

# **Fachartikel 2003**

**Prof. Dr. Dr.\* h.c. Herbert Eichele (Hrsg.)**

\*Staatsuniversität Tomsk Russland (TUSUR)

Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule Nürnberg

Keßlerplatz 12

90489 Nürnberg



---

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Online generierte VHDL-Module für arithmetische Operationen</b>	<b>S. 5</b>
Christian Meier, Prof. Dr. Jürgen Bäsig	
<b>Vergleichende Festigkeitsuntersuchungen an Mg-PSZ und Aluminiumoxid</b>	<b>S. 17</b>
Prof. Dr. Th. Frey, A. Frey R. Grimscheid, P. E. Metzler	
<b>Biomass: A Renewable Source of Energy for Selected Applications in Australia and Gemany</b>	<b>S. 27</b>
Dr. Mir-Akbar Hessame, Prof. Dr.-Ing. A. Hilligweg	
<b>Die Rolle der Mindestreserve im Eurosystem</b>	<b>S. 39</b>
A Practitioner´s Perspective on Profession Oriented Engineering Education	
<b>A Practitioner´s Perspective on Profession Oriented Engineering Educaton</b>	<b>S. 49</b>
Prof. Dr. Dr.* h.c. H. Eichele	
<b>Studienabbruch und „Dropouts“ an der Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule Nürnberg</b>	<b>S. 67</b>
Prof. Dr. P. Wellhöfer	
<b>Optimierung von Mehrkörpersystemen</b>	<b>S. 115</b>
Dipl.-Ing. (FH) K. Rübiger, Prof. Dr.-Ing. W. Theis	



# Online generierte VHDL-Module für arithmetische Operationen

**Christian Meier**  
**Prof. Dr. Jürgen Bäsig**  
**Prof. Dr. Hubert Karl**

Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule Nürnberg

Fachbereich  
Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik

## Abstract

Diese Veröffentlichung zeigt eine Möglichkeit auf, wie wiederverwendbare VHDL-Module eingesetzt werden können, damit die Implementierungszeit reduziert und die Flächennutzung bei Multiplikationen und Divisionen mit Konstanten optimiert wird. In einer Untersuchung bezüglich der typischen Eigenschaft, dass durch Vergrößern des Näherungsfehlers bei einer Multiplikation mit einer Konstanten eine Flächenreduktion erfolgt, wurde die Synthese der genäherten und der exakten Multiplikation exemplarisch auf zwei FPGAs und einem ASIC durchgeführt. Der entwickelte Algorithmus liefert die Aufbauvorschrift für die Näherung der Konstanten, die unmittelbar in eine entsprechende Hardwarerealisation umgesetzt werden kann. Die Konvergenz dieses Algorithmus wurde mathematisch bewiesen und in der Programmiersprache Perl implementiert.

Die Leistungsfähigkeit der automatisch generierten Operationen wurde durch eine regelungstechnische Anwendung verdeutlicht. Hierfür wurde ein Stabwagen-System, eine instabile Strecke, mittels eines digitalisierten Reglers ausgeregelt. Anschließend wurde der Regler in VHDL implementiert und mit einer Systemsimulation, die die digitalisierte Strecke sowie die Modelle der AD-/DA-Umsetzer einschließt, simuliert und anschließend am Stabwagen verifiziert.



## Einleitung

Der Entwurf von Systemen - bestehend aus Hardware und Software - auf einem Chip wird nur dann kosteneffizient durchführbar sein, wenn der weitaus größte Teil auf Basis einer vorgegebenen Plattform wiederverwendet werden kann (IP-Reuse). Voraussetzung für die Wiederverwendung von Hardware ist zum einen der Einsatz einer Hardwarebeschreibungssprache wie z.B. VHDL<sup>1)</sup> und zum anderen die automatisierte Generierung von z.B. arithmetischen Operationen, wie man sie in der digitalen Signalverarbeitung, Regelungstechnik und Bildverarbeitung findet, um nur einige Anwendungsgebiete herauszugreifen.

Eine Multiplikation mit einer festen Gleitkommazahl kann in einer Float-Point-Unit ausgeführt werden. Der Nachteil dieser Float-Point-Unit ist, dass sie eine sehr große Chip-Fläche benötigt [1]. Die Multiplikation oder die Division von Integerzahlen lassen sich mit Hilfe von Schiebeoperationen durchführen. Durch geschicktes Unterteilen des Datenbus in Vor- und Nachkommastellen, lassen sich Multiplikationen mit Gleitkommazahlen mit einem endlichen Fehler annähern. Diese Näherungen können vor allem bei Algorithmen, wie z.B. in einem *Finite Impulse Response Filter*, eingesetzt werden, da bei diesen Filtern kleinere Abweichungen in ihren Koeffizienten keine großen Änderungen in ihrem Verhalten bewirken. So zeigt es sich, dass bei der Multiplikation mit einer approximierten Konstanten der Flächenbedarf von der Genauigkeit der Näherung abhängt. Bild 1 zeigt, dass die benötigte Fläche bei einer exakten Multiplikation am größten ist. Dies wird umso deutlicher, je breiter der Eingangsdatenbus wird. Zudem wirkt sich die Anzahl der benötigten Operationen direkt auf den Flächenbedarf aus. So sind die Näherungen, die mit Additionen und Subtraktionen erfolgen, meist die mit dem geringsten Flächenbedarf, da sie weniger Operationen benötigen um die Konstante anzunähern. Diese Ergebnisse sind auf beide Architekturen anwendbar und somit ist dies eine typische Eigenschaft dieses Näherungsverfahrens. Die Reduktion des Flächenbedarfs ist bei ASICs<sup>2)</sup> größer, als bei FPGAs<sup>2)</sup>. Der Grund liegt an den schon voroptimierten Strukturen in einem FPGA, welche bei einer Multiplikation mit einer Konstanten zum Einsatz kommen.

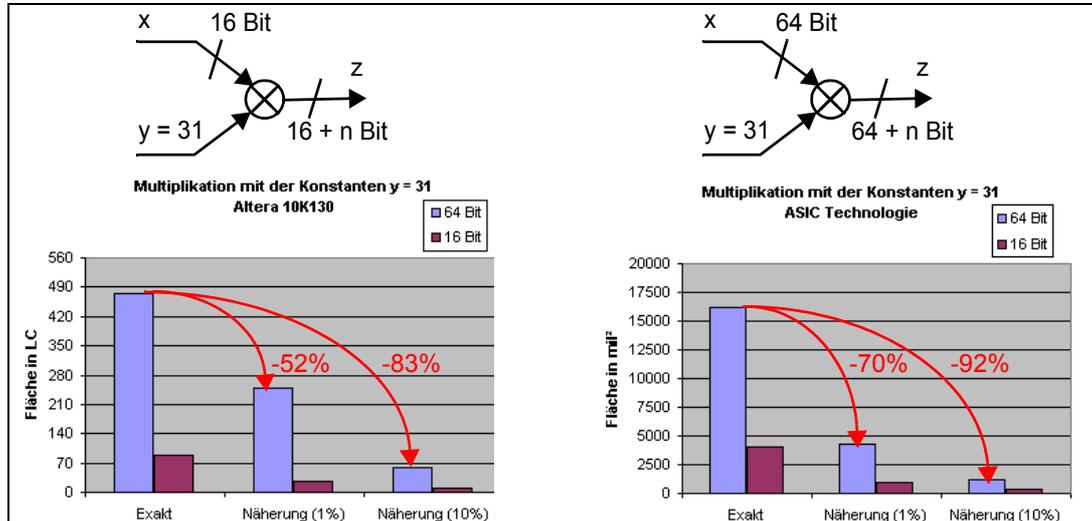


Bild 1: Flächenreduktion durch Verwendung von Näherungen

In einem Forschungsprojekt [2] wurde eine dynamische Webanwendung mit dem Namen CoreGenerator entwickelt. Mit dieser Anwendung können vorgefertigte parametrisierbare Module für die effiziente Hardwarerealisierung in einem ASIC bzw. FPGA über das Internet geladen werden. Für die Generierung der Multiplikation und der Division von Gleitkommazahlen wurde der CoreGenerator um die Kategorie „Arithmetical Operations“ erweitert. Die hierarchische Parametrisierung der Cores geschieht über mehrere Stufen. Am Ende steht die Generierung und das Laden der dynamisch erzeugten Dateien. Ein Core besteht je nach Kategorie aus Core-Dateien, Compilierungs-Vorgaben, Testbenches und Datenblättern.

<sup>1)</sup>VHDL: Very high speed integrated circuits Hardware Description Language

<sup>2)</sup>ASIC: Application Specific Integrated Circuit

FPGA: Field Programmable Gate Array

Bei der Entwicklung des CoreGenerators wurden Java-Scripts, Java-Appletts, Java Server Pages eingesetzt. Der Approximations-Algorithmus für die Generierung der Module für die Multiplikation und die Division von Gleitkommazahlen wird mit Hilfe eines Perl-Scripts realisiert.

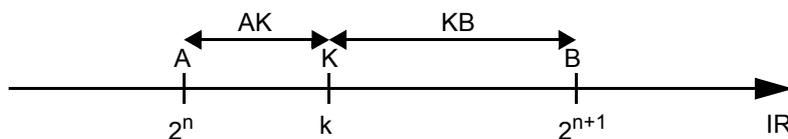
## Der Approximations-Algorithmus

Der Approximations-Algorithmus ist das Kernstück des Perl-Scripts. Er nähert die Konstante mit möglichst wenigen Schiebeoperationen an. Das Ergebnis des Algorithmus ist die Aufbauvorschrift, mit der die Multiplikation als Näherungslösung in VHDL realisiert werden kann.

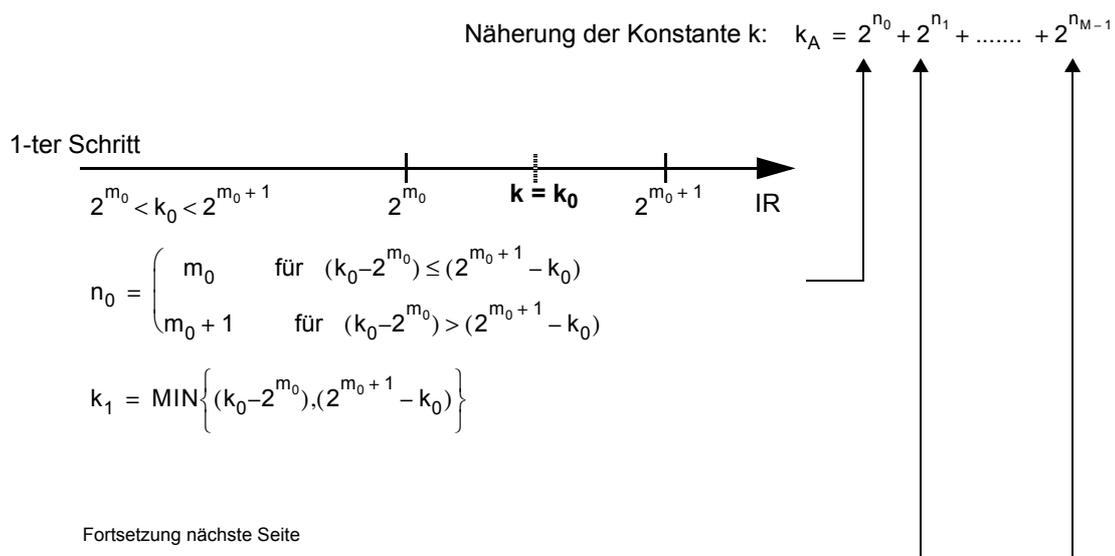
Näherungsverfahren sind Optimierungsprobleme, die mit der Suche nach dem Minimum bzw. Maximum gelöst werden. Die vorgegebene Konstante  $k$  wird mit dem Wert  $k_A$  solange angenähert, bis

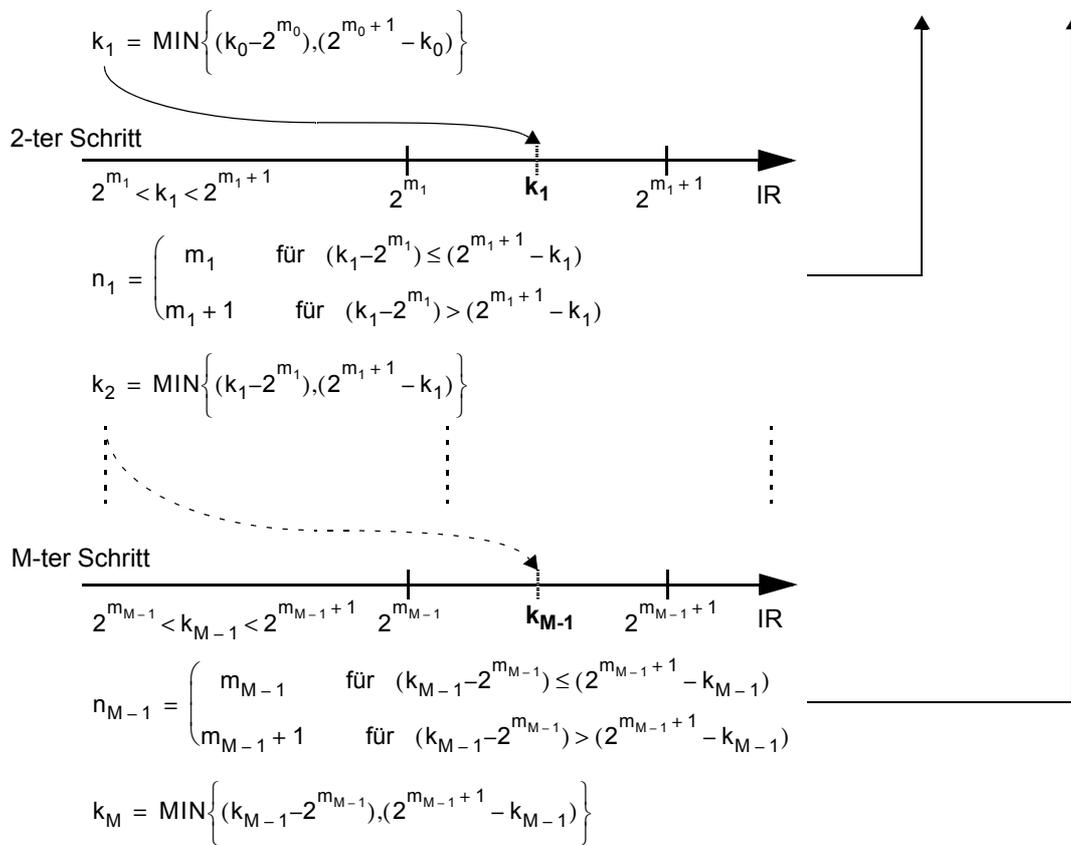
$$|k - k_A| < \varepsilon \quad \varepsilon: \text{ vorgegebene Fehlerschranke}$$

Da bei der vorliegenden Problemstellung ein eindimensionales Optimierungsproblem vorliegt, wird das Verfahren der Intervallschachtelung [3] zur Suche nach dem globalen Minimum eingesetzt. Eine beliebige reelle Zahl  $k$  wird mit den Intervallschranken  $AB$ , wobei  $A = 2^n$  und  $B = 2^{n+1}$  entspricht, umschlossen. Anschließend wird das Minimum der beiden Strecken gesucht. Das Minimum entspricht der Länge des kürzesten Streckenabschnittes  $AK$  bzw.  $KB$ . Dieser kürzeste Abstand wird als der neue Suchwert eingesetzt. Der neue Wert  $AK$  bzw.  $KB$  wird nun durch erneute Eingrenzung wiederum von den neuen Intervallschranken  $A'B'$  umschlossen. Dieser Vorgang wiederholt sich, bis der Wert innerhalb der vorgegebenen Fehlertoleranz liegt.



Das folgende Beispiel soll den Algorithmus noch einmal erläutern. Dabei wird o.B.d.A. angenommen, dass die Konstante  $k > 0$  sei.





Abbruchkriterium:  $|k - (2^{n_0} + 2^{n_1} + \dots + 2^{n_{M-1}})| < \epsilon$

Im Folgenden wird gezeigt, dass der Approximations-Algorithmus bei jeder Konstanten  $|k| > 0$  konvergiert. Es ist zu zeigen, dass

$2^{n_0} > 2^{n_1} > \dots > 2^{n_{M-1}}$  und damit  $n_0 > n_1 > \dots > n_{M-1}$  ist.

Aufgrund des Verfahrens der Intervallschachtelung kann angenommen werden, dass folgende Relationen bestehen:

$$\text{MIN}\left\{(k_{v-1} - 2^{m_{v-1}}), (2^{m_{v-1}+1} - k_{v-1})\right\} > \text{MIN}\left\{(k_v - 2^{m_v}), (2^{m_v+1} - k_v)\right\} > \text{MIN}\left\{(k_{v+1} - 2^{m_{v+1}}), (2^{m_{v+1}+1} - k_{v+1})\right\}$$

Unter der Annahme, dass  $k_v - 2^{m_v} < 2^{m_{v+1}} - k_v$  und  $k_{v+1} - 2^{m_{v+1}} < 2^{m_{v+1}+1} - k_{v+1}$  ist, folgt,

dass  $k_v - k_{v+1} > 2^{m_v} - 2^{m_{v+1}}$  ist. Unter Berücksichtigung, dass  $k_v > k_{v+1}$  gilt, ist  $2^{m_v} - 2^{m_{v+1}} > 0$ .

Somit muss - für alle möglichen Kombinationen - gelten, dass  $2^{n_v} > 2^{n_{v+1}}$  ist.

In der folgenden Grafik wird die Arbeitsweise des Approximations-Algorithmus innerhalb von Intervallen bzgl. der Konstanten und des rel. Fehlers veranschaulicht.

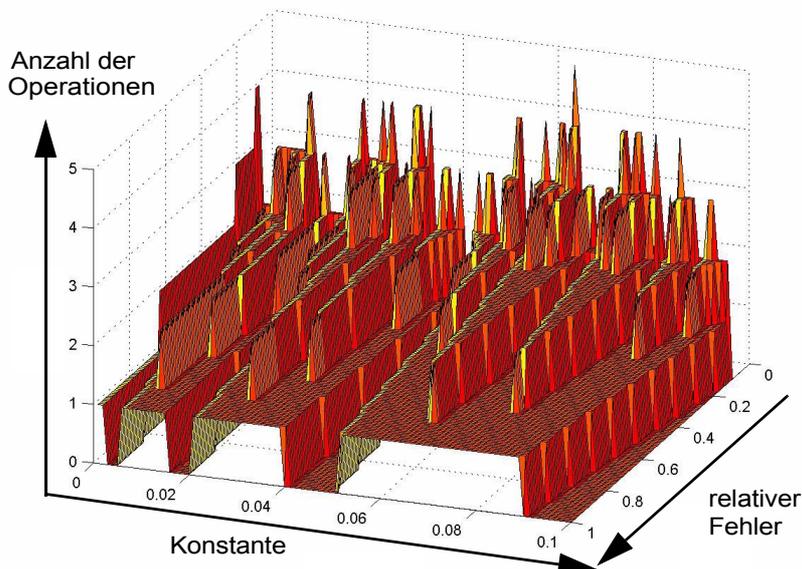


Bild 2: Approximationsergebnis für die Anzahl der Operationen als Funktion der Konstanten und des relativen Fehlers

In der Abbildung ist zu erkennen, dass bei Zahlen einer 2-er Potenz für die Näherung keine Operationen benötigt werden, da diese Zahlen durch alleiniges Schieben realisiert werden können. Als Operation im Sinne der Hardwarerealisierung werden nur Additionen und Subtraktionen gezählt. In der Grafik lässt sich weiterhin erkennen, dass die Anzahl der Operationen stark vom Fehler abhängt; werden größere Fehler zugelassen, so sind weniger Operationen nötig.

## Einbindung in den CoreGenerator

Select operation type:

Multiplication

**Arithmetical Operations - Multiplication**

Multiplications with a constant can often be implemented by an approximation. From the specification of the constant, the relative error and the resolution of the input data (number of bits before and after the decimalpoint) a VHDL-procedure is generated with the help of the CoreGenerator. Additionally a pipeline structure as well as a

<input type="checkbox"/> signed	based on: ADD
before decimalpoint: 12 Bit	after decimalpoint: 10 Bit
constant: 3.6	rel.error: 1.0 %
pipeline: no pipeline	language: VHDL

Bild 3: Benutzeroberfläche: Eingabefeld der „Arithmetical Operation - Multiplication“

Für die Generierung und das Laden der Cores ist eine Servlet-Klasse zuständig. Das Servlet erstellt zunächst ein neues Verzeichnis, in dem die generierten Dateien abgelegt werden sollen. Anschließend werden die Dateien durch Aufruf eines Perl-Scripts erzeugt. Nachdem das Script beendet ist, werden die Unterverzeichnisse und Dateien im Zielverzeichnis gepackt und an den Webbrowser weitergeleitet. Dort kann der Benutzer über einen Dialog die Zip-Datei abspeichern. Nachdem die Zip-Datei abgeschickt wurde, wird das Verzeichnis auf dem Webserver mitsamt dem Inhalt wieder gelöscht.

Das Perl-Skript berechnet aus den Übergabewerten zuerst die Approximation der Konstanten. Die Konstante wird durch eine Reihenfolge von Schiebeoperationen, die addiert bzw. subtrahiert werden, angenähert. Anschließend wird mit diesen Informationen die VHDL-Prozedur erzeugt. Das Perl-Skript ist beendet, nachdem eine VHDL-Struktur und das Datenblatt erzeugt und in den von Java vorgegebenen Ordner abgelegt sind. Die Java-Anwendung

komprimiert die Dateien und stellt sie zum Abspeichern bereit. Außerdem entnimmt die Java-Anwendung aus einem - vom Perl-Skript erzeugten - log-file Informationen und gibt die Anzahl der Operationen und den erreichten Fehler in einem Ausgabefenster zurück.

### Ein Anwendungsbeispiel: Stabwagen-System

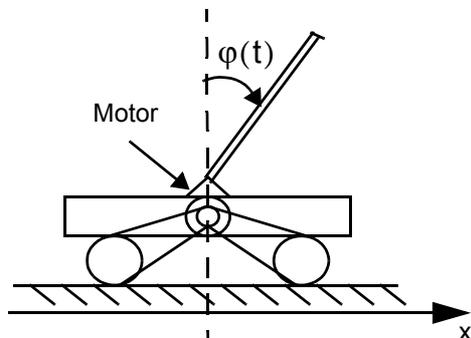


Bild 4: Stabwagen

Das Stabwagen-System wurde an der Technischen Universität Berlin Anfang der 70er Jahre im Labor für Regelungstechnik entwickelt. Dieses instabile System kann mit Hilfe eines wiederum instabilen Reglers betrieben werden. Durch die Zusammenschaltung dieser beiden Systeme entsteht ein stabiles Gesamtsystem.

Der momentan verwendete analoge Regler soll durch einen digitalen Regler ersetzt werden. Die Aufgabe des Reglers besteht darin, die Stellgröße so zu verändern, dass der Wagen den Stab in der senkrechten Lage hält. Als Regelgröße wird der Stabwinkel  $\phi$  gegen die Senkrechte verwendet, der auf Null ausgeregelt werden soll. Der Stellwert als Ausgangsgröße des Reglers wird in die Leistungseinheit eingespeist. Diese steuert den Scheibenläufermotor, welcher dann den Wagen bewegt.

Der Regler wird mit Hilfe des Wurzelortskurvenverfahrens (WOK) entwickelt. Zur Verifikation wird *Simulink*, ein Simulationstool von *Matlab*, verwendet. Der Regler wird mit Hilfe der Multiplikationen des CoreGenerators angenähert. Diese Näherungen werden wieder in die Wurzelortskurve und in *Simulink* eingesetzt und verifiziert. Ist die Annäherung der einzelnen Multiplikationen in der Wurzelortskurve und in *Simulink* stabil, wird der Regler in VHDL implementiert. Anschließend wird dieser mit Hilfe einer Systemsimulation innerhalb einer Testbench verifiziert. Die vorgegebene Hardware besteht aus einem AD-Umsetzer, der den Winkel des Stabes über ein Potentiometer einliest. Ein FPGA führt die gesamte Steuerung der AD- und DA-Umsetzer und den Regelalgorithmus aus. Die Ausgabe des berechneten Stellwertes erfolgt über einen DA-Umsetzer an die Leistungseinheit.



Bild 5: Datenfluss des digitalen Reglers

### Beschreibung der Strecke

Ausgehend von den systembeschreibenden Differentialgleichungen [4], ergibt sich für das mathematische Modell des Stabwagens folgendes Strukturbild:

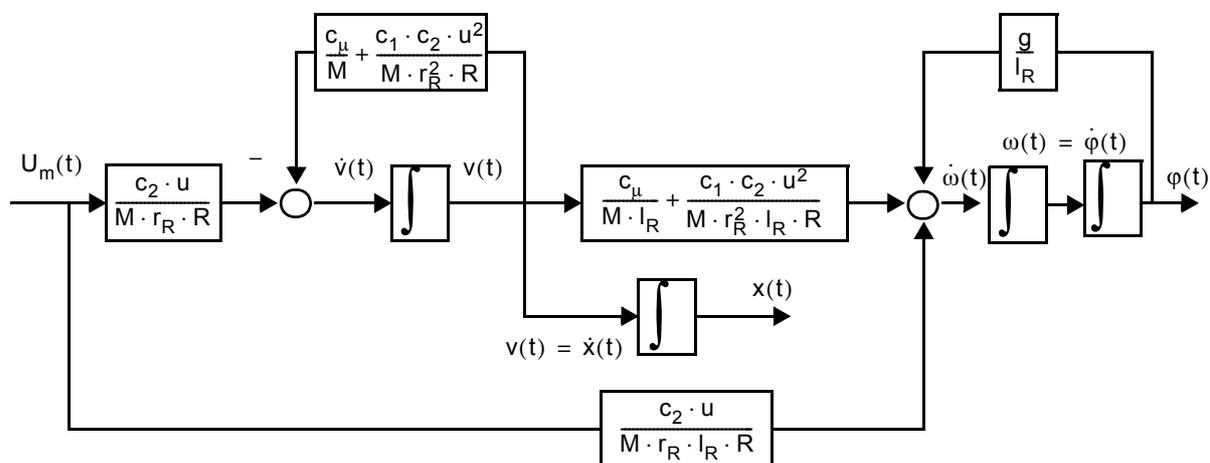


Bild 6: Strukturbild des mathematischen Modells des Stabwagens

Ausgehend von der zugehörigen Übertragungsfunktion  $G_S(s)$ , welche aus dem Strukturbild ermittelt wurde, wird die diskrete Übertragungsfunktion der Strecke bestimmt (Abtastzeit: 5 ms):

$$G_S(z) = \frac{0,0002489z^2 - 1,064 \cdot 10^{-6}z - 0,0002479}{z^3 - 2,987z^2 + 2,975z - 0,9872}$$

## Der approximierter Regler

Die Reglersynthese gelingt mit Hilfe der Wurzelortskurvenmethode. Im analogen Fall ist bei der Wurzelortskurve in der s-Ebene zu beachten, dass diese Kurve, ab einem bestimmten Verstärkungsfaktor ( $K_{rs}$ ) auf der linken Seite der imaginären Achse liegt. Nachdem ein entsprechendes  $K_{rs}$  gefunden wurde, wird der Regler diskretisiert und die Wurzelortskurve in der z-Ebene gezeichnet. Liegt die WOK, für ein bestimmtes  $K_{rz}$  innerhalb des Einheitskreises, ist auch das diskrete Regelsystem stabil. Der letzte Schritt ist die Verifikation mit *Simulink*, bei der der komplette Versuchsaufbau incl. der AD/DA-Umsetzer in die Simulation mit einbezogen wird.

Für die realisierte Reglerstruktur im analogen Fall ergibt sich folgende Darstellung:

$$G_R(s) = K_{rs} \cdot \frac{10}{2,57} \cdot \frac{s+1}{s-1} \cdot \frac{s+2,57}{s+10}$$

Bei der Zusammenschaltung der diskretisierten Strecke mit dem diskretisierten Regler ergibt sich folgende Wurzelortskurve:

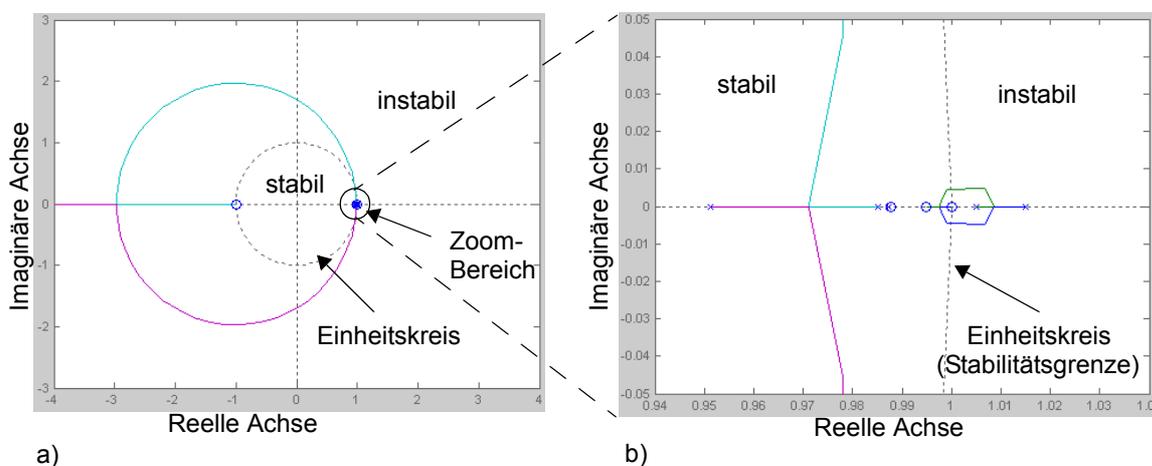


Bild 7: a) Wurzelortskurve, b) Wurzelortskurve, vergrößert

Im Bild 7b ist zu erkennen, dass der Stabilitätsbereich des Systems beschränkt ist. Um ein stabiles System zu erhalten, muss der Verstärkungsfaktor  $K_{rz}$  zwischen 1,2 und 25 liegen.

Nachdem der Regler in den Bildbereich der z-Transformation transformiert und mit Hilfe der Wurzelortskurve ein passender Verstärkungsfaktor  $K_{rz}$  gefunden wurde, werden die Konstanten der z-Übertragungsfunktion nacheinander angenähert und mit *Simulink* verifiziert, bis das Gesamtsystem stabil ist. Die erste stabile Regler-System-Kombination ist bei einem relativen Fehler von 0.01% gegeben.

Die z-Übertragungsfunktion des Reglers sieht dann wie folgt aus:

$$G_R(z) = \frac{7,6796875z^2 - 15,22265625z + 7,544921875}{z^2 - 1,9560546875z + 0,9560546875}$$

### Umsetzung in VHDL

Für die Aufteilung von Kontrollpfad und Datenpfad wurde eine hierarchische Dekomposition gewählt. Dies hat eine klare Aufgaben- und Signaltrennung zur Folge, denn die Steuersignale werden im Kontrollpfad erzeugt und überwacht. Im Datenpfad wird je nach Steuersignal der Datenfluss gebildet.

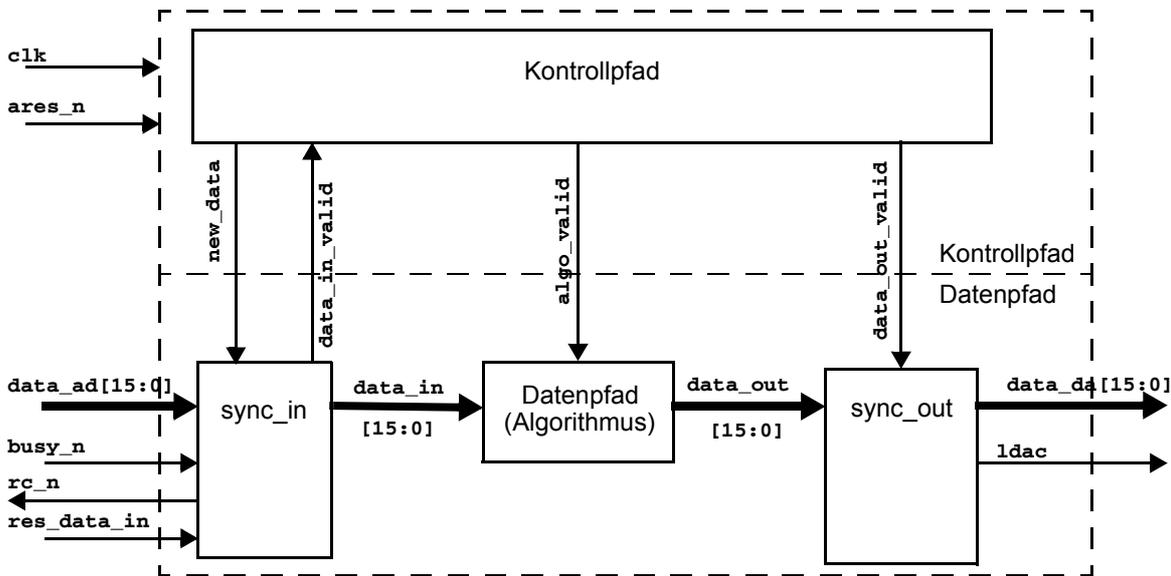


Bild 8: Gewählte Architektur für die Implementierung

Die Kontrollstruktur ist als Zustandsautomat realisiert. Sie fordert das Modul *sync\_in* zum Einlesen der Daten auf. Ist dies geschehen, berechnet der Algorithmus den neuen Stellwert. Anschließend wird dieser neue Wert über das Modul *sync\_out* ausgegeben.

### Simulation der VHDL-Beschreibung

Die Systemsimulation erfolgt mit Hilfe einer VHDL-Testbench, die der *Simulink* Simulation nachempfunden ist. Die Testbench kann die Verhaltens- und die RTL-Beschreibung verifizieren.

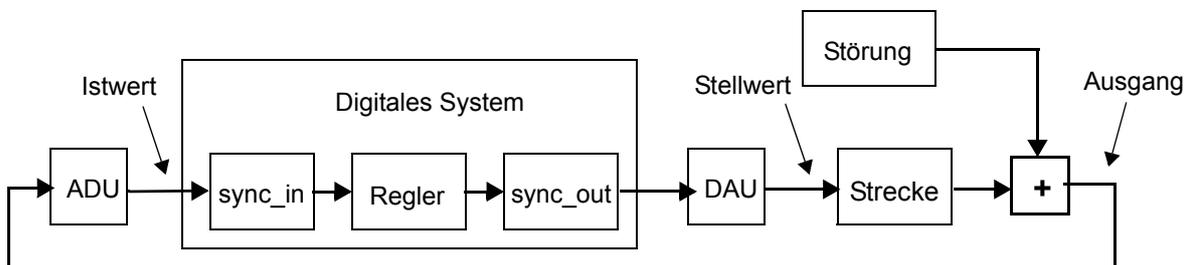


Bild 9: Aufbau der Testbench

Das Modul *Strecke* enthält die Verhaltensbeschreibung der diskretisierten Strecke. Die *Störung* erzeugt einen einzelnen Impuls zu einem festen Zeitpunkt. Der *Regler* beinhaltet, wie auch die *Simulink* Simulation, die Modelle der AD-/ DA-Umsetzer. Diese Modelle haben die Funktion, einen 16 Bit-Datenbus in eine Float-Zahl (DAU), bzw. eine Float-Zahl in einen 16 Bit-Datenbus (ADU) zu konvertieren. Diese Float-Zahl entspricht dem analogen Spannungswert.

Der Ausgang muss sich gleich der *Simulink* Simulation nach einer kurzen Störung wieder auf Null einschwingen

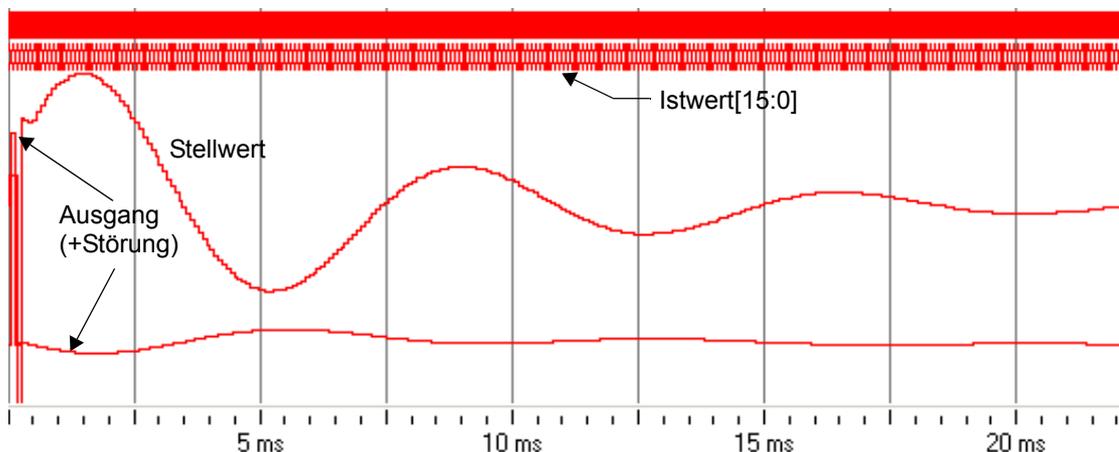
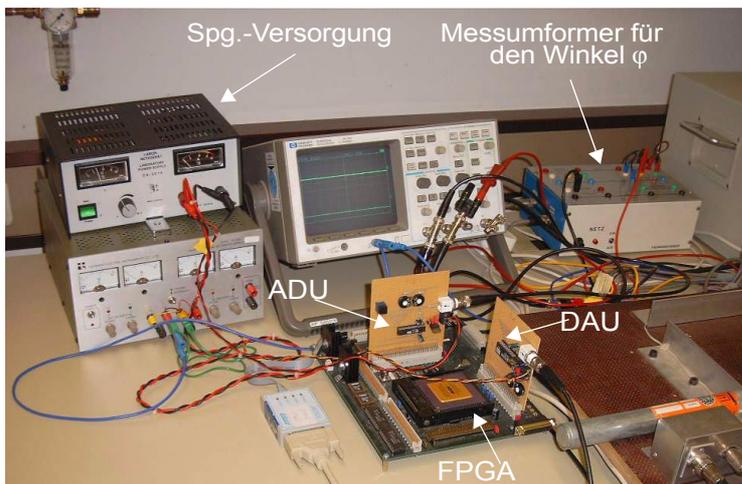


Bild 10: Signalverlauf der Gesamtsystemsimulation

### FPGA - Realisierung des Reglers

Um ein stabiles Gesamtsystem zu realisieren, wurde der rel. Fehler der Konstanten auf 0.01% festgelegt. Der dabei erreichte Grenzyklus<sup>1)</sup> beträgt etwa 35 cm. Der analoge Regler, der im Leistungsteil enthalten ist, hat - zum Vergleich - einen Grenzyklus von wenigen Zentimetern. Realisiert wurde der Regler auf einem *Rapid Prototyping Board*, welches mit einem 10K130VGC599-3 Baustein von Altera bestückt ist. Der implementierte Regler benötigt 6656 LogicCells (29%) und hat eine max. Systemfrequenz von 2,71 MHz. Aufgrund der automatisch generierten Module für die Multiplikation/Division wird eine Verkürzung der Entwicklungszeit um ca. 60 % erreicht.

a)



b)



Bild 11: a) Versuchsaufbau, b)ausgeregelter Stabwagen

<sup>1)</sup>Grenzyklus entspricht der Strecke, die der Wagen benötigt, um den Stab in der Senkrechten zu halten

## Danksagung

Das dieser Veröffentlichung zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln der Staedtler Stiftung vom 01.03.2002 - 31.12.2002 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts liegt bei den Autoren.

## Literatur

- [1] Westphal, D.: Entwicklung einer Floating-Point-Unit als wiederverwendbaren VHDL-Core, Diplomarbeit am Fachbereich Nachrichten- und Feinwerktechnik der Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule Nürnberg, WS 2001/2002.
- [2] Bäsig, J. / Melnyk, V.: Data Encryption Standard (DES) CoreGenerator - Effiziente Hardwarerealisierung von Verschlüsselungsalgorithmen für ASICs und FPGAs, Schlussbericht, BMB+F FKZ 1705200, 01.10.2000 - 31.01.2002
- [3] Krabs, W.: Einführung in die lineare und nichtlineare Optimierung für Ingenieure, B. G. Teubner Verlag, Stuttgart, 1983, S.83.
- [4] Zill, T.: Zustandsregelung und Zustandsbeobachtung, Diplomarbeit am Fachbereich Nachrichten- und Feinwerktechnik der Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule Nürnberg, WS 1989/1990.



# Vergleichende Festigkeitsuntersuchungen an Mg-PSZ und Aluminiumoxid

**Th. Frey, A. Haubenreich**

Fachhochschule Nürnberg, FB Werkstofftechnik,  
Wassertorstr. 10, 90489 Nürnberg

**R. Girmscheid, P. E. Metzler**

Rauschert GmbH & Co. KG, Bahnhofstr. 1,  
96332 Pressig

## Abstract

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, am Beispiel dreier verschiedener keramischer Werkstoffe (Aluminiumoxid und zwei Zirkonoxid-Qualitäten), die Werte der mechanischen Festigkeit mit Hilfe der „Brittle-Ring-Methode“ sowie mit den genormten Verfahren der „Drei- und Vier-Punkt-Biegung“ zu ermitteln und zu vergleichen. Das Hauptinteresse galt dabei einer mit Magnesiumoxid stabilisierten Zirkonoxid-Keramik, die im Rahmen eines FORKERAM-Projektes (gefördert durch die Bayerische Forschungstiftung) im so genannten „Mixed-Oxide-Verfahren“ selbst entwickelt wurde.

Die verschiedenen Proben wurden durch Axialpressen zu entsprechenden Stäben bzw. Ringen geformt, verglüht, durch Sintern verfestigt und teilweise mittels Schleifen und Polieren nachgearbeitet.

Die damit erhaltenen Festigkeitswerte zeigen, dass entsprechend der Theorie der Bruchmechanik die Werte des Brittle-Ring-Tests bei allen drei untersuchten, nicht nachbearbeiteten Werkstoffen im Rahmen der Standardabweichung so groß sind wie die der Drei-Punkt-Biegung. Voraussetzung dafür ist, dass die Höhe  $h$  der Ringe so groß wie die Dicke  $s$  der Biegestäbchen eingestellt wird.

Damit konnte nachgewiesen werden, dass der Brittle-Ring-Test eine einfache und kostengünstige Alternative zu den vergleichsweise aufwendigen genormten Prüfverfahren ist.



