sup>	Aschen u. Schlacken (AzV)	400.161	kg
Rohstoffe in Lagerstätten (RiL)			Emissionen (Luft)		
Energieträger (RiL)			Staub (L)	5.052	kg
Erdgas (RiL)	2.077.255	m <sup>3</sup>	Verbindungen, anorg. (L)		
Erdöl (RiL)	207.755	l	Ammoniak (L)	30	kg
Kohlen (RiL)			Chlorwasserstoff (L)	236	kg
Braunkohle (RiL)	2.733	t	Distickstoffmonoxid (L)	300	kg
Steinkohle (RiL)	781	t	Fluorwasserstoff (L)	9	kg
Nichtenergieträger (RiL)			Kohlendioxid (L)		
Mineralien (RiL)			Kohlendioxid, fossil (L)	9.158	t
Kalkstein (RiL)	63	t	Kohlenmonoxid (L)	3.920	kg
Wasser			NOx (L)	10.860	kg
Wasser, un spez.	812	m <sup>3</sup>	Schwefeldioxid (L)	4.014	kg
			VOC (L)		
			Methan (L)	14.936	kg
			NMVOC (L)		
			NMVOC, un spez. (L)	678	kg
			Mineralien		
			Gips (REA)	112.236	kg
			VOC, un spez. (L)	3	kg
			Wasser		
			Abwasser (Kühlwasser)	163.037	m <sup>3</sup>
			Abwasser, un spez.	214	m <sup>3</sup>

- Energie, elektrisch: 10.247 MWh (davon entfallen 7.801 MWh auf die Uni)
- Energie, thermisch: 17.653 MWh (davon entfallen 13.091 MWh auf die Uni)

In den folgenden Ausführungen werden von den in der Energiebilanz aufgeführten Stoffen die Energieträger und -verbräuche sowie die CO<sub>2</sub>-Emissionen näher betrachtet.

**Energieflußdiagramm**

Ein Energieflußdiagramm zeigt den Weg der eingesetzten Energie von der Primärenergie bis zur Nutzenergie und die bei der Umwandlung entstehenden Verluste auf. In **Abbildung 4** ist der aggregierte Energiefluß der Universität für 1994 dargestellt.<sup>3</sup> Von den 36.590 MWh eingesetzter Primärenergie (Erdgas und Erdöl aus der Lagerstätte sowie Rohstoffe für die Stromerzeugung) gehen alleine in den Vorketten 37% über Umwandlungsverluste, hauptsächlich bei der Stromerzeugung, verloren. An Endenergie (Erdgas L, Heizöl EL und Strom) er-



**Abb. 4:** Energieflußdiagramm Universität Osnabrück 1994

reichen die Universität noch 63%. Von diesen gehen weitere 5,9% durch die Heizungsanlagen und das BHKW verloren, so daß 59% der Primärenergie als Raumwärme (60%) bzw. Strom (40%) verwendet werden können.

Teilt man das Diagramm weiter nach den einzelnen Energiearten auf, wird ersichtlich, daß die Verluste in den Vorketten zu 97% durch die Stromerzeugung verursacht werden. Um dem Ziel einer Verringerung der Ressourcen- und Energieverbräuche näher zu kommen, sollte die Universität sich daher bemühen, die eigene Stromerzeugung über Blockheizkraft-

<sup>3</sup> In dieser Darstellung ist aus technischen Gründen noch ein Teil der Mensa enthalten, was aber die Größenordnung der Energieflüsse, die hier verdeutlicht werden soll, nicht wesentlich ändert.

**Tabelle 2:** Energieverbräuche und CO<sub>2</sub>-Emissionen Universität Osnabrück 1994, absolut

Energieart	Energie in MWh	CO <sub>2</sub> -Emissionen in t	Kosten in DM	Spez. Kosten in Pf/kWh
Wärme gesamt	13.091	2.769	516.460	4
Strom gesamt	7.801	4.278	1.845.639	23,7
Summe	20.892	7.047	2.362.099	

werke weiter auszubauen. Durch den hohen Wirkungsgrad von ca. 90% könnten bei der gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung erhebliche Mengen an Rohstoffen und auch an CO<sub>2</sub>-Emissionen eingespart werden.

### Energieverbräuche und CO<sub>2</sub>-Emissionen

**Tabelle 2** verdeutlicht die Zusammenhänge zwischen Wärme, Strom und CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie den Kosten.

Der *Energieverbrauch* der Universität setzt sich zu 37% aus Strom und zu 63% aus Wärme zusammen. Das Verhältnis der *CO<sub>2</sub>-Emissionen* ist jedoch genau umgekehrt: Während die Wärmeversorgung ca. 39% der CO<sub>2</sub>-Emissionen verursacht, entstehen durch den Stromverbrauch 61% des Kohlendioxids, der Großteil davon wiederum außerhalb der Universität. Hieran erkennt man deutlich die hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Stromerzeugung, die durch den schlechten Wirkungsgrad der Großkraftwerke von ca. 30% bedingt sind. Das Verhältnis fällt bei den *Energiekosten* noch deutlicher aus: 78% der Kosten mußten für die Strom- und nur 22% für die Wärmeversorgung ausgegeben werden. Sowohl aus ökologischen (CO<sub>2</sub>-Reduktion) als auch aus ökonomischen Gründen sollten daher vorrangig Stromsparmaßnahmen ergriffen werden.

Eine andere Darstellung ergibt die Aufteilung der Energieverbräuche nach Gebäudeklassen sowie der Bezug zu deren Hauptnutzfläche (→ *Tabelle 3*). In "normalinstallierten" Gebäuden befinden sich hauptsächlich Büroräume und Kursräume; "hochinstallierte" Gebäude sind die Physik-, Chemie- und Biologiegebäude, und die "mittelninstallierten" Gebäude liegen zwischen diesen beiden Klassen.