# Vergleichende Festigkeitsuntersuchungen an Mg-PSZ und $\text{Al}_2\text{O}_3$ \*

## 1. Einleitung

Als genormte Methoden zur Festigkeitsbestimmung bei keramischen Werkstoffen dienen die 3-Punkt-Biegung sowie die 4-Punkt-Biegung [1-4]. Eine Alternative dazu ist der Brittle-Ring-Test [5], bei dem Rohrsegmente, Ringe, C-Ringe oder Ähnliches in radialer Richtung bis zum Bruch mechanisch belastet werden. Für dieses Prüfverfahren spricht vor allem eine einfachere Herstellung und Handhabung der Prüfkörper. Auf eine aufwendige Bearbeitung der gesinterten Probekörper kann in der Regel verzichtet werden. Der apparative Aufwand sowohl zur Formgebung als auch zur Festigkeitsbestimmung ist sehr viel geringer als bei den anderen Methoden. Der Brittle-Ring-Test ist damit besonders geeignet, um die mechanische Festigkeit als „Relativwert“ z.B. im laufenden Betrieb zur Qualitätskontrolle und –sicherung, aber auch in der Entwicklung keramischer Werkstoffe – z.B. bei der Suche nach neuen Versätzen – zu ermitteln.

Frühere Untersuchungen der Brittle-Ring-Methode an Aluminiumoxidprüflingen [5] ergaben Werte, die in etwa denen der 3-Punkt-Methode entsprachen. Um den Brittle-Ring-Test auch bei anderen Materialien hinsichtlich der erzielten Werte einordnen zu können, wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit die mit dem Brittle-Ring-Verfahren erzielten Festigkeitswerte von verschiedenen Oxidkeramiken mit denen der 3- und 4-Punkt-Methode verglichen. Zur Erfassung des Einflusses der Oberflächenbeschaffenheit der Prüflinge wurden sowohl unbearbeitete als auch geschliffene bzw. polierte Probekörper untersucht. Im Mittelpunkt der Arbeit standen verschiedene MgO-stabilisierte Zirkonoxide (vorstabilisierte und im „Mixed-Oxide-Verfahren“ hergestellte Qualitäten). Sie wurde im Rahmen des Bayerischen Forschungsverbundes für keramische Materialentwicklung und Prozeßtechnik (FORKERAM I, Teilprojekt III-4) durchgeführt und diente der Entwicklung eines speziellen Zirkonoxids für den Einsatz in der Textilmaschinenindustrie. Zum Vergleich wurden auch Prüflinge aus Aluminiumoxid in die Arbeit mit einbezogen.

## 2. Experimentelles

### 2.1 Rohstoffe

Für die Probekörperherstellung wurden folgende Rohstoffe verwendet:

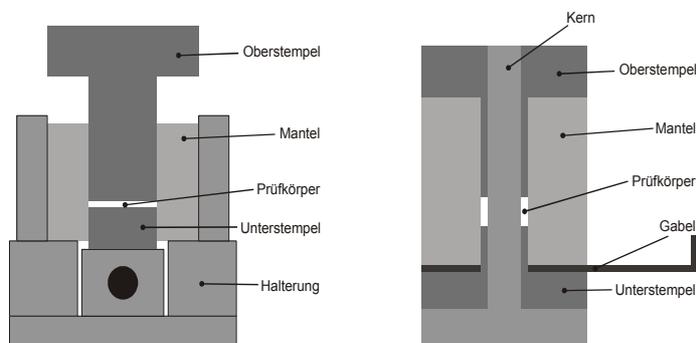
- kommerzielles MgO-teilstabilisiertes Zirkonoxid (3,5% MgO)
- MgO-teilstabilisiertes Zirkonoxid (Eigenentwicklung, sprühgetrocknet bei Fa. Rauschert GmbH & Co. KG)
- Aluminiumoxid (99,6%, sprühgetrocknet bei Fa. Rauschert GmbH & Co. KG)

### 2.2 Vorgehensweise

#### 2.2.1 Prüfkörperherstellung

Je Charge wurden 20 Stäbe bzw. 12 Ringe durch axiales Trockenpressen mittels einer elektro-hydraulischen Zweisäulen-Pressen (Fa. Weber, Typ PW 10) so hergestellt, daß die Stäbe für die Drei- und Vierpunktprüfung nach DIN VDE 0335 [1] folgende Sintermaße aufwiesen:  $l \approx 38$  mm,  $b \approx 4,3$  mm,  $h \approx 4,3$  mm

Die Abmessungen der Ringe betragen  $\approx 14,0$  mm Außendurchmesser,  $\approx 10,0$  mm Innendurchmesser und  $\approx 3,5 \dots 9,0$  mm Höhe. Die Ringe wurden durch zweifaches Pressen (von oben und nach Herausziehen eines Zwischenstücks von unten) symmetrisch verdichtet (Pressneutrale bei halber Ringhöhe; siehe Bild 1).



**Bild 1:** Schematische Darstellung der Preßmatrizen für Stabform (links) und Brittle-Ring (rechts)

### 2.2.2 Glühen und Sintern der Prüfkörper

Die organischen Bestandteile wurden in einem separaten Entbinderungsbrand ausgetrieben. Zum Sintern wurden die Stäbchen so auf die Brennhilfsmittel gelegt, daß die Preßneutrale senkrecht dazu orientiert war. Eine Beschwerung mit einer Aluminiumoxidplatte diente zur Unterdrückung von Verkrümmungen während des Sinterns. Die Ringe wurden auf ihre Stirnseiten gelegt. Die Sintertertemperatur lag je nach Qualität im Temperaturbereich zwischen 1640 ... 1680 °C bei einer Haltezeit von 1 ... 4 h.

### 2.2.3. Schleifen und Polieren der Prüfkörper

Eine Hartbearbeitung erfolgte nur bei den Biegestäbchen. Diese wurden mit einer Schleifscheibe, Körnung D91 auf Maß geschliffen. Anschließend wurde mit Diamant der Körnung 2-4 µm poliert. Zum Abschluß wurden die Kanten gefast.

### 2.2.4 Prüfkörperuntersuchungen

#### Rauheit

Der Rauheitswert  $R_a$  wurde mit einem Laserprofilier der Firma Rodenstock, Typ RM 600 LS, erfaßt. Zur Berechnung wurde dazu ein Wellenfilter von 100 µm und ein Nadelfilter von 20 µm gewählt.

#### Phasenanalyse

Zur Bestimmung der Phasenzusammensetzung mit einem Röntgendiffraktometer der Firma Philips X'Pert Typ PW 3710 eingesetzt.

#### Dichte

Die Dichte wurde mit Hilfe der Auftriebsmethode nach Archimedes ermittelt.

#### Festigkeit

Die 3-Punkt- und die 4-Punkt-Biegung wurde nach DIN VDE 0335 [1] je Charge an 20 Stäben durchgeführt und die jeweiligen Mittelwerte der mechanischen Festigkeit  $\sigma_{bB}$  bestimmt. Mit der zur Verfügung stehenden Frank-Universalprüfmaschine wurde die Kraft weggesteuert [1] mit der geringstmögliche Traversengeschwindigkeit von 0,6 mm/min gesteigert. Die Biegefestigkeit  $\sigma$  wurde mit Hilfe der Gleichungen

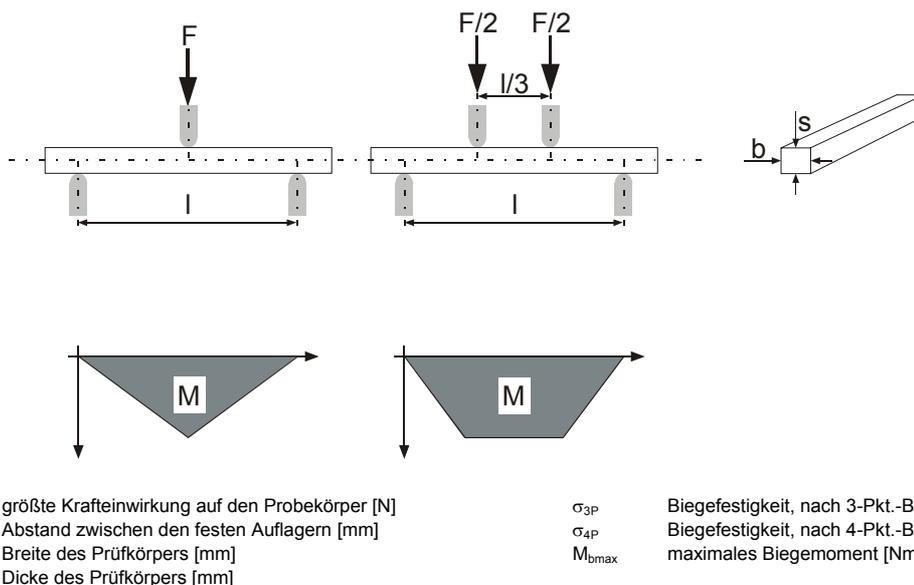
$$\sigma_{3P} = \frac{1,5 \cdot F \cdot l}{b \cdot s^2}$$

$$\sigma_{4P} = \frac{F \cdot l}{b \cdot s^2}$$

$$M_{bmax} = \frac{F \cdot l}{4}$$

$$M_{bmax} = \frac{F \cdot l}{6}$$

ermittelt und die jeweiligen Mittelwerte bestimmt.



**Bild 2:** Aufbau und Momentenverlauf von 3- und 4-Punkt-Biegung [1-4]

Beim Brittle-Ring-Test wurden die Ringe hochkant, also senkrecht zur Preßrichtung, zwischen zwei planparallele Platten mittig eingespannt. Zur besseren Kräfteinleitung und auch zur Schonung der Platten wurde zwischen Keramikring und Platte jeweils ein ca. 1,5 mm starkes Kupferblech (Bild 4) eingelegt. Folgende Gleichungen dienen zur Festigkeitsbestimmung.

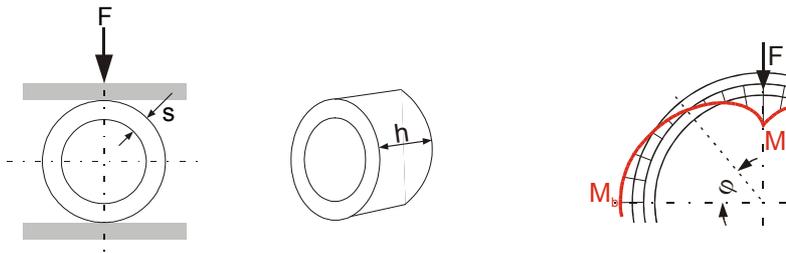
$$\sigma_{BR} = \frac{F \cdot (3d_i + 5s)}{h \cdot \pi \cdot s^2}$$

$$M = \frac{F \cdot r}{4} \cdot \left( \cos \varphi - \frac{2}{\pi} \right)$$

mit

$$M_a = -\frac{F \cdot r}{\pi} = -0,318 \cdot F \cdot r$$

$$M_b = \frac{F \cdot r}{2} \cdot \left( 1 - \frac{2}{\pi} \right) = 0,182 \cdot F \cdot r$$



F	größte Kräfteinwirkung auf den Probekörper [N]
d <sub>i</sub>	Innendurchmesser [mm]
d <sub>a</sub>	Außendurchmesser [mm]
s	(d <sub>a</sub> -d <sub>i</sub> )/2 (= Wanddicke) [mm]
h	Ringhöhe [mm]

σ <sub>BR</sub>	Biegefestigkeit, nach Brittle-Ring-Test [N/mm <sup>2</sup> ]
M	Biegemoment [Nmm]
M <sub>a</sub>	maximales Biegemoment in Preßrichtung [Nmm]
M <sub>b</sub>	max. Biegemoment senkrecht zur Preßrichtung [Nmm]
r	(d <sub>a</sub> -d <sub>i</sub> )/4 [mm]

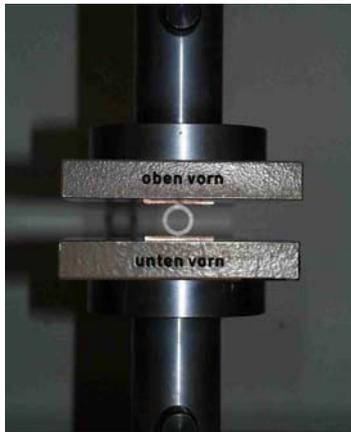
**Bild 3:** Aufbau und Momentverlauf (2. Quadrant) von Brittle-Ring-Test [1-4]

Bei spröden Körpern wird die mechanische Festigkeit vor allem durch zugbelastete Fehler bestimmt [3]. Daher ist die Größe des Bereiches maximaler Zugbelastung für das Niveau der mechanischen Festigkeit entscheidend. In Abhängigkeit von der Methode, mit der die bruchmechanischen Kennwerte ermittelt werden, kann der Bereich der maximalen Zugbelastung sehr unterschiedlich sein.

Entsprechend dem Momentenverlauf ist dies:

- bei der 3-Punkt-Biegung eine Linie der Länge b
- bei der 4-Punkt-Biegung eine Fläche der Größe  $\frac{b \cdot l}{3}$
- beim Brittle-Ring-Test eine Linie der Länge 2 · h .

Hierbei ist zu beachten, daß das maximale Biegemoment entlang den beiden Scheitellinien auf der inneren Radialfläche ca. 43 % über den Maximalwerten auf den Äquatoriallinien der äußeren Radialfläche liegt, d.h. die Ringe üblicherweise vertikal brechen.

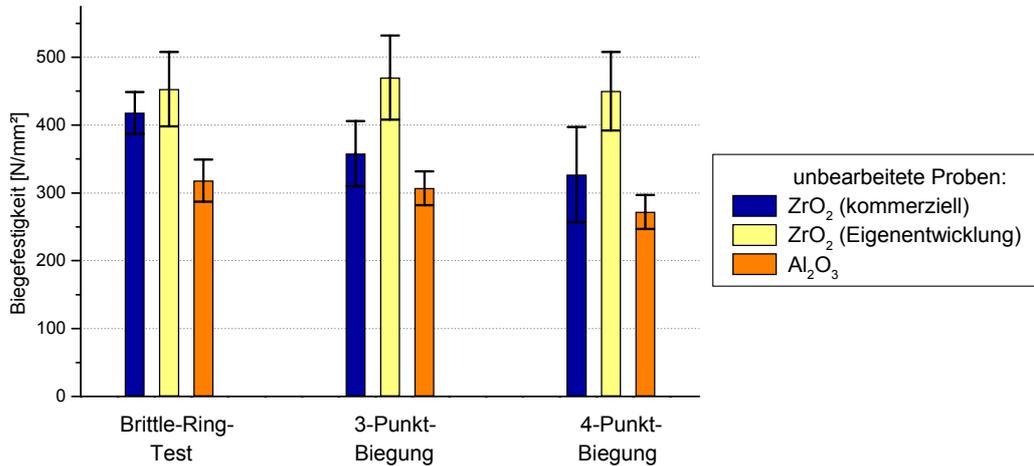


**Bild 4:** Brittle-Ring-Test in der Frank-Universalprüfmaschine

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Mechanische Festigkeit

Die mit den drei verschiedenen Meßmethoden ermittelten Festigkeitsmittelwerte sind in Bild 5 dargestellt. Die aufgezeigten Fehlerbalken entsprechen den jeweiligen Standardabweichungen.

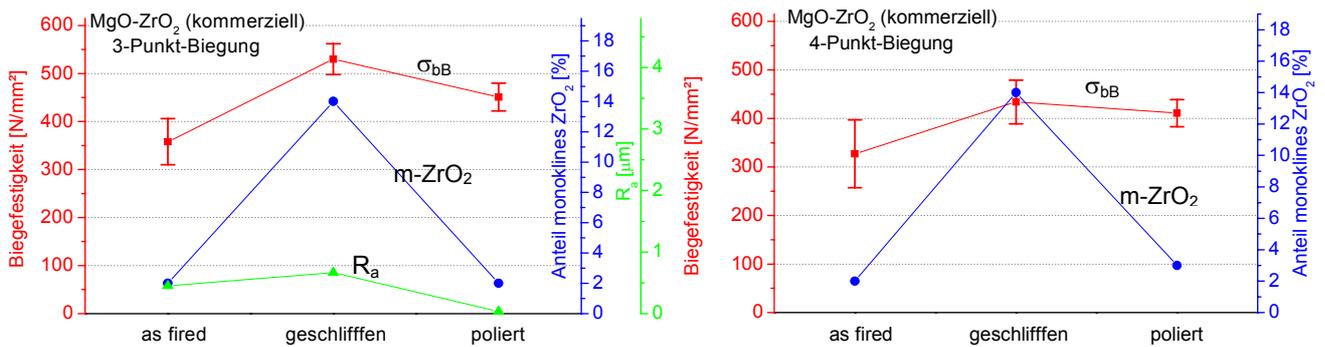


**Bild 5:** Mechanische Festigkeit von MgO-stabilisiertem Zirkonoxid und Aluminium-oxid; ermittelt mit Brittle-Ring-Test, 3-Punkt- und 4-Punkt-Biegung

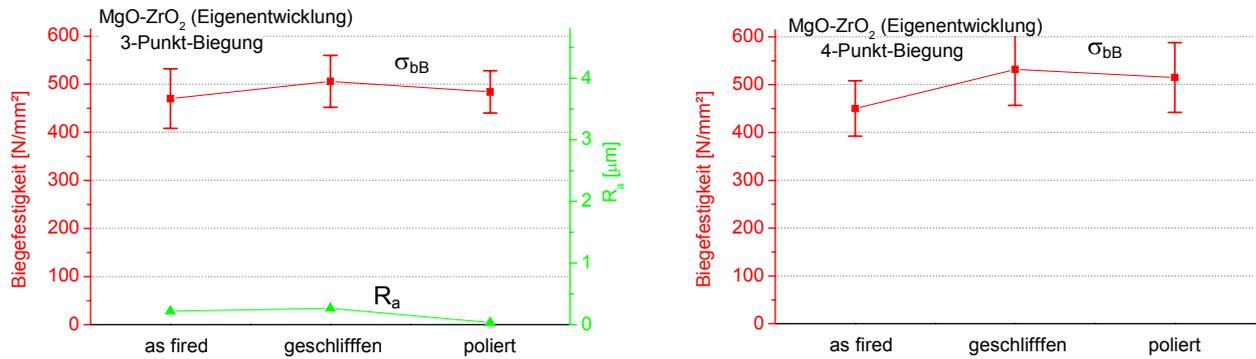
#### 3.2 Einfluß der Oberflächenbearbeitung

Die Nachbearbeitung der Oberfläche von Keramikringen ist sehr aufwendig. Daher wurde der Festigkeitsvergleich von unbearbeiteten, geschliffenen und polierten Probekörpern nur mit der 3-Punkt- und 4-Punkt-Biegung durchgeführt.

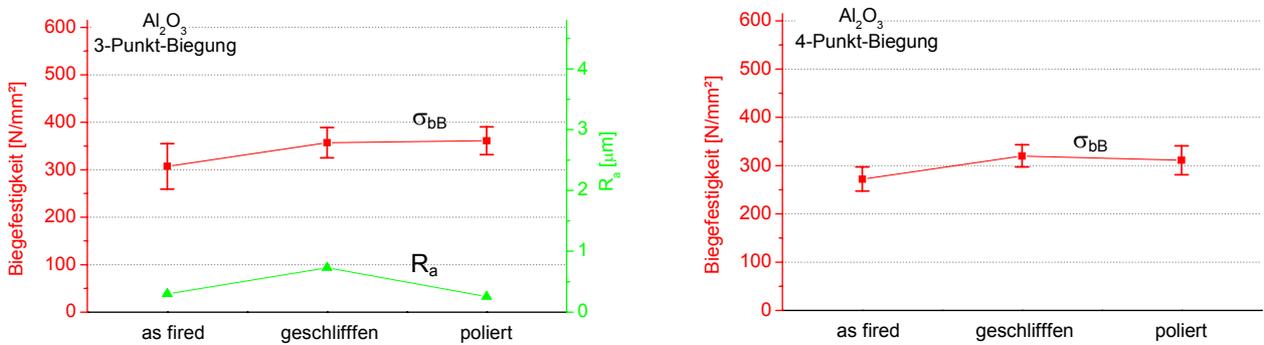
Die Ergebnisse sind in den Bildern 6-8 dargestellt.



**Bild 6:** Festigkeit ( $\sigma_{bB}$ ), Anteil monoklines Zirkonoxid (m-ZrO<sub>2</sub>) und Rauheitswert (R<sub>a</sub>) von ZrO<sub>2</sub> (kommerziell); Dichte: 5,69 ± 0,05 g/cm<sup>3</sup>



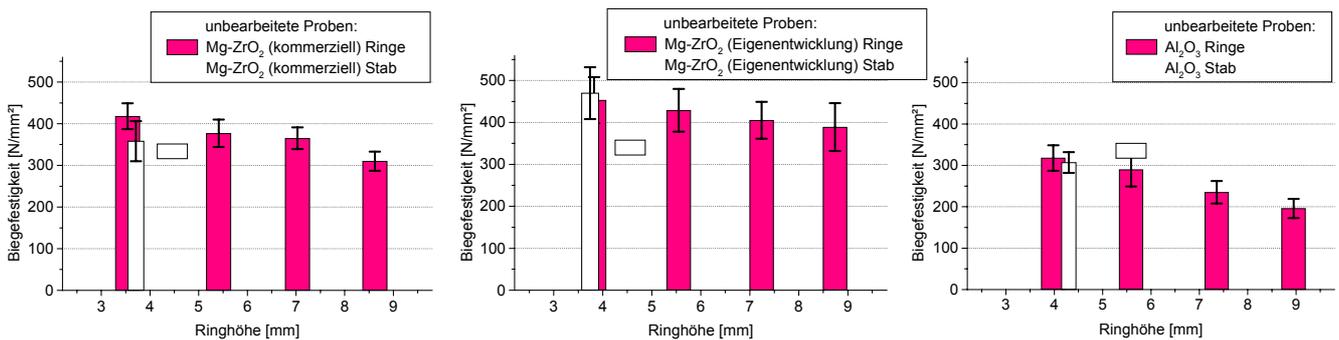
**Bild 7:** Festigkeit ( $\sigma_{bB}$ ) und Rauheitswert ( $R_a$ ) von ZrO<sub>2</sub> (Eigenentwicklung); Dichte:  $5,56 \pm 0,05$  g/cm<sup>3</sup>



**Bild 8:** Festigkeit ( $\sigma_{bB}$ ) und Rauheitswert ( $R_a$ ) von Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; Dichte:  $3,91 \pm 0,005$  g/cm<sup>3</sup>

### 3.3 Einfluß der Ring-Höhe auf die Biegefestigkeit beim Brittle-Ring-Test

Mit Hilfe verschiedener Preßformen wurden Brittle-Ringe mit Grünhöhen von ca. 4 bis 10 mm hergestellt. Die entsprechenden Werte der Biegefestigkeit der gesinterten Proben sind in Bild 9 dargestellt.



**Bild 9:** Einfluß der Ringhöhe auf die Biegefestigkeit von unbearbeiteten Brittle-Ringen, und Vergleich mit 3-Punkt-Festigkeit (weiß)

## 4. Diskussion

Auf Grund des kleineren maximal belasteten Bereichs fielen erwartungsgemäß die Festigkeitswerte der 3-Punkt-Biegung im Vergleich zu denen der 4-Punkt-Biegung höher aus [5]. Die mit dem Brittle-Ring-Test und der 3-Punkt-Biegung erhaltenen Werte liegen bei allen Werkstoff-Qualitäten im Bereich der Standardabweichung dicht beieinander (Bild 10). Dieses Ergebnis deckt sich mit der Theorie der Bruchmechanik, wonach sowohl bei der 3-Punkt-Biegung als auch beim Brittle-Ring-Test die maximale Zugbelastung nur entlang einer Linie senkrecht zur Kraftereinwirkung liegt. Dagegen ist bei der 4-Punkt-Biegung das maximale Biegemoment flächenförmig ausgedehnt (vgl. Bild 2). Dabei spielt es offenbar keine große Rolle, daß die Linie maximaler Zugbelastung bei den Ringen ungefähr doppelt so lang ist wie bei den Stäben.

Voraussetzung für näherungsweise gleiche Festigkeitswerte bei Brittle-Ring-Test und 3-Punkt-Biegung ist, daß die Ringhöhe ungefähr so groß ist wie die Höhe der Biegebruchstäbchen (vgl. Bild 9). Mit steigender Ringhöhe nimmt bei allen drei Werkstoffqualitäten (trotz einer entsprechenden Berücksichtigung im Formalismus) der mit dem Brittle-Ring-Test ermittelte Festigkeitswert ab.

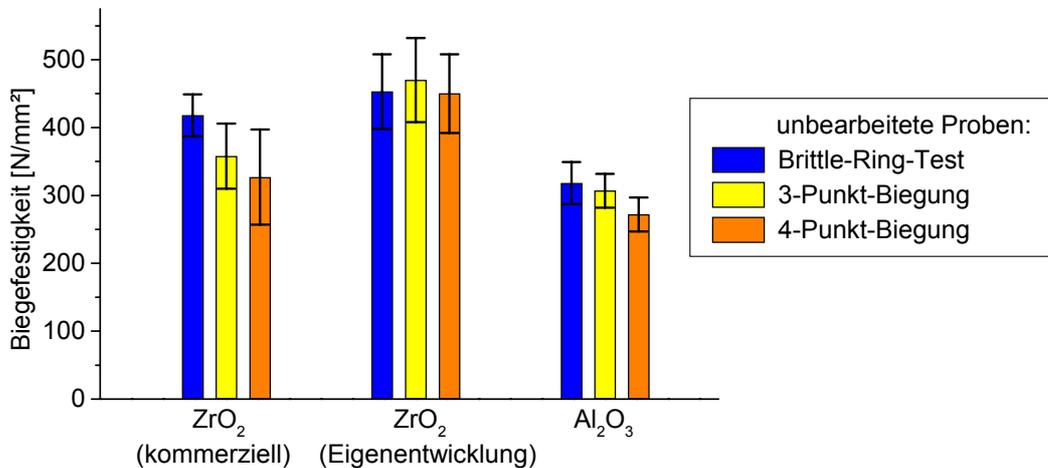


Bild 10: Vergleich der mechanischen Festigkeit von Brittle-Ring-Test, 3-Punkt- und 4-Punkt-Biegung

Die mechanische Festigkeit von teilstabilisierter Zirkonoxidkeramik wird erheblich durch die Phasenzusammensetzung beeinflusst.

Bild 6 zeigt, daß durch Schleifen nicht nur die Rauheit der Oberfläche geändert wird, sondern auch der monokline Phasenanteil gesteigert wird. Die dadurch entstehenden Verspannungen in der Oberfläche wirken sich festigkeitssteigernd aus. Dagegen ist das in Eigenentwicklung entstandene Zirkonoxid in seiner mechanischen Festigkeit nahezu unabhängig vom Bearbeitungsgrad.

Polieren der geschliffenen Zirkonoxidproben senkt den monoklinen Phasenanteil im Oberflächenbereich wieder mit der Folge eines leichten Festigkeitsverlusts. Jedoch weisen polierte Proben gegenüber „as fired“-Proben - trotz bis zu 2 % niedrigerem monoklinen Phasenanteil - eine höhere Festigkeit auf. Die Ursache hierfür liegt wahrscheinlich in der geringeren Oberflächenrauheit.

Wie auch beim Aluminiumoxid spielt der  $R_a$ -Wert in Bezug auf die Festigkeit eine eher untergeordnete Rolle. Bei allen drei Werkstoff-Qualitäten steigt die Festigkeit durch Schleifen der Oberfläche trotz größerem  $R_a$ -Wert an. Offensichtlich werden dadurch die größten (bruchauslösenden) Fehler eliminiert. Polieren wirkt sich auf Grund konstanter Phasenzusammensetzung nur beim Aluminiumoxid festigkeitssteigernd aus.

## 5. Zusammenfassung

Die mit dem Brittle-Ring-Test erzielten Festigkeitswerte entsprechen in etwa denen der Dreipunktmethode. Damit ist der Brittle-Ring-Test eine einfache und kostengünstige Alternative zu den genormten Prüfverfahren. Dabei ist zu beachten, daß die Höhe  $h$  der Ringe so groß eingestellt werden sollte wie die Dicke  $s$  der Biegestäbe.

Der Vergleich der durch die verschiedenen Methoden gewonnenen Festigkeitswerte von Zirkonoxidkeramik muß differenzierter betrachtet werden, da der Anteil der monoklinen Phase und damit verbundenen inneren Spannungen das Festigkeitsniveau wesentlich stärker beeinflussen als z.B. die Rauheit der Oberfläche.

## 6. Literatur

- [1] DIN VDE 03 35: Bestimmung für Keramik- und Glas-Isolierstoffe, Teil 2 Prüfverfahren; Beuth Verlag 1988
- [2] Ayal De S. Jayatilaha: Fracture of Engineering Brittle Materials, Applied Science Publisher Ltd. London
- [3] Munz, D.; Fett, T.: Mechanisches Verhalten keramischer Werkstoffe, Springer Verlag, Berlin 1989
- [4] Nadler, P.: Festigkeitsprüfung und Auswertung an keramischen Körpern beliebigem Querschnitts mit Umrechnung auf Standardbedingungen der keramischen Werkstoffprüfung, VE Wissenschaftlich-technischer Betrieb Keramik Meißen
- [5] Frey, Th.; Groz, K.; Holler, J.; Zehm, K.: Brittle Ring Test – Ein Vergleich mit der 3- und 4-Punkt-Biegung, cfi/Ber. DKG, **72** (1995), Nr. 6, 333-337

\* Die Messungen dieser Arbeit wurden durchgeführt im Rahmen des Projektes „Konstruktionsteile aus Zirkonoxid für die Textilmaschinenindustrie“. Es wurde gefördert durch den Bayerischen Forschungsverbund für keramische Materialentwicklung und Prozesstechnik FORKERAM der Bayerischen Forschungstiftung (BFS).

Dieser Artikel ist die Fortsetzung der Arbeiten zur Veröffentlichung [5].



# **Biomass: A Renewable Source of Energy for Selected Applications in Australia and Germany**

**Dr. Mir-Akbar Hessami**

Monash University, Clayton, Australia  
Department of Mechanical Engineering

**Prof. Dr.-Ing. Arnd Hilligweg**

Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule Nürnberg  
Fachbereich Maschinenbau und Versorgungstechnik

Nuremberg University of Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

## **Abstract**

In the first section of this paper we provide details of our investigations of the use of biomass to produce heat and power using conventional cogeneration processes in two Australian hospitals, and to provide heat to one German hospital. For the Australian applications municipal solid waste was considered as the primary source of energy while for the German installation we have studied the use of wood chip which can be produced from biomass cultivated and harvested on site, or from waste biomass purchased from external sources.

In the second section we show that farmers are now able to use abundantly available renewable energy sources at an affordable cost. To demonstrate this concept, with reference to specific applications, we discuss the use of biogas in a dairy farm in Australia and the use of biomass in a farm in Southern Germany.



## 1. Covering the energy demand structures of hospitals by renewable sources

Hospital administrators are increasingly seeking assistance from engineering consultants to investigate the feasibility of generating their required heat and power on site using renewable sources of energy such as solar, wind, biomass, etc. Their aim is to reduce operating cost as well as greenhouse gas emission which is significant when fossil fuel is used for heat and power production. In this paper we provide details of our investigations of the use of biomass to produce heat and power using conventional cogeneration processes in two Australian hospitals, and to provide heat to one German hospital. For the Australian applications municipal solid waste was considered as the primary source of energy while for the German installation we have studied the use of wood chip which can be produced from biomass cultivated and harvested on site, or from waste biomass purchased from external sources. Actual heat and power consumption data for these applications are included. Furthermore, the details of the cogeneration plants for the Australian, and those of the heating system for the German applications are provided.

### 1.1 Introduction

Hospitals like many other industrial applications use a significant quantity of both thermal and electric energy produced primarily from fossil-fuel sources such as coal, natural gas, heavy oils, etc. For such applications, the general trend is that the heat demand is nearly uniform throughout the year, but the demand for electricity varies with the maximum occurring during summer because of the increased need for cooling. Due to the escalating cost of energy world-wide, the adverse environmental effects of these fuels and therefore statutory pollution restrictions, and the age of building services equipment, many hospital administrators have been seeking assistance from engineering consultants to investigate the feasibility of generating the required heat and power on site using renewable sources of energy such as solar, wind, biomass, etc.

The incentive behind these moves has not only been economic factors but also social and political ones. Hospital administrators do not wish to be associated with environmental pollution but to be recognised for providing a health service in the community in a sustainable manner.

In this paper we provide details of our investigations on the use of biomass to produce heat and power using conventional cogeneration processes in two Australian hospitals, and to provide heat to one German hospital. For the Australian applica-

tions municipal solid waste was considered as the primary source of energy while for the German installation we have studied the use of wood chip which can be produced from biomass cultivated and harvested on site, or from waste biomass purchased from external sources.

We have then designed a cogeneration plant for the Australian application and a central heating system for the installation in Germany to meet their energy requirements. The details of these facilities in terms of their hardware and heat and power output are provided in this paper.

### 1.2 Details of cogeneration systems for Australian hospitals

The primary aim of a cogeneration system is to meet the power and heat demands of the application for which it has been designed. It is therefore essential to have access to such data as a function of time so that the system can be designed to generate the required amount of energy and power. For this reason, actual heat and power consumption data are calculated from the available records and included for three different hospitals in Table 1.1; more detailed information is available in [1.1, 1.2]. For optimum design, the hardware of the energy system should be sufficiently flexible to meet the variable heat and power demands of Table 1.1.

Month	Australia				Germany	
	Hospital A		Hospital B		Hospital C	
	Elec	Gas	Elec	Gas	Elec	Gas
1	224	714	248	152	197	491
2	327	571	235	152	165	424
3	280	625	235	152	164	414
4	295	658	188	197	161	308
5	306	722	223	197	153	215
6	226	893	231	238	145	188
7	235	717	249	238	155	126
8	169	873	228	227	136	117
9	209	726	232	227	136	187
10	177	616	211	184	153	270
11	211	640	240	184	153	360
12	262	501	240	152	174	455
Min	169	501	188	152	136	117
Max	327	893	249	237	197	491
Ave	243	688	230	191	158	296
R <sub>PH</sub>	1:2.83		1:0.83		1:1.87	

After considering the heat and power demand variations for hospitals A and B, the system was designed around two sets of **Perkins SI** natural gas engine model 2006TS1 which has a nominal electric output of 160 kW at 1500 RPM, and a heat

output of 320 kW. However, since the system is designed to run on biogas instead of natural gas, based on the literature from the manufacturer, the output of these engines would decrease by as much as 25%. Hence, the total output would be 240 kW electricity and 480 kW heat if both engine sets are operating at full load. The other advantage of such a design is that one of the two engines can be completely shut down when the demand is low.

The power plant described in the above paragraph would rely on a biogas reactor (or digester) for its fuel requirements. The capacity of the digester vessel should be sufficiently large to ensure that the fuel demand of the engines is met at all times. Assuming that each engine set of the cogeneration system has an overall efficiency of about 80%, based on 120 kW electricity and 240 kW heat, the heat flow rate into the system would be 450 kW. Knowing that the calorific value of biogas is around 26 MJ/m<sup>3</sup>, the total biogas requirement would be about 1500 m<sup>3</sup> per engine set and day, or 3000 m<sup>3</sup> per day for the entire system. Therefore, the reactor should be able to generate that quantity of biogas daily to keep the system operating.

Bio-decomposition of organic waste in a digester is generally accomplished anaerobically, ie, in the absence of oxygen. There are a number of reactor types which can be used to anaerobically treat organic waste and produce biogas; a full description can be found in [1.3, 1.4]. The reactor which is proposed for the power plant described earlier is of the *contact reactor* type which is a subset of what is known as *the constantly stirred tank reactor* (CSTR). As the name implies, the contents of these digester vessels which are made in the form of a tank are agitated constantly or periodically, and as the raw effluent enters the reactor the same amount of digested sludge is extracted either in a batch or continuous mode. Therefore, the size of the vessel and the loading rate would determine the operating HRT (hydraulic retention time, the time which a **water** molecule spends in the reactor) and SRT (solid retention time, the time which the biologically active **solid** component of the effluent spends in the reactor), which are of the same duration for a CSTR. Since biogas yield increases with SRT (Etheridge and Stafford [1.5]), if there is no control over the SRT, for a given yield, a relatively large digester volume would be required.

However, modern reactors are designed to circumvent this problem by allowing for the recirculation of some of the digested sludge so that a higher SRT than HRT can be accommodated (Van den Berg [1.6]). Such a reactor is generally referred to as the *contact (or recycled floc) reactor*; an example of a contact reactor has been described in [1.4] and will not be repeated here. The digestion

system can be described in terms of two digestion stages: (1) In the **primary stage** raw effluent is introduced into the vessel where it is exposed to sludge enriched with microbiological floc. Due to the presence of recycled biomass, the bacterial content is larger than that for a CSTR, and hence the quicker digestion process. (2) In the **secondary stage**, the digested sludge from the primary vessel is fed into a sedimentation tank where the effluent is left to stratify. The undigested solids to which the bacteria are attached, being heavier than the digested solids, settle in the bottom of the tank from where these solids can be extracted and returned to the primary digester. The digested solids can then be pumped through a centrifuge to produce dewatered organic fertiliser and bacteria-rich liquid which can be used for irrigation. The heating of the digester is accomplished by circulating the hot water from the Perkins engine-generator sets described earlier.

The volume of the reactor vessels for the system described in [1.4] is 2300 m<sup>3</sup> and 450 m<sup>3</sup> for the primary and secondary stages, respectively. As reported in [1.7], a loading rate of 7.2 kg volatile solids<sup>1</sup> (VS) per day per m<sup>3</sup> of active digester volume with a 20 day HRT at a digester content temperature of 35 °C would generate 1.4 m<sup>3</sup> of biogas (55% methane content) per day. Therefore,

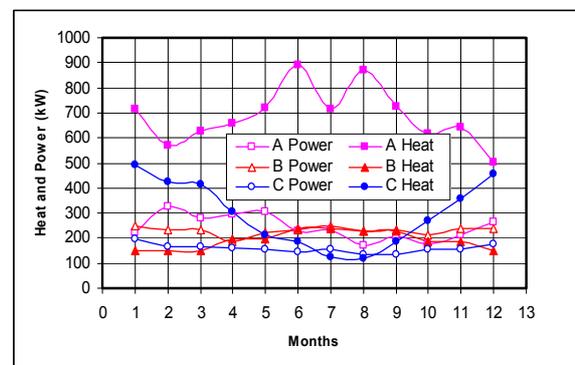


Figure 1.1: Heat and power consumption data for three hospitals.

for the proposed system which has a total digester volume of 2750 m<sup>3</sup>, the loading rate would be 19,800 kg of VS/day with a yield of about 3,850 m<sup>3</sup> of 55% methane on daily basis. This is in excess of 3000 m<sup>3</sup> per day needed by the two engine-

<sup>1</sup> Vermuelen et al. [8] have reported that household waste has a relatively low solids content (20-25%) with a relatively high VS content (89-94%). As a result, the C:N ratio is below the optimum value of 20:1 to 30:1 for contact reactors. Therefore, the biogas yield would improve if carbon supplementation in the form of waste paper or straw is available.

generator sets described above. The excess capacity of the reactors can be used to compensate for variation in the quality of the effluent entering the system.

The amount of organic waste which is dumped annually in Australia is reported to be 14 million tonnes (The Age [1.9]). One particular municipality with 120,000 residents is said to have generated 40,000 tonnes annually, or over 100 tonnes daily. Therefore, the 20 tonnes of organic waste per day needed for the plant being designed can be procured in the neighbourhood where the proposed cogeneration system is installed.

### 1.3 Design details of the central heating system for the German hospital

Due to the low prices of electrical energy in the EC, the benefits of a biomass based concept only for heat supply of hospital C were investigated (Küßwetter and Papperger [1.2]). Figure 1.1 shows that for all three hospitals there is a heat demand all year around. The basic heat load which even exists in summertime is favourable for the use of wood fired boilers as they should not be operated below part loads in the order of 50% to achieve complete combustion. Possible operating strategies are:

- Matching the boiler's minimum part load with the basic heat demand in summertime and supplying the peak load in wintertime by other fuels.
- Designing the biomass fired boiler for maximum load in the months of highest heat demand and shutting it off under 50 % nominal capacity.

In this project we decided to follow strategy a) in order to establish an all year around operation of a wood-chip fired boiler. This biomass was selected here because of the good supply structures in Bavaria where the hospital is situated. Residual and thinning timber from state and private forests is collected and processed to wood chips.

Wood or straw-pellets were not considered because they need a good amount of fossil energy for their production (Hilligweg and Wolfrom [1.10]). Thus the total reduction of carbon-dioxide emission is less compared to wood chips.

Figure 1.2 also shows that the daily heat demands favour the implementation of a wood-chip fired boiler. Even in summertime, the demand is steady and can be met by part load operation as per strategy a).

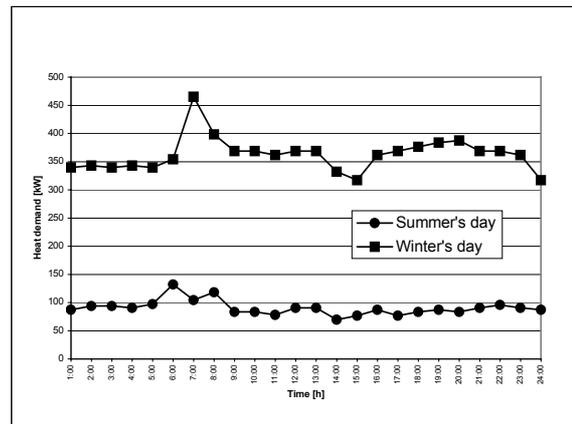


Figure 1.2: Daily heat demand for hospital C

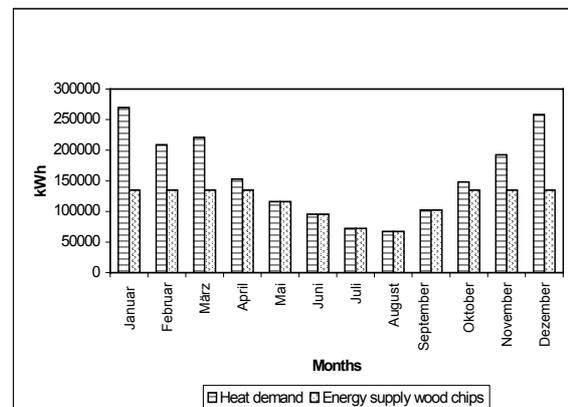


Figure 1.3: Share of energy supplied by biomass

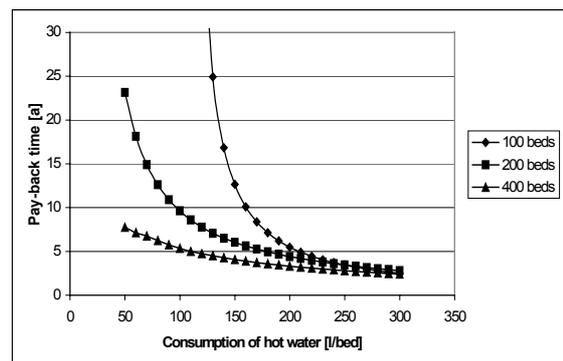


Figure 1.4: Payback times of wood-chip fired boilers.

Following this strategy, Figure 1.3 shows the share of heat supplied by the wood-chip fired boiler designed for all year operation. During summertime (May until September) the heat demand is met by

the biomass-fuelled boiler. A relevant reduction in carbon-dioxide emission is resulting. From October to April other fuel has to be added.

Finally the question must be answered whether such a concept is economically competitive. There is an additional investment for the wood-chips' storage and the more costly boiler which mostly includes a screw conveyor for automatical operation. This additional investment can be met by energy costs in the order of 0.01 €/kWh.

Taking current natural gas prices into account, the pay-back times shown in Figure 1.4 (previous page) are obtained. The consumption of hot water per bed was varied according to the widely spread needs in German hospitals (Kramel [1.11]).

The hospitals' sizes were set at typical numbers of beds of 100, 200 and 400.

With low hot water need in the order of 50 l/bed, it takes about 400 beds to make the wood-chip fired boiler competitive at a reasonable pay-back time of eight years. Taking German governmental grants into account, the pay-back time reduces to the order of six years. Higher hot water consumptions, resulting in a higher all year around heat demand, make this and other biomass concepts more attractive.

## 1.4 Conclusions

Energy from biomass and particularly from municipal waste is a concept which has been widely reported in the literature for a variety of applications. Here we have provided the results of our investigations on the use of biomass as a renewable source of energy in three different hospitals under totally different climatic and geographic conditions, i.e., two hospitals in Australia and one in Germany.

For the Australian hospitals, the use of municipal solid waste was discussed and it was illustrated that anaerobic digestion of 20 tonnes per day of such a waste can produce enough biogas to drive two sets of Perkins engine-generator sets which in turn can produce a total of 240 kW of electricity and 480 kW of heat.

For the hospital in Germany, it was shown that introducing a wood-chip fired boiler in a hospital's central heating system may be a first step towards the use of renewable energy sources even in countries where the cost of electricity is very low. The use of biomass for meeting the heat demand is possible with conveniently operating boilers. The effect of this strategy is explained to be low energy costs and reasonable pay-back times.

## 1.5 References

1. Hayward, J.F. (1995). *Biogas Cogeneration Power Plant for Small Scale Applications*, Final Year Project Report, Department of Mechanical Engineering, Monash University, Clayton.
2. Kűßwetter, C., and Papperger, P. (1999). *Möglichkeiten zur alternativen Energiebereitstellung im Krankenhaus*, Dept. of Mech. Engineering, Nuremberg University of Applied Sciences, Nuremberg.
3. Carroll, and Hessami, M.A. (1993). *Design and Feasibility of Biogas Digester: A Preliminary Report*, Internal Report, Department of Mechanical Engineering, Monash University, Clayton, Victoria, Australia, 126p.
4. Hessami, M.A., and Antlej, F. (1992). *Biogas-Fuelled Cogeneration System in a Piggery - Design and Process Description*, pp. 1370-1374., Proc. World Renewable Energy Congress, v 3, Reading, United Kingdom.
5. Etheridge, S.P., and Stafford, D.A. (1987). *The anaerobic digestion of pig waste in four different reactor designs*, pp. 139-161, Global Bioconversion, CRC, vol iii, Chapter 5
6. Van den Berg, L. (1980). *Performance and stability of the anaerobic contact process as affected by waste composition inoculation and solid retention time*, pp. 496-501, Proc. 35th Perdu Industrial Waste Conference.
7. Mata Alvarez, J., Cecchi, F., Pavan, P., Bassetti, A. (1993). *Semi-dry thermophilic anaerobic digestion of fresh and pre-composted organic fraction of municipal solid waste: Digester performance*, pp. 87-96, Water Science & Technology, 27(2)
8. Vermuelen, J. et al. (1993). *Processing of biowaste by anaerobic composting to plant growth substrates*, pp. 109-119, Water Science & Technology, 27(2)
9. The Age (1997). *That's a hole lot of waste*, 6 November.
10. Hilligweg, A., and Wolfrom, J. (2001). *Biomass as a Source of Heat and Power for a Bavarian Farm*, Proc. 5<sup>th</sup> Int. Conf. on Heat Engines and Environmental Protection, pp. 173 – 181, Budapest.
11. Kramel, B. (1997). *Ermittlung von Kennzahlen im Krankenhaus*, Dept. of Mechanical Engineering, Nuremberg University of Applied Sciences, Nuremberg
12. Hessami, M.-A., Hilligweg, A. (2002). *Covering the Energy Demand Structures of Hospitals by Renewable Sources*, Proc. 12<sup>th</sup> European Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, Amsterdam

## 2. Concepts for the use of biogas and solid biomass in agricultural facilities

Farmers are now able to use abundantly available renewable energy sources at an affordable cost. To demonstrate this concept, with reference to specific applications, we discuss the use of biogas in a dairy farm in Australia and the use of biomass in a farm in Donauries region in Southern Germany. In the Australian context, we provide the details of a pilot project which was designed and built to anaerobically treat animal waste. We studied the effect of digestion temperature on the gas yield, and the composition of the biogas generated. For the application in Germany, several renewable primary sources of biomass were considered, and compared with each other in terms of their emission balance, percentage of fossil fuel energy used for cultivating, harvesting and preparation of the biomass, and biomass storage space requirements. These concepts were then evaluated in comparison to a conventional fossil fuel based system.

### 2.1 Introduction

The main sources of energy in agricultural facilities are electricity, natural gas and biomass (mainly wood). Their main uses are heating, cooling (refrigeration), air-conditioning, lighting, and hot water. Due to the increasing cost of the non-renewable energy sources and their environmental adverse effects, there is a tendency by many farmers worldwide to explore the possibility of using renewable sources of energy to satisfy their needs, to reduce their operational costs, and to help reduce greenhouse gas emission.

The traditional renewable sources of energy are solar and wind which are widely covered in the open literature and therefore not addressed here. However, in this paper, with reference to specific applications, we discuss the use of biogas in a dairy farm in Australia and the use of biomass in a farm in Donauries region in Southern Germany. The objective here is to demonstrate that farmers are no longer restricted to the use of fossil fuels, and can utilise abundantly available renewable energy sources at an affordable cost.

### 2.2 Biogas production from animal waste in a dairy farm

Anaerobic digestion as a means of waste decomposition and concurrent energy production (biogas) has long been used to produce useable gas in developing countries and some industrialised nations. The viability of using this technology depends

on the balance between the cost of useable energy, the cost of implementation and operation of the technology, and the cost of waste disposal. Facilities with larger waste disposal problems can justify the costs involved with the implementation of a gas collection and power generation system but as the amount of waste to be treated decreases the capital cost of installation begins to outweigh any benefits achieved.

In order to demonstrate the feasibility of producing biogas from animal waste in a small-scale agricultural facility in Australia, a pilot project was set up on a 350-acre dairy farm rearing 150 dairy cows. In this farm, the cattle spends an average of 6 hours per day standing on concrete yards and all manure excreted during this time is flushed and drained into a double treatment lagoon system. The first one is an anaerobic lagoon in the shape of an inverted pyramid measuring 10 m by 10 m by 5 m deep. The sludge settles to the bottom of the lagoon and as new manure is added the treated supernatant is pushed out due to gravity into a second aerobic treatment pond measuring 10 m x 25 m x 1 m deep. Treated effluent from the second lagoon is gravity fed onto the paddocks as necessary. The total amount of organic matter treated can be estimated

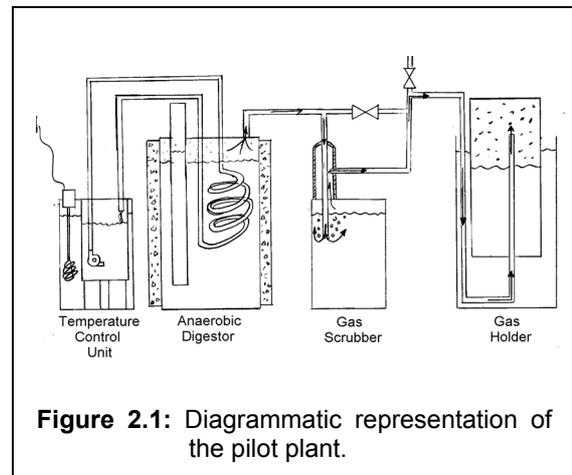


Figure 2.1: Diagrammatic representation of the pilot plant.

knowing that an average 450 kg cow excretes about 10% of its own body weight as manure per day (Stafford et al [2.1]), and 10% of this manure is made up of volatile organic solids. Using the average 6 hour period for the cow standing in the concrete yards results in a pro-rata amount of 169 kg per day of volatile solids excreted on the yard by the 150 cows.

Aerobic and anaerobic digestions are both bacterial processes in which bacteria digest organic matter. A detailed description of the bacterial processes that take place during anaerobic digestion is given in Hobson and Robertson [2.2]. The environmental

factors affecting the anaerobic process are temperature, pH-level, hydraulic retention time (HRT) and feedstock characteristics. The optimum temperature for sewage sludge digestion is in the mesophilic range at about 35 °C (Stafford et al [2.1]). The pH of the digesting sludge is a parameter that must be controlled and maintained between 6 to 8 to achieve efficient digestion because the bacterial activity in the early stages of digestion leads to an acidic environment (Isaacson [2.3]). The HRT is the average period that the waste material resides in the digester.

The lagoon temperature affects the gas yield for a given loading rate. Assuming that the lagoon temperature is equal to the ambient temperature which was estimated to be 13.8 °C for this farm, according to Stafford et al [2.1], 0.4 m<sup>3</sup> of biogas can be produced from 1 kg of volatile solids for a 30 day HRT. Therefore, the total daily biogas production for this farm is 67.5 m<sup>3</sup>. With a biogas composition of 70 % methane (Gecchi et al [2.4]), the daily methane production would be 47.25 m<sup>3</sup>. Using a gas calorific value of 35 MJ/m<sup>3</sup> [2.4], the total energy which can be produced would be 1653.75 MJ. If this methane was used to run an internal combustion engine coupled to an electrical generator, for a 25 % efficiency, the electrical power produced would be 4.78 kW or 115 kWh/day (Constant et al [2.5]). The monetary value of this power based on a peak farm electricity rate of A\$ 0.16 per kWh would be over A\$ 7,000 per annum (A\$ 1  $\equiv$  US\$ 0.52).

The pilot plant, constructed from common materials found on the farm, is shown in Fig. 2.1. The **anaerobic digester** was made of a 44-gallon (0.22 m<sup>3</sup>) oil drum with a top inlet pipe for feeding the influent, a top outlet pipe for gas flow, and two side outlets for temperature measurement and sludge discharge. An internal copper coil was used for heating/cooling to control digester temperature. The digester was insulated using 50 mm thick mineral fibre bats recycled from a disused household hot water heater.

The **gas scrubber** comprised of a 22-gallon (0.11 m<sup>3</sup>) drum filled with water with the gas bubbled through under pressure. The **gas holder** was an inverted plastic barrel inside a steel drum. The steel drum was filled with water to provide sealing and a U shaped copper pipe delivered and removed the gas from the inverted drum.

The **temperature control unit** comprised of a 22-gallon insulated drum with the lid removed and a stainless steel bucket inserted into it. Both the bucket and the drum were filled with water, with the outer heated by an electric resistance heater. A submersible marine pump circulated the heated water through the copper coil placed inside the

digester. The temperature was controlled by an open loop control system with calibrated operational cycles of the pump and heating coil, achieving the desired digester temperatures.

The effect of temperature on gas yield is shown in the graph of Figure 2.2. Gas yield is expressed as m<sup>3</sup> of biogas per kg of volatile solids added for a hydraulic retention time of 30 days. This corresponds to the HRT of the lagoon under normal operation. The curve of best fit for the experimental data is a polynomial which has a number of characteristics that can be explained as follows: For temperatures below 15 °C, the yield appears to be constant indicating that any further temperature drop does not cause a significant drop in gas yield.

As the temperature increases above 20 °C the gas yield increases substantially but this trend appears to stabilise at around 30–35 °C.

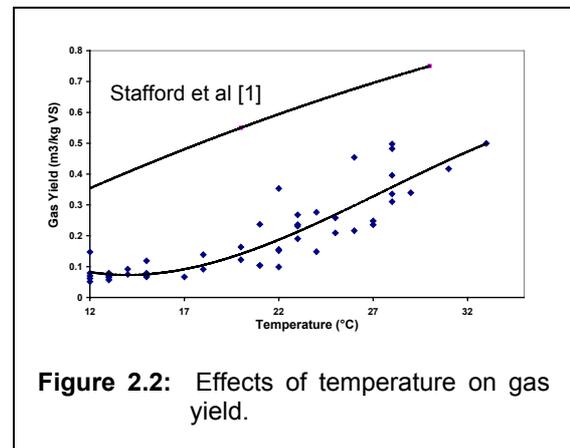


Figure 2.2 also shows a comparison of our experimental data and those from the literature. Admittedly there is a measurable difference between our measured values and those predicted using Stafford et al's [2.1] correlation. This should not be very surprising because most experimental data in the literature do not agree with each other either. For example, predicted gas yield from dairy cattle manure digested under ideal conditions at 35 °C with a 30-day HRT shows a variation from 0.22 (Wise [2.6]) to 0.93 (Baumann et al [2.7] and Hobson et al [2.8]) kL of biogas per kg VS. The yield for the present data under these conditions was estimated to be 0.58 kL of biogas per kg VS while Stafford et al [2.1] have reported a yield of 0.83 kL of biogas per kg VS. Based on the present experimental data, the total yearly gas production using Fig. 2.2 is 5,089 m<sup>3</sup>. Using the method of approach illustrated previously, this will generate a yearly electricity aggregate of 10,700 kWh providing a potential annual income of approximately A\$ 1,700.

In order to find the composition of the biogas, six gas samples were stored and then tested using LFG 20 infra red absorption analyser to determine their methane composition. The samples were taken over a wide range of operating temperatures in order to capture any variations. The composition of the generated gas was found to vary from 66 % to 74.1 %. It was found that as the temperature rose the concentration of methane decreased. This agrees with the data obtained from two other case studies carried out during this project. In one application, the effluent was digested at ambient temperatures and the methane composition was measured to be 80 %. In another application, the digester temperature was controlled at 35 °C and the resulting gas composition was measured to be 65-70 %. This is in good agreement with the literature which shows that the methane composition of the gas can vary from as little as 55 % up to 80 %. Although the gas produced at lower temperatures has an improved methane composition, the increased gas yield at the higher temperatures outweighs any benefits obtainable by keeping the temperature low in order to gain better methane purity.

### 2.3 Use of biomass in agricultural facilities in Germany

Solid or liquid biomass as a source of renewable energy can be stored easily in order to satisfy different demands throughout the year particularly in the countryside where there are many biomass sources available for such purposes. Some of these sources are evaluated as an example for a farm in the Donauries region in Southern Germany. The owner of this farm intended to expand the stables and erect a new energy supply system using biomass. The farm's heat-requirements were estimated to be 30 kW for the farmstead, 12 kW for the stables, and another 8 kW for hot water supply of the stables (50 kW in total).

#### 2.3.1 Biomass selection criteria

In this project, different renewable primary products have been considered in order to show that

- acceptable conditions of growth exist in Bavaria,
- a reasonable mass-yield can be achieved,
- they can be combusted with proven technology,
- farmers are familiar with relevant cultivation and harvesting and/or processing techniques.

#### 2.3.2 Comparison of biofuels

For this purpose, among other aspects, the amount of fossil energy needed to prepare and process the biomass material was calculated (Wolfrom [2.9], Kaltschmitt [2.10]). The ratio between fossil energy

demand and renewable energy gain indicates the chosen material's contribution to substitution of conventional resources. Exemplary data are provided in tables 2.1 and 2.2, where numbers in brackets [ ] refer to timber cultivated in short mode operation.

	<b>Timber logs</b>	<b>Chopped timber</b>	<b>Wood chips</b>
	(GJ/ha)	(GJ/ha)	(GJ/ha)
Cultivation & Harvesting	0.6 [9.0]	0.6 [9.0]	0.6 [9.0]
Preparation	0.2 [1.5]	0.4 [2.7]	0.8 [5.8]
<b>Total Input</b>	<b>0.8 [10.5]</b>	<b>1.0 [11.7]</b>	<b>1.4 [14.8]</b>
Gross gain from biomass	25.7 [171.0]	25.7 [171.0]	25.7 [171.0]
<b>Nett gain</b>	<b>24.9 [160.5]</b>	<b>24.7 [159.3]</b>	<b>24.3 [156.2]</b>
<b>Fossil (%)</b>	<b>3.1 [6.1]</b>	<b>4.0 [6.8]</b>	<b>[8.7]</b>

	<b>Straw (Pellets)</b>	<b>Grain (Pellets)</b>	<b>Rape-methyl-ester (RME)</b>
	(GJ/ha)	(GJ/ha)	(GJ/ha)
Cultivation & Harvesting	0.8	13.3	18.2
Preparation	7.6	7.8	11.9
<b>Total Input</b>	<b>8.4</b>	<b>21.1</b>	<b>30.1</b>
Gross gain from biomass	106.5	156.8	51.0
<b>Nett gain</b>	<b>98.1</b>	<b>135.7</b>	<b>20.9</b>
<b>Fossil (%)</b>	<b>7.9</b>	<b>13.5</b>	<b>59.0</b>

#### 2.3.3 Calculation of operating costs

For several renewable fuels, suitable boilers were selected, hydraulic sketches were prepared, and the costs of components and installation were calculated. The total costs of using different types of biomass consist of raw material cultivation, harvesting, preparation and processing, transport and storage, and energetic utilisation. These are compared with the costs for using mineral fuel oil and given in tables 2.3 and 2.4.

**Table 2.3:** Investments and annual operating costs

	Mineral fuel oil	Timber logs	Wood chips
<b>Investments [€]</b>			
Boiler incl. buffer	5,115	12,170	16,820
Storage or tank	5,115	-	2,555
Installation	1,740	2,455	2,150
<b>Total Inv.</b>	<b>11,970</b>	<b>14,625</b>	<b>21,525</b>
<b>Operating costs [€/annum]</b>			
Fuel	3,880	2,025	1,410
Operation salary	-	510	230
Maintenance	300	145	215
Electricity	3,935	3,935	3,935
Investment	795	975	1,435
<b>Annual Costs</b>	<b>8,910</b>	<b>7,590</b>	<b>7,225</b>
<b>Profit (Loss)</b>	<b>0</b>	<b>+1,320</b>	<b>+1,685</b>

**Table 2.4:** Investments and annual operating costs

	Mineral fuel oil	Straw	RME-cogen.
<b>Investments [€]</b>			
Boiler incl. buffer	5,115	13,835	11,605
Storage or tank	5,115	2,555	5,110
Installation	1,740	2,150	2,455
<b>Total Inv.</b>	<b>11,970</b>	<b>18,540</b>	<b>19,170</b>
<b>Operating costs [€/annum]</b>			
Fuel	3,880	1,580	7,175
Operation salary	-	305	-
Maintenance	300	130	955
Electricity	3,935	3,935	930
Investment	795	1,235	1,280
<b>Annual Costs</b>	<b>8,910</b>	<b>7,185</b>	<b>10,340</b>
<b>Profit (Loss)</b>	<b>0</b>	<b>+1,725</b>	<b>(-1,430)</b>

The details of the calculations of the total operating costs and the total investment for the different heating concepts including central-heating boiler, buffer, oil-tank, storage space and piping considered in this study are available in Wolfrom [2.9, 2.11].

It can be seen that the use of wood (logs or chips) and the use of straw results in lower costs compared to mineral fuel oil or rape-methyl-ester (RME). These figures become even more favourable for the two wood fired concepts when governmental investment grants (Förderfibel [2.12]) are taken into account.

For a first estimation of whether an investment into a concept which uses renewable energy material is economically viable, costs were calculated and summarised in a flow-chart (Hilligweg and Wolfrom [2.13]) which showed the main influence of the mineral oil-price. When mineral fuel oil is cheaper than 0.30 €/l, only residual material is competitive. In the range of 0.30-0.40 €/l energy plants become competitive, and above 0.40 €/l also RME (rape-methyl-ester) is worth considering.

It must be noted here that the design and costs of main components and other equipment are based on the type of farm being investigated, and that the results of this investigation may be used only for comparison purposes. In this case, the results proved sufficiently encouraging for the farmer to install a wood-chip fired central heating boiler and also to produce rape-oil for use as tractor fuel.

## 2.4 Conclusions

The case studies reported here indicate that many farmers have begun using renewable energy sources not only to reduce their operational cost, but also to help with waste management and environmental pollution control. The Australian application showed that animal waste can easily be transformed into biogas which can then be used to drive engines for mechanical and electrical power requirements or to produce hot water.

The German case study showed that biomass can provide fuel for economically competitive alternative heating concepts and can contribute to a reasonable reduction of CO<sub>2</sub> emission. The additional investment requirements compared to fossil fuel concepts can be met by governmental investment grants and/or by savings made due to the lower operating costs of installations using renewable sources. The latter is particularly more attractive when the biomass is produced, cultivated and harvested onsite by the user.

## 2.5 References

1. Stafford, D.A., Hawkes, D.L., Horton, R. (1980), *Methane Production From Waste Organic Material*, CRC Press, Inc, Florida.
2. Hobson, P.N. and Robertson, A.M. (1984), *Waste Treatment In Agriculture*, Applied Science, London.
3. Isaacson, R. (1991), *Methane From Community Wastes*, Elsevier Applied Science, London.
4. Gecchi, F., Mata-Alvarez, J., Pohland, F.G. (1993), *Anaerobic digestion of solid waste*.
5. Constant, M., Naveau, H., Ferrero, G., Nyns, F. (1989), *Biogas end use in the European community*, Elsevier Applied Science, Essex.
6. Wise, D.L. (1981), *Fuel gas production from biomass*, CRC Press, Boca Raton.
7. Baumann, P., Boening, P., Callier, A., Carver, P., Cook, E., Norton, L., Reinhart, D. (1994), *Anaerobic sludge digestion*, Manual of Practice no 16, 2nd ed, Water Pollution Control Federation, Alexandria.
8. Hobson, P.N., Bousfield, S., Summers, R. (1981), *Methane production from agricultural and domestic wastes*, Applied Science, London.
9. Wolfrom, J. (2000), *Klimavertraegliche Energieversorgung von landwirtschaftlichen Betrieben durch Nutzung von Biomasse*, Nuremberg University of Applied Sciences, Dept. of Mech. Eng., Nuremberg.
10. Kaltschmitt, M., Reinhardt, G. (1997), *Nachwachsende Energietraeger: Grundlagen, Verfahren und oekologische Bilanzierung*, Vieweg Verlag.
11. Wolfrom, P. (2000), *Komponenten und Montage biotechnischer Anlagen*, Wolfrom GmbH&Co. KG, Gundelfingen.
12. Fachinformationszentrum Karlsruhe, *Förderfibel Energie - Erneuerbare Energien und Energieeinsparungen*, Deutscher Wirtschaftsdienst, 6<sup>th</sup> ed.
13. Hilligweg, A., Wolfrom, J. (2001), *Biomass as a Source of Heat and Power for a Bavarian Farm*, Proc. 5<sup>th</sup> Int. Conf. on Heat Engines and Environmental Protection, Budapest.
14. Hessami, M.-A., Hilligweg, A. (2002). *Concepts for the Use of Biogas and Solid Biomass in Agricultural Facilities*, Proc. 12<sup>th</sup> European Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, Amsterdam

This text contains two papers [1.12] and [2.14] for the „12<sup>th</sup> European Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection“, Amsterdam, June 2002.



# Die Rolle der Mindestreserve im Eurosystem

## **Prof. Dr. Karlheinz Ruckriegel**

Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule Nürnberg  
University of Applied Sciences  
Bahnhofstr. 87, 90402 Nürnberg  
E-mail: karlheinz.ruckriegel@fh-nuernberg.de

homepage: <http://www.ruckriegel.org>

## **Prof. Dr. Franz Seitz**

Fachhochschule Amberg-Weiden  
University of Applied Sciences  
Hetzenrichter Weg 15, 92637 Weiden  
E-mail: f.seitz@fh-amberg-weiden.de

[www.fh-amberg-weiden.de/home/seitz/index.html](http://www.fh-amberg-weiden.de/home/seitz/index.html)

## **Abstract**

Außerhalb des Notenbankbereichs werden die Funktionen der Mindestreserve oftmals etwas „unscharf“ gesehen, was mitunter zu gravierenden Missverständnissen bei der „Wahrnehmung“ instrumenteller und operativer Maßnahmen einer Zentralbank führt. Der Beitrag beschäftigt sich daher grundsätzlich mit der Stellung der Mindestreserve im Gefüge der geldpolitischen Instrumente, der konkreten gegenwärtigen und künftigen (ab 2004) Ausgestaltung des Mindestreservesystems im Eurosystem, den geldpolitischen Funktionen der Mindestreserve sowie, damit zusammenhängend, auch mit der Rolle des „Geldbasiskonzepts“ in der praktischen Geldpolitik.



## I. Die Einordnung der Mindestreserve im Lichte der Zentralbankbilanz

Die geldpolitischen Instrumente setzen entweder auf der Aktivseite oder auf der Passivseite der Zentralbankbilanz an. Das Banknotenmonopol der Zentralbank führt zu einer Zwangsnachfrage nach Banknoten (P.1 in Schaubild 1). Die Verpflichtung zur Haltung von Mindestreserven sowie der Wunsch, Guthaben zur Abwicklung des Zahlungsverkehrs (Working Balances) bei der Zentralbank zu halten, führen zu einer (Zwangs-)Nachfrage nach Guthaben bei der Zentralbank (P.2 in Schaubild 1, siehe hierzu etwa auch Stiglitz/Walsh 2002, S. 530) seitens der Kreditinstitute. Theoretisch ist aber auch denkbar, dass die Zentralbanken eine ‚freiwillige‘ Nachfrage über ‚attraktive‘ Konditionen herbeiführen (im Einzelnen siehe hierzu Görgens et al. 2003, S. 181, ähnlich Goodhart 2002a, S. 284–287). Zentralbankgeld (Banknoten und Guthaben bei der Zentralbank) kann aber nur geschaffen werden, wenn die Kreditinstitute Geschäfte mit der Zentralbank tätigen. Im Wesentlichen gibt es hier drei Möglichkeiten: Entweder die Zentralbank ist bereit, Fremdwährungsforderungen anzukaufen (A.1 in Schaubild 1) oder die Kreditinstitute verschulden sich bei der Zentralbank (A.2a in Schaubild 1) oder die Zentralbank kauft von den Kreditinstituten (staatliche) Wertpapiere an (A.2b in Schaubild 1). Im Eurosystem werden diese Geschäfte im Wesentlichen in Form einer Kreditaufnahme (Verschuldung) durchgeführt. Beim Federal Reserve System (Fed) in den USA hingegen dominiert der Ankauf von staatlichen Wertpapieren. Einen Ankauf von Fremdwährungsforderungen setzen weder das Eurosystem noch das Fed aktiv zur Schaffung von Zentralbankgeld ein (zu einem Eurosystem-Fed-Vergleich im Einzelnen siehe Ruckriegel/Seitz 2002).

**Schaubild 1: Grundstruktur einer Zentralbankbilanz**

Aktiva	Passiva
A.1: Währungsreserven	P.1: Banknotenumlauf <sup>a)</sup>
A.2a: Forderungen an Kreditinstitute	P.2: Verbindlichkeiten ggü. Kreditinstituten
A.2b: Bestand an (staatlichen) Wertpapieren	(Einlagen, Bankreserven, Bankenliquidität)
A.3: Sonstiges	P.3: Sonstiges

a) Banknoten außerhalb des Zentralbanksystems

## II. Die Ausgestaltung des Mindestreservesystems

Die Mindestreserve verpflichtet die Kreditinstitute, für bestimmte Verbindlichkeiten in Höhe eines bestimmten Prozentsatzes Guthaben beim Eurosystem zu halten (siehe P.2 in Schaubild 1 sowie Schaubild 2).

Für die in Schaubild 2 unter A aufgeführten Verbindlichkeiten gilt derzeit ein Reservesatz von 2 %, d. h. die Kreditinstitute sind verpflichtet, Guthaben beim Eurosystem in Höhe von 2 % dieser Verbindlichkeiten zu unterhalten (der Mindestreservesatz kann zwischen 0 und 10 % liegen). Bemerkenswert ist, dass es auch Verbindlichkeiten gibt, die zwar grundsätzlich mindestreservspflichtig sind, für die derzeit aber ein Reservesatz von 0 % festgesetzt wurde (siehe Position B). Hinter dieser Vorgehensweise steht die Überlegung, dass, falls die Mindestreservebasis (unter A) zu stark schwinden sollte, sie ohne größeren Aufwand um die unter B aufgeführten Verbindlichkeiten erweitert werden kann. Derzeit steht eine solche Erweiterung allerdings nicht zur Debatte.

**Schaubild 2 : Reservebasis und Mindestreservesätze**

<p><b>A. In die Mindestreservebasis einbezogene Verbindlichkeiten mit einem Reservesatz von 2 %</b></p> <p><b>Einlagen</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Täglich fällige Einlagen</li><li>• Einlagen mit vereinbarter Laufzeit von bis zu zwei Jahren</li><li>• Einlagen mit vereinbarter Kündigungsfrist von bis zu zwei Jahren</li></ul> <p><b>Ausgegebene Schuldverschreibungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Schuldverschreibungen mit vereinbarter Laufzeit von bis zu zwei Jahren</li></ul> <p><b>Geldmarktpapiere</b></p>
<p><b>B. In die Mindestreservebasis einbezogene Verbindlichkeiten mit einem Reservesatz von 0 %</b></p> <p><b>Einlagen</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Einlagen mit vereinbarter Laufzeit von über zwei Jahren</li><li>• Einlagen mit vereinbarter Kündigungsfrist von über zwei Jahren</li><li>• Repogeschäfte</li></ul> <p><b>Ausgegebene Schuldverschreibungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Schuldverschreibungen mit vereinbarter Laufzeit von über zwei Jahren</li></ul>
<p><b>C. Nicht in die Mindestreservebasis einbezogene Verbindlichkeiten</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Verbindlichkeiten gegenüber Instituten, die selbst den Mindestreservvorschriften unterliegen</li><li>• Verbindlichkeiten gegenüber der EZB und den nationalen Zentralbanken</li></ul>

Quelle: EZB 2002a, S 56; eigene Ergänzungen.

Grundlage für die Berechnung des Mindestreservesolls, also der Höhe des bei den nationalen Zentralbanken zu haltenden Guthabens, bilden die Monatsendstände der betreffenden Bilanzpositionen der Kreditinstitute. Das Mindestreservesoll wird durch die Multiplikation der reservepflichtigen Bilanzpositionen mit den Mindestreservesätzen berechnet. Um kleinere Institute von der Pflicht zur Haltung von Mindestreserven zu befreien, wird vom Mindestreservesoll einheitlich ein Freibetrag in Höhe von 100.000 € in Abzug gebracht. Die Meldung des Mindestreservesolls an das Eurosystem erfolgt im Rahmen der „Monatlichen Bilanzstatistik“. Die „Monatliche Bilanzstatistik“ wird primär für Zwecke der „Monetären Analyse“ (insbes. Beobachtung der Geldmengenentwicklung) erhoben. Eigenständige Mindestreservemeldungen wie bei der Deutschen Bundesbank zu Zeiten vor der Europäischen Währungsunion werden nicht mehr gefordert. Das nach den Monatsendständen des Vormonats berechnete Mindestreservesoll ist Grundlage für die Mindestreservehaltung der im laufenden Monat beginnenden Mindestreserve-Erfüllungsperiode. Diese Mindestreserve-Erfüllungsperiode beträgt derzeit einen Monat. Sie beginnt am 24. des laufenden Monats und endet am 23. des Folgemonats. Beispielsweise liegen die Monatsendstände zum 31.1 dem Mindestreservesoll für die Erfüllungsperiode vom 24.2. - 23.3 zugrunde. Im Durchschnitt der Kalendertagesendstände müssen die Guthaben beim Eurosystem (mindestens) dem Mindestreservesoll entsprechen (Durchschnitts-Mindestreserve). Ab 2004 wird hier eine Änderung erfolgen. Dann wird die Mindestreserve-Erfüllungsperiode immer am Abwicklungstag des Hauptrefinanzierungsgeschäfts, das auf die erste Sitzung des EZB-Rates im Monat folgt, beginnen (EZB 2003, im Einzelnen hierzu IV.). Um das Instrument der Mindestreserve wettbewerbsneutral zu gestalten, werden Guthaben bei den nationalen Zentralbanken bis zur Höhe des Mindestreservesolls mit einem (nach der Anzahl der Kalendertage) gewichteten Durchschnittszinssatz der während der Erfüllungsperiode abgeschlossenen Hauptrefinanzierungsgeschäfte verzinst (Mindestreserve-Verzinsung), wobei beim Zinstender der marginale Zuteilungssatz herangezogen wird. Guthaben, die das Mindestreservesoll überschreiten (sog. Überschussreserven), bleiben unverzinst. Die Überschussreserven konvergierten allerdings nach Anpassungsproblemen zu Beginn des Jahres 1999 mittlerweile (2002) auf ein relativ niedriges Niveau von ca. 0,4 % des Mindestreservesolls. Ende 2002 betrug das Mindestreservesoll knapp 130 Mrd. €.

### III. Geldpolitische Funktionen der Mindestreserve im Eurosystem

Das Mindestreservesystem des Eurosystems erfüllt im wesentlichen zwei Funktionen (EZB 2002a, S. 54; EZB 2002b, S. 50): Es dient zum einen zur Herbeiführung oder Vergrößerung einer strukturellen Liquiditätsknappheit beim Geschäftsbankensystem (sog. Anbindungsfunktion), zum anderen führt es zu einer Stabilisierung der Geldmarktsätze (sog. Stabilisierungsfunktion).

#### 1. Anbindungsfunktion

Der Mindestreserve kommt im geldpolitischen Instrumentarium des Eurosystems eine zentrale Rolle zu. Grundsätzlich gilt: Damit eine Zentralbank den Tagesgeldsatz kontrollieren kann (siehe hierzu auch III.2), muss eine ausreichende Nachfrage nach Einlagen (Guthaben) bei der Zentralbank bestehen (Woodford 2002, 8f.). Diese Nachfrage wird im Eurosystem durch eine mindestreservebedingte Zwangsnachfrage erzeugt. Da diese Nachfrage stabil und prognostizierbar ist, erleichtert sie auch das Liquiditätsmanagement einer Zentralbank.

Im Gegensatz dazu kommt der Begrenzungsfunktion der Mindestreserve, die einfachen Multiplikatormodellen zugrunde liegt, für die Geldpolitik keine Bedeutung zu. Diese Multiplikatormodelle unterstellen, die Geschäftsbanken könnten sich nur innerhalb eines von der Zentralbank vorgegebenen Umlaufs an Zentralbankgeld bewegen. Sie messen der Mindestreserve somit an erster Stelle eine Begrenzungsfunktion für die Geldschöpfung zu. Geldpolitisch spielt diese Funktion aber keine Rolle, da die Zentralbanken nicht das Ziel verfolgen, den Wirtschaftssubjekten eine bestimmte Geldmenge exogen vorzugeben (Näheres hierzu siehe etwa Görgens et al. 2003, II.4.2). Vielmehr entwickelt sich die Geldmenge zunächst endogen aus dem Zusammenspiel der Zentralbank, der Geschäftsbanken und der Nichtbanken heraus. Die Zentralbank befriedigt dann in einem ersten Schritt stets (vollkommen elastisch) den Bedarf der Geschäftsbanken an Zentralbankgeld. Über die Anbindung des Geschäftsbankensektors an die Notenbank kann die Zentralbank aber im weiteren Verlauf durch eine Änderung der Zinsen, zu denen sie Zentralbankgeld zur Verfügung stellt, auf das Verhalten der Geschäfts- und der Nichtbanken Einfluss nehmen.

#### 2. Stabilisierungsfunktion

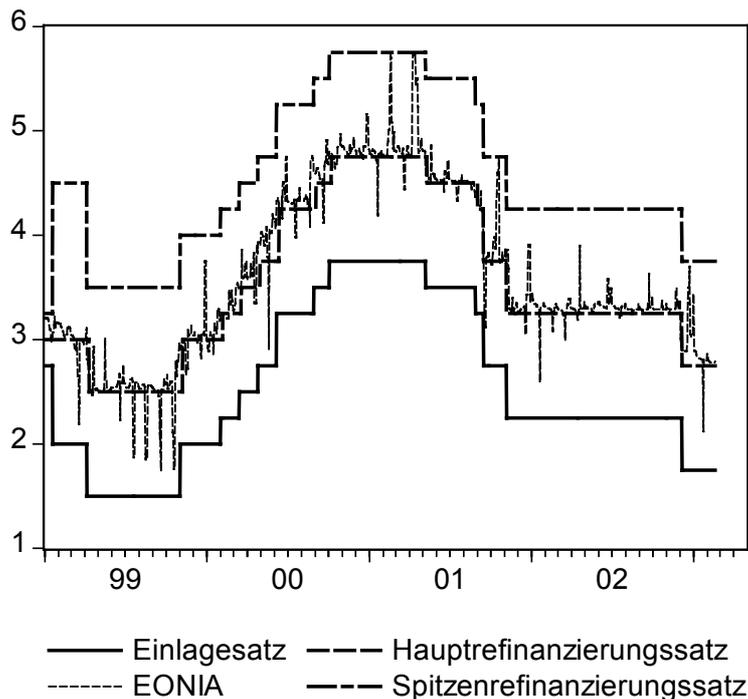
Zentraler Ansatzpunkt für die geldpolitischen Instrumente des Eurosystems aber auch für die aller anderen maßgebenden Zentralbanken (Borio 2001, S. 3) ist der Zinssatz am Interbanken-Geldmarkt, speziell der Tagesgeldsatz (grundsätzlich hierzu Woodford 2001, S. 23f.). Auf dem Interbanken-Geldmarkt handeln die Kreditinstitute untereinander Guthaben bei der Zentralbank (P.2 in Schaubild 1). Solche Transaktionen führen zu keiner Veränderung des Bestandes an Zentralbankgeld, sie bewirken lediglich eine Umverteilung zwischen den Geschäftsbanken. Aus Sicht einer einzelnen Bank erfüllen Geschäfte mit der Zentralbank und der Interbanken-Geldmarkt die gleiche Funktion. Sie bieten ihr unter normalen Umständen den Rückhalt für einen einzelwirtschaftlichen Liquiditätsausgleich und sichern somit ihre geschäftlichen Aktivitäten und ihre Mindestreservedispositionen gegen das Risiko kurzfristiger Liquiditätsschwankungen ab.

Beim Eurosystem kommt dem Zinssatz für das Hauptrefinanzierungsgeschäft (Haupttendersatz) Leitzins- bzw. Signalfunktion für den Tagesgeldsatz zu (zur Geldmarktsteuerung des Eurosystems im Einzelnen siehe Görgens et al. 2003, Kapitel II.4.). Seit dem Übergang zum Zinstender im Juni 2000 signalisiert der Mindestbietungssatz den geldpolitischen Kurs, eine Funktion die vorher der Festzinssatz beim Mengentender wahrgenommen hat (EZB 2002b, S. 47). Das Hauptrefinanzierungsgeschäft hat zwar gegenwärtig eine Laufzeit von 14 Tagen. Da es jedoch wöchentlich angeboten wird, stellt es ein nahes Substitut zur Tagesgeldaufnahme am Interbanken-Geldmarkt dar. Zu Beginn des Jahres 2004 wird die Laufzeit der Hauptrefinanzierungsgeschäfte auf eine Woche verkürzt (EZB 2003). Das Hauptrefinanzierungsgeschäft ist allerdings kein vollkommenes Substitut zur Aufnahme von Mitteln am Tagesgeldmarkt, da das Eurosystem nicht ständig am Markt präsent ist. Dies hat zur Folge, dass das Eurosystem nicht zu jedem Zeitpunkt vollständig den Tagesgeldsatz determiniert. Dies wird anhand Schaubild 3 deutlich.

Die Mindestreserve in der gewählten Ausgestaltung als Durchschnitts-Mindestreserve führt zu einer Stabilisierung des Tagesgeldsatzes. Während einer Mindestreserve-Erfüllungsperiode können nämlich Mindestreserveunterschreitungen und -überschreitungen miteinander verrechnet werden. Eine Wahrnehmung dieser Verrechnungsmöglichkeit wird oft auch als „intertemporale Arbitrage“ bezeichnet. Kurzfristig am Tagesgeldmarkt auftretende Anspannungen bzw. Verflüssigungen können so durch ein vorübergehendes Unterschreiten bzw. Überschreiten des durchschnittlich zu haltenden Mindestreservesolls abgedefert werden. Kommt es etwa in Folge eines unerwarteten Rückflusses an Banknoten (in der Bilanz des Eurosystems erfolgt eine Umbuchung: P.2 steigt, P.1 – Banknotenumlauf - sinkt, siehe hierzu auch Schaubild 1) zu einer Zunahme der Bankenliqui-

dität, d.h. zu einer Verflüssigung des Tagesgeldmarktes und unterschreitet als Folge davon der Tagesgeldsatz den Zinssatz für das Hauptrefinanzierungsgeschäft, haben die Banken einen Anreiz zur Vorauserfüllung („front loading“) des Mindestreservesolls, wodurch das Mittelangebot am Tagesgeldmarkt zurückgeht. In einem solchen Fall stellen sich nämlich Kreditinstitute mit Überschussliquidität besser, da die Verzinsung für Mindestreserveguthaben beim Eurosystem über der Verzinsung einer entsprechenden Anlage am Tagesgeldmarkt liegt. Dieses Verhalten der Banken wirkt so (bei geg. Zinserwartungen) tendenziell einem (weiteren) Absinken des Tagesgeldsatzes entgegen.

### Schaubild 3: Der Zinskorridor im Eurosystem



Quelle: EZB; Anmerkung: Tageswerte

Unvorhergesehene Schwankungen im Liquiditätsbedarf können so i.d.R. zunächst ohne stabilisierende Interventionen des Eurosystems abgefedert werden, was zu einer Verstetigung der Zinsentwicklung am Tagesgeldmarkt beiträgt. Die Mindestreserve fungiert als Liquiditätspuffer. Der Tagesgeldmarkt kann dann sozusagen aus sich heraus ein Gleichgewicht finden, ohne dass die Zinsführerschaft der Zentralbank gefährdet ist oder es zu einer übermäßigen Volatilität des Tagesgeldsatzes kommt. Allerdings kann naturgemäß am letzten Tag der Erfüllungsperiode die Durchschnitts-Mindestreserve nicht mehr stabilisierend wirken, da Reservefehlbeträge bzw. Überschüsse nicht mehr mit künftigen Gegenpositionen verrechnet werden können, was eine höhere Volatilität des Tagesgeldsatzes an diesem Tag zur Folge haben kann (Bindseil/Seitz 2001; siehe auch Schaubild 3).