Deutlich sichtbar sind die unterschiedlichen spezifischen Verbräuche und Emissionen zwischen den verschiedenen Klassen und bezüglich der verschiedenen Energiearten: Während in den normalinstallierten Gebäuden nur 43 kWh/m<sup>2</sup>

an *Strom* verbraucht werden, sind es in den hochinstallierten Gebäuden 274 kWh/m<sup>2</sup>. Beim *Wärmeverbrauch* nehmen die normalinstallierten Gebäude mit 210 kWh/m<sup>2</sup> den Spitzenplatz ein, während die anderen Klassen geringfügig darunter liegen. Die hochinstallierten Gebäude hätten insgesamt einen höheren Verbrauch, wenn nicht die durch die Forschungseinrichtungen anfallende Wärme über Wärmetauscher zurückgewonnen und zur Beheizung der Gebäude verwendet würde. Bei den *CO<sub>2</sub>-Emissionen* zeigt sich ein ähnliches Verhältnis wie bei den Stromverbräuchen, was sich durch die überproportional hohen Emissionen durch die Stromerzeugung erklärt.

Mit dieser Aufstellung wird deutlich, daß Hochschulen nicht einfach anhand ihrer Gesamtverbräuche verglichen werden können. Aufgrund ihrer unterschiedlichen Ausstattungen sollte zumindest eine Unterteilung in die drei Gebäudetypen erfolgen, die von der Universität Osnabrück verwendet werden. Wichtig wäre, ein spezielles Kennzahlensystem für Hochschulen zu entwickeln, da die bisherigen Systeme z.B. von Dienstleistern oder Unternehmen wegen der ganz unterschiedlichen Voraussetzungen (Nutzer, Nutzungszeiten, Arten der Nutzung, Forschung) nicht übertragen werden können.

### 3.2 Situation auf Gebäudeebene

Mangels solcher differenzierter Kennzahlen für Hochschulen wurde zur weiteren Einschätzung der Energieverbräuche der einzelnen Gebäude der Universität auf eine Untersuchung der ages GmbH zurückgegriffen (ages, 1997), die über die zur Zeit umfangreichste Datensammlung von Energie- und Wasserkennwerten der verschiedensten Gebäudeklassen in Deutschland verfügt. Erfasst wurden dort 7.200 Objekte mit Verbrauchswerten überwiegend aus den Jahren 1992 bis 1994. Von den verschiedenen in der ages-Untersuchung aufgeführten Gebäudearten wurden als Vergleichsgebäude "Institute für Lehre und Forschung" und darin "Institutsgebäude 1" (entspricht in etwa den niedriginstallierten Gebäuden) und

**Tabelle 3:** Energieverbräuche und CO<sub>2</sub>-Emissionen 1994 nach Gebäudeklassen

Klasse	Strom	Strom spez. <sup>a</sup>	Wärme	Wärme spez. <sup>a</sup>	CO <sub>2</sub> -Emiss.	CO <sub>2</sub> -Emiss. spez. <sup>b</sup>
	MWh	kWh/m <sup>2</sup>	MWh	kWh/m <sup>2</sup>	t	kg/m <sup>2</sup>
Normalinstalliert	1.729	43	7.394	210	2.672	67
Mittelninstalliert	1.570	119	2.421	183	1.257	95
Hochinstalliert	4.502	274	3.276	199	3.102	189
Gesamt	7.801	112	13.091	202	7.031	101

<sup>a</sup> Bezugsfläche ist die Hauptnutzfläche (HNF). Für Strom und Wärme wurden unterschiedliche HNF eingesetzt, da z.B. Tiefgaragen nicht beheizt sind

<sup>b</sup> Für die CO<sub>2</sub>-Emissionen wurde die strombezogene HNF verwendet

Tabelle 4: Vergleichskennwerte für Strom und Wärme für Hochschulgebäude (nach ages, 1997, umgerechnet auf HNF)

Gebäudegruppe	Statistische Größen	Strom in kWh/m <sup>2</sup>	Wärme in kWh/m <sup>2</sup>
"Institutsgebäude 1"	Modalwert	28	336
	Unteres Quartilmittel	18	196
"Institutsgebäude 2 und 3"	Modalwert	60	420
	Unteres Quartilmittel	32	174

"Institutsgebäude 2 und 3" (entspricht in etwa den mittel- und hochinstallierten Gebäuden) ausgewählt (ages, 1997, Anhang 1, S. 35).<sup>4</sup> Für diese beiden Gebäudegruppen wurden der ages-Untersuchung der Modalwert und das untere Quartilmittel der untersuchten Gebäude entnommen und von der dort verwendeten Bruttogeschoßfläche (BGF) auf die in den Universitäten verwendete Hauptnutzfläche (HNF) umgerechnet.

Das untere Quartilmittel wird im folgenden als obere Grenze für noch zu tolerierende spezifische Energiewerte eines Gebäudes verwendet und mit  $v_g$  bezeichnet. Gebäude, deren Verbrauch oberhalb dieser Grenzlinie  $v_g$  liegt, sollten saniert werden. Dies steht im Einklang mit der Richtlinie 3807 des

<sup>4</sup> Für genauere Untersuchungen müßten die Gebäude weiter unterteilt werden in Verwaltungsgebäude mit normaler oder hoher technischer Ausstattung, Rechenzentrum, Sportbauten, Schwimmhallen, Bibliotheksgebäude, für die von ages ebenfalls Zahlen vorliegen (allerdings wiederum allgemein und nicht speziell für Hochschulnutzungen).

VDI, die das untere Quartilmittel als Richtwert vorschreibt (Verein Deutscher Ingenieure, 1994). "Dieser Kennwert ist als Richtwert geeignet, da er empirisch belegbar ist (es gibt tatsächlich Gebäude mit diesem Kennwert) und weil eine theoretische Bestimmung von Zielwerten ansonsten methodisch problematisch ist." (ages, 1997, S. 16)

Neben den spezifischen Verbräuchen sollten jedoch auch die absoluten Werte in die Betrachtung mit einbezogen werden. Die Gebäude der Uni Osnabrück mit den höchsten Wärmekennzahlen haben beispielsweise nur geringe absolute Wärmeverbräuche. Gebäude mit hohen absoluten Werten können jedoch auch niedrige spezifische Verbräuche haben und müssen eher nicht saniert werden. Im folgenden wurde daher eine Darstellung gewählt, in der für alle Gebäude die spezifischen gegen die absoluten Verbräuche aufgetragen wurden. Gebäude erster Sanierungspriorität befinden sich somit im oberen rechten Segment (hohe spezifische *und* hohe absolute Verbräuche). Als Beispiel für diese Vorgehensweise

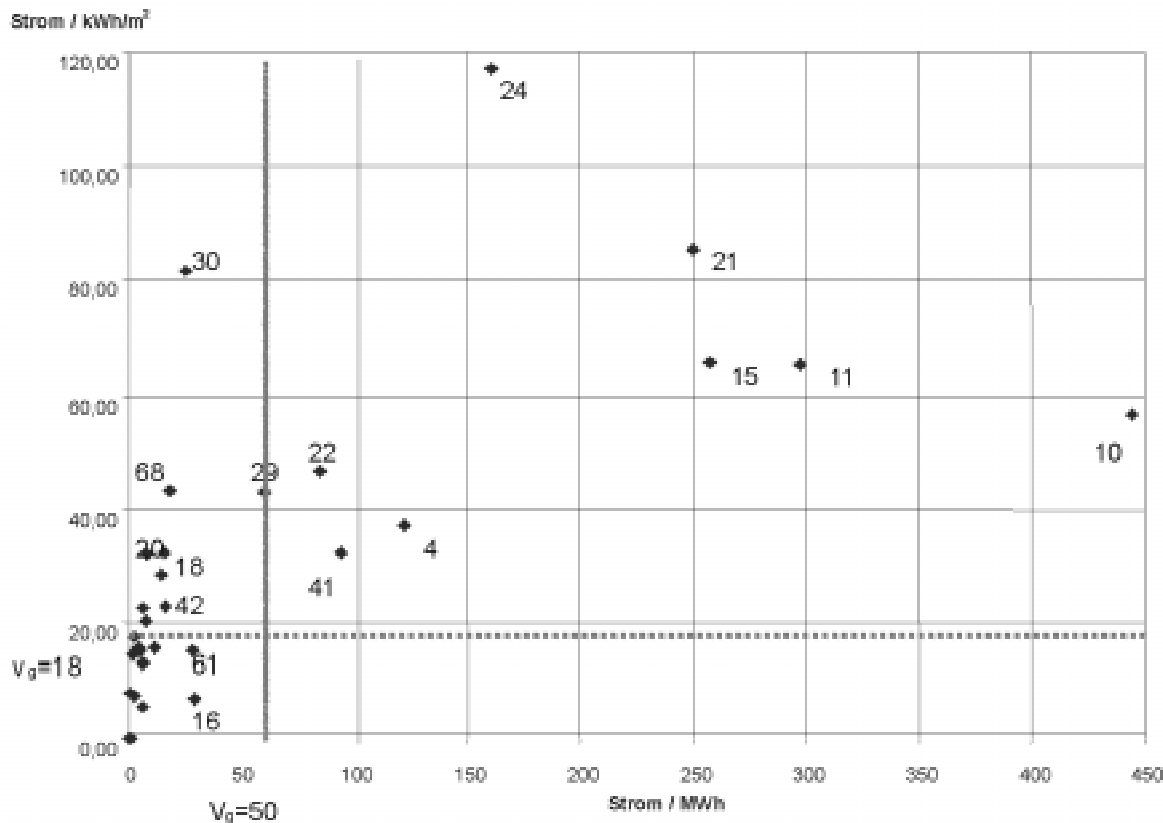


Abb. 5: Absolute und spezifische Stromverbräuche der niedriginstallierten Gebäude, 1994

wird in **Abbildung 5** die Situation bei den Stromverbräuchen der niedriginstallierten Gebäude gezeigt:

Nach **Tabelle 4** betrug für die Gebäude der Klasse "Instituts-Gebäude 1" der Modalwert 28 kWh/m<sup>2</sup> und das untere Quartilsmittel 18 kWh/m<sup>2</sup>. Es wird daher der Zielwert  $v_g = 18$  kWh/m<sup>2</sup> verwendet. Vergleichswerte für den absoluten Verbrauch liegen bisher nicht vor, daher wurden relativ restriktiv  $V_g = 50$  MWh gewählt. Schließlich geht es darum, die *absoluten* Verbräuche und damit die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren.

Betrachtet man den Zielbereich (oberer rechter Quadrant), fallen zunächst die *Gebäude 10, 11, 15, 21* und *24* mit hohen spezifischen Verbräuchen (über 56 kWh/m<sup>2</sup>) und hohen absoluten Verbräuchen (über 150 MWh) auf. Gebäude *24* (Sportzentrum) fällt aufgrund seiner Funktion aus dem Rahmen und sollte getrennt betrachtet werden. Gebäude *21* ist der Neubau der Jura/Wirtschafts-Bibliothek aus den 80er Jahren – immerhin das schlechteste aller Gebäude dieser Klasse. Gebäude *15* aus den 70er Jahren ist fast genau so schlecht wie der Altbau Schloß (Gebäude *11*). Auffallend ist der hohe Verbrauch des Gebäudekomplexes *10*, ein Teil ist der Bibliotheksneubau wiederum aus den 80er Jahren. Als zweite Gruppe mit spezifischen Verbräuchen zwischen 32 kWh/m<sup>2</sup> und 47 kWh/m<sup>2</sup> und absoluten Verbräuchen zwischen 60 MWh und 122 MWh folgen die *Gebäude 4, 22, 29* und *41*.