Reicht – bei zu starken Liquiditätsschwankungen – die stabilisierende Wirkung der Mindestreserve nicht aus und ergreift das Eurosystem keine Feinsteuerungsmaßnahmen, so findet der Tagesgeldsatz beim Zinssatz für die Spitzenrefinanzierungsfazilität seine Obergrenze. Die Inanspruchnahme dieser Fazilität ist mengenmäßig nicht begrenzt, soweit hinreichend Sicherheiten gestellt werden können. Die Kreditinstitute können von sich aus auf sie zugreifen. Da das Bankensystem normalerweise über ausreichende Sicherheiten verfügt, stellt der Zinssatz für die Spitzenrefinanzierungsfazilität eine wirksame Obergrenze dar. Keine Bank wird nämlich bereit sein, am Interbanken-Geldmarkt einen höheren Zins für eine Mittelaufnahme zu zahlen, als sie dafür bei der Zentralbank bezahlen muss. Als Untergrenze fungiert der Zinssatz, den das Eurosystem für Einlagen im Rahmen der Einlagefazilität vergütet, da eine einzelne Bank am Interbanken-Geldmarkt Zentralbankguthaben nicht

zu einem Zins anlegen wird, der unterhalb des Satzes liegt, den die Zentralbank für eine entsprechende Anlage zu zahlen bereit ist. Somit ergibt sich ein Zinskorridor für den Tagesgeldsatz, festgelegt nach oben durch den Spitzenrefinanzierungssatz, nach unten durch den Einlagesatz (siehe Schaubild 3).

#### **IV. Die Änderung der Mindestreserve-Erfüllungsperiode und die Verkürzung der Laufzeit der Hauptrefinanzierungsgeschäfte ab 2004**

Im November 2001 beschloss der EZB-Rat, die Geldpolitik nur noch in der ersten Sitzung eines Monats zu erörtern, d.h. eine Änderung der Notenbankzinsen erfolgt i.d.R. nur noch in dieser Sitzung. Die Mindestreserve-Erfüllungsperiode und die Laufzeit der Hauptrefinanzierungsgeschäfte werden ab 2004 mit dieser Vorgehensweise synchronisiert. Dadurch sollen die Auswirkungen von Zinserwartungen auf das Bietungsverhalten der Kreditinstitute verringert werden (EZB 2002c). Grundgedanke ist dabei, dass es künftig während einer Mindestreserve-Erfüllungsperiode zu keiner Änderung der Notenbankzinssätze mehr kommen soll und dass die Laufzeit von Hauptrefinanzierungsgeschäften nicht über eine Mindestreserve-Erfüllungsperiode hinausreichen soll. Eine Mindestreserve-Erfüllungsperiode beginnt ab 2004 am Abwicklungstag des Hauptrefinanzierungsgeschäfts, das auf die erste Sitzung des EZB-Rates folgt (erster Tag, an dem ggf. eine Änderung der Notenbankzinssätze wirksam wird) und endet am Tag vor dem Abwicklungstag des Hauptrefinanzierungsgeschäfts, das der ersten Sitzung des EZB-Rates im Folgemonat folgt (letzter Tag, bevor ggf. eine (erneute) Änderung der Notenbankzinssätze wirksam wird). Grundlage für die Berechnung des Mindestreservesolls bilden nach wie vor die Monatsendstände der reservepflichtigen Bilanzpositionen, wobei hier jetzt der vorletzte Monat zugrunde liegt. Beispielsweise dienen dann die Monatsendstände zum 31.1. dem Mindestreservesoll für die Erfüllungsperiode, die am Abwicklungstag des Hauptrefinanzierungsgeschäfts, das auf die erste Sitzung des EZB-Rates im März folgt, als Berechnungsgrundlage. Die Laufzeit eines Hauptrefinanzierungsgeschäfts beträgt 7 Tage, so dass das letzte in einer Mindestreserve-Erfüllungsperiode abgeschlossene Hauptrefinanzierungsgeschäft am letzten Tag dieser Erfüllungsperiode ausläuft.

Durch diese Änderungen sollen Über- bzw. Unterbietungen beim Hauptrefinanzierungsgeschäft aufgrund von Zinsänderungserwartungen, die sich auf die Zeit während einer Mindestreserve-Erfüllungsperiode bzw. während der Laufzeit eines Hauptrefinanzierungsgeschäfts beziehen, vermieden werden. Bei der bisherigen Ausgestaltung kam es in Phasen, in denen während der 14-tägigen Laufzeit eines ausgeschriebenen Hauptrefinanzierungsgeschäftes mit einer Senkung der Notenbankzinsen seitens der Geschäftsbanken gerechnet wurde, zu Unterbietungen, d.h. die Geschäftsbanken haben zum gegebenen Mindestbietungssatz weniger Mittel nachgefragt als das Eurosystem zuteilen wollte. Rechnet eine Geschäftsbank nämlich während der Laufzeit des abzuschließenden Hauptrefinanzierungsgeschäfts mit Zinssenkungen, besteht kein Anreiz, sich Mittel teuer bei der Zentralbank zu besorgen. Kommt es tatsächlich zu einer Senkung der Notenbankzinsen durch die Zentralbank, hat die Bank für die Restlaufzeit des Hauptrefinanzierungsgeschäfts Liquidität, die sie zu teuer eingekauft hat. Wird die Zinssenkung während der laufenden Mindestreserve-Erfüllungsperiode erwartet, kommt noch hinzu, dass die Banken einen Anreiz haben, das Mindestreservesoll erst nach der Zinssenkung zu erfüllen, da dann bei gegebenem Ertrag aus der Mindestreservehaltung die Kosten für die Mindestreservehaltung sinken. Dies resultiert schlicht aus dem Verfahren, nach dem die Verzinsung der mindestreservebedingten Guthaben ermittelt wird. Die Verzinsung errechnet sich nämlich aufgrund des Durchschnittszinssatzes der während der Mindestreserve-Erfüllungsperiode abgeschlossenen Hauptrefinanzierungsgeschäfte (EZB 2002a, S. 58). Rechnen die Banken mit einer Zinssenkung, so lohnt es sich für sie, vor der erwarteten Zinssenkung das Mindestreservesoll zu unterschreiten, da das Besorgen von Guthaben bei der Zentralbank via Mittelaufnahme bei der Zentralbank (Teilnahme an Hauptrefinanzierungsgeschäften) bzw. via Mittelaufnahme am Tagesgeldmarkt noch verhältnismäßig teuer ist. Nach der Zinssenkung hingegen wird die Beschaffung von Guthaben bei der Zentralbank entsprechend billiger. Während also die Ertragsseite unverändert bleibt - die Berechnung des Durchschnittszinssatzes für die Verzinsung erfolgt unabhängig von der Frage, wann die Guthaben tatsächlich beim Eurosystem gehalten werden; nur die Durchschnittsguthaben werden mit dem Durchschnittszinssatz verzinst - sinken bei der Erfüllung des Mindestreservesolls erst nach der Zinssenkung die Kosten der Mittelaufnahme. Bei erwarteten Zinssenkungen während der Laufzeit eines ausgeschriebenen Hauptrefinanzierungsgeschäftes bzw. während einer Mindestreserve-Erfüllungsperiode kommt es also unter den bisherigen Rahmenbedingungen schlicht aus dem Gewinnkalkül der Banken heraus zu systematischen Unterbietungen.

Rechnen die Banken während der Laufzeit des abzuschließenden Hauptrefinanzierungsgeschäfts hingegen mit einer Erhöhung der Notenbankzinsen, werden sie versuchen, möglichst viel Liquidität vom Eurosystem zum alten Zinssatz „einzukaufen“, um sie am Tagesgeldmarkt zu einem höheren Zins an andere Banken zu verlei-

hen bzw. um das Mindestreservesoll zum niedrigen Zinssatz vorauszu erfüllen, wenn die Zinserhöhung noch für die laufende Mindestreserve-Erfüllungsperiode erwartet wird. In diesem Fall wird bereits im Vorfeld einer Zinserhöhung der Tagesgeldsatz ansteigen, da die erwartete Verzinsung der mindestreservebedingten Guthaben steigt und die Banken am Tagesgeldmarkt keine Mittel zu einem Zinssatz anbieten, der unterhalb des Zinssatzes liegt, den sie von der Zentralbank erhalten.

Sind Veränderungen der Notenbankzinsen während der Mindestreserve-Erfüllungsperiode ausgeschlossen und gibt es keine Hauptrefinanzierungsgeschäfte, die über eine Mindestreserve-Erfüllungsperiode hinausreichen, entfallen auch Über- bzw. Unterbietungen, die auf Zinsänderungserwartungen beruhen. Dies setzt allerdings voraus, daß der EZB-Rat nur einmal im Monat über Zinsveränderungen beschließt, und zwar bei der konkreten Ausgestaltung in der ersten Sitzung. In Ausnahmefällen, die Erwartungen über Zinsanpassungen noch während einer Mindestreserve-Erfüllungsperiode auslösen, kann es daher nach wie vor zu erwartungsbedingten Über- bzw. Unterbietungen kommen.

## V. Zur praktischen Bedeutung des „Geldbasiskonzepts“

Wie von der Geldangebotstheorie bekannt (ein knapper Überblick über die Entwicklung der Geldangebotstheorie findet sich bei Woll 2001, 392–395), kann mit einem gegebenen Bestand an Zentralbankgeld bzw. Geldbasis (B) ein Mehrfaches an Geld in Händen von Nichtbanken (Geldmenge M) erzeugt werden. Dies kommt in folgender Beziehung zum Ausdruck:

$$M = m \cdot B,$$

wobei m den Geldschöpfungsmultiplikator darstellt.

Das Geldbasiskonzept lässt zunächst Aussagen über die (theoretisch) maximale Geldschöpfungsmöglichkeit des Geschäftsbankensystems zu. Soll sich die Aussagekraft des Geldbasiskonzepts aber nicht nur in einer rein logischen Zerlegung der Geldmenge erschöpfen, soll also dieses Konzept auch praktischen Nutzen für die Geldpolitik haben, so muss der für das zu steuernde Aggregat relevante Geldschöpfungsmultiplikator hinreichend stabil sein und die Zentralbank die Geldbasis auch steuern können bzw. wollen. Zumindest letzteres ist beim Eurosystem (aber auch beim Fed) nicht der Fall, d.h. die Geldbasis ist eine endogene Größe (siehe hierzu auch Walsh 2003, S. 17 f.). Beide Zentralbanken steuern nicht die Menge („Geldbasis“), sondern den Preis des Zentralbankgeldes. Eine Steuerung des Preises („Tagesgeldsatz“) hat den Vorteil, dass erratische Zinsschwankungen am Geldmarkt und dadurch ausgelöste Irritationen an den Finanzmärkten vermieden werden können.

Diese bei Zentralbanken gängige Praxis steht oftmals im krassen Gegensatz zu Aussagen, die sich aus einer theoretischen Perspektive mit dem Geldangebotsprozess beschäftigen. Ein Beispiel hierfür ist etwa Mankiw 2002, S. 487: „In fact, the Fed controls the money supply indirectly by altering either the monetary base or the reserve-deposit ratio.“ Ähnlich Nissen 2001, S. 594: „Die Geldbasis ist die unabhängige Variable, die über den Geldschöpfungsmultiplikator die Geldmenge determiniert.“ (Hervorhebung durch die Verfasser). Weder das Fed noch das Eurosystem haben in den letzten Jahren die Mindestreservesätze verändert. In den USA beträgt der Mindestreservesatz 10 % (seit 1992), im Euroraum 2 % (seit der Gründung des Eurosystems im Jahr 1999). Weder das Fed noch das Eurosystem wollen über Mindestreservesatzänderungen die Geldmenge steuern. Das Instrument der Mindestreserve hat auch - wie aus den bisherigen Ausführungen hervorgeht - vollkommen andere Funktionen. Um diese Funktionen zu erfüllen ist eine Variation der Mindestreservesätze nicht zielführend.

„In their analysis most economists have assumed that Central Banks „exogenously“ set the high-powered monetary base, so that (short-term) interest rates are „endogenously“ set in the money market. ...the above analysis is wrong. Central Banks set short-term interest rates according to some „reaction function“ and the monetary base is an endogenous variable.“ (Goodhart 2001, S. 1 siehe hierzu auch Goodhart 2002 b und Woodford 2001, S. 23f.).

**Literaturverzeichnis:**

- Bindseil, U., Seitz, F. (2001), The Supply and Demand for Eurosystem Deposits The First 18 Months, European Central Bank, Working Paper No. 44, February (<http://www.ecb.int>).
- Borio, C.L. (2001), A Hundred Ways to Skin a Cat: Comparing Monetary Policy Operating Procedures in the United States, Japan and the Euro Area, in: BIZ (Hrsg.), Comparing Monetary Policy Operating Procedures across the United States, Japan and the Euro Area, BIS Paper New Series Nr. 9, December 2001, S. 1–22 (<http://www.bis.org>).
- Europäische Zentralbank (2002a), Die einheitliche Geldpolitik in Stufe 3: Allgemeine Regelungen für die geldpolitischen Instrumente und Verfahren des Eurosystems, April (<http://www.ecb.int>).
- Europäische Zentralbank (2002b), Die Liquiditätssteuerung der EZB, Monatsbericht Mai 2002, S. 45–58.
- Europäische Zentralbank (2002c), Öffentliches Konsultationsverfahren – Maßnahmen zur Verbesserung der Effizienz des geldpolitischen Handlungsrahmens, 7.10.2002 (<http://www.ecb.int>).
- Europäische Zentralbank (2003), Maßnahmen zur Verbesserung der Effizienz des geldpolitischen Handlungsrahmens, Pressemitteilung vom 23.1.2003 (<http://www.ecb.int>).
- Goodhart, C. (2001), The Endogeneity of Money, Papier präsentiert auf der Konferenz „Monetary Policy in a World with Endogenous Money and Global Capital“, 23. – 25. März 2001, veranstaltet vom Stiftungslehrstuhl der Deutschen Bundesbank an der FU Berlin (<http://www.wiwiss.fu-berlin.de>).
- Goodhart, C. (2002a), Can Central Banking Survive the IT Revolution?, in: Pringle, R., Robinson, M. (Hrsg.), E-money and Payment Systems Review, London, S. 271–289.
- Goodhart, C. (2002b), The Endogeneity of Money, in: Schefold, B. (Hrsg.), Exogenität und Endogenität – Die Geldmenge in der Geschichte des ökonomischen Denkens und der modernen Politik, Marburg, S. 251–264.
- Görgens, E., Ruckriegel, K., Seitz, F. (2003), Europäische Geldpolitik – Theorie, Empirie, Praxis, 3. Auflage, Stuttgart.
- Mankiw, G. (2002), Macroeconomics, 5th edition, New York.
- Neyer, U. (2002), Veränderungen des geldpolitischen Instrumentariums der EZB, in: Wirtschaftsdienst, 82. Jg., S. 731–735.
- Nissen, H.-P. (2001), Das Geldangebot, in: WISU, 30. Jg., S. 586–596.
- Ruckriegel, K., Seitz, F. (2002), Zwei Währungsgebiete - Zwei Geldpolitiken? Ein Vergleich des Eurosystems mit dem Federal Reserve System, Frankfurt/Main.
- Stiglitz, J. E., Walsh, C. E. (2002), Economics, 3rd edition, New York et al.
- Walsh, C. E. (2003), Monetary Theory and Policy, 2<sup>nd</sup> ed., Cambridge (Massachusetts) et al.
- Woll, A. (2001), Geschichte der Geldtheorie im 20. Jahrhundert, in: von Delhaes-Guenther, D., Hartwig, K.-H., Vollmer, U. (Hrsg.), Monetäre Institutionenökonomik, Stuttgart, S. 381–400.
- Woodford, M. (2001), Monetary Policy in the Information Economy, NBER Working Paper No. 8674, December (<http://www.princeton.edu/~woodford/>).
- Woodford, M. (2002), Financial Market Efficiency and the Effectiveness of Monetary Policy, Princeton University, March (<http://www.princeton.edu/~woodford/>).



# **A Practitioner's Perspective on Profession Oriented Engineering Education**

**Prof. Dr. Dr.\* h.c. Herbert Eichele**

Georg-Simon-Ohm-University of Applied Sciences  
Nuremberg, Germany

## **Abstract**

In 2020 Malaysia will be a highly developed industrialized country. This aim is described in the Vision 2020 program. And Malaysia acts accordingly and founded five application oriented universities in the recent 2 1/2 years.

How to set up application oriented universities and how to educate highly qualified application oriented engineers were the main topics of the 1<sup>st</sup> National Convention on Engineering Education: Profession Oriented Approach in Putrajaya, Malaysia, July 7-9, 2003.

The author has been invited by the conference organisers to give a keynote speech on the economic relevance of Fachhochschulen to the German economy because Germany's professional and application oriented education system is a preferred reference model.

This paper presents statistical evidence that Fachhochschulen are indispensable to the German higher education and economy.

\* Staatsuniversität Tomsk Russland (TUSUR)



## 1 Introduction

Universities of Applied Sciences (UAS, German: Fachhochschule (FH)) are an important part of the modern German university system<sup>1</sup> Within the German system, the educational mission and profile of UAS are especially adapted to the requirements and needs of professional life. An increasing number of young people, interested in receiving higher education, choose this type of university. UAS are gaining in popularity. This is why the federal government and the federal states of Germany – supported by recommendations of the Science Council – decided to gradually increase the admission capacity of the UAS from currently 28% to 35% and later 40% of all first-year students<sup>4</sup>. In addition to practice-oriented instruction, other hallmarks of the UAS are applied research and development, the quality and quantity of which have risen perceptibly since the mid 1980s. UAS have established partnerships with universities around the world. European degree programs in which universities from various EU member countries cooperate were first developed at UAS. Young people need forms of education which consistently and purposefully provide both academic qualifications and professional qualifications needed by the economy. The UAS have made great progress toward this goal.

## 2 General Survey

### 2.1 Origin and Development of UAS

The system of higher education in the Federal Republic of Germany currently includes some 350 universities, UAS, teacher training colleges and universities of fine arts. UAS and the Univ.<sup>1</sup> are the largest groups among them. The establishment of UAS was a reaction to the increasing demands of industry and professional life, caused by scientific and technical advances, and the corresponding new qualitative and quantitative requirements placed on education. UAS, most of which were established between 1969 and 1971, grew from former engineering schools, academies and higher professional schools for design, social work or economy. Engineering studies oriented to these new requirements, for example, needed to provide considerably greater methodological and scientific depth than existing educational facilities were able to offer at that time. The growing demand for education and the increasing number of those who were interested in receiving a higher education which offers direct professional qualifications was an important factor, too.

### 2.2 UAS Mission and Profile

Just like all other types of institutions of higher learning, UAS have the following mission:

- Support the maintenance and development of sciences and the arts through research, instruction, studies and continuing education.
- Prepare students for professions which require the application of basic as well as the latest scientific knowledge and methods or artistic design abilities.
- Promote the international cooperation within the higher educational system, as well as exchanges between German institutions of higher learning and those in other countries.
- Encourage the mutual exchange of knowledge and technology.
- In addition UAS have their own special educational mission within the German system of higher education:
- Studies at UAS are strongly oriented to meeting the requirements and needs of professional occupations.
- UAS carry out applied research and development.

UAS do not have a standardized profile. They vary greatly in number of students (100 .. 17,000) and degree programs offered<sup>2</sup>. The causes are the different regional backgrounds of the individual UAS and the respective areas the students come from. UAS are especially attentive to the needs of the regional economy. Special emphasis is placed on technology and knowledge transfer. This commitment makes UAS all the more important for regional economies. For example, seven new regional UAS were established in Bavaria in the past decade in order to boost the economy in their respective home regions.

UAS rapidly became committed to European and worldwide cooperation in higher education. They achieved a marked internationalization of the courses offered through expansion and intensification of their international

ties. In summary, the educational mission and profile of the UAS in the German system of higher education can be characterized as:

- close link between science and practice in classroom instruction and studies;
- efficient organization of studies and examinations;
- briefer overall periods of study.

### **2.3 Number of Students**

Approximately 0.43 million students were enrolled in UAS in the winter semester 2000/01. The number of available UAS study places is far lower than the number of applicants. Approximately 89.000 first-year students enrolled at UAS in the winter semester 2000/01<sup>3</sup>.

### **2.4 UAS Staff**

In 2000 the UAS in Germany had 16,600 job positions for academic personnel and 15,600 job positions for non-academic personnel<sup>4</sup>. The UAS personnel structure differs from other types of universities. Teaching at UAS is carried out by professors and visiting lecturers with regular jobs in industry, commerce and administration. Professors at UAS must normally have an outstanding scientific record and at least a five years professional experience. During a minimum of three years industrial occupation they must have demonstrated their ability to turn scientific findings into industrial or economic applications and to tackle industrial and economic problems using scientific methods. Professors at UAS are normally required to teach 18 hours a week.

### **2.5 Admission Requirements**

A high school diploma (German: Fachhochschulreife = 12 years of schooling) or a general high school diploma (German: Abitur = 13 years of schooling) are prerequisites for enrollment in a UAS. In addition, a several weeks practical training is a prerequisite, too.

### **2.6 UAS Degree Programs**

The degree programs offered at UAS are based on the "Agreement of the Conference of Ministers of Education and Cultural Affairs of the Federal States Concerning Branches of Study and Diplom Degrees at UAS". Three complementary objectives are observed in these degree programs:

- The theoretical part of teaching is in line with the scientific and technological progress, which means, that the graduates are able to apply scientific methods and knowledge on their own and, thus, are able to make an independent contribution to technological and economic development;
- The application-oriented side of teaching and its close link with practical requirements of industry, commerce and administration ensures that theoretical knowledge can be effectively translated into practice in the respective occupation;
- The breadth of teaching provided permits graduates to familiarize themselves quickly with new fields. The theoretical and practical sides of training are so closely connected that UAS graduates are particularly well suited for translating basic innovations and technical developments into practice.

Particular emphasis is placed on engineering sciences. There are traditional degree programs for civil engineering, electrical engineering and mechanical engineering, but also for business sciences, computer science, social affairs and design (for more see Table 1). The very extensive and varied range of subjects offered by the UAS can not be presented in this overview.

### **2.7 The Basic Structure of UAS Studies**

The UAS predecessors, a number of which had a long and successful tradition, influenced the range of subjects and the basic structure of teaching and development at UAS. This is especially evident in the seminar-like style of teaching, the streamlined and efficient organization of the studies, briefer overall periods of study and

the emphasis placed on practical application. In contrast to Univ., the UAS educational style is more interdisciplinary and it also focuses more closely on problem solving. Communication of a broad knowledge of the contents and work methods relevant to practical occupational work takes precedence of the theoretical - analytical style of Univ. education. Including the time spent acquiring practical experience and preparing for and taking examinations, the nominal study duration for all subjects is eight semesters. The actual time spent studying at UAS depends on individual aspects. Studies at UAS are divided into semesters of up to 19 weeks; the non-lecture period totals three months each year and is thus shorter than that found in other types of institutions of higher education.

Stage I studies (basic studies; German: Grundstudium) take between two and four semesters, followed by an intermediate examination (German: Vordiplom). Examinations at UAS usually take place during the regular course of studies at the end of each semester. In the stage II of studies (main studies; German: Hauptstudium), students may normally choose between various areas of specialization and electives. UAS courses are organized in the form of lectures, seminars, labs, project work and practical training. The preferred form of classes is small groups of 15 to 30 participants each. This encourages and maintains a direct personal contact between teaching professors and students. Integrated practical semesters in companies (internships) under the supervision of a UAS are recognized as time spent in the higher education system. They fulfill all criteria stipulated by the European Union directive for the mutual recognition of degrees issued by institutions of higher education.

Internships are an extremely important element of the practice oriented UAS education. Normally an internship takes 20 weeks. Four days a week the student works on projects in a company jointly supervised by a professor and a person in charge on site. One day a week the students attend accompanying seminars and lectures at the UAS. In the 1<sup>st</sup> internship the students go through several stages in the industrial organization and gain hands-on experience. In the 2<sup>nd</sup> internship the students normally work on one or two "real world" development projects and, thus, test the applicability what they learned so far at the UAS for the first time. After this 2<sup>nd</sup> internship students are especially motivated for the last phase of their studies. Students are well accepted by enterprises for internships because they normally do absolutely useful and highly qualified work for them. Usually enterprises pay a monthly compensation. In most German regions, e.g. in Bavaria, enterprises offer many more internship opportunities than there are students needing one. Companies around the world may be chosen for internships after approval.

## **2.8 The Diplom Degree from a UAS**

A student has to pass all exams and to write a Diplom thesis with a nominal full-time effort of three months. More time is often spent because the students are so ambitious and able to tackle very complex tasks successfully. The Diplom thesis usually focuses on a practical research or development problem in the student's area of interest. Especially in engineering sciences, the share of Diplom theses carried out in or in cooperation with a company far exceeds 70%. Successful graduates receive the official state-recognized academic Diplom degree.

## **2.9 Bachelor's and Master's Degrees**

The 1998 amendments to the Framework Act for Higher Education give German institutions of higher education the opportunity to award a Bachelor's degree for the completion of first-level higher education studies and a Master's degree for completion of post-graduate degree programs. The standard period of study in the Bachelor's degree programs is at least three and at most four years; Master's degree programs require at least one year and at most two. UAS have established numerous Bachelor- and Master- degree programs by now<sup>5</sup>.

## **2.10 Doctoral Degree for UAS Graduates**

UAS have no institutional right to confer doctoral degrees. However, especially well qualified graduates of UAS may enroll in a doctoral degree program of a Univ. without having to spend additional time attaining a Diplom degree from such a university first. UAS professors may supervise doctoral work and take part in the examination.

### 3 Economic and Industrial Relevance

#### 3.1 Higher Education and the Job Market

With currently 0.43 Mio. students UAS educate 1/4 of all students enrolled in German institutions of higher education. However, Univ. and UAS show a very different distribution of students vs. subject groups (see Figure 1 and Figure 2). Students of engineering sciences make up 35% in UAS and only 9% in Univ.. The corresponding figures are 47% vs. 27% in law, business and social sciences. Considering selected subjects in detail, the differences in UAS – Univ. profiles are even more striking. 33,508 UAS students are enrolled in electrical / electronic engineering but only 26,771 Univ. students (Figure 3). Normalizing the figures of Univ. to 8 semesters of UAS programs the difference is even bigger: 33,508 (UAS) vs. 21,471 (Univ.) (see Figure 4). In mechanical engineering 2/3 of all students are enrolled in a UAS. In total 2/3 of all engineering science graduates come from UAS as is shown clearly in Figure 5 and Figure 6.

Additionally, UAS currently graduate nearly all social workers / social educators as well as half of all business and computer scientists.

Based on the data just mentioned, it is easy to see that the UAS hold an eminent position within the higher education and employment system in Germany. The technical and scientific areas of specialization offered by UAS are more strongly geared toward occupations in private sector companies. Therefore, the special qualifications UAS graduates offer correspond to the economy's need for academically graduated specialists. They have received a practice-oriented education and, thus, have the skills required for mastering the ever more complex tasks demanded by the industrial and service society.

In keeping with this trend, the economy has in the past repeatedly advocated a more differentiated system of higher education with a strong UAS sector. The demand for employees with a degree from a UAS has continued to remain strong. A 2001 study of 21,000 enterprises concerning the qualifications required for open positions clearly supports this conclusion (see Figure 7 and Figure 8). UAS qualification is demanded much more often than Univ. qualification. Consequently UAS graduates show the lowest level of unemployment of all educational groups (2.6% in 1998). The respective figures for selected groups are Univ. graduates: 3.9%, skilled worker: 7.6%, unskilled: 25.8%<sup>7</sup>.

Many companies make no distinction between degrees from a UAS or a Univ. when hiring. Top and highest level executive positions are open to graduates of UAS. Jurgen Schrempp for example, DaimlerChrysler's chief executive, is a UAS graduate.

In trade and industry, the starting salaries of UAS and Univ. graduates have become largely compatible. Civil service positions are still an exception. The - not admitted - reason is the fiscal consequences feared by the ministries of finance.

#### 3.2 UAS and Univ. Education Mirrored in Manufacturing Industry Needs

Figure 8 depicts the demands made on staff groups and the required relation between theoretical / scientific and practical / application abilities<sup>8</sup> in manufacturing industries. The lowest demand in both aspects is with the semi-skilled workforce. Nevertheless, they are needed if products have to be manufactured. Skilled workers and technicians require more theoretical and much more application oriented abilities. Diplom – engineers (UAS or Univ. graduates) must cover a broad range of theoretical / scientific and practice / application oriented abilities in order to innovate according to market needs. Figure 9 shows in detail how UAS and Univ. education profiles map into this very broad area. Basic research tasks demand a maximum of theoretical and scientific abilities and are hardly oriented toward practical application. Assembly and service, i.e. deployment at the customer side, requires a maximum of application and practical ability based on a sound theoretical background not available with technicians (see Figure 8). The arrows shown depict equal overall competence of the Diplom engineers (equal length) but different focus (different orientation of the arrows) of their Univ. respective UAS educational profile. The UAS profiles cover the broad range from research and development, product development, project planning, manufacturing to assembly & service. Basic research is not covered by UAS education. This is unique to the Univ. profile.

#### 3.3 Cost of Education

There are no tuition fees in German state-run higher education. Therefore the public sector is interested in cost efficiency.

As Figure 7 shows there are considerable differences in the basic annual cost per student<sup>3</sup>. With approximately 8,000 € per year and student, engineering sciences education at Univ. is twice as expensive than at UAS. Be-

cause studies at Univ. last longer than at UAS, the cost per graduate differ considerably. UAS are much more cost effective.

### 3.4 Cooperation with Enterprises

“UAS are especially important for the cooperation between science, research and enterprises. The applied research – a UAS trademark – allows for the fast conversion of innovations into new products and processes. Not in the least, this safeguards employment in Germany.”<sup>9</sup>

Cooperation between universities and research institutes on the one hand and enterprises on the other hand is of great importance for a high-tech country like Germany. Figure 12 and Figure 13 show the results of a recent satisfaction poll of 5,200 enterprises<sup>10</sup>. 50% to 73% of all enterprises, depending on size, cultivate contacts and cooperate with UAS. Obviously, UAS are accepted and appreciated.

### 3.5 UAS as Technology and Enterprise Incubators

Many economies are undergoing a tremendous structural change. Transformation of scientific findings into economic use by spin-off creation out of academia is of increasing importance during this process. Figure 14, Figure 15 and Figure 16 show the results of a recent survey of spin-offs generated by academia<sup>11</sup>. 24% of the commercialization spin-offs<sup>1</sup> and 31% of all competence spin-offs<sup>1</sup> have UAS as incubators, i.e. UAS are ranked 2<sup>nd</sup> after Univ.. UAS, however, hold the top rank according to the parameter “number of spin-offs per year per 100 scientists”.

## 4 Perspectives

### 4.1 Local aspects

The German system of higher education is unique in terms of structure, breadth and differentiation of its subject areas. This should prove to be a location advantage within the European economic region. Problems do not arise because UAS might be allegedly obsolete. UAS continue to play an important role in this system of higher education. Their relevance to the industry continues to grow. Problems arise because of fiscal bottlenecks which must be removed.

- UAS currently take in less than 30 % of first-year students. The common goal of the German federal government and the German states is to increase this figure to 40% in the long term. This expansion must be linked with a broadening of the range of subjects offered, to include innovative and future oriented degree programs<sup>2</sup>. In this context, degree programs previously reserved for Univ. should also be offered at UAS, a consequence touching the cooperation – competition relations of UAS and Univ.. Because both, UAS and Univ., are state financed this requires budget shifts from Univ. towards UAS. This proposition may intensify competition but may also reinforce cooperation<sup>12</sup>.
- Previously, curricula had to observe the principle of comparability and exchangeability between universities of the same type as defined by federal framework regulations. Nowadays universities have to develop a clear profile and to enter a competition with each other. Formerly, new or modified curricula had to be approved by the responsible ministry of science before becoming effective. This quality assurance instrument currently is being replaced by accreditation through accredited accreditation agencies and by evaluation. An increasing variety of programs is following upon the standardization process of the past. However, the ministries of science basic approval of the introduction of a new degree program still is required. This will eventually lead to a controlled competition amongst universities.
- In their early years UAS were blamed for an - unproven - tendency to become a “real university”. This is partly understandable, because in these early years there was no applied R&D in UAS because their predecessors had no R&D activities. However, R&D activities soon turned out to be a prerequisite for up to date UAS teaching and consequently has been introduced as a UAS duty. Contrarily, the proven and well accepted practice oriented UAS studies meanwhile led Univ. to introduce application and practice oriented degree programs by adopting the shining UAS example. This may blur UAS – Univ. specifics and, because of the better Univ. funding, be disadvantageous for UAS.<sup>12</sup>

<sup>1</sup> Commercialization spin-offs put new scientific findings on the market; competence spin-offs primarily base on the special competence of the founder(s) acquired in the incubator.

- UAS and Univ. are poorly supplied with staff and money. As a consequence more and more universities prepare to earn their own money by introducing continuing education programs subject to tuition fees and by intensifying contract R&D. In addition, there is a big discussion going on with the aim to reintroduce tuition fees for all programs and to change the university control and finance system. At the moment, nobody knows anything for sure. However there will be big changes in the future.
- A teaching load of 18 hours per week for UAS professors (8 for Univ. professors) is no longer appropriate. It must be lowered to reach the 12 hours per week originally defined when UAS were established. 18 hours were introduced “temporarily” to cope with a phase of extremely high enrolments in the late 1970s and 1980s. So far financial restrictions prevented to get rid of the “magic 18”.

## 4.2 Developments in Europe

Within Europe, UAS and similar institutions can be found primarily in the Netherlands, Flanders, (Belgium), Austria, Finland and Switzerland. Reform in the higher education systems of other Central and Eastern European countries has led to institutions similar to UAS, e.g. in Hungary and Poland. A total of 150 UAS degree programs have been approved in Austria since 1994, e.g. in the fields of tourism, economics, technology, information technology and multimedia. Two-thirds of all Dutch students are enrolled at the UAS type “Hogescholen”, 26% of them as part-time students. The “Hogescholen” are in the process of becoming an independent part of the higher education sector with clear-cut differences to the Univ.. Switzerland introduced the first UAS degree programs in the fields of technology, economics and design in 1997. The Polish UAS, established in 1997, offer interdisciplinary subject areas oriented to the needs of the local employment market.

## 4.3 Recognition of German UAS Degrees throughout the entire EU

The basis for international recognition of the Diplom degrees awarded by German UAS are the directives issued by the European Community as the “General Directive on the Recognition of Degrees from Institutions of Higher Education for Admission to Professions”. The recognition of “Diplom degrees, test certificates or other certificates of qualification” attained after a minimum three-year educational program at an institution of higher education and intended for entry into a profession or occupational training within the EU is carried out according to the stipulations of this general regulation. The basic principle behind the directive is that a member of a profession who has acquired the necessary education for entry into the profession in his or her native country or country of origin is also capable of satisfactorily practicing this profession in other EU member states. The regulation also applies to Bachelor and Master degrees.

## 4.4 Foreign Ties at the UAS

UAS maintain bi- and multi-national cooperation and exchange relationships with institutions of higher education in countries around the world. These relationships have revealed that it is precisely the practice-oriented degree programs and emphasis on applied research and development of the UAS which are of special interest for students and institutions of higher education from foreign countries. There are more than 3,500 cooperations between UAS and foreign partner institutions of higher education in around 100 countries<sup>4</sup>. Again budget restrictions are the only real problem.

## 4.5 International Degree Programs

Approximately 1/3 of German UAS offer international degree programs requiring that some portions of the studies are to be spent at an institution of higher education or company in a foreign country. It is becoming increasingly possible to simultaneously attain degrees from the participating institutions of higher education in these degree programs.

## 5 Summary

UAS are indispensable in the German higher education system and in the German economy. They play a dominating role especially in engineering sciences in terms of number of students, number of graduates, with their practice oriented up to date degree programs and teaching methods, tight relations and cooperation with industry. UAS are cost effective, responsive to market needs, flexible and innovative and well positioned. “Success story” is a label often attached to UAS.

<b>No.</b>	<b>Name</b>
<b>1.</b>	<b>Engineering</b>
1.1.	Architecture
1.2	Civil engineering
1.3	Interior design
1.4	Mechanical engineering
1.5	Process engineering/Chemical engineering
1.6	Supply engineering
1.7	Media engineering
1.8	Printing technology
1.9	Operations engineering
1.10	Materials technology
1.11	Physical engineering
1.12	Precision technology and microtechnology
1.13	Electrical engineering
1.14	Biotechnology
1.15	Surveying, transport and traffic technology and navigation
1.16	Agriculture/forest management/horticulture/wine growing
1.17	Landscape planning
1.18	Food technology
<b>2.</b>	<b>Business Sciences</b>
2.1	Business administration
<b>3.</b>	<b>Administration and administration of justice</b>
3.1	Administration
3.2	Police
3.3	Finances
3.4	Administration of justice
<b>4.</b>	<b>Social affairs</b>
4.1	Social work/Social education
<b>5.</b>	<b>Health and therapy</b>
5.1	Therapeutical education
5.2	Music therapy
5.3	Art therapy
5.4	Care management
<b>6.</b>	<b>Religious education</b>
<b>7.</b>	<b>Mathematics</b>
<b>8.</b>	<b>Computer science</b>
<b>9.</b>	<b>Information and communication science</b>
9.1	Archive management
9.2	Library administration
9.3	Documentation
9.4	Translation
9.5	Interpreting
9.6	Museum studies
<b>10.</b>	<b>Nutritional and domestic sciences</b>
10.1	Oecotrophology
<b>11.</b>	<b>Art, design and restoration</b>
11.1	Fine arts (painting, graphic arts, sculpture)
11.2	Design
11.3	Restoration
11.4	Multimedia

Table 1 A selection of UAS degree programs in various fields.

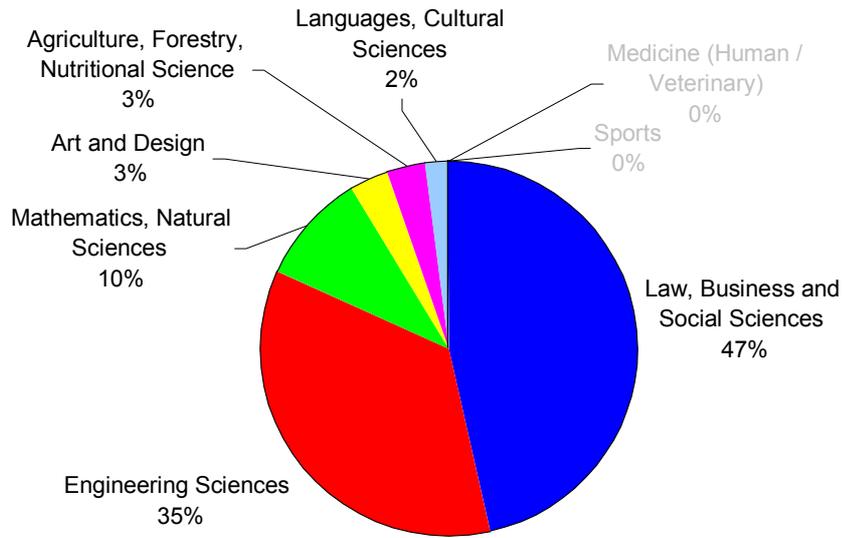


Figure 1 Distribution of student population versus subject groups in UAS with a grand total of 0.43 Mio. students (raw data:3).

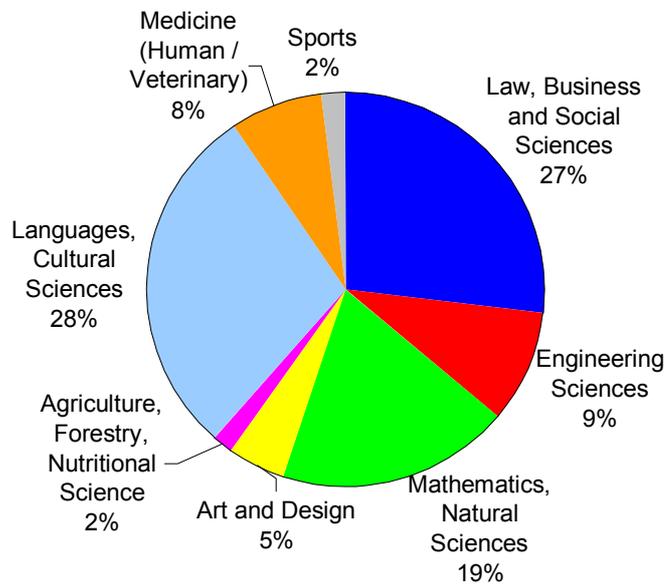


Figure 2 Distribution of student population versus subject groups in Univ. with a grand total of 1.34 Mio. students (raw data: <sup>3</sup>).

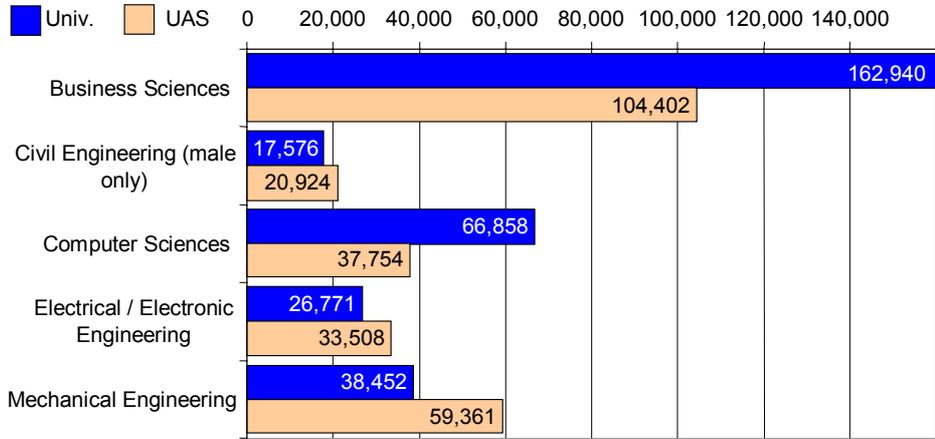


Figure 3 Number of students in selected subjects in Univ. and UAS (raw data:<sup>3</sup>).