Analog zum Stromverbrauch wurden die Gebäude auch nach ihrem Wärmeverbrauch klassifiziert. Damit liegt sowohl für den Strom- als auch für den Wärmebereich ein erster Anhaltspunkt vor, in welchen Gebäuden hohe Einsparpotentiale vorhanden sind. Diese Untersuchung ersetzt jedoch nicht eine Grobanalyse der Gebäude, die nun aber viel gezielter vorgenommen werden kann. Diskutiert werden sollte die Festlegung der Grenzverbräuche  $V_g$  und  $v_g$ . Während für den spezifischen Verbrauch  $v_g$  eine sichere Abschätzung gewählt wurde, indem über die ages-Untersuchung auf den Durchschnittsverbrauch einer Vielzahl von Gebäuden zurückge-

griffen wurde, ist die Grenzlinie  $V_g$  des absoluten Verbrauchs willkürlich gesetzt worden. Hierfür sollten differenziertere Kriterien entwickelt werden.

Die spezifischen Verbräuche der im Zielbereich "Strom" liegenden niedriginstallierten Gebäude betragen das ein bis 4,7-fache des gewählten Zielwertes  $v_g = 18$  kWh/m<sup>2</sup>. Dementsprechend sind Einsparpotentiale von bis zu 80% vorhanden. Durchschnittlich könnten derzeit schon 30% des Stromverbrauchs technisch-wirtschaftlich eingespart werden (Stadwerke Hannover, 1996). Bezüglich des Wärmeverbrauchs wird der Zielwert  $v_g = 196$  kWh/m<sup>2</sup> um das 1,2 bis 1,3-fache überschritten, so daß auch hier ein Einsparpotential von 30% möglich wäre. Genauere Aussagen können erst nach einer Feinanalyse sowohl der Strom- als auch der Wärmeverbräuche getroffen werden.

### 3.3 Gebäude-Ranking nach CO<sub>2</sub>-Emissionen

Eines der Ziele der Simulation der Energieverbräuche mit Umberto® war, den einzelnen Gebäuden (und später auch den einzelnen Organisationseinheiten und Fachbereichen) ihre CO<sub>2</sub>-Emissionen zuzuordnen. **Tabelle 5** zeigt einen Ausschnitt aus dem Ranking der CO<sub>2</sub>-Emissionen aller Uni-Gebäude 1994. Die Gebäude sind geordnet nach ihren spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen, bezogen auf die HNF (Spalte fünf). Je weiter oben die Gebäude liegen, um so schlechter ist ihre CO<sub>2</sub>-Bilanz. Da die CO<sub>2</sub>-Emissionen von der Höhe der Strom- und Wärmeverbräuche abhängig sind, sind diese Verbräuche in den Spalten sechs bis neun mit aufgeführt.

Den Spitzenplatz mit 211 kg/m<sup>2</sup> CO<sub>2</sub>-Emissionen belegt *Gebäude 35 (Biologie)*, was insbesondere im hohen Stromverbrauch begründet ist. Vom Stromverbrauch zu urteilen, müßte als nächstes das *Gebäude 32 (Physik/Chemie)* folgen; es wird jedoch übertroffen von *Gebäude 24 (Sportzentrum)* mit 182 kg/m<sup>2</sup>, wozu insbesondere dessen hoher Wärmeverbrauch beiträgt. Bemerkenswert sind die nächsten fünf Gebäude in der Rangfolge: Die *Gebäude 30, 69, 68*

**Tabelle 5:** Spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen der Uni-Gebäude 1994 in absteigender Reihenfolge

Rang	Gebäude	HNF m <sup>2</sup>	CO <sub>2</sub> -Emiss. t	Spezif. CO <sub>2</sub> -Emiss. kg/m <sup>2</sup>	Strom MWh	Strom kWh/m <sup>2</sup>	Wärme MWh	Wärme kWh/m <sup>2</sup>
1	35	8.047	1.697	211	2.543	316	1.587	197
2	24	1.371	250	182	161	117	744	543
3	32	8.393	1.405	167	1.959	233	1.689	201
4	30	314	49	155	26	81	117	373
5	69	150	22	147	2	14	70	467
6	68	426	53	124	18	43	140	329
7	26	363	40	109	7	20	119	328
8	22	1.822	189	104	85	47	662	364
9	31	9.318	928	100	1.313	141	1.590	171
10	11	4.550	444	97	298	65	1.266	278
...	...	...	...	...	...	...	...	...
34	47	0	1	0	2	0	0	0
	Summe	69.659	7.031	101	7.801	112	13.093	202,03

sind drei alte kleinere Gebäude am Standort Westerberg, die *Gebäude 26* und *22* sind alte Gebäude in der Innenstadt. Ihnen allen gemeinsam ist ein sehr niedriger absoluter und spezifischer Stromverbrauch. Sie haben jedoch – läßt man das Sportzentrum einmal außer acht – die höchsten Wärme-kennzahlen der Universität trotz relativ geringen absoluten Verbrauchs. Dies ist an der Altbausubstanz mit sehr schlechter Isolierung und alten Fenstern begründet. Die Gebäude belegen daher Rang vier bis acht.

Erst danach folgt auf Rang neun das *Gebäude 31* mit 100 kg/m<sup>2</sup>. Es hat einen relativ geringen spezifischen Wärmeverbrauch, jedoch die fünfthöchste Stromkennzahl, was es wieder auf einen vorderen Platz bringt. Die folgenden Gebäude haben alle CO<sub>2</sub>-Emissionen von unter 100 kg/m<sup>2</sup> (nicht dargestellt). Während zunächst vorwiegend Gebäude mit hohen spezifischen (und absoluten) Stromverbräuchen die Reihenfolge bestimmen, folgen danach Gebäude mit hohen Wärme-, aber niedrigen Stromverbräuchen. Letztere sind alles Altbauten in der Innenstadt.