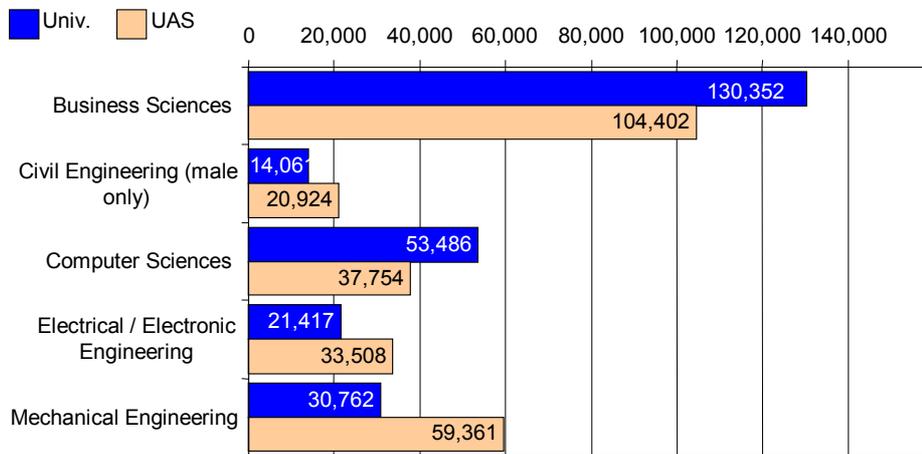


Figure 4 Like Figure 3 number of students in selected subjects in Univ. and AUS, but Univ. data normalized to the nominal study duration in AUS for better comparison (raw data:<sup>3</sup>)

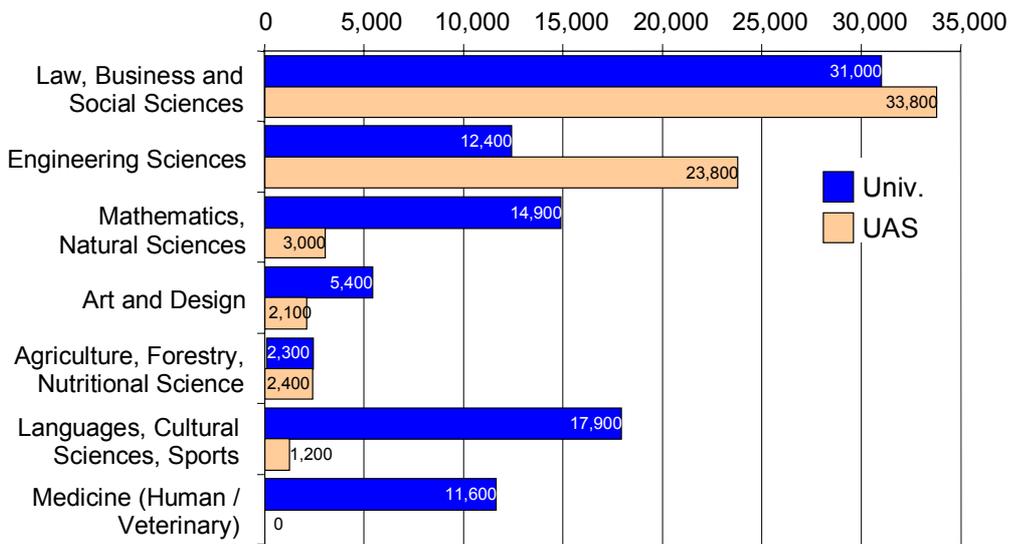


Figure 5 Number of final Diplomb - examinations (graduations) completed in 2000 versus subject groups in Univ. and UAS (raw data: <sup>3)</sup>)

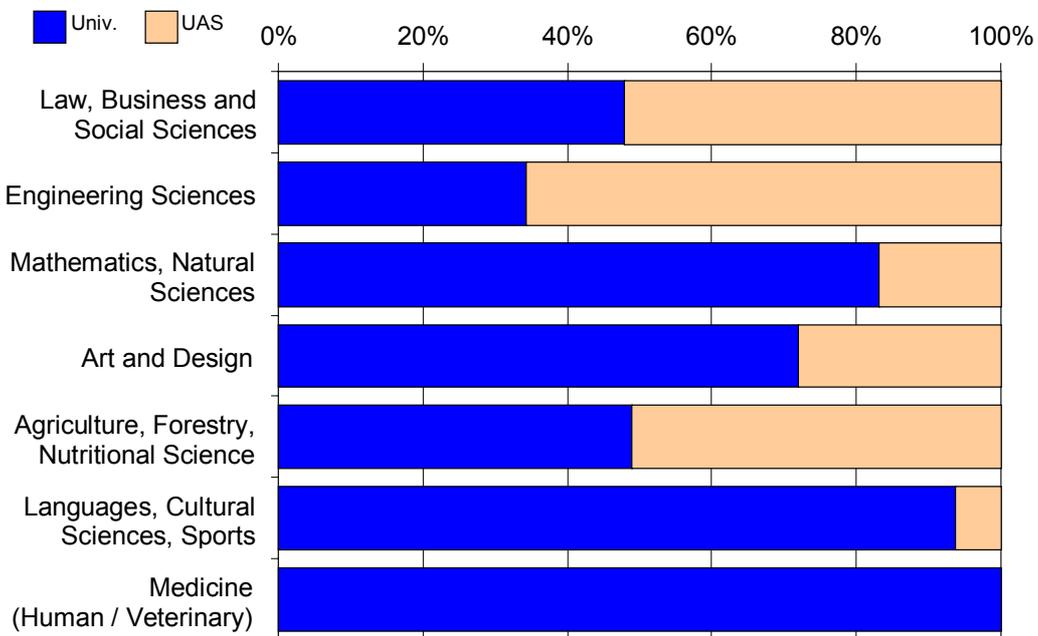


Figure 6 Contribution of Univ. and UAS to the total number of final Diplomb - examinations (graduations) in 2000 (raw data: <sup>3)</sup>)

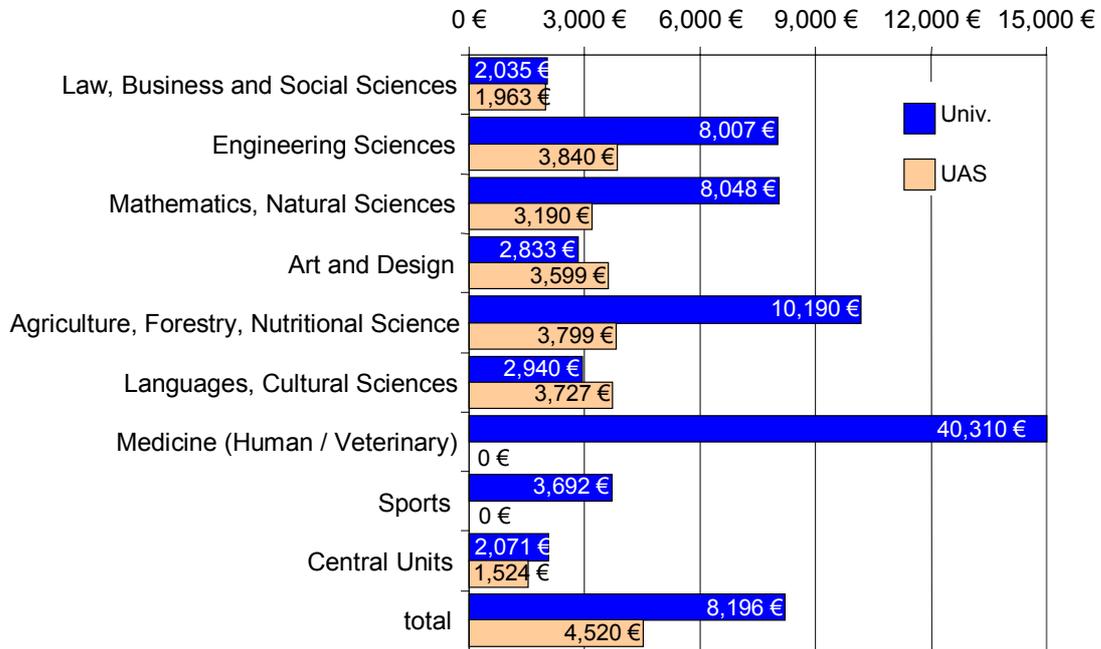


Figure 7 Basic annual cost per student versus group of subjects in Univ. and UAS studies<sup>3</sup>.

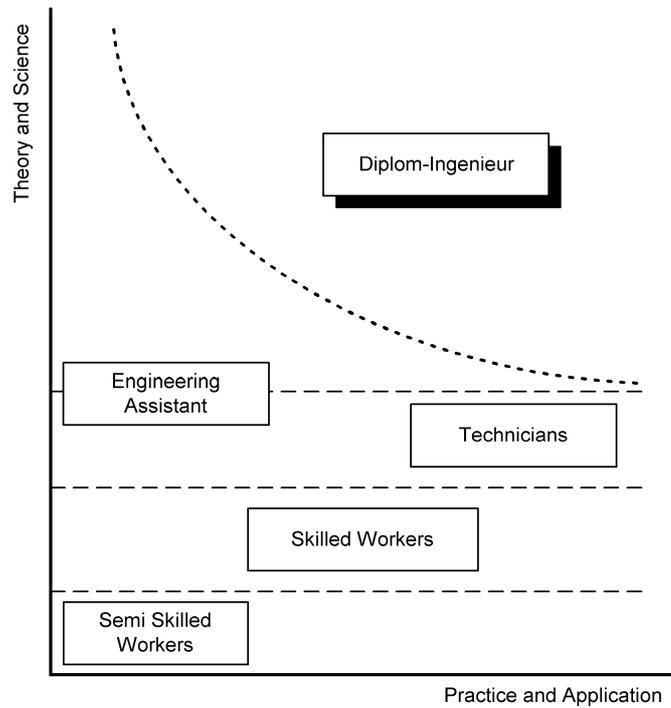


Figure 8 Demand on staff groups and required theory – practice relation in manufacturing industry (see 3.2)

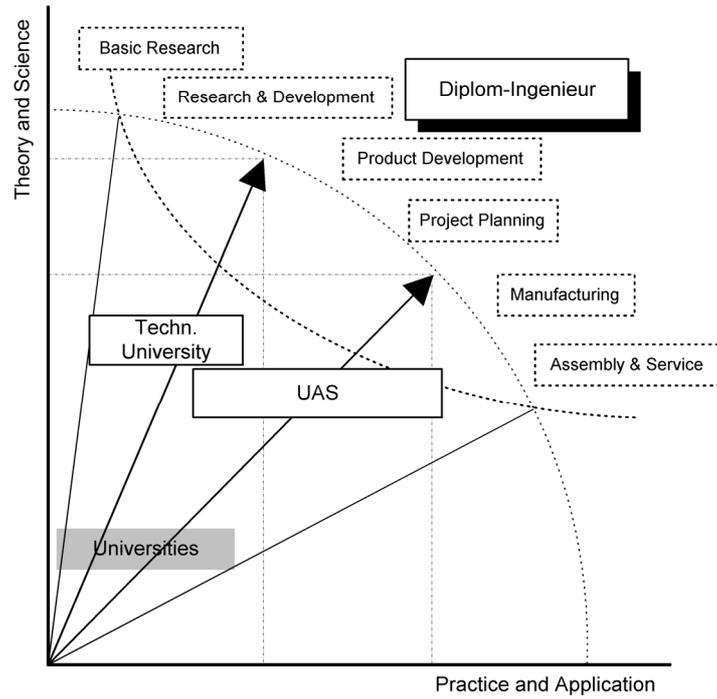


Figure 9 Education Profiles for Diplom - engineer at German universities compared to industrial needs. The UAS profile covers the broad range from R&D to assembly & service. The equal length of arrows denotes equal overall competence of UAS and Univ. graduates. Their different orientation denotes a different educational focus (see 3.2).

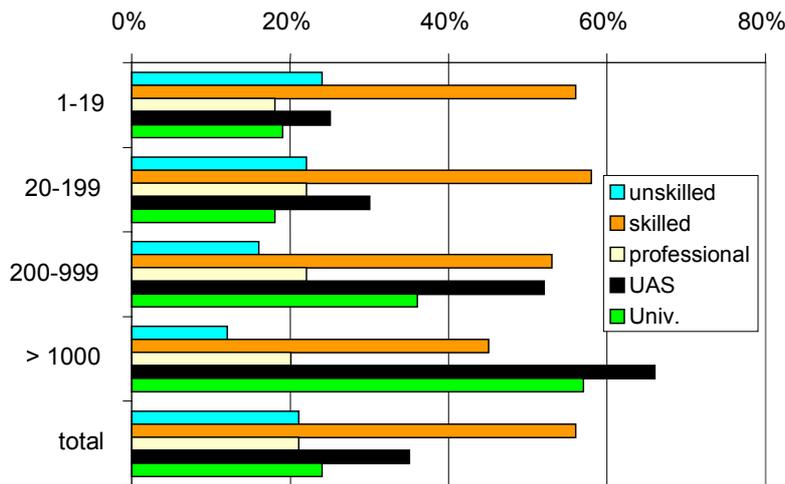


Figure 10 Staff qualification demanded for vacant job versus number of employees ('2001 study of 21,000 enterprises'<sup>6</sup>; multiple selections possible).

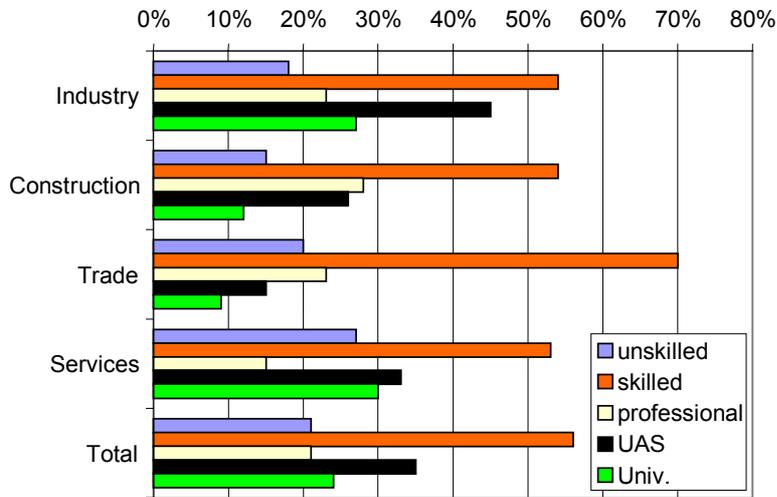


Figure 11 Staff qualification demanded for vacant job versus type of business ('2001 study of 21,000 enterprises<sup>6</sup>; multiple selections possible).

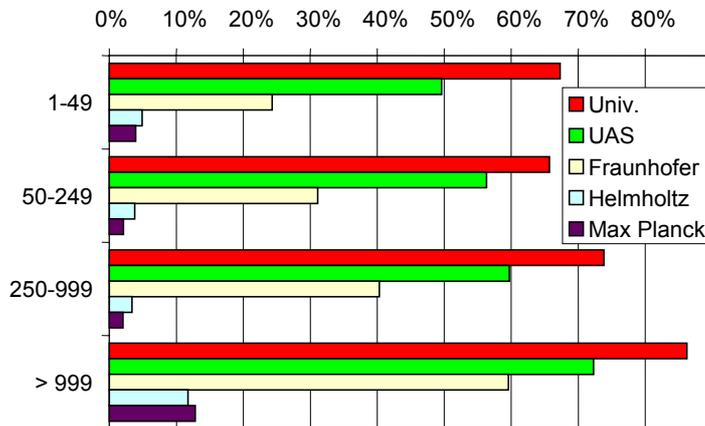


Figure 12 Percentage of interviewed enterprises having contact and cooperation with the named research institutions versus number of employees<sup>11</sup> ('2000 satisfaction poll of 5,200 enterprises; multiple selections possible). "Fraunhofer", "Helmholtz" and "Max Planck" are fully or partly (Fraunhofer) state financed.

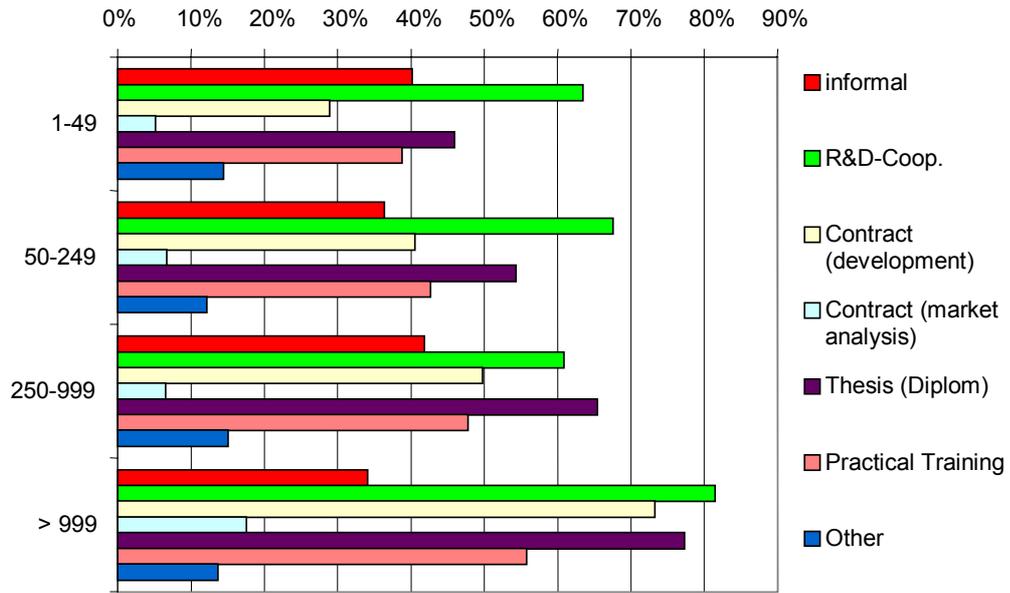


Figure 13 Types of contacts between enterprises and research institutions versus number of employees<sup>11</sup> ('2000 satisfaction poll of 5,200 enterprises; multiple selections possible).

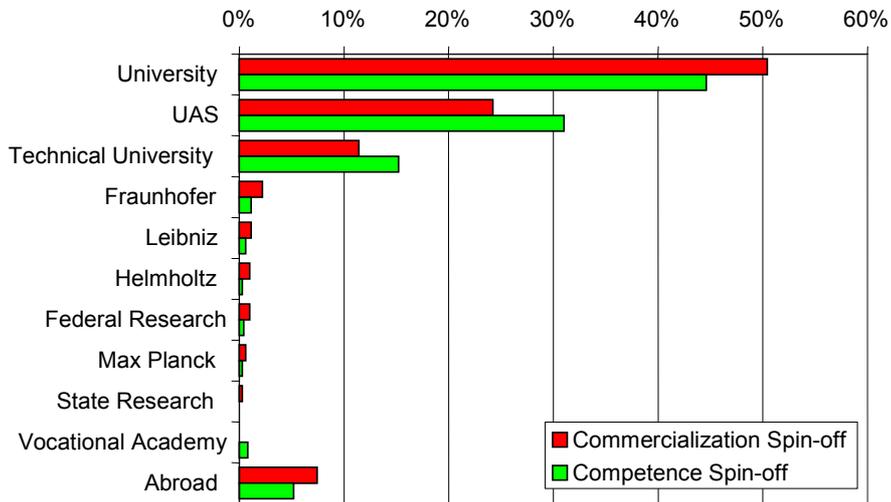


Figure 14 Contribution of incubating institutions to spin-off creation in Germany in the period 1996-2000<sup>11</sup>. "Fraunhofer", "Leibniz", "Helmholtz" and "Max Planck" are fully or partly (Fraunhofer) state financed research institutes and societies.

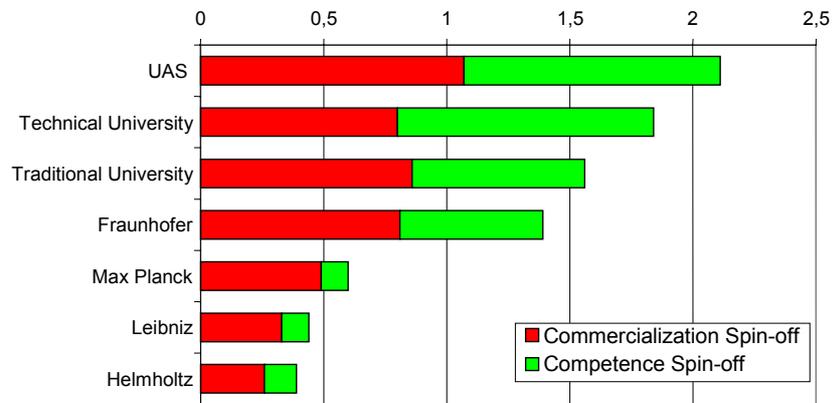


Figure 15 Number of spin-offs per year per 100 scientists versus research institution in the period 1996-2000 acting as incubator<sup>11</sup>. "Fraunhofer", "Leibniz", "Helmholtz" and "Max Planck" are fully or partly (Fraunhofer) state financed research institutes and societies.

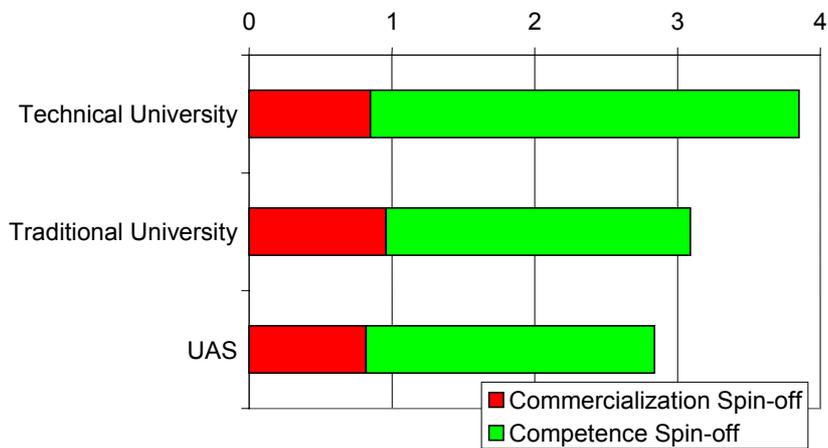


Figure 16 Spin-offs created per year by 100 students / graduates versus incubator in the period 1996-2000<sup>11</sup>.

## References and Remarks

1. Throughout this paper, "UAS" stands for "University of Applied Sciences" and "Univ." for a collective noun referring all traditional and technical universities. "universities" denotes all institutions of higher education.
2. Empfehlungen zur Entwicklung der Fachhochschulen, Wissenschaftsrat Januar 2002 (Recommendations for the Development of UAS, Science Council January 2002), [www.wissenschaftsrat.de](http://www.wissenschaftsrat.de)
3. Grund- und Strukturdaten 2001/2002, Bmbf Bundesministerium für Bildung und Forschung (Basic and Structural Data 2001/2002, Federal Ministry of Education and Research), [www.bmbf.de](http://www.bmbf.de)
4. Die Fachhochschulen in Deutschland, 4. Auflage Februar 2003, Bmbf Bundesministerium für Bildung und Forschung (UAS in Germany, 4<sup>th</sup> edition February 2003, Federal Ministry of Education and Research), [www.bmbf.de](http://www.bmbf.de)
5. By Jan. 2003, UAS offer 259 Bachelor- and 325 Master-programs ([www.hochschulkompass.de](http://www.hochschulkompass.de))
6. Arbeitskräftemangel trotz hoher Arbeitslosigkeit, Ergebnisse einer DIHK-Unternehmensbefragung Herbst 2001 (Staff Shortage Despite High Unemployment, Results of a DIHK survey of companies Autumn 2001), [www.ihk.de](http://www.ihk.de)
7. IAB Werkstattbericht Nr. 4/2002, Bundesanstalt für Arbeit (Workshop Report 4/2002 Institute of Labor Market and Occupation Research, Federal Labor Administration), [www.iab.de](http://www.iab.de)
8. Das Berufsfeld des Ingenieurs: Tätigkeitsfelder und Qualifikationsanforderungen (Fields of Occupation of Diploma engineers: Fields of Activities and Qualification Requirements), ZVEI Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (Central Association of Electrical and Electronic Industries), Kruno Hernaut, Siemens AG CP RS, 80312 Munich Germany
9. Edelgard Bulmahn, Federal Minister of Education and Science; press report Dec. 12, 2000; [www.bmbf.de/presse01/268.html](http://www.bmbf.de/presse01/268.html)
10. Kundenzufriedenheit der Unternehmen mit Forschungseinrichtungen, DIHT Unternehmensbefragung September 2000 (Satisfaction of Enterprises as Cooperation Customers of Research Institutions, DIHT Enterprise Questioning September 2000), [www.diht.de](http://www.diht.de)
11. Spinoff-Gründungen aus der öffentlichen Forschung in Deutschland, Gutachten für das BMBF November 2002, Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung, Mannheim (Spin-off Creation generated by Public Research in Germany, Expert Report for the Federal Ministry of Education and Research November 2002, Center for European Economy Studies, Mannheim), [www.bmbf.de](http://www.bmbf.de)
12. "In the next 10-15 years, according to the Science Council's opinion, it is necessary to change things and to redefine the share of all students and graduates Univ. and UAS shall have. Emphasis must be put quantitatively in the area of practice-oriented, science based professional education. Load shifts must be combined with a shift of resources." In "Thesen zur künftigen Entwicklung des Wissenschaftssystems in Deutschland", Wissenschaftsrat Juli 2000 Seite 18 ("Theses concerning the Future Development of the Science System in Germany", Science Council July 2000 page 18), [www.wissenschaftsrat.de](http://www.wissenschaftsrat.de)

# **Studienabbruch und "Dropouts" an der Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule Nürnberg**

**Prof. Peter R. Wellhöfer**

Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule Nürnberg  
Fachbereich Sozialwesen  
Bahnhofstr. 87  
90402 Nürnberg

## **Abstract**

In der vorliegenden Arbeit wird versucht, Ursachen und Umfang der Schwundquote der Studierenden an der Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule in Nürnberg zu analysieren. Dazu wurden alle ohne Abschluss exmatrikulierten Studierenden des WS 2001/02 angeschrieben und gebeten einen Fragebogen zu beantworten. Parallel dazu wurde eine Längsschnittanalyse der Studienanfängerjahrgänge 1994/95 bis 1997/98 und eine periodische Analyse (Querschnittanalyse) der exmatrikulierten Studierenden von WS 1999/00 bis WS 2001/02 durchgeführt.

Die durchschnittliche Schwundquote liegt in diesem Zeitraum bei 42 Prozent, die geschätzte Studienabbruchsquote bei etwa 33 Prozent, wobei etwa die Hälfte davon prüfungsbedingt ist. Diese Quoten liegen deutlich über den Daten der aktuellen HIS-Studie. Zwischen den einzelnen Fachbereichen bestehen sehr große Unterschiede: Die niedrigsten Quoten finden sich beim Fachbereich Gestaltung, dann folgen Bauingenieurwesen, Sozialwesen, Betriebswirtschaft und die anderen technischen Fachbereiche, wobei der Fachbereich Informatik die höchste Schwundquote besitzt.

Die Abbruchsursachen liegen teilweise in prüfungsbedingten Anforderungen, der sich relativ schnell entwickelnden Distanz zum Studium und der Erfahrung, dass die Studienwahl einfach ein Fehler war.

Die meisten Abbrüche finden in den ersten vier Studiensemestern statt, so dass wir sie noch als hilfreiche, wenn auch schmerzhaft Lebenserfahrung in einer Orientierungsphase betrachten können.



Inhaltsverzeichnis	Seite
1. Vorbemerkung.....	71
2. Kurze Problemdiskussion zum Thema Studienabbrecher .....	71
2.1 Begriffsdefinitionen.....	71
2.2 Allgemeine Problemdiskussion .....	71
2.3 Ausgewählte Forschungsergebnisse zum Thema "Studienabbruch".....	72
3. Fragestellung der vorliegenden Untersuchung .....	74
4. Darstellung der Untersuchungsmethoden .....	74
4.1 Erhebungsmethoden.....	74
4.2 Durchführung der Untersuchungen .....	74
4.3 Auswertung der Daten .....	74
5. Ergebnisse der Untersuchungen .....	75
5.1 Fragebogenuntersuchung.....	75
5.1.1 Beschreibung der Untersuchungsstichprobe.....	75
5.1.2 Spontane Assoziationen zum Studium .....	75
5.1.3 Begründung der Exmatrikulation ohne Studienabschluss .....	78
5.1.4 Einstellung zum Studium .....	79
5.1.5 Erforderliche Veränderungen im Fachbereich .....	81
5.1.6 Zugangsvoraussetzungen zu Studium und Studiendauer .....	82
5.1.7 Weitere Tätigkeit nach dem Studienabbruch in Nürnberg .....	83
5.1.8 Bewertung des Fragebogens.....	84
5.2 Ergebnisse der inhaltsanalytischen Auswertung der Hochschulstatistik .....	84
5.2.1 Welche Daten der Hochschulstatistik können ausgewertet werden .....	84
5.2.2 Ergebnisse der Hochschulstatistik.....	85
5.2.2.1 Verlaufsanalyse .....	85
5.2.2.2 Periodische Analyse der Studienjahre 1999/00 bis WS 2001/02.....	86
6. Diskussion der Ergebnisse .....	89
7. Zusammenfassung .....	90
8. Anhang .....	91
8.1 Literaturverzeichnis.....	91
8.2 Untersuchungsfragebogen.....	92
8.3 Tabellenteil.....	93



## 1. Vorbemerkung

Der Ausgangspunkt der vorliegenden Untersuchungen lag in der Beobachtung, dass die Zahl der Studienabbrecher in den letzten drei Semestern im Fachbereich Sozialwesen sehr stark angestiegen ist. Man kann von einem wachsenden "Schwund" von Studierenden ohne erfolgreichen Abschluss in den vergangenen Semestern sprechen.

Die Exmatrikulationen durch erfolgreichen Studienabschluss überwiegen in den Jahren 97/98 bis 99/00 eindeutig. Exmatrikulationen wegen wiederholtem Nichtbestehen von Prüfungen sind im FB SW relativ selten und liegen klar unter 10 Prozent, während die "freiwilligen" Exmatrikulationen seit dem SS 2000 deutlich angestiegen sind. Der Fachbereichsrat griff die Anregung des Studiendekans im Lehrbericht auf und empfahl eine detailliertere Untersuchung des Studienabbrecher-Phänomens am Fachbereich Sozialwesen. Der Prorektor der Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule - Professor Dr. Heß - erweiterte diese Empfehlung und regte an, die Untersuchung auf alle Fachbereiche der G-S-O-FH Nürnberg auszudehnen.

## 2. Kurze Problemdiskussion zum Thema Studienabbrecher („Dropouts“)

### 2.1 Begriffsdefinitionen

In der Öffentlichkeit aber auch in der einschlägigen Literatur werden die Begriffe Studienabbrecher, Dropouts, Abbruchquote, Studentenschwund unterschiedlich definiert und berechnet.

Um Vergleiche mit anderen Untersuchungen zu ermöglichen und um Missverständnisse zu vermeiden sollen die einschlägigen Begriffe für die vorliegenden Untersuchungen definiert werden.

**Studienabbrecher** sind alle Studierenden, die an einer deutschen Hochschule immatrikuliert wurden, dann aber ihr Studium dort ohne Abschlussexamen beendet haben und es nicht wieder aufnehmen wollen. Im Unterschied zu den HIS-Studien beschränken wir den Begriff nicht auf das Erststudium, da die entsprechenden Daten nicht vorlagen.

Unter der **Studienabbrecherquote** verstehen wir den Anteil der Studierenden, die ohne Abschlussexamen exmatrikuliert werden. Die Quote kann unterschiedlich berechnet werden: Zum einen bezieht sie sich zeitlich auf das Studienanfängerjahr und beschreibt den relativen Anteil der Studienanfänger, die den Abschluss nicht erreicht haben (Längsschnittanalyse). Zum anderen wird sie dadurch berechnet, dass der relative Anteil der ohne Abschluss exmatrikulierten Studierenden an der Gesamtzahl der exmatrikulierten Studierenden in einer Periode, z.B. Semester oder Studienjahr, bestimmt wird (Querschnittsanalyse). Der zweite Weg ist einfacher, liefert aber Zahlen, die durch unterschiedlich große Studienanfängergruppen (Kohorten) verzerrt werden können.

**Studiengang- und Hochschulwechsler** sind keine Abbrecher im engeren Sinn, da sie im Hochschulsystem verbleiben. Sie gehören aber zur Schwundquote.

Die **Schwundquote** ist demnach der weiteste Begriff und umfasst alle Studierenden die ihr Studium in dem immatrikulierten Fachbereich (Fächergruppe u.s.w) der jeweiligen Hochschule nicht erfolgreich abgeschlossen haben.

Der Begriff **Dropout** bezieht sich in unserem Zusammenhang ebenfalls auf die Studierenden, die - aus welchen Gründen auch immer - aus einer immatrikulierten Ausbildungsrichtung einer Hochschule "herausfallen". Er entspricht demnach dem Schwund an Studierenden, wobei der Bezugspunkt ein Studiengang, eine Ausbildungsrichtung oder die gesamte Hochschule sein kann.

### 2.2 Allgemeine Problemdiskussion

Das Thema Studienabbrecher, "Dropouts" und "Studentenschwund" kann aus individueller, institutioneller und gesellschaftlicher Perspektive betrachtet werden. So ist es in der Regel eine individuelle Entscheidung, ob jemand ein gewähltes Studium abbricht (Ausnahme: Exmatrikulation wegen Versagens in den Prüfungen). Aus institutioneller Sicht sollten die Hochschulen natürlich daran interessiert sein, die Abbrecherquote möglichst gering zu halten, indem sie mögliche Defizite in der Qualität der Lehre, der Studienorganisation usw. beseitigen. Aus gesellschaftlicher Perspektive wird die Abbruchquote im Studium als Hinweis auf die (geringe) Effektivität des tertiären Bildungssystems und die Vergeudung von finanziellen Ressourcen betrachtet.

Bei der Qualitätsdiskussion der Hochschulausbildung wird das Thema des Studienabbruchs gerne ausgeklammert, obwohl es keinesfalls ein Randthema darstellt. Es stellt sich die Frage, ob Studienabbrüche als institutionelle Misserfolge und als Vergeudung öffentlicher Gelder zu betrachten sind. Andererseits kann ein Studienabbruch aber auch als sinnvolle Selektion oder Begleiterscheinung individueller (positiver und negativer) Persönlichkeitsentwicklungen interpretiert werden.

Die Daten und Fakten über Studienabbrüche sind in den Hochschulen und in den einzelnen Fachbereichen weitgehend unbekannt. Die zentralen Gründe dafür dürften (nach Ulmer, 1995) in folgenden Aspekten liegen:

In den Hochschulen ist man kaum bereit, diesen Sachverhalt öffentlich zu diskutieren und weist lieber auf die hohe Zahl der Studierenden und die daraus resultierende Überlastung hin.

Das Phänomen Studienabbruch beruht auf sehr vielschichtigen Ursachen und muß differenziert betrachtet werden. So ergeben sich in positiver Hinsicht die Auslesefunktion (möglichst im Grundstudium), die sinnvolle Orientierungsmöglichkeit in den ersten Semestern, die zum Studienfachwechsel führen kann und das Überwechseln der Studierenden (meist höherer) Semester in eine praktische Berufstätigkeit, für die das Studium auch ohne Abschluss nützlich war. In negativer Hinsicht sind die folgenden Aspekte von Bedeutung: Die Einführung der Studierenden in die Organisation wird vernachlässigt, so dass relativ viele Studierende mit grundsätzlich positiver Veranlagung sich in der neuen Situation nicht zurecht finden und scheitern. Die mangelnde Motivation und Begabung der Studierenden führt kurz oder lang zum Abbruch. Daneben gibt es auch eine wachsende Zahl an Studierenden, die ein Zweitstudium nach erfolgreich abgelegtem Erststudium beginnen, um den Studentenstatus noch möglichst lange aufrecht erhalten zu können. Dieser Aspekt dürfte bei den Fachhochschulen allerdings nicht so bedeutsam sein.

Die Ursachen des Studienabbruchs können durch die Hochschulstatistik nur schwer erfasst werden. Durch den Datenschutz ist es für die Hochschulen schwierig geworden, sicher festzustellen, welche individuellen Faktoren im Studienverlauf zur Exmatrikulation führen. Zum einen haben wir die Einschreibungs- und Rückmeldedaten des Studentensekretariats (Studienfach, Semesterzahl) und zum anderen die Angaben der Prüfungsämter (die nicht immer völlig identische Ergebnisse liefern) wie viele Studierende das Studium unterbrochen oder abgebrochen haben. Die amtlichen Daten liefern uns praktisch nur Aussagen über die Bewegung von Studentenzahlen und das Ausmaß des Studentenschwunds. Weitergehende Aussagen erfordern aufwendige Nachbefragungen.

### **2.3 Ausgewählte Forschungsergebnisse zum Thema "Studienabbruch"**

Schröder-Gronostay (1999, S. 221 ff) hat versucht, die bestehenden Forschungsergebnisse der letzten 22 Jahre zusammenzufassen. Sie weist dabei darauf hin, dass die amtliche Statistik große Schwierigkeiten hat, das komplexe Phänomen "Studienabbruch" zu quantifizieren. Die veröffentlichten Studienabbruchquoten schwanken zwischen 20 und 70 Prozent (Fernuniversität Hagen). Die Zahlen beschreiben dabei unterschiedliche Sachverhalte: Sie unterscheiden sich in ihrer Bezugsgröße (einzelne Fachbereiche, einzelne Hochschule, Bund, usw.), ihrem Berechnungsverfahren (Schätzung, Hochrechnung, Auszählung) und ihren Bezugsgruppen (Längsschnittanalyse, Überlebensquoten, Querschnittsanalyse mit Anfänger- und Exmatrikuliertenkohorten, usw.).

Die zentralen Ergebnisse nach Schröder-Gronostay (1999) sind:

Die Ergebnisse zur Bildungsherkunft sind in amerikanischen Untersuchungen relativ eindeutig: Kinder aus "under-class"-Familien und aus Familien, in denen die Eltern keinen akademischen Abschluss haben, brechen wesentlich häufiger das Studium ab. Auch scheint die Leistungsunterstützung durch die Familie und das Ansehen eines akademischen Abschlusses die Chancen zu steigern, das Studium erfolgreich abzuschließen. Deutsche Untersuchungen liefern allerdings widersprüchliche Ergebnisse.

Bei den voruniversitären Einflussfaktoren deutet sich an, dass Studierende mit Fachhochschulreife seltener zum Abbruch tendieren als diejenigen mit allgemeiner Hochschulreife. Eine dem Studium vorangehende Berufsausbildung hat keinen eindeutigen Einfluss auf die Abbruchwahrscheinlichkeit. Studienabbrecher scheinen allerdings unsicher in ihrer Studienwahlentscheidung gewesen zu sein; sie lassen sich dabei auch wesentlich häufiger durch ihr soziales Umfeld beeinflussen. Klare Berufs- und Karrierevorstellungen zu Beginn des Studiums wirken nach dem vorliegenden Ergebnis abbruchhemmend.

In persönlichkeitspezifischer Hinsicht deuten die Ergebnisse an, dass die Abbrecher in den Dimensionen "Emotionale Stabilität", Selbstvertrauen, Frustrationstoleranz und intellektuelle Leistungsfähigkeit niedrigere

Testwerte besitzen. So korreliert die umstrittene Abiturdurchschnittsnote signifikant mit einem erfolgreichen Abschluß. Obwohl die Abbrecher häufig keine objektiven Prüfungsmisserfolge erleben, scheinen sie ihr Studium misserfolgsorientiert anzugehen.

Bei den studienbezogenen Faktoren sind die Ergebnisse relativ eindeutig: Abbrecher zeigen ein geringeres Arbeitsengagement, größere Schwierigkeiten bei der Studienorganisation, mehr Distanz zu den Studieninhalten und nutzen auch weniger die allgemeinen Angebote der Hochschule. Die gelungene Integration in das Studenten- und Hochschulleben scheint einen wesentlichen Einfluss auf den Studienabschluss zu haben.

In institutioneller Hinsicht scheinen eine überschaubare Organisationsstruktur, eine gute Prüfungsorganisation, didaktisch gute Lehrveranstaltungen den Studienerfolg zu unterstützen. Es wird dabei allerdings betont, dass Studienerfolge im Wesentlichen von Faktoren abhängen, auf welche die Hochschule keinen Einfluss nehmen kann.

### **Ergebnisse der HIS-Untersuchungen**

Lewin hat 1995 die erste HIS-Untersuchung zum Studienabbruch vorgelegt. Bei dieser Untersuchung wurde die Abbrecherquote dadurch ermittelt, dass die Abbrecher mit den korrespondierenden Studienanfängerzahlen im Zusammenhang mit Exmatrikuliertenbefragungen verglichen wurden. Dabei wurden die Studienabbrecher einer bestimmten Periode (z.B. eines Studienjahres) ermittelt, ihre durchschnittliche Studiendauer erfasst und mit dem (durchschnittlichen) Studienanfängerjahrgang verglichen. Da es aber praktisch nicht möglich ist, alle Exmatrikulierten bei einer Befragung zu erreichen, ist auch hier mit großen Unsicherheiten zu rechnen. Die zentralen Ergebnisse waren (Lewin 1995, S. 360 ff.):

An Universitäten beträgt die Abbruchsquote etwa ein Drittel, an Fachhochschulen etwa ein Fünftel.

In den letzten 20 Jahren ist an den Universitäten der alten Länder die Studienabbruchsquote stark angewachsen, die Studiendauer bis zum Abbruch hat etwa um ein Drittel zugenommen und die Zahl der Studienabbrecher hat sich bei Verdoppelung der Studienanfängerzahlen vervierfacht!

Auch das Spektrum der Abbruchsgründe hat sich von 1974 bis 1994 sehr verändert und ausdifferenziert: So haben die folgenden Abbruchsgründe zunehmend Bedeutung gewonnen: Situation des Arbeitsmarktes, Begleitumstände des Studiums (Überfüllung, organisatorische Mängel, fehlende Betreuung, usw.), enttäuschte Erwartungen/Distanz zum Studium und finanzielle Schwierigkeiten.

Die Studiendauer bis zum Abbruch zeigt, dass wir verschiedene Phasen unterscheiden können. Etwa 30 Prozent der Abbrecher haben bis zum Ende des zweiten Semesters die Hochschule wieder verlassen, d.h sie haben sich orientiert und neu entschieden! Nur etwa ein Fünftel der Abbrecher gelangt in die Semester, in denen sie ein Examen ablegen könnten. Ein knappes Zehntel der Abbrecher verweilt länger an der Hochschule als der Absolventendurchschnitt (und ziehen den arithmetischen Mittelwert nach oben!). Dieses Zehntel ("später Schwund") ist der problematische und wahrscheinlich auch tragische Teil der Studienabbrecher. Bei diesen Studierenden kann man den Abbruch sicher als eine Vergeudung von persönlichen und/oder öffentlichen Ressourcen ansehen.

Die beruflichen Tätigkeiten (ein halbes Jahr) nach dem Abbruch zeigen, dass etwa drei Viertel der Abbrecher erwerbstätig sind, wobei die Studienabbrecher der Universitäten vorwiegend eine Berufsausbildung, die der Fachhochschulen (40 % hatten schon vor Studienbeginn eine Ausbildung abgeschlossen) eine Berufstätigkeit gewählt haben. Fast zwei Drittel der Studienabbrecher sind mit ihrer Situation zufrieden, knapp ein Viertel unzufrieden. Im Vergleich zu den erfolgreichen Hochschulabsolventen beschreiben sich die Abbrecher als nur geringfügig unzufriedener.

Nach den vorliegenden Ergebnissen beurteilt Lewin (1995, S. 368) den Studienabbruch als "ein Ventil der Hochschule. Wenn er aber akzeptierbare Größenordnungen überschreitet, ist er ein Indiz für Fehlentwicklungen, sei es im Bildungswesen, sei es in der Gesellschaft oder auf dem Arbeitsmarkt". Die Frage nach den akzeptierbaren Größenordnungen wird dabei aber nicht beantwortet.

Die aktuelle "HIS-Studienabbruchstudie 2002" (Heublein u.a. 2002) wird momentan ausführlich diskutiert. Durch sie werden die Ergebnisse Lewins weitgehend bestätigt und weiter differenziert (Ausrichtungsspezifische Auswertung mit unterschiedlich definierten Abbruchsquoten: alle Studierenden im Erststudium, deutsche Studierende im Erststudium, alle Studierenden im Erst- und/oder weiterem Studium/OECD-Quote).

### 3. Fragestellungen der vorliegenden Untersuchung

Die vorliegende Untersuchung versucht für die Studierenden der Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule Nürnberg die folgenden Fragen zu beantworten:

Aus welchen Gründen kommt es zum Studienabbruch/-schwund?  
Wie wird er verarbeitet?  
Welche Folgen hat ein Studienabbruch?  
Wie groß ist die Anzahl der Studienabbrecher/Dropouts?  
Wie kann die Abbruchs-/Schwundquote verringert werden?

### 4. Darstellung der Untersuchungsmethoden

#### 4.1 Erhebungsmethoden

Zur Beantwortung der Fragen wurden folgende Datenquellen verarbeitet:

Schriftliche Befragung der Studierenden im WS 2001/02, die ohne erfolgreichen Abschluss exmatrikuliert wurden und Inhaltsanalyse der vorliegenden Daten der Hochschulstatistik zur Exmatrikulation.

#### 4.2 Durchführung der Untersuchungen

Schriftliche Befragung:

Aufgrund eines Pretests wurde der endgültige Fragebogen (siehe Anhang) im März 02 entwickelt und an alle im WS 2001/02 exmatrikulierten Studierenden ohne erfolgreichen Studienabschluss mit einem frankierten Rückumschlag versandt. 14 Tage später erhielten die Studierenden ein Erinnerungsschreiben mit der nochmaligen Bitte, den ausgefüllten Fragebogen bis zum 20. April 02 an die Adresse des Untersuchungsleiters zurück zu senden. \*

Inhaltsanalyse der Hochschulstatistik:

Parallel dazu wurde das Rechenzentrum gebeten, die Strukturdaten der Exmatrikulierten in den Dimensionen Geschlecht / formaler Exmatrikulationsgrund / Anzahl der Fachsemester und Anzahl der Studiensemester pro Fachbereich zu erstellen. Dabei wurden die Daten für eine Längsschnittanalyse (Verlaufsanalyse) und einer Querschnittsanalyse (periodische Exmatrikulationen) erhoben.\*\*

#### 4.3 Auswertung der Daten

Die offenen Fragen des Fragebogens wurden qualitativ, die geschlossenen mit Hilfe der Software SPSS.11 ausgewertet.

Die Datenlisten (Verlaufsanalyse/Längsschnittanalyse der Studienjahrgänge 1994/94 bis 1997/98 und periodische Analyse/Querschnittanalyse der Studienjahre 1999/00 bis WS 2001/02) des Rechenzentrums wurden in die jeweiligen Ergebnistabellen des vorliegenden Berichtes übertragen.

---

\* In diesem Zusammenhang möchte ich mich für die reibungslose Zusammenarbeit mit Herr Kachel und seinen Mitarbeitern vom Studentenreferat herzlich bedanken.

\*\* Herrn Diplomingenieur Michael Bially hat mir in diesem Zusammenhang umfangreiche Daten der Hochschulstatistik zu Verfügung gestellt. Auch bei ihm möchte ich mich für die schnelle und problemlose Zusammenarbeit bedanken.

## 5. Ergebnisse der Untersuchungen

### 5.1 Fragebogenuntersuchung

#### 5.1.1 Beschreibung der Untersuchungsstichprobe

Die Beschreibung der Untersuchungsstichprobe soll an den Anfang gestellt werden, um entscheiden zu können, ob die Ergebnisse - trotz relativ geringer Rücklaufquote von 12 Prozent - als einigermaßen repräsentativ für die Dropouts an der GSOFH angesehen werden können.

Tabelle 1 zeigt die Daten, bei denen ein Vergleich zwischen der Untersuchungsstichprobe und der Gesamtstichprobe (Dropouts WS 01/02) möglich war.

<b>Strukturdaten</b>	<b>Befragungsstichprobe</b> f% n=41	<b>Vergleichs-Stichprobe</b> f% n=344
1. Geschlecht: weiblich männlich	46,3 53,7	34,3 65,7
2. Ausbildungsrichtung: Technik Betriebswirtschaft Sozialwesen/Soziale Arbeit Gestaltung	51,2 26,8 19,5 2,4	56,0 30,1 11,9 2,0
3. Schwundart: Prüfungsbedingte Exmatrikulation (02,03) Weitere Abbruchgründe (06,07) HS-/St.-gangwechsler u.ä. (04,05,09,10)	12,2 78,1 9,7	33,4 43,3 23,2
4. Studierte Semester bis zum Abbruch: 1. und 2. Sem. 3. und 4. Sem. 5. und 6. Sem. 7. und 8. Sem. 9. Sem. und mehr	43,6 33,4 12,9 5,1 5,2	29,7 28,2 20,3 6,7 15,1

**Tab. 1:** Strukturmerkmale der Untersuchungsstichprobe im Vergleich mit der Gesamtstichprobe der Dropouts im WS 2001/02

Die überwiegende Mehrheit (86,8 Prozent) der Befragten gibt an, das Studium als Vollzeitstudium durchgeführt zu haben (7,9 % Teilzeit ; 5,3 % Nebenbeistudium).

Die "Rücklaufstichprobe" weicht demnach relativ stark von der ursprünglichen Gesamtstichprobe der Dropouts ab. Sie beinhaltet wesentlich mehr ehemalige StudentInnen, die relativ früh das Studium abgebrochen haben und dies vorwiegend mit der gewonnenen persönlichen Distanz zum Studium begründen. Die Ergebnisse können demnach nur sehr vorsichtig und kritisch interpretiert werden. Dieses Problem besteht leider bei allen Befragungen von Studienabbrechern.

#### 5.1.2 Spontane Assoziationen zum Studium

Zu Beginn der Untersuchung wurden die Befragten gebeten, den folgenden Satz (als spielerischen Einstieg in den Fragebogen) zu ergänzen: "Wenn ich an mein Studium an der Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule denke, dann fällt mir spontan folgendes ein:..."

Die Antworten wurden zuerst nach ihrer generellen Tendenz und anschliessend in inhaltlicher Richtung ausgewertet. Die generelle Tendenz ist in der Abbildung 1 ersichtlich. Als Vergleichsstichprobe dienen die Ergebnisse der (erfolgreichen) Absolventen der vergangenen Befragungen (n=214) im FB SW.

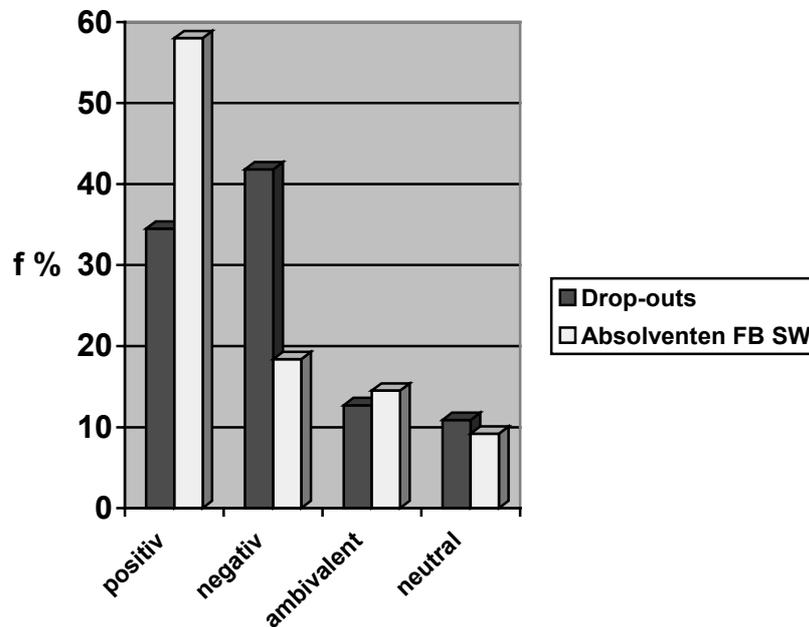


Abb. 1: Generelle Assoziationsrichtung

Der Vergleich mit den erfolgreichen Absolventen des Fachbereichs SW der vergangenen Studienjahre ist nur eine sehr grobe Orientierungshilfe. Es deutet sich aber dabei an, dass die Abbrecher wesentlich häufiger Assoziationen in negativer Richtung äußern.

Inhaltlich kreisen die negativen Assoziationen vor allem um den Irrtum bei der Studienwahl und situative Probleme wie in Tabelle 2 ausgewiesen wird. Studienspezifische Inhalte werden kaum angesprochen.

Bei den positiven Assoziationen werden vor allem (siehe Tabelle 3) der atmosphärische und persönliche Aspekt betont, während auch hier inhaltliche Aspekte des Studiums nur selten genannt werden.

<b>Negative Äußerungen:</b>	Gesamt n=41 f %
<b>Falsche Wahl:</b> "War nicht das Richtige für mich; hat mich nicht ausgefüllt; war beim Studium nicht glücklich; musste mich zu etwas zwingen, das nicht zu mir paßt; Fehler, war da völlig fehl am Platze;"	22,0
<b>"Massenbetrieb:</b> überfüllte Räume, unpersönliches Chaos;"	12,2
<b>Frustration:</b> "Scheiß-Zeit; Frustration-Verwirrung-Angst-Verlorensein; Gefühl des Alleinseins;"	9,8
<b>Stress:</b> "Ganz schön stressig; zu viel Arbeit; Zeitdruck durch Abgabetermine,"	9,8
Dozenten; "unmotivierte Profs; ganz schön müder Prof.-haufen; zu alte Profs im Hinblick auf rechnerunterstützte Systeme;"	7,3
<b>"Anonymität;</b> kaltes, unpersönliches Klima;"	4,9
<b>Einzelnennungen:</b> "habe ein schlechtes Gewissen; mag nicht nur für's Studium leben; dass ich an keinen Prof eine email schicken konnte, weil die Adresse von keinem Provider akzeptiert wurde; unsoziale Kommilitonen; Schikane; Baustelle; Gesäßschmerzen in den Hörsälen;"	17,1

Tab. 2: Negative Spontanassoziationen zum Studium (Bei allen offenen Fragen sind Mehrfachnennungen möglich).

<b>Positive Äußerungen:</b>	Gesamt n=41 f %
<b>Atmosphäre:</b> "War eine sehr schöne, lockere Zeit; viel Spaß gehabt; angenehmes und lockeres Klima; gutes Studierklima mit familiärer Atmosphäre; war superschön, ereignisreich; viele Feten nach den Prüfungen; positives Klima; nette Leute kennen gelernt; sehr gute FH-Parties	19,5
<b>Freundschaft:</b> "Eine besonders nette Kommilitonin; neue Freunde; nette Mitstudenten"	7,3
<b>Umfeld:</b> "Nürnberg ist eine tolle Stadt zum Einkaufen, wenn mal wieder eine Vorlesung ausgefallen ist; Nürnberg ist große und moderne Stadt; Studienort Nürnberg"	7,3
<b>Lehrende:</b> "Nette Professoren; prima Lehrkräfte"	4,9
<b>Einzelnennungen:</b> gute Lehrmittel; viel gelernt; nette Konditionen	4,9

Tab. 3: Positive Assoziationen zum Studium

Das neutrale assoziative Umfeld wird allgemein durch folgende Äußerungen bestimmt:

"war schon in Ordnung; hat gepaßt; ging nach einer Woche an die Uni, weil ich dort einen Studienplatz bekam"

Die Ursachen des Studienabbruchs/-wechsels an der GSO-FH Nürnberg werden demnach vor allem in äußeren Faktoren und nicht in der eigenen Persönlichkeit gesehen ("externale Attribution" als fundamentaler Attributionsfehler?).

### 5.1.3 Begründung der Exmatrikulation ohne Studienabschluss

Bei der Frage nach dem ausschlaggebenden Grund für die Exmatrikulation ergaben sich folgende Schwerpunkte:

<b>Frage 2:</b> Was war der ausschlaggebende Grund, dass Sie Ihr Studium in Nürnberg beendet haben?	Gesamt n=41 f %
Distanz zum Studium, Studienwahl war totaler Irrtum, unzufrieden mit dem Studium, fehlendes Interesse am Studium, kam mir völlig fehl am Platze vor, fehlende Motivation,	41,5
Vorprüfung endgültig nicht bestanden, (AP endgültig nicht bestanden = 0)	12,2
neue berufliche Ziele, Chancen ohne Examen	7,3
Hochschulwechsel, weil heimatnah; habe dort meine Freunde, lebe jetzt im Ausland und studiere an der Fernuni Hagen,	7,3
private Gründe, Scheidung samt allen Belastungen, persönliche Gründe,	7,3
finanzielle Schwierigkeiten, kein Bafög, keine Unterstützung durch die Eltern,	2,4
Studienfachwechsel, weil andere Interessenschwerpunkte	2,4
Sonstiges (Krankheit, Anpassungsschwierigkeiten, Anschluss nach fast 3 Jahren Erziehungs-urlaub verloren, zu viel Lehrstoff auf einmal, ...)	19,5

**Tab. 4:** Ausschlaggebender Hauptgrund der Exmatrikulation

Bei der Frage nach weiteren Gründen zeigten sich die folgenden Schwerpunkte:

<b>Frage 3:</b> Welche Gründe spielten noch eine Rolle, dass Sie Ihr Studium in Nürnberg beendet haben; kreuzen Sie bitte die entsprechenden Antworten an: KA=10 (24,4%)	Gesamt n=41 f %
Hochschulwechsel	24,4
Studienfachwechsel	19,5
neue berufliche Ziele / Chancen ohne Examen	17,1
private Gründe, familiäre Gründe	14,6
finanzielle Schwierigkeiten, musste Geld verdienen	12,2
Distanz zum Studium, Irrtum bei der Wahl des Studiums / Berufs	7,3
Vorprüfung endgültig nicht bestanden	4,9
schlechte Arbeitsmarktchancen nach dem Studium	4,9
Sonstiges	12,2

**Tab. 5:** Sonstige Gründe der Exmatrikulation

24,4 % der Befragten nannten nur einen zentralen Grund für den Studienabbruch, bzw. -wechsel.

### 5.1.4 Einstellung zum Studium

Die Dropouts wurden Stärken und Schwächen des Studiums und ihre persönlichen Erfahrungen damit befragt. Dabei zeigten sich die folgenden Ergebnisse:

Bei den **Schwächen** des Studiums werden neben den Rahmenbedingungen aber auch sehr stark inhaltliche Aspekte erwähnt, wie Tabelle 6 zeigt.

Frage 5: Was waren für Sie die Schwächen des Studiums? %	KA=5 (13,9)	Gesamt n=41 f %*
<b>Unpersönlicher Betrieb:</b> wenig Hilfestellung von anderen; wenn man als Frischling in den ersten Wochen keine neuen Freunde gefunden hat, dann ist es schwierig an Infos heranzukommen; fehlende Mitmenschlichkeit und zuviel Leistungseiligkeit; Sturheit in der Administration, starres System, unausgereifte Bürokratie, schlechte Betreuung der Studenten durch Profs und Sekretariat, wenig Hilfestellung bei der Integration ins Studium; keine Möglichkeit eine Klausur zu Semesteranfang zu wiederholen, Wiederholungsprüfungen sind erst zum Semesterende möglich		39,0
<b>Lehrveranstaltungen:</b> Qualität der Vorlesungen ist schwach, schlechte Lehrveranstaltungen, wenig Aktualität und veraltete Lehransichten, in den Lehrveranstaltungen wurde nichts gelernt, zu wenig Profs, die ihr Wissen in den Lehrveranstaltungen vermitteln können, Vorlesungen unübersichtlich und chaotisch, Schulbetrieb, Frontalunterricht wie in der Schule		34,2
<b>Professoren:</b> Arroganz der Profs, Distanz zwischen Profs und Studierenden, unfair gestaltete Prüfungen bei einigen Profs, Prüfungswillkür, oft arbeiten die Profs gegen die Studierenden und nicht mit ihnen, Studierende werden systematisch "rausgeprüft"		22,0
<b>Überfüllte Hörsäle,</b> zu viele Studierende in einer Lehrveranstaltung		19,5
<b>Fehlender Praxisbezug,</b> zu wenig Praxisbezug, zu wenig CAD-Rechner und Profs die sich damit auch auskennen, Profs können den Praxisbezug nicht herstellen, zu viel Theorie und kaum Zusammenarbeit mit der Wirtschaft		17,1
<b>Überforderung:</b> ich war einfach überfordert, mangelnde Schulbildung, Konzentrationsschwäche und Faulheit bei mir, zuviel Mathe in den Fächern, zuviel Lernstoff auf einmal, das habe ich nicht kapiert; kam vom sozialen Zweig und war in Mathe/Physik total überfordert		12,2
<b>Gebäude:</b> unpersönlicher Bau, hässliche "Architektur" der FH, Cafeteria = Fehlanzeige,		9,8
<b>Planungsprobleme:</b> Vorlesungen überschneiden sich oft, Schwierigkeiten die Lehrveranstaltungen und das studienbegleitende Praktikum zu organisieren		4,9
<b>Einzelnennungen:</b> Fehlende Disziplin bei Studierenden und Professoren; das Fach "an sich"; zu viel Praxis, zu wenig Theorie; Skriptenverkauf zu spät - warum erst zu Semesterende?		12,2

Tab. 6: Schwächen des Studiums an der G-S-O-FH Nürnberg (\* Prozentwerte beziehen sich auf n=41)

Als Stärken des abgebrochenen Studiums werden die folgenden Aspekte betont:

Frage 4: Was waren für Sie die Stärken des Studiums? KA=7 (19,4 %)	Gesamt n=41 f %*
<b>ProfessorInnen;</b> überwiegend offene und aufgeschlossene Dozenten; einige sehr gute Professoren; meist kompetente Profs; junge und motivierte Dozenten	31,7
<b>Persönliche Atmosphäre</b> im Fachbereich, individuelle, persönliche Beratung, alles sehr freundlich, kleiner familiärer Fachbereich, alle waren sehr nett, manchmal fast familiäre Atmosphäre	19,5
<b>Einrichtung;</b> neue Räume, moderne Einrichtung, mit Abstand das modernste FH-gebäude, gute technische Ausstattung	19,5
<b>Studium;</b> sehr vielseitiges Studium, interessante Fächervielfalt, umfangreicher Einblick in vielseitige Disziplinen, breites und interessantes Fächerangebot	17,1
<b>Studienorganisation;</b> gute Organisation, freie Fächerauswahl möglich, flexible Studienplangestaltung, übersichtlicher Studienaufbau	14,6
<b>Ruf;</b> guter Ruf, gutes Image in der Praxis, hohe Anerkennung in der Industrie	9,8
<b>Umfeld;</b> Stadt Nürnberg, Mensa, Bibliothek	7,3
<b>Einzelnennungen:</b> hoher Praxisbezug; Wohnortnähe; persönliche Abklärung; Fachschaft VS/MB	9,8

Tab. 7: Stärken des Studiums an der G-S-O-FH Nürnberg (\* Prozentwerte beziehen sich auf n=41)

Bei den Stärken dominieren eindeutig die "Umfeldqualitäten".

Das Studium wird - auch wenn die Befragten es nicht erfolgreich abgeschlossen haben - von 75 Prozent als eine (zumindest teilweise) positive Erfahrung erlebt. Tabelle 8 fasst die positiven Erfahrungen zusammen.

Welche positiven Erfahrungen nehmen Sie aus Ihrem Studium mit?	Gesamt n=41 f %*
<b>Persönliche Entwicklung und Erfahrungen:</b> Freunde sind sehr wichtig und büffeln ist nicht alles; nie wieder Sozialkasperles und -kokolores; man kann alles technisch hinterfragen; ein Studium bietet die größtmögliche Erschließung des Berufsfeldes; man muss hart arbeiten, um etwas zu erreichen; Lerngruppen sind sehr nützlich; Teamarbeit; man kann nur das wirklich studieren, wozu man Lust hat; ich habe erkannt was ich wirklich will; selbst organisiertes Fortbilden ist wichtig; Lernen hilft; man könnte die ganze Aktion als persönliche Grenzerfahrung abhaken, aber empfehlen kann ich das nicht; Erkennen eigener Schwächen: ich weiß was für mich machbar ist; ich wurde härter und egoistischer mit mehr Selbstdisziplin; Stärkung meines Selbstbewusstseins; nach einem abgebrochenem Studium hat man eine andere Arbeitseinstellung zum normalen Beruf	34,1
<b>Wissenserwerb:</b> Inhalte der Lehrveranstaltungen waren für mich wertvoll; persönliche Wissenserweiterung; gutes Grundlagenwissen erworben; viele interessante Informationen bekommen	17,1
<b>Kontakte:</b> habe durch das Studium eine nette und gute Freundin gewonnen; nette Bekanntschaften / Freundschaften; viele neue Kontakte geschlossen; habe viele neue Leute kennen gelernt	17,1
<b>Studentenleben:</b> habe Einblick ins Studentenleben gewonnen; Wesenszüge des FH-studiums kennen gelernt; Erfahrungen mit dem Studium und Lernen gewonnen; gelernt wie man studiert bzw. studieren müsste	9,8
<b>Selbständigkeit:</b> ein Jahr, in dem ich mein eigener Herr war; selbständiges Lernen und Durchkommen; selbständiges Arbeiten	7,3

Tab. 8: Positive Erfahrungen aus dem Studium (\* Prozentwerte beziehen sich auf n=41)

Das Studium wird neben dem Wissenserwerb als ein wichtiger Beitrag zur persönlichen Entwicklung, Reifung und Selbstfindung angesehen.

Natürlich werden auch von den meisten Befragten (70,7 Prozent) negative Erfahrungen erwähnt; sie sind in Tabelle 9 zusammengefasst.

Sie konzentrieren sich auf die vielseitigen Frustrationen mit den Studienanforderungen und der -situation.

Welche negativen Erfahrungen nehmen Sie aus Ihrem Studium mit?	Gesamt n=41 f %*
<b>Frust:</b> es war einfach frustrierend, trotz aller Bemühungen keinen Erfolg zu haben; Teamarbeit ist bei den vielen Pendlern nicht möglich und führt zu Ärger und Enttäuschungen; ein Jahr verloren und verschenkt; Wanderer suchst Du nach Weiterbildung, dann versuch es bloß nicht an der FHN; die Umstellung von Schule auf Studium fiel sehr schwer; Zeitdruck und Abgabetermine waren psychisch sehr belastend; man muss zuviel Zeit für's Studium aufwenden; dauernder innerer Stress beim Lernen vor den Prüfungen war zu groß;	29,3
<b>Prüfungsschikanen:</b> einige unfaire Profs in Prüfungen, teilweise Schikane in Prüfungen	9,8
man sieht wie der Studienstress die Leute persönlich verändert; keine Auseinandersetzung mit dem "Mensch-Sein"; Einzelkämpferausbildung; Studium erfordert Vernachlässigung von Freunden und Familie	9,8
Leider gibt es nur wenige Profs, die fähig sind ihre Wissen auch zu vermitteln; meist "viel Lärm um nichts"	7,3
<b>Absolute Macht der Profs;</b> Studierende werden nicht ernst genommen	4,9
<b>Finanzielle Not durch das Studium;</b> Studium ist mit hohen Kosten verbunden, die mich überforderten	4,9
<b>Einzelnenennungen:</b> Man kann bei dem starren System wenig ändern; das sozialpädagogische Niveau ist schlimmer als sein Ruf; wenig Aufbruchstimmung für das künftige Arbeitsleben; wenn man studiert, sehen die Leute einen mit ganz anderen Augen an (negativ aber auch positiv)	9,8

Tab. 9: Negative Erfahrungen aus dem Studium (\* Prozentwerte beziehen sich auf n=41)

### 5.1.5 Erforderliche Veränderungen im Fachbereich

Die Ehemaligen wurden auch befragt, was der Fachbereich hätte verändern müssen, damit sie ihr Studium weiter geführt hätten. 56,1 Prozent sehen keinen Änderungsbedarf und betonen, dass sie auf jeden Fall aufgehört hätten.

"Hätten nichts ändern können; nichts: man hätte den FB nach München verlegen müssen; ich ziehe aus partnerschaftlichen Gründen weg - Nürnberg war toll; lag nicht an der FH; bei meinen Problemen hätte keine Veränderung was geholfen; mußte wegen Krankheit das Studium aufgeben und da kann der FB wirklich nichts dafür; das Fach war einfach das falsche!"

Die folgende Tabelle listet die genannten Veränderungsforderungen auf :

Was hätten wir im Fachbereich verändern müssen, damit Sie weiter bei uns studiert hätten? KA= 23 (56,1 %)	Gesamt n=41 f %*
<b>Betreuung:</b> Die Anonymität und Gleichgültigkeit mancher Dozenten hat mir sehr zu schaffen gemacht; eine stärkere Zusammenarbeit zwischen Studierenden und Lehrenden bei den Lehrveranstaltungen und danach; manche Profs austauschen, damit mehr Zusammenarbeit, Motivation und Schwung entsteht; persönlicher reagieren; mehr persönliche Hilfe, mehr Zusammenarbeit durch Projekt- und Teamarbeit	22,0
<b>Kreativere Gestaltung der Lehrveranstaltungen;</b> mehr Mitspracherecht der Studierenden; Mentalität der Arch-Profis ändern - weg vom sturen technischen Denken und hin zu mehr Kreativität; eingefahrene Strukturen aufbrechen und sich stärker nach außen öffnen	9,8
<b>Dozenten einstellen, die ihr Wissen auch mitteilen können;</b> Dozenten einstellen, die den Stoff begreifbar vermitteln können	7,3
<b>Mehr Praxis und weniger Theorie;</b> mehr Gefühl für Praxisprobleme vermitteln	7,3
Einzelnenungen: Wirtschaftsinformatik wirtschaftlicher gestalten - studiere jetzt BW mit Informatik; baulich freundlicher sein; früher sicher stellen, ob Schwerpunkt (Fahrzeugtechnik) auch zustande kommt; offenere und transparentere Prüfungen; modernere Themen anbieten, Spezialisierungsrichtung wie Audiotechnik o.ä. einführen; Möglichkeit eines Fernstudiums (das ich jetzt gewählt habe) schaffen; ein bisschen mehr Zeit geben um die Aufgaben zu erledigen - aber das war vor allem meine Schuld	19,5

Tab. 10: Erforderliche Veränderungen im Fachbereich (\* Prozentwerte beziehen sich auf n=41)

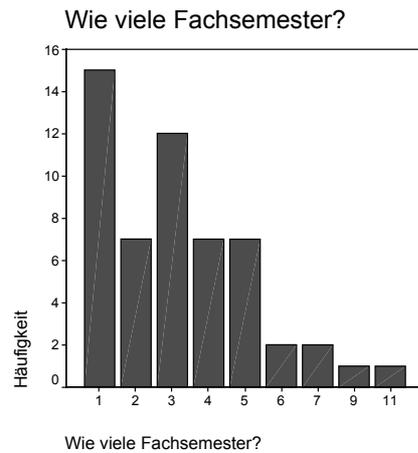
### 5.1.6 Zugangsvoraussetzung zu Studium und Studiendauer

Die Zugangsvoraussetzungen der befragten Dropouts waren bei 56,4 Prozent die Fachhochschulreife, bei 38,5 Prozent die Allgemeine Hochschulreife und bei den restlichen 5,1 Prozent sonstige Gründe. Dies entspricht weitgehend der Situation der immatrikulierten Studierenden.

Interessant für die Bewertung des Studienabbruchs ist, nach wie vielen Fachsemestern (= studierte Semester insgesamt, einschließlich der praktischen Studiensemester) das Studium an der G-S-O-FH Nürnberg beendet wurde. Die Antworten werden in Abbildung 2 dargestellt:

Aus der Abbildung wird deutlich, dass die meisten Studierenden relativ bald die Entscheidung treffen, das Studium in Nürnberg abbrechen. Ein Drittel fällt diese Entscheidung schon im ersten Semester, ein weiteres Drittel in den folgenden beiden Semestern. Nur 5,2 Prozent der Abbrecher haben eine Studiendauer, in der das Regelstudium abgeschlossen hätte werden können.

Diese Zahlen liegen deutlich unter denen der HIS-Studien.



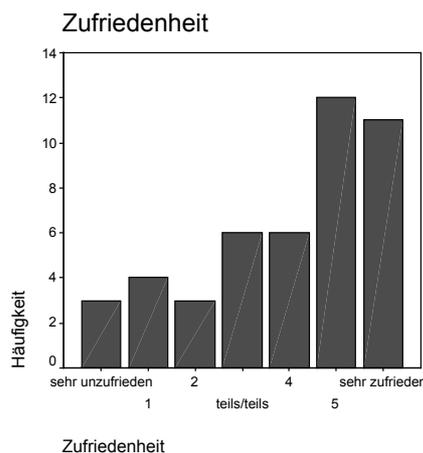
**Abb. 2:** Wie viele Fachsemester (Studiensemester insgesamt) haben Sie bis zum Abbruch studiert?

### 5.1.7 Weitere Tätigkeit nach dem Studienabbruch in Nürnberg

Etwas mehr als die Hälfte (53,8 %) der Ehemaligen gibt an weiter zu studieren, d.h. sie beschreiben sich bei dieser Frage als Hochschul- und/oder Studienwechsler. Diese Angabe steht im Widerspruch zu den Äußerungen bei den Fragen nach den Gründen der Exmatrikulation (Frage 2 und 3; siehe S. 11). Etwas mehr als 30 Prozent geben an berufstätig zu sein oder eine Berufsausbildung zu absolvieren. Nur 5,1 Prozent (n=2) sind arbeitslos.

Von den Berufstätigen arbeiten 35,7 Prozent im früheren Beruf, 7,1 Prozent gehen einer studiennahen Tätigkeit nach und 57,1 Prozent haben "etwas ganz Neues" gewählt.

Die Zufriedenheit mit der aktuellen Arbeit / Beschäftigung wird von den Ehemaligen relativ positiv eingestuft, wie in Abbildung 3 ersichtlich wird (Md=4,5; mQ=1,4). Die Werte entsprechen denen der erfolgreichen Absolventen im FB SW (Wellhöfer 2002): Md=4,8, mQ=1,0; allerdings zeigt sich bei der Schwundquote eine breitere Streuung. Diese Daten entsprechen auch denen der HIS-Studie (siehe 2.3).



**Abb. 3:** Zufriedenheit mit der aktuellen Tätigkeit

### 5.1.8 Bewertung des Fragebogens

Zum Abschluss der Befragung konnten die Ehemaligen zum Aufbau und Inhalt des Fragebogens Stellung nehmen. Dabei zeigte sich, dass die überwiegende Mehrheit (92,3 Prozent) der Meinung war, dass im Fragebogen alle wesentlichen Aspekte im Zusammenhang mit ihrer Dropout-Situation angesprochen wurden.

## 5.2 Ergebnisse der inhaltsanalytischen Auswertung der Hochschulstatistik

Nachdem die Ergebnisse der schriftlichen Befragung wegen der geringen Repräsentativität der Rücklauf-Stichprobe nur mit Vorsicht zu interpretieren sind, habe ich versucht die Hochschulstatistik systematisch auszuwerten, um weitere Anhaltspunkte zum Thema "Dropouts" an unserer Fachhochschule zu erhalten. Dabei wurden sowohl Daten der Studienverlaufsanalyse (Längsschnittanalyse) als auch die periodischen Exmatrikulationen (Querschnittsanalyse) ausgewertet.

### 5.2.1 Welche Daten der Hochschulstatistik können ausgewertet werden?

Nach dem Hochschulstatistikgesetz werden bei der Exmatrikulation die Gründe nach den folgenden (vorgegebenen) Kategorien erfasst:

01 Abschlussprüfung bestanden	02 Abschlussprüfung nicht bestanden
03 Vorprüfung nicht bestanden	04 Hochschulwechsel
05 Einberufung-, Wehr- oder Zivildienst	06 Aufgabe oder Unterbrechung
07 Fehlende Rückmeldung	08 Tod
09 Sonstige Gründe	10 Studiengangwechsel
11 Keine Krankenversicherung	12 Matrikelnummer wurde gewechselt
	13 DSH-Prüfung bestanden

Dabei kann die Richtigkeit der Angaben über die Exmatrikulationsgründe nur teilweise überprüft werden (außer bei den "harten Daten", wie Abschlussprüfung bestanden oder endgültig nicht bestandene Prüfungen). Ein großer Teil der Exmatrikulationen erfolgt "von Amts wegen", wobei meist die nicht vollzogene Rückmeldung als Ursache dient. Auch bei wiederholter Anmahnung kommt es zu keiner Rückmeldung und auch zu keiner Angabe der Gründe.

Information zum HIS-Berechnungsverfahren:

Bei den HIS-Untersuchungen an deutschen Hochschulen konnte man aus verschiedenen Gründen nicht den Verlauf von Studienanfang bis zur Exmatrikulation rekonstruieren. Man mußte deshalb für die Absolventen eines Studienjahrganges ohne Examen die Studienanfängerstichprobe (synthetisch) rekonstruieren. Dabei ergeben sich methodische Schwierigkeiten, da die einfache Rechnung "X-Studierende zu Beginn minus Y-Studierende mit abgelegtem Examen nach entsprechender (durchschnittlicher) Studiendauer = Studienabbrecher" nicht der Realität entspricht, da die Studienzeiten einzelner Studierender unterschiedlich lang sind.

Die Kohorte der Studienanfänger wird zu Absolventen verschiedener Jahrgänge. Sind zusätzlich die Zahlen der Studienanfänger im Verlauf sehr unterschiedlich, dann erscheinen in den einzelnen Examenskohorten Absolventen unterschiedlich starker Anfängerjahrgänge. Auch die Veränderungen in der Studiendauer führen hier zu "Stauchungen" und Verzerrungen. Die HIS-Forscher versuchen dieses Problem dadurch zu lösen, dass sie mit gleitenden Durchschnitten arbeiten. Damit gelingt eine "Glättung", die aber auch mögliche Veränderungen im Abbruchverhalten verschleiert.

Bei den HIS-Untersuchungen hat man sich mit den Zahlen der amtlichen Statistik nur über diese Hilfskonstruktion dem Phänomen Studienabbrechen genähert: Man vergleicht dabei Studienanfängerzahlen mit Absolventenzahlen zum entsprechend späteren Zeitpunkt und errechnete für deutsche Universitäten eine Abbrecherquote von 31 % und für Fachhochschulen von 20 % (Arnold 1995, S.343; Lewin 1995). Bei der aktuellen HIS-Studie 2002 (Heublein u.a. 2002) hat man z.B. für die Absolventen des Prüfungsjahrganges 1999 eine Kohorte aus den Studienanfängerjahren 1986 bis 1996 gebildet, die je nach Gewicht ihrer Anteile an den Absolventen von 1999 zu einem "synthetischen" Studienanfängerjahrgang zusammengefaßt wurden. Aus der zahlenmäßigen Differenz der Absolventen- zur Anfängerzahl erhält man dann die "HIS-Studienabbrecher".

Wir hatten bei unserer Analyse der Hochschulstatistik hingegen das Glück, auf echte Verlaufsdaten zurückgreifen zu können. Unsere Daten sind demnach exakte Verlaufsdaten und keine Näherungswerte, wie die der HIS-Untersuchungen.

"Periodenbezogene" Abbrecherquote":

Eine praktische Variante, die allerdings nur Annäherungswerte liefert, aber den Interessen der Hochschule und der Fachbereiche entgegenkommt, besteht darin, dass wir die exmatrikulierten Studierenden pro Semester (oder Studienjahr) analysieren oder befragen. Wir beziehen uns dabei vorwiegend auf die aktuelle Situation und berücksichtigen den Zeitpunkt des Studienbeginns nicht. Damit können wir die aktuelle Situation der Studienabbrecher und -wechsler besser beschreiben, wenn auch die Abbruchquote nur in Bezug zum jeweiligen Zeitpunkt der Exmatrikulierten erfasst werden kann. **Bei Fachrichtungen mit stark wechselnden Anfängerzahlen wird damit die wahre Abbrecherquote verzerrt, bei Fachrichtungen mit konstantem NC-Zahlen hingegen nicht.**

Da dieses Verfahren relativ einfach zu handhaben ist und aktuelle Ergebnisse liefert, wurde es in der vorliegenden Untersuchung mit verwendet. Wir können dabei auch überprüfen, ob die HIS-Kritik an diesen Daten gerechtfertigt ist. Die Verlaufsanalyse bildet das "Studienschicksal" natürlich am exaktesten ab.

## 5.2.2 Ergebnisse der Hochschulstatistik

### 5.2.2.1 Verlaufsanalyse (Längsschnittanalyse):

In Tabelle 11 werden die Exmatrikulationszahlen der Studienjahrgänge 1994/95 bis 1997/98 nach den Exmatrikulationsgründen dargestellt. **Dabei liefern die ersten beiden Jahrgangsspalten relativ sichere Daten**, da fast alle Studierenden dieser Jahrgänge bis zum Stichtag der Untersuchung (06.05.02) exmatrikuliert wurden. Dies trifft für die folgenden Jahrgänge nur noch teilweise zu, so dass die Aussagekraft dieser Kohorte geringer ausfällt und nur grobe Hinweise erlaubt, da ein beachtlicher Teil dieser Anfängerjahrgänge noch studiert (19 bzw. 41,5 Prozent).

Die **prüfungsbedingten Studienabbrüche** liegen im Durchschnitt zwischen 16 und 19 Prozent, wobei die Werte innerhalb der einzelnen Fachbereiche zwischen 3 % (Gestaltung) und 41 % (Informatik) schwanken. Beziehen wir die "weiteren Abbruchgründe" (Aufgabe des Studiums, keine Rückmeldung) in die Quote mit ein - und es spricht vieles dafür, dass sich hinter diesen Angaben ein Studienabbruch versteckt - dann kommen wir auf eine **geschätzte Abbruchsquote von 32 bis 36 Prozent** (letzte Tabellenzeile).

Beziehen wir noch den **"sonstigen Schwund"** mit ein, dann erhöht sich die Quote auf gute 40 Prozent, wobei die starken Unterschiede zwischen den einzelnen Fachbereichen bestehen bleiben. D.h. von den Studienanfängern der Studienjahre 1994/95 und 1995/96 haben uns **mehr als 40 Prozent ohne erfolgreichen Abschluss verlassen!**

Längsschnittanalyse: Alle Fachbereiche Neuimmatrikulierte Studierende im Studienjahr:	Jahrgang 1994/95  n=1629		Jahrgang 1995/96  n=1579		Jahrgang 1996/97  n=1602		Jahrgang 1997/98  n=1404**	
	f	f%*	f	f%	f	f%	f	f%
Davon bis 06.05.2002 exmatrikuliert:	1602	98,4	1502	95,1	1298	81,0	822	58,5
Exmatrikulationsgründe:								
Studium erfolgreich an der G-S-O-FH abgeschlossen (01)	896	55,0	841	53,3	635	39,6	225	16,0
Vorprüfung wiederholt nicht bestanden (03)	275	16,9	227	14,4	245	15,4	223	15,9
Abschlussprüfung wiederholt nicht bestanden (02)	35	2,2	24	1,5	14	0,9	13	0,9
Weitere (wahrscheinliche) Abbruchgründe:								
Aufgabe des Studiums (06)	53	3,3	61	3,9	61	3,8	52	3,7
Keine Rückmeldung (07)	226	13,9	207	13,1	214	13,4	218	26,5
Sonstiger "Schwund":		7,7		9,0		8,9		7,1
Studiengangwechsel (10)	17	1,0	25	1,6	25	1,6	19	1,4
Hochschulwechsel (04)	61	3,8	73	4,6	73	4,6	47	3,4
Sonstiges (05, 08, 09)	39	2,4	44	2,8	44	2,7	33	2,3
Geschätzte Abbrüche	589	36,2	519	32,9	534	33,3	498	35,5

Tab. 11: Verlaufsanalyse aller Studierenden der StudentInnenjahrgänge 1994/95, 1995/96, 1996/97 und 1997/98 (\* Prozentwerte beziehen sich auf n=Anzahl der Neuimmatrikulierten des jeweiligen Studienjahres / \*\*Ohne IB, WI)

### 5.2.2.2 Periodische Analyse der Studienjahre 1999/00 bis WS 2001/02

In Tabelle 12 wird der Anteil der exmatrikulierten Studierenden ohne Abschluss mit der Anzahl aller Exmatrikulierten einer bestimmten Periode (Studienjahr bzw. Semester) in Beziehung gesetzt. Wie schon betont kann diese Quote durch unterschiedlich große Anfängerzahlen verzerrt werden. Fächer mit konstanten NC-Zahlen werden davon nicht betroffen, wenn diese Zahlen sich in den letzten sechs Jahren nicht verändert haben.

Die prüfungsbedingten Exmatrikulationen werden in der folgenden Tabelle zusammengefasst, da sie sich vorwiegend auf das Vordiplom beziehen (siehe Tabelle 11)

Die **prüfungsbedingten Studienabbrüche** liegen demnach zwischen 14 und 18 Prozent. Beziehen wir die **"weiteren Abbruchgründe"** (Aufgabe des Studiums, keine Rückmeldung) in die Quote mit ein, dann kommen wir auf eine geschätzte Abbruchsquote von 31 bis 34 Prozent.

Beziehen wir auch hier den **"sonstigen Schwund"** mit ein, dann erhöht sich die Quote ebenfalls auf etwas mehr als 40 Prozent! Insgesamt entsprechen die Daten gut den Ergebnissen der Längsschnittsuntersuchung.

Querschnittsanalyse: Alle Fachbereiche Exmatrikulierte Studierende im Studienjahr:	Studienjahr 1999/00 n=1813		Studienjahr 2000/01 n=1761		Studienjahr 2001/02 nur WS n=853	
	f	f% <sup>*</sup>	f	f%	f	f%
Exmatrikulationsgründe:						
Studium erfolgreich an der G-S-O-FH abgeschlossen (01)	1040	57,4	1024	58,2	500	58,6
Prüfungsbedingte Exmatrikulation (02, 03)	322	17,8	277	15,7	120	14,1
Weitere (wahrscheinliche) Abbruchgründe:						
Aufgabe des Studiums (06)	53	2,9	48	2,7	24	2,8
Keine Rückmeldung (07)	246	13,6	219	12,4	129	15,1
Sonstiger "Schwund":		8,2		11,0		9,3
Studiengangwechsel(10)	26	1,4	44	2,5	7	0,8
Hochschulwechsel (04)	65	3,6	67	3,8	36	4,2
Sonstiges (05, 08, 09)	58	3,2	82	4,7	37	4,3
Geschätzte Abbrüche	621	34,3	544	30,9	273	32,0

**Tab. 12:** Alle periodischen Exmatrikulationen in den vergangenen Studienjahren an der G-S-O-FH Nürnberg (\* Prozentwerte beziehen sich auf die Anzahl der Exmatrikulierten im jeweiligen Studienjahr). Neu geschaffene Studiengänge, wie FM, IB, MD, TI, WIN, wurden nicht berücksichtigt.