Zur Ermittlung von Grenzwerten für die CO<sub>2</sub>-Emissionen wurde das im vorherigen Kapitel dargestellte Verfahren rückwärts angewandt (→ *Abb. 6*). Alle Gebäude, die sich bisher im "Zielgebiet" bzgl. der Strom- und Wärmeeinsparung befanden, wurden auch bezüglich der CO<sub>2</sub>-Emissionen in diesem Segment angeordnet. Dies sind zunächst die *Gebäude 11, 22* und *24*. Dadurch ergeben sich Grenzlinien bei  $v_G = 97 \text{ kg/m}^2$  bzw.  $V_G = 150 \text{ t}$ . Bezieht man auch noch die vier *Gebäude 4, 10, 15* und *21* mit ein, die nur bzgl. des Stromverbrauchs im Zielgebiet liegen, aber hohe absolute Wärmeverbräuche haben, ergeben sich als Grenzlinien  $v_G = 55 \text{ kg/m}^2$  bzw.  $V_G = 150 \text{ t}$  (für niedriginstallierte Gebäude).

### 3.4 Zeitliche Entwicklung seit 1990

#### Energieverbräuche

Betrachtet man den Zeitraum 1990 - 1996, ist eine Zunahme sowohl des Strom-, als auch des Wärmeverbrauchs der Universität zu verzeichnen (Wärme, witterungsbereinigt: +14,6%, Strom: +8%). Der Anstieg der (absoluten) Verbräuche ist als negativ zu beurteilen, insbesondere unter dem Gesichtspunkt, daß in den letzten Jahren von der technischen Abteilung die verschiedensten Energiesparmaßnahmen durchgeführt wurden. Ohne diese Maßnahmen sähe die Situation jedoch noch erheblich schlechter aus. Betrachtet man nur die absoluten Verbräuche, kann das Bild jedoch verfälscht werden, da auch Änderungen der Bezugsgröße, hier die Hauptnutzfläche, beachtet werden müssen. Von daher wurde auch der Verlauf der spezifischen Verbräuche untersucht (→ *Abb. 7*). Hier bietet sich jedoch ein ähnliches Bild, auch wenn die spezifischen Verbräuche nicht so stark ansteigen wie die absoluten: Beim (witterungsbereinigten) Wärmeverbrauch ist von 1990 - 1996 eine Steigerung von 12,1%, beim Stromverbrauch von 5,5% zu erkennen. Die Gebäudefläche (HNF) stieg in der gleichen Zeit wärmebezogen um 2,2% und strombezogen um 1,9% an.

Da die Verbräuche auch unabhängig von der Fläche steigen, sind die Gründe woanders zu suchen. Einen Anhaltspunkt bietet die Aufteilung der Gebäude in die drei Klassen *normal-, mittel- und hochinstalliert* an, wie sie in **Kapitel 3.1** dargestellt wurde. Danach war die Zunahme des *spezifischen Stromverbrauchs* in den hochinstallierten Gebäuden fast doppelt so hoch wie bei den normalinstallierten; in den mittelinstallierten Gebäuden fielen dagegen die Verbräuche. Der

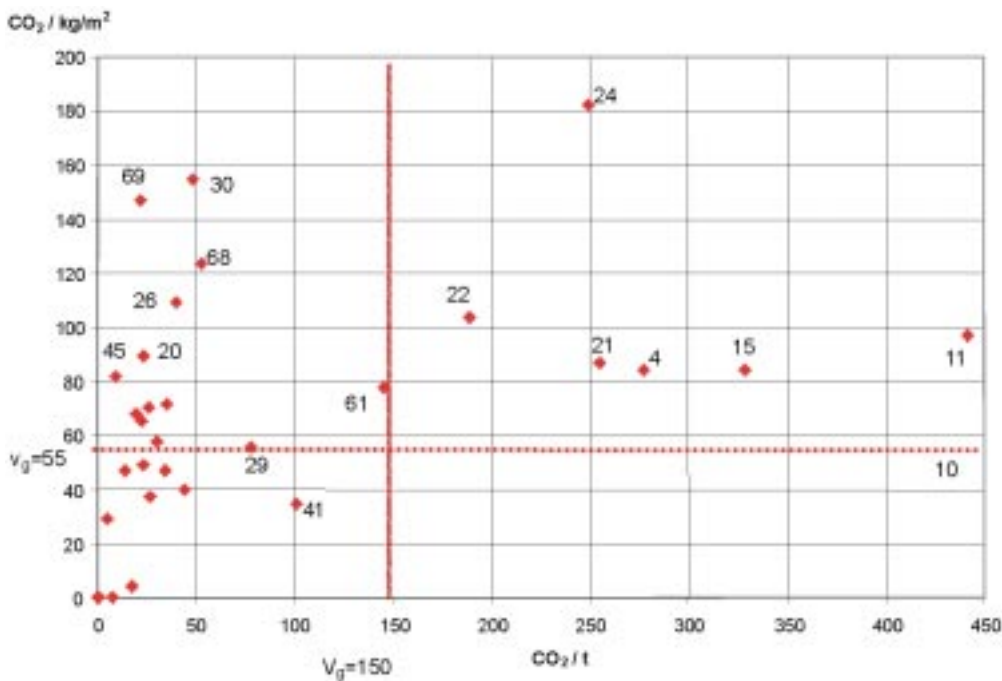


Abb. 6: Absolute und spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen der niedriginstallierten Gebäude, 1994

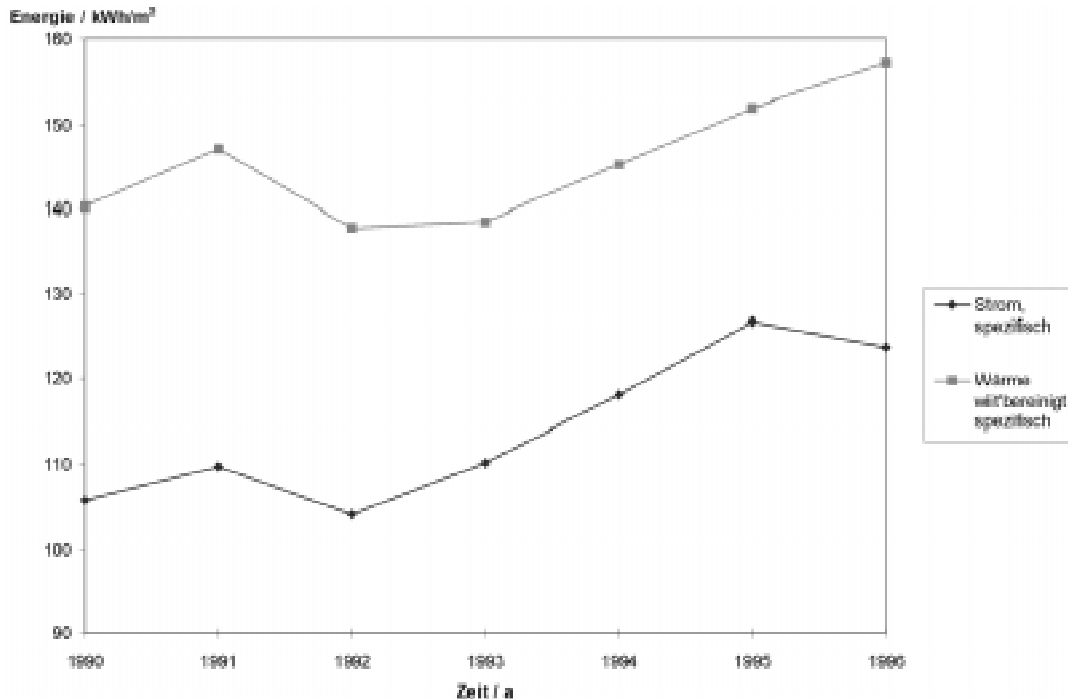


Abb. 7: Strom- und Wärmeverbräuche der Universität Osnabrück 1990 – 1996, spezifisch und bereinigt

Anstieg der Verbräuche in den normalinstallierten Gebäuden könnte auf die zunehmende Ausstattung mit Computern und anderen Bürogeräten wie Drucker und Fax zurückgeführt werden. Dieser Einfluß dürfte sich auch in den Naturwissenschaften bemerkbar machen; dort dürfte der Hauptanteil der Steigerung jedoch an der zunehmenden Geräteausstattung in der Forschung liegen. In den Folgejahren sollten diese Ursachen geklärt werden, indem z.B. einzelne repräsentative Gebäude detailliert auf ihre Stromverbraucher untersucht werden. Eine Vorgehensweise für solche Stromverbrauchsanalysen ist an der Universität Kiel entwickelt und beispielhaft in einem hochinstallierten Gebäude getestet worden (METASCH, 1995).

Anders sieht die Situation bei den *spezifischen Wärmeverbräuchen* aus, die in allen Klassen ansteigen, deren Steigung jedoch bei den normal- und hochinstallierten Gebäuden doppelt so hoch ausfällt wie bei den mittelninstallierten Gebäuden. Der Anstieg kann an der schlechter werdenden Bausubstanz der alten Gebäude, an verlängerten Gebäudeöffnungszeiten, an der zunehmenden Anzahl der Nutzer/innen oder auch an deren abnehmendem Umweltbewußtsein liegen. Der Einfluß der einzelnen Gründe sollte untersucht werden, da zur Zeit nicht bekannt ist, wie sie sich im einzelnen auswirken.

Insgesamt gesehen ist eine Reduzierung der Strom- und Wärmeverbräuche dringend notwendig. Positiv zu beurteilen ist jedoch, daß die Universität Osnabrück im Vergleich zu den anderen niedersächsischen Universitäten diejenige mit den niedrigsten spezifischen Stromverbräuchen ist. Andere Universitäten haben einen 1,04 bis 4 mal höheren spezifischen Stromverbrauch zu verzeichnen (PHILIPPS, 1996). Dies

ist insbesondere auch unter dem Aspekt positiv zu würdigen, daß Stromsparmaßnahmen in Hochschulen vom Land Niedersachsen bisher nicht unterstützt wurden. So konnte eine von der Universität seit 1984 immer wieder beantragte Sanierung der Beleuchtungsanlage in einem ihrer Hauptgebäude mit einem Stromeinsparpotential von 400.000 kWh pro Jahr erst 14 Jahre später durchgeführt werden.<sup>5</sup>

### CO<sub>2</sub>-Emissionen

Aufgrund der Klimaproblematik kommt der Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen eine wichtige Rolle zu. Während früher nur Einsparziele für Strom und Wärme vorgegeben wurden, werden ihnen nun CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele übergeordnet. Die Universität Osnabrück sollte in ihrem Umweltprogramm ebenfalls eine verbindliche Reduktionsrate festlegen und sich mindestens dem Ziel der Bundesregierung anschließen, die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis zum Jahr 2005 um 25% zu reduzieren, basierend auf 1990. Wie die folgende Abbildung zeigt, ist sie jedoch von diesem Ziel noch weit entfernt. Von 1990 - 1996 stiegen die CO<sub>2</sub>-Emissionen um 24,3% an – in diesem Zeitraum stände ihnen eine Reduktion um 10% als Ziel gegenüber. Läßt man die witterungsbedingt hohe Steigerung in 1996 weg, ist von 1990 - 1995 immer noch ein Ansteigen um 10% zu verzeichnen. Trotzdem bleibt zwischen Ist und Soll eine Differenz von 20% bestehen.