### Vergleich der Ergebnisse mit der "HIS-Studienabbruch-Studie 2002"

In der folgenden Tabelle 13 werden die Abbrecher- und Schwundquoten der Ausbildungsrichtungen / Fachbereiche der G-S-O-FH Nürnberg mit den Daten durchgeführt, die in der aktuellen HIS-Studie (Heublein u.a. 2002, S. 41) ausgewiesen werden. Leider sind nicht für alle Fachbereiche (an Fachhochschulen) entsprechende Vergleichsdaten vorhanden.

	Studienabbruch		FB-/HS-wechsel		Gesamt = Schwund	
	GSOFH* f %	HIS 2002 f %	GSOFH* f %	HIS 2002 f %	GSOFH* f %	HIS 2002 f %
<b>Universitäten:</b>		24		21		45
<b>Fachhochschule(n)</b>	33	20	9	9	42	28**
Technik:	39	-	10	-	49	-
Architektur	36	2	12	7	48	9
Bauingenieurwesen	20	24	6	6	26	30
Elektrotechnik	40	20	13	4	53	24
Feinwerktechnik***	38	-	4	-	42	-
Informatik	58	36	9	7	67	42
Maschinenbau	38	25	10	6	48	31
Technische Chemie	38	-	9	-	47	-
Versorgungstechnik	36	-	6	-	42	-
Verfahrenstechnik***	42	-	13	-	55	-
Werkstofftechnik***	39	-	12	-	51	-
Betriebswirtschaft:	28	25	7	3	35	28
Gestaltung:	12	-	3	-	15	-
Sozialwesen:	25	6	8	5	33	11

(\* Zahlen sind gerundete Durchschnittswerte aus den Längsschnitts- und Querschnittsanalysen (f %) / \*\*Abweichung durch Rundungsfehler / \*\*\* sehr starke Unterschiede zwischen Längs- und Querschnittsdaten - siehe Tabellenteil im Anhang)

**Tab. 13:** Vergleich der durchschnittlichen Abbruchsquoten in der G-S-O-FH Nürnberg mit den Durchschnittswerten der "HIS-Studie 2002" ("Heublein u.a. 2002, S. 41)

Die G-S-O-FH Nürnberg liegt beim Studienabbruch und Studentenschwund signifikant über dem Durchschnitt der Fachhochschulen in Deutschland. Die Anzahl der Hochschul- und Fachrichtungswechsler bewegt sich im Durchschnittsbereich, der für Fachhochschulen deutlich unter der Uni-Quote liegt. Die Stärke des Schwundes wird an den Fachhochschulen und vor allem bei der G-S-O-FH Nürnberg durch die Anzahl der Studienabbrecher und nicht der Studienwechsler bestimmt.

Bis auf Bauingenieurwesen liegen die Schwund- und Studienabbrecherquoten in allen Fachbereichen der G-S-O-FH - soweit Vergleichsdaten vorliegen - deutlich bis sehr deutlich über dem Bundesdurchschnitt der Fachbereiche.

### In welchem Semester erfolgte der Studienabbruch?

Die Abbildung 4 wird die Verteilung des Studienabbruchs auf die Lehrplan- und die Studiensemester dargestellt. Berücksichtigt wurden dabei nur die Immatrikulationsjahrgänge 1994/5 und 1995/6, da aus den späteren Anfängerjahrgängen noch zu viele Studierende immatrikuliert sind.

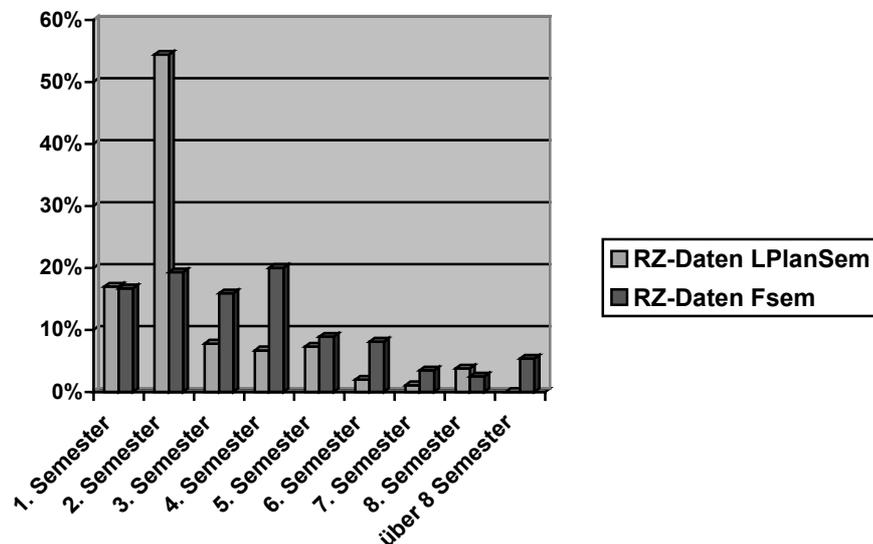


Abb. 4: In welchem Semester erfolgte der Abbruch?

Über ein Drittel der Abbrecher haben demnach die Fachhochschule bis zum Ende des zweiten Semesters wieder verlassen; bis Ende des vierten Semesters sogar 71,9 Prozent. Nur etwa 5 Prozent der Dropouts studiert so lange bis theoretisch ein Examen abgelegt werden könnte. Für die meisten Abbrecher scheint das Studium demnach nur eine kurze Orientierungsphase zu sein; Studienabbrecher, die länger studieren als der Durchschnitt der Absolventen sind demnach in der Minderheit (ca 3 %); allerdings dürfte es sich bei ihnen um die problematischen und tragischen Abbruchfälle handeln. Hier ist sicher auch von einer Vergeudung öffentlicher und persönlicher Ressourcen zu sprechen.

Die Werte unserer "Langzeitabbrecher" liegen dabei unter denen der HIS-Studie von 1994 (Lewin 1955, Lewin 1999, S.43); damals wurde ein Median von 4 Semestern berechnet (unser Median beträgt 3 Semester); auch bei den Studienabbrechern, die länger als der Durchschnitt der Absolventen studieren, ergab sich bei dieser HIS-Studie ein Wert von knapp 23 Prozent, allerdings bezogen auf Deutsche Hochschulen generell (Lewin 1999, S. 43 f.).

## 6. Diskussion der Ergebnisse

Die **Ergebnisse der schriftlichen Befragung** der Dropouts des WS 2001/02 dürfen nur sehr vorsichtig interpretiert werden, da sie durch die geringe Rücklaufquote keinesfalls als repräsentativ betrachtet werden können. Es ist zu erwarten, dass vorwiegend diejenigen Ehemaligen auf die Befragung reagiert haben, die ihr Studium in relativ positiver Erinnerung und/oder es als Erfahrungs- und Reifemöglichkeit positiv verarbeitet haben. Prüfungsbedingte Ursachen oder Überforderungen durch die Studieninhalte werden relativ selten als Abbruchsursache genannt. Der Hauptgrund liegt nach den Äußerungen in der gewonnenen Distanz zum Studium, die sich im Verlauf entwickelte. Hinter dieser Begründung können natürlich auch vielseitige Frustrationserlebnisse liegen. In der emotionalen Auseinandersetzung mit dem vergangenen Studium (spontane Assoziationen) zeigt sich ein vorwiegend negativ gefärbtes Bild, das auch von den Antworten nach den Stärken und Schwächen des Studiums bestärkt wird. In der Erinnerung dominieren dabei: Massenbetrieb, Anonymität und schlechte Lehrqualität. Positive Aspekte, wie persönliche Atmosphäre, aufgeschlossene Professoren und gewonnenen Lebenserfahrung werden zwar auch genannt, prägen aber nicht das Erinnerungsbild. Eigene Schwächen werden bei den Begründungen nur vereinzelt thematisiert. (Rationalisierung als Technik, das eigene Versagen zu bewältigen?).

Interessant ist, dass (bei den vorgebrachten Ursachen) die Mehrzahl der Befragten angibt, keinen Veränderungsbedarf bei den Fachbereichen zu sehen. Die Veränderungswünsche - durch die ein Abbruch hätte vermieden werden können - konzentrieren sich auf eine bessere Betreuung/Integration in den Studienbereich und sollten auf die Umsetzungsmöglichkeiten hin diskutiert werden.

Die Befragten scheinen ihre Dropout-Situation relativ gut verarbeitet zu haben. Die meisten beenden das Studium in Nürnberg auch in den ersten Semestern, d.h. sie betrachten ihr Studium als Orientierungsphase, die gewonnene Distanz zum Studium als Lebenserfahrung und sind auch mit ihrer momentanen Situation relativ zufrieden.

Bei den **Längs- und Querschnittsanalysen** ausgewählter Daten der Hochschulstatistik zeigt sich ein beunruhigendes Bild: Die durchschnittliche Abbrecherquote an der G-S-O-FH liegt in den vergangenen Jahren zwischen 30 und 36 Prozent und damit deutlich über den Daten, die von der aktuellen HIS-Studie für Fachhochschulen in Deutschland berichtet werden (20 Prozent). Durch sonstige Studienabgänge ohne Examen (ca. 10 Prozent) erhöht sich die Schwundquote unserer Studenten auf durchschnittlich 42 Prozent, wobei allerdings sehr große Unterschiede zwischen den einzelnen Fachbereichen bestehen.

Einen positiven Akzent erhält die hohe Schwundquote dadurch, dass die meisten Dropouts ihre Entscheidung in den ersten Studiensemestern meist bis zur Vorprüfung gefällt haben. Natürlich wäre es wesentlich besser, wenn diese Entscheidung noch weiter vorverlegt werden könnte oder durch entsprechende Beratung und/oder Auswahl vermieden werden könnte. Die Abbrecherquote kann natürlich auch im positiven Sinne als Qualitätsanspruch der Ausbildungsstätte interpretiert werden.

In der "HIS-Studienabbruchstudie 2002" wird dies allerdings anders interpretiert: "Der Umfang des Studienabbruchs spielt in der bildungspolitischen Diskussion eine gewichtige Rolle. Er wird zu Recht als ein Kriterium für Erfolg, Attraktivität und Effektivität der akademischen Ausbildung gewertet. Wie viele Studienanfänger in den Universitäten und Fachhochschulen zu einem erfolgreichen Studienabschluss geführt werden, macht zumindest zum Teil die Leistungsfähigkeit dieser Bildungsinstitutionen offensichtlich. Je mehr Studierende ihr Studium ohne Examen abbrechen, um so höher die Fehlleitung von finanziellen, aber auch von Humanressourcen" (Heublein u.a. 2002, S.1).

Die hohe Schwundquote bedeutet demnach für die G-S-O-Fachhochschule und ihre Studierenden ein hohes Maß an wirtschaftlicher und persönlicher Ressourcenverschwendung. Berücksichtigt man noch den Aspekt, dass absolventengebundene Aspekte in die staatliche Hochschulförderung mit einbezogen werden können, dann lässt sich ein Verlust von über 40 Prozent der Studierenden nur schwer als Qualitätsbeweis für die Ausbildung "verkaufen". Wir sollten deshalb diskutieren, welche Möglichkeiten existieren, um die Schwundquote zu verringern. Folgende Aspekte erscheinen sinnvoll:

- Detaillierte Analyse der Abbruchsgründe. Nur wenn man sie genau kennt, kann man gezielt vorgehen.
- Intensivere Verzahnung zwischen Schule und Fachhochschule.
- Intensivierung der Betreuung/Beratung vor und während der ersten Semester (Mentorensysteme einführen), damit potentielle Abbrecher frühzeitig erkannt und unterstützt werden können.
- Fachbereichsspezifische Auswahlverfahren entwickeln, einsetzen und auf Validität überprüfen

- Fachbereichsspezifische Auswahlverfahren entwickeln, einsetzen und auf Validität überprüfen
- Intensivierung der Studienberatung in den ersten Semestern bei auftretenden Prüfungsproblemen.
- Lehrinhalte und Prüfungsanforderungen auf Praxisbezug hin überprüfen.
- Evaluation der Lehre ernst nehmen und die Qualität der Lehre/des Studiums im Diskurs mit den Studierenden weiterentwickeln.

## 7. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird versucht, Ursachen und Umfang der Schwundquote der Studierenden an der Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule in Nürnberg zu analysieren. Dazu wurden alle ohne Abschluss exmatrikulierten Studierenden des WS 2001/02 angeschrieben und gebeten einen Fragebogen zu beantworten. Parallel dazu wurde eine Längsschnittanalyse der Studienanfängerjahrgänge 1994/95 bis 1997/98 und eine periodische Analyse (Querschnittanalyse) der exmatrikulierten Studierenden von WS 1999/00 bis WS 2001/02 durchgeführt.

Die durchschnittliche Schwundquote liegt in diesem Zeitraum bei 42 Prozent, die geschätzte Studienabbruchsquote bei etwa 33 Prozent, wobei etwa die Hälfte davon prüfungsbedingt ist. Diese Quoten liegen deutlich über den Daten der aktuellen HIS-Studie. Zwischen den einzelnen Fachbereichen bestehen sehr große Unterschiede: Die niedrigsten Quoten finden sich beim Fachbereich Gestaltung, dann folgen Bauingenieurwesen, Sozialwesen, Betriebswirtschaft und die anderen technischen Fachbereiche, wobei der Fachbereich Informatik die höchste Schwundquote besitzt.

Die Abbruchsursachen liegen teilweise in prüfungsbedingten Anforderungen, der sich relativ schnell entwickelnden Distanz zum Studium und der Erfahrung, dass die Studienwahl einfach ein Fehler war.

Die meisten Abbrüche finden in den ersten vier Studiensemestern statt, so dass wir sie noch als hilfreiche, wenn auch schmerzhaft Lebenserfahrung in einer Orientierungsphase betrachten können.

Dennoch ist die Schwundquote zu hoch und kann die Ausbildungsqualität an der G-S-O-Fachhochschule nicht eindeutig positiv profilieren.

## 8. Anhang

### 8.1 Literaturverzeichnis

- Heublein, U. u.a. (2002):** Studienabbruchstudie 2002. Die Studienabbrecherquoten in den Fächergruppen und Studienbereichen der Universitäten und Fachhochschulen. Hannover: HIS-Kurzinformationen.
- IHF / Bayerisches Staatsinstitut für Hochschulforschung und Hochschulplanung (1997)(Hg.): Beiträge zur Hochschulforschung- Themenheft "Studienabbruch". Heft 4, München.
- Lewin, K. (1995):** *Studienabbrecher 1994 - Zukunftsperspektiven*. Hannover: HIS-Kurzinformationen (A 15/95).
- Lewin, K. u.a.(1997):** Exmatrikuliertenbefragung an der Universität Bamberg im Studienjahr 1995/96. Hannover: HIS-Kurzinformationen AI/95.
- Lewin, K. (1997):** Studienabbruch - Bildungslebensläufe. Die Untersuchungsmethoden von HIS und ihre Ergebnisse. In: Bayerisches Staatsinstitut ... / IHF 4, 349-370
- Lewin, K. (1999):** Studienabbruch in Deutschland. In: Schröder-Gronostay, M. & Daniel, D. (Hg.), 17-49
- Schröder-Gonostay, M. (1999):** Studienabbruch - Zusammenfassung. In: Schröder-Gronostay, M. & Daniel, D. (1999)(Hg.), 209-240.
- Schröder-Gronostay, M. & Daniel, D. (1999)(Hg.):** Studienerfolg und Studienabbruch. Beiträge aus Forschung und Praxis. Neuwied: Luchterhand.
- Ulmer, P. (1997):** Begrüßung zur Tagung "Studienabbruch". In: IHF, 319-324.
- Wellhöfer, P.R. (1997):** Grundstudium sozialwissenschaftliche Methoden und Arbeitsweisen. 2. Aufl., Stuttgart: Enke.
- Wellhöfer, P.R. (2002):** Das Studium der Sozialarbeit/Sozialpädagogik aus der Sicht der AbsolventInnen. Befragung der AbsolventInnen der Studienjahre 1996/96 bis 2000/01. G-S-O-FH FB SW: Unveröffentlichter Untersuchungsbericht.

## 8.2 Untersuchungsfragebogen Studiendekan

Peter R. Wellhöfer  
Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule Nürnberg  
Studiendekan  
Fachbereich Sozialwesen  
Bahnhofstr. 87  
90402 Nürnberg

### Befragung exmatrikulierter Studierender der Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule Nürnberg

Sehr geehrte Ehemalige,

Sie waren in den vergangenen Semestern an unserer Fachhochschule eingeschrieben und setzen Ihr Studium - aus welchen Gründen auch immer - nicht mehr bei uns fort. Wir sind als Ausbildungsstätte natürlich sehr daran interessiert, die Gründe zu erfahren, warum Sie uns verlassen haben, weil wir die Anzahl der Studienabbrecher und -wechsler möglichst klein halten wollen. Wir wollen die Lehr- und Studienqualität verbessern und sind deshalb sehr an Ihren Erfahrungen als ehemalige/r "Kundin/Kunde" interessiert.



Auf Wunsch der Hochschulleitung untersuchen wir im Rahmen der Lehrveranstaltung "Sozialwissenschaftliche Methoden im Hauptstudium" mit einer studentischen Arbeitsgruppe das Thema "Studienabbrecher und -wechsler". Ich bitte Sie mir und vor allem der studentischen Arbeitsgruppe (Leistungsnachweis!) zu helfen: Bitte beantworten Sie den Fragebogen und schicken Sie ihn möglichst bald, spätestens innerhalb der nächsten drei Wochen im beiliegenden (frankierten) Antwortumschlag an meine Adresse zurück.

Im folgenden Fragebogen werden Ihre Erfahrungen mit dem Studium in Nürnberg und der Zeit danach angesprochen. Mit der Beantwortung der Fragen geben Sie uns wichtige Informationen, die wir benötigen, um das Studienangebot besser auf die Bedürfnisse der Studierenden auszurichten.

Ich versichere Ihnen, daß bei der Auswertung und Darstellung der Untersuchungsergebnisse keine Rückschlüsse auf einzelne Personen möglich sind und daß Ihre Angaben streng vertraulich behandelt werden.

Bitte schicken Sie den ausgefüllten Fragebogen im beiliegenden frankierten Antwortumschlagmöglichst bis zum 12. April 2002 an die oben genannte Adresse (z.H. Prof. P.R. Wellhöfer) zurück.

Die Ergebnisse der Befragung werden im Wintersemester 2002/03 vorliegen. Ich bin gerne bereit Sie darüber zu informieren. Sie müssen mir dazu nur getrennt vom Fragebogen Ihre email-Adresse unter dem Stichwort "dropouts" mitteilen (Adresse s.o.).

Vielen Dank für Ihre Hilfe.

Peter R. Wellhöfer

**Fragen zum Studium:**

1. Bitte ergänzen Sie als spielerischen Einstieg in den Fragebogen spontan den folgenden Satz: "Wenn ich an mein Studium an der Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule Nürnberg denke, dann fällt mir spontan folgendes ein:

"....."

Anmerkung: Sollte aus Ihren Angaben nicht deutlich sein, wie Sie die Aussage(n) meinen, dann markieren Sie bitte die einzelnen Aussage(n) mit + (positiv), - (negativ) oder o (neutral).

- 2.1 Was war der ausschlaggebende Grund, dass Sie Ihr Studium in Nürnberg beendet haben?

.....

- 2.2 Welche Gründe spielten noch eine Rolle, dass Sie Ihr Studium in Nürnberg beendet haben?

Bitte kreuzen Sie die entsprechenden Antworten an.

- Vorprüfung endgültig nicht bestanden
- Abschlussprüfung endgültig nicht bestanden
- neue berufliche Ziele / Chancen ohne Examen
- Distanz zum Studium; Irrtum bei der Wahl des Studiums/Berufs
- schlechte Arbeitsmarktchancen nach dem Studium
- finanzielle Schwierigkeiten, mußte Geld verdienen
- Studienfachwechsel, weil .....
- Hochschulwechsel, weil.....
- wollte private Auszeit nehmen / familiäre Gründe, weil.....
- Sonstiges:.....

- 3.1 Was waren für Sie die Stärken des Studiums an der G-S-O-FH Nürnberg?

(Bitte möglichst konkret beschreiben; wenn erforderlich: bitte Rückseite des Bogens verwenden)

.....

- 3.2 Was waren für Sie die Schwächen des Studiums an der GSO-FH Nürnberg?

(Bitte möglichst konkret beschreiben; wenn erforderlich: bitte Rückseite des Bogens verwenden) .

.....

- 3.3 Welche persönlichen Erfahrungen nehmen Sie aus Ihrem Studium mit?

.....

- 3.3.1 Positiv: .....

- 3.3.2 Negativ: .....

4. Wie haben Sie Ihr Studium insgesamt durchgeführt?

- als "Vollzeit-Student(in)" (Studium war wesentlicher Tätigkeitsbereich)
- als "Teilzeit-Student(in)" (neben Arbeit / Familie)
- als "Nebenbei-Student(in)" (Studium lief nebenbei, anderes war mir wichtiger)
- Sonstiges:

5. Was hätten wir im Fachbereich verändern müssen, damit Sie weiter bei uns studiert hätten?

.....

- 6.1 Welche Zugangsvoraussetzungen zum Studium hatten Sie?

- Fachhochschulreife (FOS)
- Allgemeine Hochschulreife (Gymnasium)
- Sonstiges:

- 6.2 Wie viele Fachsemester (=studierte Semester insgesamt, einschließlich der praktischen Studiensemester) haben Sie bis zu Ihrer Exmatrikulation studiert?.....Fachsemester



**7. In welchem Fachbereich haben Sie studiert?**

- |   |  |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Architektur                          | <input type="checkbox"/> Betriebswirtschaft              |
| <input type="checkbox"/> Bauingenieurwesen                    | <input type="checkbox"/> Gestaltung                      |
| <input type="checkbox"/> Informatik                           | <input type="checkbox"/> Maschinenbau- und Vers.-technik |
| <input type="checkbox"/> Nachrichten- und Feinwerktechnik     | <input type="checkbox"/> Sozialwesen                     |
| <input type="checkbox"/> Technische Chemie                    | <input type="checkbox"/> Werkstofftechnik                |
| <input type="checkbox"/> Verfahrenstechnik                    | <input type="checkbox"/> Versorgungstechnik              |
| <input type="checkbox"/> Elektr. Energie- u. Automat.-technik | <input type="checkbox"/> Sonstiges: .....                |

**Fragen zur Tätigkeit nach dem Studium an der GSOFH Nürnberg:****8.1 Wie ist Ihre momentane berufliche Situation?**

- keine berufliche Tätigkeit, weil ich weiter studiere (gleich weiter mit Frage 8.4)
- keine berufliche Tätigkeit, weil ich mit meinen Kindern/familiären Verpflichtungen
- voll ausgelastet bin (gleich weiter mit Frage 8.4)
- bin arbeitslos seit ..... Monaten (gleich weiter mit Frage 8.4)
- bin in einer Berufsausbildung zum/zur .....
- ich bin teilzeitbeschäftigt für .....Stunden in der Woche
- ich bin vollzeitbeschäftigt als .....
- Sonstiges: .....

**8.2 Meine momentane berufliche Tätigkeit ist**

- inhaltlich dem Studium nahe
- meine früher erlernte Berufstätigkeit
- etwas ganz Neues

**8.3 Wie hoch ist Ihr momentanes monatliches Bruttoeinkommen?**

- |   |   |  |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> unter 1.000.- Euro         | <input type="checkbox"/> 1.000.- bis 1.500.- Euro | <input type="checkbox"/> 1.500.-bis 2.000.- Euro |
| <input type="checkbox"/> 2.000.- bis 2.500.- Euro   | <input type="checkbox"/> 2.500.- bis 3.000.- Euro | <input type="checkbox"/> über 3.000.- Euro       |
| <input type="checkbox"/> trifft nicht zu, weil..... |   |  |

**8.4 Wie zufrieden sind Sie mit Ihrer jetzigen (beruflichen) Situation / Tätigkeit?**

- sehr unzufrieden 0---1---2---3---4---5---6 sehr zufrieden  
teils/teils

Bitte begründen Sie Ihre Einstufung: .....

**Angaben zur Person:**

**9.1** Geschlecht:  weiblich  männlich

**9.2** Alter:..... Jahre

**9.3** Familienstand:  ledig  verheiratet  eheähnliche Partnerschaft  geschieden

**9.4** Haben Sie Kinder?  nein  ja, Alter des/r Kind(er):.....Jahre

**9.5** Sie haben bei diesem Fragebogen verschiedene Aspekte Ihres Studiums beschreiben können. Kein Fragebogen kann allen individuellen Situationen entsprechen. Beschreiben Sie bitte im Folgenden noch die Aspekte, die im Fragebogen nicht angesprochen wurden, die aus Ihrer persönliche Sichtweise aber wichtig sind:

- Eigentlich wurde für mich alles Wesentliche angesprochen
- Folgende Punkte sind mir noch besonders wichtig:

.....  
(wenn erforderlich, bitte Rückseite verwenden)

Vielen Dank für Ihre Hilfe

### 8.3 Tabellen der Hochschulstatistik zu den einzelnen Fachbereichen

In den folgenden Seiten werden die Ergebnistabellen der Fachhochschulstatistik für die Ausbildungsrichtung Technik insgesamt und für die einzelnen Fachbereiche dargestellt. Dabei werden sowohl die Tabellen der Längsschnitts-, als auch die der Querschnittsanalyse pro Fachbereich dargestellt um einen leichteren Vergleich der unterschiedlichen Analysetechniken zu erlauben.

Bei der Interpretation der Längsschnittsanalyse (Verlaufsanalyse) ist zu beachten, dass nur 58,5 Prozent der Studienanfänger des Jahrganges 97/98 bisher exmatrikuliert wurden; d.h. 41,5 Prozent sind noch an der G-S-O-Fachhochschule immatrikuliert. Auch vom Anfängerjahrgang 96/97 befinden sich noch 19,0 Prozent im Studium (siehe Tab. 11).

Bei der Interpretation der Querschnittsanalyse (periodische Exmatrikulation) ist zu beachten, dass sich die Zahlen im Studienjahr 2001/02 nur auf das Wintersemester beziehen. Die Zahlen können demnach durch Besonderheiten in der Studienorganisation verzerrt werden.

Bei der Analyse wurden nur die "klassischen" Fachbereiche berücksichtigt. Für neue Bereiche wie IB, FM, MD oder WIN liegen noch zu wenig Daten vor.

Inhaltsverzeichnis des Tabellenteils:		Seite
Tab. 1 a	Verlaufsanalyse in der Ausbildungsrichtung Technik	29
Tab. 1 b	Periodische Exmatrikulation in der Ausbildungsrichtung Technik	29
Tab. 2 a – 11 b	Verlaufsanalyse und periodische Exmatrikulation in den Technischen Fachbereichen	29 - 38
Tab. 12 a + b	Verlaufsanalyse und periodische Exmatrikulation im FB Betriebswirtschaft	39
Tab. 13 a + b	Verlaufsanalyse und periodische Exmatrikulation im FB Kommunikationsdesign	40
Tab. 14 a + b	Verlaufsanalyse und periodische Exmatrikulation im FB Sozialwesen	41
Tab. 15 a + b	Verlaufsanalyse: Fachsemester, Lehrplansemester und Exmatrikulation (Gesamt)	42
Tab. 16 a 1	Fachsemester, Lehrplansemester und Exmatrikulation in den einzelnen Fach	43
16 a 2	bereichen	

Ausbildungsrichtung: <b>Technik</b> <b>Neuimmatrikulierte</b> Studierende im Studienjahr:	Jahrgang 1994/95 n=998		Jahrgang 1995/96 n=903		Jahrgang 1996/97 n=941		Jahrgang 1997/98 n=810	
	f	f%	f	f%	f	f%	f	f%
Davon bis 6.05.2002 exmatrikuliert:	979	98,1	871	96,5	799	84,9	540	66,7
Exmatrikulationsgründe:								
Studium erfolgreich an der G-S-O-FH abgeschlossen (01)	483	48,4	419	46,4	345	36,7	133	16,4
Vorprüfung wiederholt nicht bestanden (03)	210	21,0	157	17,4	184	19,6	150	18,5
Abschlussprüfung wiederholt nicht bestanden (02)	29	2,9	20	2,2	12	1,3	13	1,6
Weitere (wahrscheinliche) Abbruchgründe:								
Aufgabe des Studiums (06)	39	3,9	43	4,8	37	3,9	35	4,3
Keine Rückmeldung (07)	142	14,2	136	15,1	139	14,8	140	17,3
Sonstiger "Schwund":								
Studiengangwechsel (10)	17	1,7	21	2,3	28	3,0	19	2,3
Hochschulwechsel (04)	40	4,0	44	4,9	40	4,3	33	4,1
Sonstiges (05, 08, 09)	29	2,9	22	2,4	24	2,6	17	2,1
<b>Geschätzte Abbrüche</b>	<b>420</b>	<b>42,1</b>	<b>356</b>	<b>39,4</b>	<b>372</b>	<b>39,5</b>	<b>338</b>	<b>41,7</b>

**Tab. 1 a:** Verlaufsanalyse der StudentInnenjahrgänge 1994/95, 1995/96, 1996/97 und 1997/98 in der Ausbildungsrichtung Technik. (\* Prozentwerte beziehen sich auf n= Anzahl der Neuimmatrikulierten des jeweiligen Studienjahres)

Ausbildungsrichtung <b>Technik</b> <b>Exmatrikulierte</b> Studierende im Studienjahr:	Studienjahr 1999/00 n=1027		Studienjahr 2000/01 n=1038		Studienjahr 2001/02 nur WS n=449	
	f	f%	f	f%	f	f%
Exmatrikulationsgründe:						
Studium erfolgreich an der G-S-O-FH abgeschlossen (01)	515	50,1	515	49,6	254	56,6
Prüfungsbedingte Exmatrikulation (02, 03)	226	22,0	210	20,2	73	16,3
Weitere (wahrscheinliche) Abbruchgründe:						
Aufgabe des Studiums (06)	39	3,8	34	3,3	17	3,8
Keine Rückmeldung (07)	150	14,6	154	14,8	57	12,7
Sonstiger "Schwund":						
Studiengangwechsel (10)	25	2,4	41	4,0	6	1,3
Hochschulwechsel (04)	36	3,5	43	4,1	16	3,6
Sonstiges (05, 08, 09)	33	3,2	41	4,0	29	6,5
<b>Geschätzte Abbrüche</b>	<b>415</b>	<b>40,4</b>	<b>398</b>	<b>38,3</b>	<b>147</b>	<b>32,7</b>

**Tab. 1 b :** Periodische Exmatrikulationen in den vergangenen Studienjahren in der Ausbildungsrichtung Technik (\* Prozentwerte beziehen sich auf die Anzahl der Exmatrikulierten im jeweiligen Studienjahr)

Fachbereich <b>Architektur</b> <b>Neuimmatrikulierte</b> Studierende im Studienjahr:	Jahrgang 1994/95		Jahrgang 1995/96		Jahrgang 1996/97		Jahrgang 1997/98	
	n=116		n=124		n=131		n=121	
	f	f%	f	f%	f	f%	f	f%
Davon bis 6.05.2002 exmatrikuliert:	116	100	121	97,6	116	88,6	82	67,8
<b>Exmatrikulationsgründe:</b>								
Studium erfolgreich an der G-S-O-FH abgeschlossen (01)	59	50,9	58	46,8	50	38,2	12	9,9
Vorprüfung wiederholt nicht bestanden (03)	7	6,0	16	12,9	15	11,5	9	7,4
Abschlussprüfung wiederholt nicht bestanden (02)	0	0	1	0,8	0	0	1	0,8
<b>Weitere (wahrscheinliche) Abbruchgründe:</b>								
Aufgabe des Studiums (06)	7	6,0	8	6,5	11	8,4	10	8,3
Keine Rückmeldung (07)	24	20,7	19	15,3	26	19,9	33	27,3
<b>Sonstiger "Schwund":</b>								
Studiengangwechsel (10)	1	0,9	0	0	1	0,8	2	1,7
Hochschulwechsel (04)	13	11,2	16	12,9	10	7,6	11	9,1
Sonstiges (05, 08, 09)	5	4,3	3	2,4	3	2,3	4	3,3
<b>Geschätzte Abbrüche</b>	<b>38</b>	<b>32,8</b>	<b>44</b>	<b>35,5</b>	<b>52</b>	<b>39,7</b>	<b>53</b>	<b>43,8</b>

**Tab. 2 a:** Verlaufsanalyse der StudentInnenjahrgänge 1994/95, 1995/96, 1996/97 und 1997/98 im FB Architektur (\* Prozentwerte beziehen sich auf n= Anzahl der Neuimmatrikulierten)

Fachbereich: <b>Architektur</b> <b>Exmatrikulierte</b> Studierende im Studienjahr:	Studienjahr 1999/00		Studienjahr 2000/01		Studienjahr 2001/02 nur WS	
	n=106		n=114		n=52	
<b>Exmatrikulationsgründe:</b>	f	f%	f	f%	f	f%
Studium erfolgreich an der G-S-O-FH abgeschlossen (01)	51	48,1	64	56,1	33	63,5
Prüfungsbedingte Exmatrikulation (02, 03)	18	17,0	14	12,3	1	1,9
<b>Weitere (wahrscheinliche) Abbruchgründe:</b>						
Aufgabe des Studiums (06)	6	23,6	6	25,4	3	21,2
Keine Rückmeldung (07)	19		23		8	
<b>Sonstiger "Schwund":</b>						
Studiengangwechsel (10)	1	11,3	2	4,9	0	13,5
Hochschulwechsel (04)	8		4		6	
Sonstiges (05, 08, 09)	3		1		1	
<b>Geschätzte Abbrüche</b>	<b>43</b>	<b>40,6</b>	<b>43</b>	<b>37,7</b>	<b>12</b>	<b>23,1</b>

**Tab. 2 b:** Periodische Exmatrikulationen in den vergangenen Studienjahren im Fachbereich Architektur (\* Prozentwerte beziehen sich auf die Anzahl der Exmatrikulierten im jeweiligen Studienjahr)

Fachbereich: <b>Bauingenieurwesen</b> <b>Neuimmatrikulierte</b> Studierende im Studienjahr:	Jahrgang 1994/95 n=97		Jahrgang 1995/96 n=104		Jahrgang 1996/97 n=115		Jahrgang 1997/98 n=103	
	f	f%*	f	f%	f	f%	f	f%
Davon bis 6.05.2002 exmatrikuliert:	95	97,9	99	95,2	98	85,2	67	65,1
Exmatrikulationsgründe:								
Studium erfolgreich an der G-S-O-FH abgeschlossen (01)	74	76,3	71	68,3	61	53,4	40	38,8
Vorprüfung wiederholt nicht bestanden (03)	6	6,2	8	7,7	15	13,0	10	9,7
Abschlussprüfung wiederholt nicht bestanden (02)	2	2,1	1	1,0	1	0,9	2	1,9
Weitere (wahrscheinliche) Abbruchgründe: Aufgabe des Studiums (06) Keine Rückmeldung (07)	5 5	5,2 5,2	1 11	1,0 10,6	0 16	0 13,9	1 8	1,0 7,8
Sonstiger "Schwund": Studiengangwechsel (10)	1	1,0	4	3,9	2	1,7	1	1,0
Hochschulwechsel (04)	0	0	1	1,0	1	0,9	4	3,9
Sonstiges (05, 08, 09)	2	2,1	2	1,9	2	1,7	1	1,0
<b>Geschätzte Abbrüche</b>	<b>18</b>	<b>18,6</b>	<b>21</b>	<b>20,2</b>	<b>32</b>	<b>27,8</b>	<b>21</b>	<b>20,4</b>

**Tab. 3 a:** Verlaufsanalyse der StudentInnenjahrgänge 1994/95, 1995/96, 1996/97 und 1997/98 im FB Bauingenieurwesen (\* Prozentwerte beziehen sich auf n= Anzahl der Neuimmatrikulierten)

Fachbereich: <b>Bauingenieurwesen</b> <b>Exmatrikulierte</b> Studierende im Studienjahr:	Studienjahr 1999/00 n=101		Studienjahr 2000/01 n=117		Studienjahr 2001/02 nur WS n=78	
	f	f%*	f	f%	f	f%
Exmatrikulationsgründe:						
Studium erfolgreich an der G-S-O-FH abgeschlossen (01)	74	73,3	77	65,8	56	71,8
Prüfungsbedingte Exmatrikulation (02, 03)	12	11,9	11	9,4	10	12,8
Weitere (wahrscheinliche) Abbruchgründe: Aufgabe des Studiums (06) Keine Rückmeldung (07)	3 5	7,9	2 16	15,4	0 7	9,0
Sonstiger "Schwund": Studiengangwechsel (10)	2	6,9	2	9,4	0	6,4
Hochschulwechsel (04)	1		4		2	
Sonstiges (05, 08, 09)	4		5		3	
<b>Geschätzte Abbrüche</b>	<b>20</b>	<b>19,8</b>	<b>29</b>	<b>24,8</b>	<b>17</b>	<b>21,8</b>

**Tab. 3 b:** Periodische Exmatrikulationen in den vergangenen Studienjahren im Fachbereich Bauingenieurwesen (\* Prozentwerte beziehen sich auf die Anzahl der Exmatrikulierten im jeweiligen Studienjahr)

Fachbereich: <b>Elektrotechnik</b> <b>Neuimmatrikulierte</b> Studierende im Studienjahr:	Jahrgang 1994/95 n=222		Jahrgang 1995/96 n=164		Jahrgang 1996/97 n=163		Jahrgang 1997/98 n=122	
	f	f%*	f	f%	f	f%	f	f%
Davon bis 6.05.2002 exmatrikuliert:	220	99,1	159	97,0	125	76,7	76	62,3
Exmatrikulationsgründe:								
Studium erfolgreich an der G-S-O-FH abgeschlossen (01)	99	44,6	82	50,0	51	31,3	14	11,5
Vorprüfung wiederholt nicht bestanden (03)	64	28,8	27	16,5	41	25,2	24	19,7
Abschlussprüfung wiederholt nicht bestanden (02)	7	3,2	9	5,5	5	3,1	5	4,1
Weitere (wahrscheinliche) Abbruchgründe:								
Aufgabe des Studiums (06)	6	2,7	5	3,1	5	3,1	7	5,7
Keine Rückmeldung (07)	24	10,8	19	11,6	13	8,0	16	13,1
Sonstiger "Schwund": Studiengangwechsel (10)		5	4	2,3	8	4,9	4	3,3
Hochschulwechsel (04)		7	9	5,5	8	4,9	2	1,6
Sonstiges (05, 08, 09)		8	4	2,3	4	2,5	4	3,3
<b>Geschätzte Abbrüche</b>	<b>101</b>	<b>45,5</b>	<b>60</b>	<b>36,6</b>	<b>64</b>	<b>39,3</b>	<b>52</b>	<b>42,6</b>

**Tab. 4 a:** Verlaufsanalyse der StudentInnenjahrgänge 1994/95, 1995/96, 1996/97 und 1997/98 im FB Elektrotechnik (\* Prozentwerte beziehen sich auf n= Anzahl der Neuimmatrikulierten)

Fachbereich: <b>Elektrotechnik</b> <b>Exmatrikulierte</b> Studierende im Studienjahr:	Studienjahr 1999/00 n=223		Studienjahr 2000/01 n=218		Studienjahr 2001/02 nur WS n=84	
	f	f%*	f	f%	f	f%
Exmatrikulationsgründe:						
Studium erfolgreich an der G-S-O-FH abgeschlossen (01)	106	47,5	90	41,3	36	42,9
Prüfungsbedingte Exmatrikulation (02, 03)	48	21,5	45	20,6	18	21,4
Weitere (wahrscheinliche) Abbruchgründe:		19,3		19,3		17,9
Aufgabe des Studiums (06)	9		6		7	
Keine Rückmeldung (07)	34		36		8	
Sonstiger "Schwund": Studiengangwechsel (10)	7	12,1	12	18,8	2	17,9
Hochschulwechsel (04)	11		12		5	
Sonstiges (05, 08, 09)	8		17		8	
<b>Geschätzte Abbrüche</b>	<b>91</b>	<b>40,8</b>	<b>87</b>	<b>39,9</b>	<b>33</b>	<b>39,3</b>

**Tab. 4 b:** Periodische Exmatrikulationen in den vergangenen Studienjahren im Fachbereich Elektrotechnik (\* Prozentwerte beziehen sich auf die Anzahl der Exmatrikulierten im jeweiligen Studienjahr)

Fachbereich: <b>Feinwerktechnik</b> <b>Neuimmatrikulierte</b> Studierende im Studienjahr:	Jahrgang 1994/95		Jahrgang 1995/96		Jahrgang 1996/97		Jahrgang 1997/98	
	n=87		n=50		n=43		n=57	
	f	f%*	f	f%	f	f%	f	f%
Davon bis 6.05.2002 exmatrikuliert:	85	97,7	49	98,0	40	93,0	35	61,4
Exmatrikulationsgründe:								
Studium erfolgreich an der G-S-O-FH abgeschlossen (01)	33	37,9	22	44,0	23	53,5	5	8,8
Vorprüfung wiederholt nicht bestanden (03)	20	23,0	10	20,0	9	20,9	14	24,6
Abschlussprüfung wiederholt nicht bestanden (02)	4	4,6	1	2,0	1	2,3	1	1,8
Weitere (wahrscheinliche) Abbruchgründe:								
Aufgabe des Studiums (06)	3	3,5	0	0	0	0	1	1,8
Keine Rückmeldung (07)	19	21,8	6	12,0	6	14,0	10	17,5
Sonstiger "Schwund":								
Studiengangwechsel (10)	1	1,2	0	0	0	0	1	1,8
Hochschulwechsel (04)	4	4,6	0	0	0	0	0	0
Sonstiges (05, 08, 09)	1	1,2	1	2,0	1	2,3	3	5,3
Geschätzte Abbrüche	46	52,9	17	34,0	16	37,2	26	45,6

Tab. 5 a: Verlaufsanalyse der StudentInnenjahrgänge 1994/95, 1995/96, 1996/97 und 1997/98 im FB Feinwerktechnik (\* Prozentwerte beziehen sich auf n= Anzahl der Neuimmatrikulierten)

Fachbereich: <b>Feinwerktechnik</b> <b>Exmatrikulierte</b> Studierende im Studienjahr:	Studienjahr 1999/00		Studienjahr 2000/01		Studienjahr 2001/02 nur WS n=26	
	n=101		n=59		n=26	
Exmatrikulationsgründe:	f	f%*	f	f%	f	f%
Studium erfolgreich an der G-S-O-FH abgeschlossen (01)	63	62,4	36	61,9	16	61,5
Prüfungsbedingte Exmatrikulation (02, 03)	16	15,8	12	20,3	9	34,6
Weitere (wahrscheinliche) Abbruchgründe:		11,9		6,8		3,9
Aufgabe des Studiums (06)	1		1		0	
Keine Rückmeldung (07)	11		3		1	
Sonstiger "Schwund":		0		11,9		0
Studiengangwechsel (10)	0		2		0	
Hochschulwechsel (04)	0		5		0	
Sonstiges (05, 08, 09)	0		0		0	
Geschätzte Abbrüche	28	27,7	16	27,1	10	38,5