<sup>5</sup> Die Untersuchung des Autors zu dieser Beleuchtungsanlage stellt auch gleichzeitig einen Leitfadens dar, wie Einsparpotentiale bei Beleuchtungsanlagen erkannt, berechnet und mittels Contracting umgesetzt werden können. (VIEBAHN, 1995)

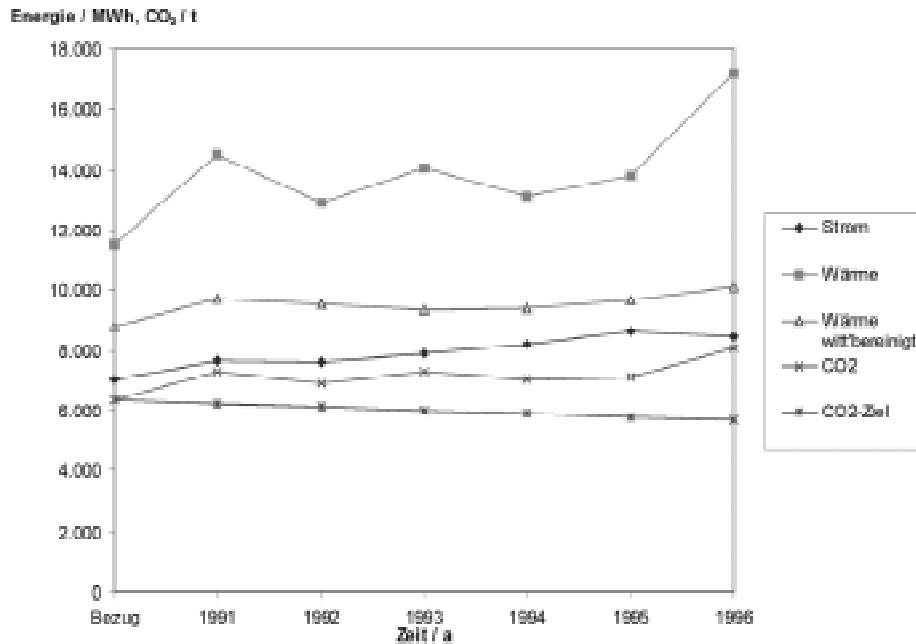


Abb. 8: Soll-Ist-Vergleich der CO<sub>2</sub>-Emissionen 1990 - 1996

In **Abbildung 8** ist zum Vergleich auch noch der Verlauf der Wärmeverbräuche (real und witterungsbereinigt) und der Stromverbräuche verzeichnet. Deutlich zu sehen ist, daß sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen proportional zum Wärmeverbrauch entwickelt haben. Weniger deutlich zu sehen sind überproportionale Änderungen bzgl. des Stromverbrauchs, da der Stromverbrauch nur unwesentlich anstieg. Auf der anderen Seite sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen zum größten Teil durch den Stromverbrauch verursacht. Der strombedingte Anteil beträgt über die Jahre 1990 - 1995 gesehen durchschnittlich 60%, während der Wärmeanteil nur 40% ausmacht. Der strombedingte Anteil wäre insgesamt noch höher, wenn nicht ca. 17% des Stroms relativ umweltfreundlich durch das BHKW erzeugt würde. Zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen kommen daher folgende Strategien mit der Priorität entsprechend ihrer Reihenfolge in Frage:

- Senkung des Stromverbrauchs (REN)
- Erhöhung des Anteils selbsterzeugten Stroms (REN)
- Senkung des Wärmeverbrauchs (REN)
- Einsatz regenerativer Energiequellen (Photovoltaik und Solarthermie) (REG)

Diese Maßnahmen werden auch als REN&REG-Strategien bezeichnet. (ALTNER et al., 1995) REN bedeutet Rationelle Energieverwendung, womit sowohl die Energieeinsparung durch Einsatz modernster Technologien als auch die vermehrte Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplung gemeint ist. REG meint die Verwendung regenerativer Energien.

### 3.5 Gesamteinschätzung der Modellierung

Obwohl die Aufstellung des Stoff- und Energieflußnetzes zunächst einen erheblichen Aufwand bedeutete, kann der

Nutzen insgesamt als positiv beurteilt werden, wie alleine die folgenden fünf Aspekte zeigen:

- Der erste Gewinn ergibt sich schon vor der eigentlichen Modellierung, indem die Struktur der Energieversorgung aufgearbeitet und schematisch dargestellt wird. Ein solcher schematischer Energieflußplan existierte bislang in der Universität nicht; er ist aber Voraussetzung, um Mängel und Unzulänglichkeiten bei der Energieversorgung aufzudecken.
- Die Simulation der Energieflüsse mit Umberto® impliziert eine einheitliche Berechnung der Wärmeverbräuche. Bisher wurden die Energieverbräuche bei einem Teil der Gebäude als Endenergie (eingehende Energie), bei einem anderen Teil als Nutzenergie (gemessene Wärmemenge) ausgegeben. Bei letzteren wurden somit die Umwandlungsverluste von ca. 10 Prozent nicht mit ausgewiesen. Indem in Umberto® zwei verschiedene Berechnungsrichtungen möglich sind, können vom gemessenen Wärmeverbrauch auf die nötige Primär- und Endenergie zurückgerechnet und danach die dort entstehenden Emissionen korrekt berechnet werden.
- Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit, Szenarien auf dem Stoffflußnetz durchführen zu können. So kann z.B. ohne großen Aufwand berechnet werden, um wieviel Prozent sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen verringern würden, wenn entweder weniger Strom von den Stadtwerken bezogen und mehr Strom im eigenen BHKW erzeugt würde, der Verbrauch in den Gebäuden um x Prozent vermindert würde oder beide Maßnahmen zusammen ergriffen würden. Simuliert werden könnten z.B. auch die Auswirkungen auf Energieverbrauch und Emissionen bei der

Zusammenlegung der Heizzentralen im Innenstadtbereich und/oder der Ersatz ihrer Heizungsanlagen durch ein BHKW. Dies würde manuell eine erhebliche Mehrarbeit bedeuten.

- Durch die graphische Benutzeroberfläche von Umberto® ist nicht zuletzt ein komfortables Arbeiten möglich. Im Gegensatz zum Nachschlagen in Büchern und Tabellen sind alle Daten auf einen Blick vorhanden oder können einer Transition bzw. dem Input-Monitor entnommen werden. Änderungen in der Energiestruktur, z.B. durch den Neubau eines Gebäudes oder die Umstellung einer Heizungsanlage, können einfach durch Hinzufügen oder Ändern der entsprechenden Elemente vorgenommen werden. Durch den SQL-Datenbank-Zugriff ist eine Nutzung der in der Betriebstechnik vorhandenen Dateien der Zählerstände bis auf kleine Änderungen möglich, ohne daß jedes Jahr die einzelnen Werte manuell in Umberto® eingegeben werden müssen. Dadurch können die (Stoff- und) Energiebilanzen der Folgejahre – bis auf die Nachbearbeitung – weitgehend automatisch erstellt werden.
- Schließlich sind in Umberto® verschiedene Verfahren zur Bewertung der Sachbilanz integriert, so daß aus den vorhandenen Daten komfortabel eine Wirkungsbilanz erstellt werden kann. Die Bewertung wurde hier nicht vorgestellt, da in sie auch die Anteile durch den Verkehrs- und Abfallbereich eingehen.

#### 4 Ausblick

Die hier für 1994 gezeigte Energiebilanzierung wurde für die Jahre 1995 und 1996 fortgeschrieben, so daß mit den anderen Bereichen (Wasser, Verkehr u.a.) zusammen die Ökobilanz für das Jahr 1996 aufgestellt werden konnte. Für den 1999 erscheinenden Umweltbericht der Universität werden auch für 1997 und 1998 die Teilbilanzen zusammengestellt. Die Ergebnisse der bisherigen Energiebilanzierung bilden die Grundlage für die Aufstellung von Umweltzielen und eines Umweltprogramms für den Bereich Energie, die im Entwurf vorliegen und in 1999 beschlossen werden sollen. Die *Umweltziele* enthalten konkrete quantitative und zeitliche Vorgaben, bis zu welchem Zeitpunkt welche Verbesserungen in dem jeweiligen Teilbereich geplant sind. Im *Umweltprogramm* werden die Verantwortlichen in jedem Aufgabenbereich sowie die Mittel festgeschrieben, mit denen die Umweltziele erreicht werden sollen. Kern des Energiemanagements werden detaillierte Analysen der Energieverbräuche der einzelnen Gebäude sowie Maßnahmen zur Mitarbeiterinformation und – motivation zum Thema Energieeinsparung sein.

Die Umsetzung des Umweltprogramms wird jedoch mangels finanzieller Ressourcen der Universität zunächst nicht ohne zusätzliche Unterstützung von Land und Bund möglich sein. Leider wurden selbst im Rahmen des Landesprogramms "Agenda 21 in Niedersachsen" die (allgemein) hohen Stromeinsparpotentiale nicht berücksichtigt und für

Landesliegenschaften wiederum nur die Senkung der Wärmeverbräuche (und da auch nur im Altbaubestand) vorgeschlagen (Runder Tisch Agenda 21, o.J., S. 17 und Niedersächsisches Umweltministerium, 1998).

#### Danksagung

Wir danken der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück, für die finanzielle Unterstützung durch die Förderung des Vorhabens *Stoff- und Energieflußanalyse einer Universität – Entwicklung eines Umweltmanagementsystems für Hochschulen am Beispiel der Universität Osnabrück* von November 1995 bis April 1998.

#### 5 Literatur

- ages (1997): Verbrauchskennwerte 1996 – Energie- und Wasserverbrauchskennwerte von Gebäuden in der Bundesrepublik Deutschland, Forschungsbericht der ages GmbH, Münster
- ALTNER, G.; DÜRR, H.P.; MICHELSEN, G.; NITSCH, J. (1995): Zukünftige Energiepolitik – Vorrang für rationelle Energienutzung und regenerative Energiequellen – Potentiale und Handlungsfelder – Eine diskursorientierte Studie im Auftrag der Niedersächsischen Energieagentur, *Economica*, Hannover
- METASCH, U. (1995): Untersuchungen zum Stromverbrauch – Effektivität von Maßnahmen zur rationellen Elektrizitätsverwendung am Beispiel des Instituts für Reine und Angewandte Kernphysik, Diplomarbeit an der Uni Kiel, Kiel
- PHILIPPS, O. (1996): Dezentrale El.-Energieabrechnung – Erfahrungen an der Techn. Univ. Clausthal, Vortrag auf der IKU-Tagung "Betrieblicher Umweltschutz in der Hochschule", 5./6. März 1996, Frankfurt
- Niedersächsisches Umweltministerium (1998): Presseinformation 2/98 vom 8.1.1998, Hannover
- ROSENSTENGEL B., WINAND, U. (1991): Petri-Netze – eine anwendungsorientierte Einführung, Vieweg: Braunschweig
- Runder Tisch Agenda 21 (o.J.): Zwischenbericht des Runden Tisches zum Dialog-Prozeß Agenda 21 in Niedersachsen, Hannover
- SCHMIDT, M.; HÄUSLEIN, A. (1997): Ökobilanzierung mit Computerunterstützung – Produktbilanzen und betriebliche Bilanzen mit dem Programm Umberto, Springer: Berlin
- Stadtwerke Hannover (1996): Integrierte Ressourcenplanung – Die LCP-Fallstudie der Stadtwerke Hannover AG, Doku-Band 2: Energiebilanzen und Angebotskurven, Hannover
- Universität Osnabrück (1997): Umwelt-Info Nr. 2: Umweltleitlinien der Universität Osnabrück, Osnabrück
- Verein deutscher Ingenieure (1994): VDI-Richtlinie 3807, Blatt 1: Energieverbrauchskennwerte für Gebäude. Heizenergie- und Stromverbrauchskennwerte, Entwurf, Düsseldorf
- VIEBAHN, P. (1995): Energieeinsparung durch Nutzlicht-Contracting – Ein Einsparkraftwerk für die Universität Osnabrück und die Widerstände dagegen, Möllmann: Paderborn
- VIEBAHN, P.; MATTHIES, M. (1999): Das Osnabrücker Umweltmanagement-Modell für Hochschulen – von den Umweltleitlinien bis zur Mitarbeiterbeteiligung (Überblick über die zehn Elemente); Beitragsserie: Umweltmanagement an Hochschulen, Teil I; in: UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox. 11 (1) 55-62

Eingegangen am: 17.02.1999

Akzeptiert am: 22.02.1999