Tab. 5 b: Periodische Exmatrikulationen in den vergangenen Studienjahren im Fachbereich Feinwerktechnik (\* Prozentwerte beziehen sich auf die Anzahl der Exmatrikulierten im jeweiligen Studienjahr)

Fachbereich: <b>Informatik</b> <b>Neuimmatrikulierte</b> Studierende im Studienjahr:	Jahrgang 1994/95 n=90		Jahrgang 1995/96 n=101		Jahrgang 1996/97 n=141		Jahrgang 1997/98 n=131	
	f	f%*	f	f%	f	f%	f	f%
Davon bis 6.05.2002 exmatrikuliert:	89	98,9	94	93,1	117	83,0	93	71,0
Exmatrikulationsgründe:								
Studium erfolgreich an der G-S-O-FH abgeschlossen (01)	24	26,7	30	29,7	24	17,0	12	9,2
Vorprüfung wiederholt nicht bestanden (03)	32	35,6	25	24,8	39	27,7	34	26,0
Abschlussprüfung wiederholt nicht bestanden (02)	5	5,6	3	3,0	3	2,1	4	3,1
Weitere (wahrscheinliche) Abbruchgründe: Aufgabe des Studiums (06) Keine Rückmeldung (07)	3 20	3,3 22,2	7 19	6,9 18,8	4 35	2,9 24,8	5 31	3,8 23,7
Sonstiger "Schwund": Studiengangwechsel (10) Hochschulwechsel (04) Sonstiges (05, 08, 09)	1 0 4	2,2 0 4,4	2 3 5	2,0 3,0 5,0	3 3 6	2,1 2,1 4,3	1 4 2	0,8 3,1 1,5
Geschätzte Abbrüche	60	66,7	54	53,5	81	57,5	74	56,5

**Tab. 6 a:** Verlaufsanalyse der StudentInnenjahrgänge 1994/95, 1995/96, 1996/97 und 1997/98 im FB IN  
(\* Prozentwerte beziehen sich auf n= Anzahl der Neuimmatrikulierten)

Fachbereich: <b>Informatik</b> <b>Exmatrikulierte</b> Studierende im Studienjahr:	Studienjahr 1999/00 n=118		Studienjahr 2000/01 n=148		Studienjahr 2001/02 nur WS n=63	
	f	f%*	f	f%	f	f%
Studium erfolgreich an der G-S-O-FH abgeschlossen (01)	28	23,7	41	27,7	26	41,3
Prüfungsbedingte Exmatrikulati- on (02, 03)	57	48,3	64	43,2	16	25,4
Weitere (wahrscheinliche) Ab- bruchgründe: Aufgabe des Studiums (06) Keine Rückmeldung (07)	6 17	19,5	4 19	15,5	2 11	20,6
Sonstiger "Schwund": Studiengangwechsel (10) Hochschulwechsel (04) Sonstiges (05, 08, 09)	2 5 3	8,5	10 4 6	13,5	2 0 6	12,7
Geschätzte Abbrüche	80	67,8	87	58,8	29	46,0

**Tab. 6 b:** Periodische Exmatrikulationen in den vergangenen Studienjahren im Fachbereich Informatik  
(\* Prozentwerte beziehen sich auf die Anzahl der Exmatrikulierten im jeweiligen Studienjahr)

Fachbereich: <b>Maschinenbau</b> <b>Neuimmatrikulierte</b> Studierende im Studienjahr:	Jahrgang 1994/95		Jahrgang 1995/96		Jahrgang 1996/97		Jahrgang 1997/98	
	n=144		n=124		n=127		n=106	
	f	f%*	f	f%	f	f%	f	f%
Davon bis 6.05.2002 exmatrikuliert:	144	100,0	122	98,4	112	88,2	76	71,7
Exmatrikulationsgründe:								
Studium erfolgreich an der G-S-O-FH abgeschlossen (01)	75	52,1	59	47,6	49	38,6	29	27,4
Vorprüfung wiederholt nicht bestanden (03)	30	20,8	24	19,4	28	22,0	25	23,6
Abschlussprüfung wiederholt nicht bestanden (02)	7	4,9	4	3,2	2	1,6	0	0
Weitere (wahrscheinliche) Abbruchgründe:								
Aufgabe des Studiums (06)	4	2,8	6	4,8	6	4,7	3	2,8
Keine Rückmeldung (07)	15	10,4	18	14,5	14	11,0	10	9,4
Sonstiger "Schwund":								
Studiengangwechsel (10)	6	4,2	0	0	2	1,6	3	2,8
Hochschulwechsel (04)	5	3,5	7	5,6	10	7,9	4	3,8
Sonstiges (05, 08, 09)	2	1,4	4	3,2	1	0,8	2	1,9
Geschätzte Abbrüche	56	38,9	52	41,9	50	39,4	38	35,9

**Tab. 7 a:** Verlaufsanalyse der StudentInnenjahrgänge 1994/95, 1995/96, 1996/97 und 1997/98 im FB MB (\* Prozentwerte beziehen sich auf n= Anzahl der Neuimmatrikulierten)

Fachbereich: <b>Maschinenbau</b> <b>Exmatrikulierte</b> Studierende im Studienjahr:	Studienjahr 1999/00		Studienjahr 2000/01		Studienjahr 2001/02 nur WS n=65	
	n=136		n=166		n=65	
	f	f%*	f	f%	f	f%
Exmatrikulationsgründe:						
Studium erfolgreich an der G-S-O-FH abgeschlossen (01)	67	49,3	84	50,6	37	56,9
Prüfungsbedingte Exmatrikulation (02, 03)	28	20,6	36	21,7	10	15,4
Weitere (wahrscheinliche) Abbruchgründe:						
Aufgabe des Studiums (06)	7	20,6	9	16,9	1	16,9
Keine Rückmeldung (07)	21		19		10	
Sonstiger "Schwund":						
Studiengangwechsel (10)	5	11,0	5	10,8	1	10,8
Hochschulwechsel (04)	5		6		2	
Sonstiges (05, 08, 09)	3		7		4	
Geschätzte Abbrüche	56	41,2	64	38,6	21	32,3

**Tab. 8 b:** Periodische Exmatrikulationen in den vergangenen Studienjahren im Fachbereich Maschinenbau (\* Prozentwerte beziehen sich auf die Anzahl der Exmatrikulierten im jeweiligen Studienjahr)

Fachbereich: <b>Technische Chemie</b> Neuimmatrikulierte Studierende im Studienjahr:	Jahrgang 1994/95 n=65		Jahrgang 1995/96 n=71		Jahrgang 1996/97 n=69		Jahrgang 1997/98 n=44	
	f	f%*	f	f%	f	f%	f	f%
Davon bis 6.05.2002 exmatrikuliert:	64	98,5	63	88,7	56	81,2	26	59,1
Exmatrikulationsgründe:								
Studium erfolgreich an der G-S-O-FH abgeschlossen (01)	36	55,4	28	39,4	28	40,6	2	4,6
Vorprüfung wiederholt nicht bestanden (03)	13	20,0	10	14,1	12	17,4	12	27,3
Abschlussprüfung wiederholt nicht bestanden (02)	0	0	0	0	0	0	0	0
Weitere (wahrscheinliche) Ab- bruchgründe:								
Aufgabe des Studiums (06)	1	1,5	6	8,5	5	7,3	2	4,6
Keine Rückmeldung (07)	9	13,9	16	22,5	7	10,2	4	9,1
Sonstiger "Schwund":								
Studiengangwechsel (10)	0	0	0	0	0	0	2	4,6
Hochschulwechsel (04)	4	6,2	2	2,8	2	2,9	3	6,8
Sonstiges (05, 08, 09)	1	1,5	1	1,4	2	2,9	1	2,3
Geschätzte Abbrüche	23	35,4	32	45,1	24	34,8	18	40,9

Tab. 8 a: Verlaufsanalyse der StudentInnenjahrgänge 1994/95, 1995/96, 1996/97 und 1997/98 im FB Technische Chemie (\* Prozentwerte beziehen sich auf n= Anzahl der Neuimmatrikulierten)

Fachbereich: <b>Technische Chemie</b> Exmatrikulierte Studierende im Studienjahr:	Studienjahr 1999/00 n=77		Studienjahr 2000/01 n=70		Studienjahr 2001/02 nur WS n=35	
	f	f%*	f	f%	f	f%
Exmatrikulationsgründe:						
Studium erfolgreich an der G-S-O-FH abgeschlossen (01)	35	45,5	34	48,6	22	62,9
Prüfungsbedingte Exmatriku- lation (02, 03)	20	26,0	11	15,7	5	14,3
Weitere (wahrscheinliche) Ab- bruchgründe:						
Aufgabe des Studiums (06)	1	1,3	4	5,7	2	5,7
Keine Rückmeldung (07)	14	18,1	15	21,4	2	5,7
Sonstiger "Schwund":						
Studiengangwechsel (10)	3	3,9	3	4,3	1	2,9
Hochschulwechsel (04)	2	2,6	2	2,9	0	0
Sonstiges (05, 08, 09)	2	2,6	1	1,4	4	11,4
Geschätzte Abbrüche	35	45,5	30	42,9	9	25,9

Tab. 8 b: Periodische Exmatrikulationen in den vergangenen Studienjahren im Fachbereich Technische Chemie (\* Prozentwerte beziehen sich auf die Anzahl der Exmatrikulierten im jeweiligen Studienjahr)

Fachbereich: <b>Versorgungstechnik</b> <b>Neuimmatrikulierte</b> Studierende im Studienjahr:	Jahrgang 1994/95		Jahrgang 1995/96		Jahrgang 1996/97		Jahrgang 1997/98	
	n=63		n=59		n=60		n=48	
	f	f%*	f	f%	f	f%	f	f%
Davon bis 6.05.2002 exmatrikuliert:	62	98,4	59	100	52	86,7	31	64,6
Exmatrikulationsgründe:								
Studium erfolgreich an der G-S-O-FH abgeschlossen (01)	35	55,6	38	64,4	25	41,7	9	18,8
Vorprüfung wiederholt nicht bestanden (03)	12	19,1	7	11,9	12	20,0	7	14,6
Abschlussprüfung wiederholt nicht bestanden (02)	0	0	1	1,7	0	0	0	0
Weitere (wahrscheinliche) Abbruchgründe:								
Aufgabe des Studiums (06)	4	6,3	3	5,1	2	3,3	4	8,3
Keine Rückmeldung (07)	6	9,5	8	13,6	5	8,3	9	18,8
Sonstiger "Schwund":								
Studiengangwechsel (10)	0	0	2	3,4	4	6,7	1	2,1
Hochschulwechsel (04)	2	3,2	0	0	1	1,7	1	0
Sonstiges (05, 08, 09)	3	4,8	0	0	3	5,0	0	0
Geschätzte Abbrüche	22	34,9	19	32,2	19	31,7	20	41,7

**Tab. 9 a:** Verlaufsanalyse der StudentInnenjahrgänge 1994/95, 1995/96, 1996/97 und 1997/98 im FB Versorgungstechnik  
(\* Prozentwerte beziehen sich auf n= Anzahl der Neuimmatrikulierten)

Fachbereich: <b>Versorgungstechnik</b> <b>Exmatrikulierte</b> Studierende im Studienjahr:	Studienjahr 1999/00		Studienjahr 2000/01		Studienjahr 2001/02 nur WS n=15	
	n=62		n=66			
	f	f%*	f	f%	f	f%
Exmatrikulationsgründe:						
Studium erfolgreich an der G-S-O-FH abgeschlossen (01)	35	56,5	43	65,2	8	53,3
Prüfungsbedingte Exmatrikulation (02, 03)	10	16,1	10	15,2	2	13,3
Weitere (wahrscheinliche) Abbruchgründe:		22,6		15,2		26,7
Aufgabe des Studiums (06)	3		1		1	
Keine Rückmeldung (07)	11		9		3	
Sonstiger "Schwund":		4,8		4,6		6,7
Studiengangwechsel (10)	0		0		0	
Hochschulwechsel (04)	2		2		0	
Sonstiges (05, 08, 09)	1		1		1	
Geschätzte Abbrüche	24	38,7	20	30,3	6	40,0

**Tab. 9 b:** Periodische Exmatrikulationen in den vergangenen Studienjahren im Fachbereich Versorgungstechnik  
(\* Prozentwerte beziehen sich auf die Anzahl der Exmatrikulierten im jeweiligen Studienjahr)

Fachbereich: <b>Verfahrenstechnik</b> <b>Neuimmatrikulierte</b> Studierende im Studienjahr:	Jahrgang 1994/95		Jahrgang 1995/96		Jahrgang 1996/97		Jahrgang 1997/98	
	n=78		n=79		n=64		n=52	
	f	f%*	f	f%	f	f%	f	f%
Davon bis 6.05.2002 exmatrikuliert:	78	100	79	100	56	87,5	35	67,3
Exmatrikulationsgründe:								
Studium erfolgreich an der G-S-O-FH abgeschlossen (01)	30	38,5	24	30,4	19	29,7	2	3,9
Vorprüfung wiederholt nicht bestanden (03)	24	30,8	19	24,4	11	17,2	11	21,2
Abschlussprüfung wiederholt nicht bestanden (02)	2	2,6	0	0	0	0	0	0
Weitere (wahrscheinliche) Abbruchgründe:								
Aufgabe des Studiums (06)	6	7,7	6	7,6	4	6,3	1	1,9
Keine Rückmeldung (07)	6	7,7	13	16,5	11	17,2	14	26,9
Sonstiger "Schwund":								
Studiengangwechsel (10)	2	2,6	9	11,4	6	9,4	4	7,7
Hochschulwechsel (04)	5	6,4	6	7,6	4	6,3	3	5,8
Sonstiges (05, 08, 09)	3	6,4	2	2,5	1	1,6	0	0
Geschätzte Abbrüche	38	48,7	38	48,1	26	40,6	26	50,0

**Tab. 10 a:** Verlaufsanalyse der StudentInnenjahrgänge 1994/95, 1995/96, 1996/97 und 1997/98 im FB Verfahrenstechnik  
(\* Prozentwerte beziehen sich auf n= Anzahl der Neuimmatrikulierten)

Fachbereich: <b>Verfahrenstechnik</b> <b>Exmatrikulierte</b> Studierende im Studienjahr:	Studienjahr 1999/00		Studienjahr 2000/01		Studienjahr 2001/02 nur WS n=15	
	n=64		n=48			
	f	f%*	f	f%	f	f%
Exmatrikulationsgründe:						
Studium erfolgreich an der G-S-O-FH abgeschlossen (01)	41	64,1	28	58,3	9	60,0
Prüfungsbedingte Exmatrikulation (02, 03)	10	15,6	6	12,5	2	13,3
Weitere (wahrscheinliche) Abbruchgründe:						
Aufgabe des Studiums (06)	1	17,2	1	16,7	1	33,3
Keine Rückmeldung (07)	10		7		4	
Sonstiger "Schwund":						
Studiengangwechsel (10)	2	3,1	3	12,5	0	6,7
Hochschulwechsel (04)	0		0		0	
Sonstiges (05, 08, 09)	0		3		1	
Geschätzte Abbrüche	21	32,8	14	29,2	7	46,7

**Tab.10 b:** Periodische Exmatrikulationen in den vergangenen Studienjahren im Fachbereich Verfahrenstechnik  
(\* Prozentwerte beziehen sich auf die Anzahl der Exmatrikulierten im jeweiligen Studienjahr)

Fachbereich: <b>Werkstofftechnik</b> <b>Neuimmatrikulierte</b> Studierende im Studienjahr:	Jahrgang 1994/95 n=36		Jahrgang 1995/96 n=27		Jahrgang 1996/97 n=28		Jahrgang 1997/98 n=26	
	f	f%*	f	f%	f	f%	f	f%
Davon bis 6.05.2002 exmatrikuliert:	36	100	26	96,3	27	96,4	19	73,1
Exmatrikulationsgründe:								
Studium erfolgreich an der G-S-O-FH abgeschlossen (01)	18	50,0	7	25,9	15	53,6	8	30,8
Vorprüfung wiederholt nicht bestanden (03)	2	5,6	11	40,7	2	7,1	4	15,4
Abschlussprüfung wiederholt nicht bestanden (02)	2	5,6	0	0	0	0	0	0
Weitere (wahrscheinliche) Abbruchgründe: Aufgabe des Studiums (06) Keine Rückmeldung (07)	0 14	0 38,9	1 7	3,7 25,9	0 6	0 21,4	1 5	3,9 19,2
Sonstiger "Schwund": Studiengangwechsel (10)	0	0	0	0	2	7,1	0	0
Hochschulwechsel (04)	0	0	0	0	1	3,6	1	3,9
Sonstiges (05, 08, 09)	0	0	0	0	1	3,6	0	0
<b>Geschätzte Abbrüche</b>	<b>18</b>	<b>50,0</b>	<b>19</b>	<b>70,4</b>	<b>8</b>	<b>28,6</b>	<b>10</b>	<b>38,5</b>

**Tab. 11 a:** Verlaufsanalyse der StudentInnenjahrgänge 1994/95, 1995/96, 1996/97 und 1997/98 im FB Werkstofftechnik  
(\* Prozentwerte beziehen sich auf n= Anzahl der Neuimmatrikulierten)

Fachbereich: <b>Werkstofftechnik</b> <b>Exmatrikulierte</b> Studierende im Studienjahr:	Studienjahr 1999/00 n=39		Studienjahr 2000/01 n=32		Studienjahr 2001/02 nur WS n=16	
	f	f%*	f	f%	f	f%
Studium erfolgreich an der G-S-O-FH abgeschlossen (01)	15	38,5	18	56,3	11	68,8
Prüfungsbedingte Exmatrikulation (02, 03)	7	18,0	1	3,1	0	0
Weitere (wahrscheinliche) Abbruchgründe: Aufgabe des Studiums (06) Keine Rückmeldung (07)	2 8	25,6	0 7	21,9	0 3	18,8
Sonstiger "Schwund": Studiengangwechsel (10)	3	35,9	2	18,8	0	12,5
Hochschulwechsel (04)	2		2		1	
Sonstiges (05, 08, 09)	9		2		1	
<b>Geschätzte Abbrüche</b>	<b>17</b>	<b>43,6</b>	<b>8</b>	<b>25,0</b>	<b>3</b>	<b>18,8</b>

**Tab. 11 b:** Periodische Exmatrikulationen in den vergangenen Studienjahren im Fachbereich Werkstofftechnik  
(\* Prozentwerte beziehen sich auf die Anzahl der Exmatrikulierten im jeweiligen Studienjahr)

Fachbereich: <b>Betriebswirtschaft</b> <b>Neuimmatrikulierte</b> Studierende im Studienjahr:	Jahrgang 1994/95		Jahrgang 1995/96		Jahrgang 1996/97		Jahrgang 1997/98	
	n=370		n=403		n=401		n=343	
	f	f%*	f	f%	f	f%	f	f%
Davon bis zum 6.05.2002 exmatrikuliert:	361	97,6	377	93,6	294	73,3	172	50,4
Exmatrikulationsgründe:								
Studium erfolgreich an der G-S-O-FH abgeschlossen (01)	226	61,1	235	58,3	174	43,4	50	14,6
Vorprüfung wiederholt nicht bestanden (03)	51	13,8	55	13,7	50	12,5	58	16,9
Abschlussprüfung wiederholt nicht bestanden (02)	4	1,1	4	1,0	1	0,3	0	0
Weitere (wahrscheinliche) Abbruchgründe: Aufgabe des Studiums (06) Keine Rückmeldung (07)	7 50	1,9 13,5	9 44	2,2 10,9	11 38	2,7 9,5	9 35	2,6 10,2
Sonstiger "Schwund": Studiengangwechsel (10) Hochschulwechsel (04) Sonstiges (05, 08, 09)	0 12 11	0 3,2 3,0	1 15 14	0,3 3,7 3,5	1 10 9	0,3 2,5 2,2	0 8 12	0 2,3 3,5
Geschätzte Abbrüche	112	30,3	112	27,8	100	24,9	102	29,7

**Tab. 12 a:** Verlaufsanalyse der StudentInnenjahrgänge 1994/95, 1995/96, 1996/97 und 1997/98 im FB Betriebswirtschaft  
(\* Prozentwerte beziehen sich auf n= Anzahl der Neuimmatrikulierten)

Fachbereich: <b>Betriebswirtschaft</b> <b>Exmatrikulierte</b> Studierende im Studienjahr:	Studienjahr 1999/00		Studienjahr 2000/01		Studienjahr 2001/02 nur WS n=255	
	n=500		n=456			
Exmatrikulationsgründe:	f	f%*	f	f%	f	f%
Studium erfolgreich an der G-S-O-FH abgeschlossen (01)	317	63,4	319	70,0	149	58,4
Prüfungsbedingte Exmatrikulation (02, 03)	76	15,2	50	11,0	39	15,3
Weitere (wahrscheinliche) Abbruchgründe: Aufgabe des Studiums (06) Keine Rückmeldung (07)	6 62	13,6	6 32	8,3	4 45	19,2
Sonstiger "Schwund": Studiengangwechsel (10) Hochschulwechsel (04) Sonstiges (05, 08, 09)	1 16 22	7,8	2 12 35	10,7	1 9 8	7,1
Geschätzte Abbrüche	144	28,8	88	19,3	88	34,5

**Tab. 12 b:** Periodische Exmatrikulationen in den vergangenen Studienjahren im Fachbereich Betriebswirtschaft  
(\* Prozentwerte beziehen sich auf die Anzahl der Exmatrikulierten im jeweiligen Studienjahr)

Fachbereich: <b>Kommunikations-Design</b> <b>Neuimmatrikulierte</b> Studierende im Studienjahr:	Jahrgang 1994/95		Jahrgang 1995/96		Jahrgang 1996/97		Jahrgang 1997/98	
	n=62		n=59		n=63		n=67	
	f	f%*	f	f%	f	f%	f	f%
Davon bis 6.05.2002 exmatrikuliert:	61	98,4	58	98,3	56	88,9	27	40,3
Exmatrikulationsgründe:								
Studium erfolgreich an der G-S-O-FH abgeschlossen (01)	48	77,4	51	86,4	47	74,6	23	34,3
Vorprüfung wiederholt nicht bestanden (03)	1	1,6	2	3,4	2	3,2	0	0
Abschlussprüfung wiederholt nicht bestanden (02)	1	1,6	0	0	1	1,6	0	0
Weitere (wahrscheinliche) Abbruchgründe:								
Aufgabe des Studiums (06)	1	1,6	0	0	1	1,6	0	0
Keine Rückmeldung (07)	7	11,3	2	3,4	2	3,2	3	4,5
Sonstiger "Schwund":								
Studiengangwechsel (10)	0	0	0	0	0	0	0	0
Hochschulwechsel (04)	3	4,8	2	3,4	2	3,2	0	0
Sonstiges (05, 08, 09)	0	0	1	1,7	1	1,6	1	1,5
Geschätzte Abbrüche	10	16,1	4	6,8	6	9,5	3	4,5

**Tab. 13 a:** Verlaufsanalyse der StudentInnenjahrgänge 1994/95, 1995/96, 1996/97 und 1997/98 im FB Gestaltung  
(\* Prozentwerte beziehen sich auf n= Anzahl der Neuimmatrikulierten)

Fachbereich: <b>Kommunikations-Design</b> <b>Exmatrikulierte</b> Studierende im Studienjahr:	Studienjahr 1999/00		Studienjahr 2000/01		Studienjahr 2001/02 nur WS n=37	
	n=64		n=63		n=37	
	f	f%*	f	f%	f	f%
Exmatrikulationsgründe:						
Studium erfolgreich an der G-S-O-FH abgeschlossen (01)	51	79,7	53	84,1	30	81,1
Prüfungsbedingte Exmatrikulation (02, 03)	2	3,1	2	3,2	1	2,7
Weitere (wahrscheinliche) Abbruchgründe:		17,2		7,9		13,5
Aufgabe des Studiums (06)	0		0		0	
Keine Rückmeldung (07)	11		5		5	
Sonstiger "Schwund":		0		4,8		2,7
Studiengangwechsel (10)	0		0		0	
Hochschulwechsel (04)	0		1		1	
Sonstiges (05, 08, 09)	0		2		0	
Geschätzte Abbrüche	13	20,3	7	11,1	6	16,2

**Tab. 13 b:** Periodische Exmatrikulationen in den vergangenen Studienjahren im Fachbereich Kommunikationsdesign  
(\*Prozentwerte beziehen sich auf die Anzahl der Exmatrikulierten im jeweiligen Studienjahr)

Fachbereich: <b>Sozialwesen / Soziale Arbeit</b> <b>Neuimmatrikulierte</b> Studierende im Studienjahr:	Jahrgang 1994/95 SW n=199		Jahrgang 1995/96 SW n=214		Jahrgang 1996/97 SA n=197		Jahrgang 1997/98 SA n=184	
	f	f%*	f	f%	f	f%	f	f%
Davon bis 6.05.2002 exmatrikuliert:	193	97,0	196	91,6	149	75,6	83	45,1
Exmatrikulationsgründe:								
Studium erfolgreich an der G-S-O-FH abgeschlossen (01)	139	69,9	136	69,4	69	35,0	19	10,3
Vorprüfung wiederholt nicht bestanden (03)	13	6,5	13	6,6	9	4,6	15	8,2
Abschlussprüfung wiederholt nicht bestanden (02)	1	0,5	0	0	0	0	0	0
Weitere (wahrscheinliche) Abbruchgründe:								
Aufgabe des Studiums (06)	6	3,0	6	3,1	12	6,1	8	4,4
Keine Rückmeldung (07)	27	13,6	24	12,2	35	17,8	32	17,4
Sonstiger "Schwund":								
Studiengangwechsel (10)	0	0	0	0	1	0,5	0	0
Hochschulwechsel (04)	6	3,0	11	5,6	9	4,6	6	3,3
Sonstiges (05, 08, 09)	1	0,5	6	3,0	14	7,1	3	1,6
Geschätzte Abbrüche	47	23,6	43	21,9	56	28,4	55	29,9

**Tab. 14 a:** Verlaufsanalyse der StudentInnenjahrgänge 1994/95, 1995/96, 1996/97 und 1997/98 im FB Sozialwesen  
(\* Prozentwerte beziehen sich auf n= Anzahl der Neuimmatrikulierten)

Fachbereich: <b>Sozialwesen / Soziale Arbeit</b> <b>Exmatrikulierte</b> Studierende im Studienjahr:	Studienjahr 1999/00 n=222		Studienjahr 2000/01 n=204		Studienjahr 2001/02 nur WS n=111	
	f	f%*	f	f%	f	f%
Studium erfolgreich an der G-S-O-FH abgeschlossen (01)	157	70,7	137	61,7	67	60,4
Prüfungsbedingte Exmatrikulation (02, 03)	18	8,1	15	7,4	5	4,5
Weitere (wahrscheinliche) Abbruchgründe:		14,0		17,7		22,5
Aufgabe des Studiums (06)	8		8		3	
Keine Rückmeldung (07)	23		28		22	
Sonstiger "Schwund":		7,3		7,8		10,8
Studiengangwechsel (10)	0		1		0	
Hochschulwechsel (04)	13		11		10	
Sonstiges (05, 08, 09)	3		4		2	
Geschätzte Abbrüche	49	22,1	51	25,0	30	27,0

**Tab. 14 b:** Periodische Exmatrikulationen in den vergangenen Studienjahren im Fachbereich Sozialwesen (\* Prozentwerte beziehen sich auf die Anzahl der Exmatrikulierten im jeweiligen Studienjahr)

Alle Fachbereiche Neuimmatrikulierte Studierende im Studienjahr:	Jahrgang 1994/95 n=1628		Jahrgang 1995/96 n=1579		Gesamt n=3207 f %	
Davon bis 6.05.2002 exmatrikuliert:	n=1602		n=1502		n=3104	
Fachsemester:	Erfolg f	Schwund f	Erfolg f	Schwund f	Erfolg f % n=1737	Schwund f % n=1367
1. Fachsemester	-	112	-	116	-	16,7
2. Fachsemester	-	128	-	136	-	19,3
3. Fachsemester	-	128	-	89	-	15,9
4. Fachsemester	-	134	-	139	-	20,0
5. Fachsemester	-	62	-	59	-	8,9
6. Fachsemester	2	60	2	51	0,2	8,1
7. Fachsemester	10	17	3	27	0,8	3,2
8. Fachsemester	66	21	70	13	7,8	2,5
9. Fachsemester	172	11	185	12	20,6	1,7
10. Fachsemester	278	4	232	6	29,4	0,7
11. Fachsemester	138	7	152	2	16,7	0,7
12. Fachsemester	140	8	133	3	15,7	0,8
13. Fachsemester	57	3	64	7	6,9	0,7
14. Fachsemester	23	4	-	1	1,3	0,4
15. Fachsemester	10	7	-	-	0,6	0,5
n=	896	706	841	661	100,0	100,1
Md (gesamt) = 3,3						

**Tab. 15 a: Fachsemester und Exmatrikulation:** Verlaufsanalyse der StudentInnenjahrgänge 1994/95 und 1995. Die weiteren Jahrgänge wurden nicht berücksichtigt, da bei ihnen noch relativ viele Studierende immatrikuliert sind.

Alle Fachbereiche Neuimmatrikulierte Studierende im Studienjahr:	Jahrgang 1994/95 n=1628		Jahrgang 1995/96 n=1579		Gesamt f % n=3207	
Davon bis 6.05.2002 exmatrikuliert:	n=1602		n=1502		n=3104	
Lehrplansemester:	Erfolg f	Schwund f	Erfolg f	Erfolg f	Erfolg f % n=1737	Schwund f % n=1367
1. Lehrplansemester	-	115	-	117	-	17,0
2. Lehrplansemester	-	379	-	365	-	54,4
3. Lehrplansemester	-	58	-	48	-	7,8
4. Lehrplansemester	-	51	-	40	-	6,7
5. Lehrplansemester	-	52	-	48	-	7,3
6. Lehrplansemester	-	9	-	18	-	2,0
7. Lehrplansemester	7	8	7	7	0,8	1,1
8. Lehrplansemester	889	34	834	18	99,2	3,8
n=	896	706	841	661	100,0	100,1
Md (gesamt) = 2,1						

**Tab. 15 b: Lehrplansemester und Exmatrikulation.** Verlaufsanalyse der StudentInnenjahrgänge 1994/95 und 1995/96. Spätere Jahrgänge wurden nicht berücksichtigt, weil relativ viele Studierende noch immatrikuliert sind.

Studienjahr 1999/00	Fachbereiche													Gesamt		
	AR	BI	BW	ET	FT	IN	KD	MB	SW	TC	VS	VT	WT			
Fachsemester	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	fc%
1. Fachsem.	5	2	8	17	3	7	0	8	11	4	9	1	0	75	9,8	
2. Fachsem.	7	5	20	32	6	11	1	16	8	4	4	5	10	129	26,8	
3. Fachsem.	9	4	15	15	2	11	1	8	4	4	1	6	3	83	37,7	
4. Fachsem.	23	4	27	24	5	34	3	17	18	5	7	6	6	179	61,2	
5. Fachsem.	6	4	56	6	5	7	1	8	8	9	3	3	0	116	76,4	
6. Fachsem.	2	2	18	5	3	11	2	5	4	9	1	1	2	65	84,9	
7. Fachsem.	3	0	9	2	1	6	0	2	1	2	0	0	0	26	88,2	
8. Fachsem.	0	0	5	3	1	1	1	0	1	2	0	0	0	14	90,0	
9. Fachsem.	0	3	4	1	1	0	0	2	1	0	0	1	0	13	91,7	
10. Fachsem.	0	1	5	3	0	0	1	0	1	0	0	0	0	11	93,1	
11. Fachsem.	0	0	1	4	0	0	0	2	0	0	1	0	0	8	94,2	
12. Fachsem.	0	1	1	1	0	0	1	1	2	0	0	0	1	8	95,3	
13. Fachsem.	0	0	4	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	8	96,5	
14. Fachsem.	0	1	5	2	1	0	0	0	4	1	1	0	1	16	98,6	
15. Fachsem.	0	0	5	2	0	1	0	0	2	0	0	0	1	11	100	
n =	55	27	183	117	28	89	13	69	65	42	27	23	24	762		

Tab. 16 a 1: Fachsemester und Periodische Exmatrikulation ohne Abschluss im Studienjahr 1999/00  
(Median = 4,0)

Studienjahr 2000/01	Fachbereiche													Gesamt		
	AR	BI	BW	ET	FT	IN	KD	MB	SW	TC	VS	VT	WT			
Fachsemester	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	fc%
1. Fachsem.	8	7	10	19	1	6	1	8	10	3	2	2	8	85	11,5	
2. Fachsem.	10	10	14	25	4	8	1	14	9	6	4	3	3	111	26,6	
3. Fachsem.	6	6	16	24	4	19	0	17	10	9	6	1	0	118	42,6	
4. Fachsem.	9	3	16	20	6	35	0	20	10	9	6	3	2	139	61,5	
5. Fachsem.	2	1	28	11	2	14	2	9	15	5	3	3	0	95	74,4	
6. Fachsem.	8	6	27	12	3	20	3	8	7	2	1	5	0	102	88,2	
7. Fachsem.	1	1	7	3	1	3	0	2	4	1	0	2	0	25	91,6	
8. Fachsem.	0	1	7	2	0	2	2	1	0	0	1	0	0	16	93,8	
9. Fachsem.	2	1	1	3	0	0	0	2	0	1	0	0	0	10	95,2	
10. Fachsem.	1	0	3	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	8	96,3	
11. Fachsem.	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	96,8	
12. Fachsem.	1	1	1	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	6	97,6	
13. Fachsem.	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	3	98,0	
14. Fachsem.	1	1	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	8	99,1	
15. Fachsem.	1	1	3	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	7	100	
n =	50	40	137	128	23	107	10	82	67	36	23	20	14	737		

Tab 16 a 2: Fachsemester und Periodische Exmatrikulation ohne Abschluss im Studienjahr 2000/01 (Median = 4,1)

WS 2001/02	Fachbereiche													Gesamt		
	A R	BI	BW	ET	FT	IN	KD	MB	SW	TC	VS	VT	WT			
Fachsemester	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f <sub>c</sub> %
1. Fachsem.	10	4	7	17	0	3	0	10	14	6	2	1	2	76	21,5	
2. Fachsem.	0	2	4	2	3	1	0	1	1	0	2	0	0	16	26,0	
3. Fachsem.	2	8	15	16	0	14	0	7	10	2	1	0	1	76	47,5	
4. Fachsem.	2	0	7	1	0	2	1	3	0	0	0	0	0	16	52,0	
5. Fachsem.	1	2	27	1	4	8	4	4	8	3	2	1	0	65	70,5	
6. Fachsem.	1	1	10	2	0	2	0	0	1	0	0	0	0	17	75,4	
7. Fachsem.	1	1	5	5	0	2	1	1	1	1	0	1	2	21	81,3	
8. Fachsem.	1	0	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6	65,2	
9. Fachsem.	0	2	6	1	0	2	0	0	2	0	0	2	0	15	87,3	
10. Fachsem.	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	4	88,4	
11. Fachsem.	0	0	3	3	0	0	0	0	1	0	0	2	0	9	90,9	
12. Fachsem.	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	92,4	
13. Fachsem.	1	1	8	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	12	95,8	
14. Fachsem.	0	0	2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	4	96,9	
15. Fachsem.	0	1	1	0	1	2	1	0	4	1	0	0	0	11	100	
n =	19	22	105	48	10	37	7	28	44	13	7	8	5	353		

Tab. 16 a 3: Fachsemester und Periodische Exmatrikulation ohne Abschluss im WS 2001/02 (Median = 4,1)

Studienjahr 1999/00	Fachbereiche										Gesamt				
	AR	BI	BW	ET	FT	IN	KD	MB	SW	TC	VS	VT	WT	fc%	
Lehrplanseme- ster:	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	fc%
1. Lehrplansem.	8	2	9	17	3	7	0	8	11	4	8	1	0	78	10,2
2. Lehrplansem.	28	15	76	73	17	67	1	50	8	4	16	20	21	396	62,2
3. Lehrplansem.	6	1	10	3	3	6	1	1	27	23	1	0	0	82	73,0
4. Lehrplansem.	6	2	8	1	0	1	3	1	6	0	0	0	0	28	76,7
5. Lehrplansem.	6	3	55	9	3	6	1	6	2	7	1	1	1	101	90,0
6. Lehrplansem.	1	1	5	0	0	0	2	1	1	1	0	1	0	14	91,8
7. Lehrplansem.	0	0	1	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	12	93,4
8. Lehrplansem.	0	3	19	10	2	1	5	2	10	3	1	0	2	58	100
n =	55	27	183	117	28	89	13	69	65	42	27	23	24	762	

Tab. 16 b 1: Lehrplansemester und periodische Exmatrikulation ohne Abschluss im Studienjahr 1999/00 (Median = 2,3)

Studienjahr 2000/01	Fachbereiche							Gesamt							fc%
	AR	BI	BW	ET	FT	IN	KD	MB	SW	TC	VS	VT	WT		
<b>Lehrplanse- mester:</b>	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	
1. Lehrplansem.	8	7	10	19	1	6	1	8	10	3	2	2	8	85	
2. Lehrplansem.	12	21	49	68	13	74	1	52	9	6	16	11	3	335	
3. Lehrplansem.	6	0	9	5	2	15	0	8	37	18	2	2	1	105	
4. Lehrplansem.	12	2	12	4	3	5	0	4	2	2	0	0	1	47	
5. Lehrplansem.	5	3	43	21	3	3	5	6	6	7	3	4	0	109	
6. Lehrplansem.	3	3	2	2	0	3	0	1	1	0	0	0	0	15	
7. Lehrplansem.	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	4	
8. Lehrplansem.	4	4	12	7	1	1	3	1	2	0	0	1	1	37	
n =	50	40	137	128	23	107	10	82	67	36	23	20	14	737	

Tab. 16 b 2: Lehrplansemester und periodische Exmatrikulation ohne Abschluss im Studienjahr 2000/01 (Median = 2,4)

WS 2001/02	Fachbereiche							Gesamt							fc%
	AR	BI	BW	ET	FT	IN	KD	MB	SW	TC	VS	VT	WT		
<b>Lehrplanseme- ster:</b>	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	
1. Lehrplansem.	10	4	10	17	0	3	0	10	14	6	2	1	2	79	
2. Lehrplansem.	0	11	31	18	5	22	0	9	1	0	5	1	0	103	
3. Lehrplansem.	2	1	6	1	2	4	0	2	15	5	0	0	1	39	
4. Lehrplansem.	5	0	4	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	12	
5. Lehrplansem.	0	2	25	9	2	4	4	2	4	1	0	2	1	56	
6. Lehrplansem.	0	0	3	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	7	
7. Lehrplansem.	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	3	
8. Lehrplansem.	1	4	26	3	1	3	1	2	9	1	0	3	0	54	
n =	19	22	105	48	10	37	7	28	44	13	7	8	5	353	

Tab. 16 b 3: Lehrplansemester und periodische Exmatrikulation ohne Abschluss im WS ½ (Median = 2,4)



# Optimierung von Mehrkörpersystemen

**Dipl.-Ing. (FH) Klaus Rübiger**

**Prof. Dr.-Ing. Winfried Theis**

Institut für Fahrzeugtechnik der  
Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule Nürnberg

Keßlerplatz 12  
90489 Nürnberg

## **Abstract**

Auf Grund der ständig steigenden Anforderungen während der Entwicklung neuartiger Produkte ist es oftmals schwierig einen optimalen Entwurf zu finden. Die vorliegende Arbeit soll deshalb einen Einblick in die Welt der mathematischen Optimierung geben und anhand von ausgewählten Beispielen aus der Mehrkörperdynamik die nötigen Schritte einer Optimierungsrechnung genauer erklären. Spezielle Aufmerksamkeit wird hierbei der Ermittlung der Bewegungsgleichungen, der Formulierung der Optimierungsaufgabe und der zur Lösung des Optimierungsproblems nötigen Algorithmen geschenkt, wobei die dargestellte Theorie schließlich durch ein Anwendungsbeispiel aus der Praxis abgerundet werden soll.



## 1. Einleitung

Im Bereich der Forschung und Entwicklung neuartiger Fahrzeuge jeglicher Art stößt man aufgrund immer komplexer werdender Systemzusammenhänge sowie einzuhaltender Sicherheits- und Qualitätsbestimmungen immer mehr an die Grenzen der bisherigen Entwicklungsmethodik. Immer häufiger werden deshalb neuartige Optimierungsprogramme eingesetzt, um das oft schwer herauszufindende Optimum einer Struktur bzw. eines Systems innerhalb meist enger Entwicklungsspielräume aufzuzeigen. Auf diese Weise können z.B. das Gewicht, Beschleunigungen oder Relativbewegungen einzelner Komponenten reduziert werden, während gleichzeitig Anforderungen an die Strukturfestigkeit, Eigenfrequenzen und an die Geometrie Berücksichtigung finden. Aufgrund der dennoch geringen Verbreitung dieser Methoden soll der vorliegende Bericht einen Einblick in die Welt der Optimierung von mechanischen Mehrkörpersystemen geben, wobei der Ablauf von der Ermittlung der Bewegungsgleichungen bis hin zur Ergebnisdarstellung der Optimierung detailliert dargestellt wird.

## 2. Bewegungsgleichungen für Mehrkörpersysteme

Soll ein Mehrkörpersystem in bestimmten Eigenschaften gezielt verändert bzw. verbessert werden, bildet die Kenntnis der Systemeigenschaften in Form von Bewegungsgleichungen die Grundlage für jegliche weiterführenden Schritte. Im Falle der Mehrkörperdynamik ergeben sich hier i.a. nichtlineare Differentialgleichungssysteme 2. Ordnung.

$$\mathbf{M}(t, \mathbf{y}) \cdot \ddot{\mathbf{y}} + \mathbf{k}(t, \mathbf{y}, \dot{\mathbf{y}}) = \mathbf{q}(t, \mathbf{y}, \dot{\mathbf{y}})$$

Bei der Topologie der zu untersuchenden Mehrkörpersysteme können sowohl Systeme mit Baum- bzw. Kettenstruktur als auch Systeme mit kinematischen Schleifen vorkommen.

Im Zusammenhang mit der Optimierung ist es vorteilhaft, wenn die Bereitstellung der Systemgleichungen in symbolischer Form erfolgt. Die symbolische Form bzw. die Darstellung der Gleichungen mittels mathematischer Funktionen und vorher definierten Variablen und Parametern in „Textform“ ermöglicht hierbei ein analytisches Weiterverarbeiten der Gleichungen. Im Rahmen der vorgestellten Arbeit kam für die Generierung der Bewegungsgleichungen das Programm „DynaFlex“ zum Einsatz.

### 2.1 Das Programmsystem „DynaFlex“

Das Programm „DynaFlex“ wurde von John McPhee und Pengfei Shi am Institut „Systems Design Engineering“ der Universität Waterloo in Kanada entwickelt und ist im Stande, die symbolischen Bewegungsgleichungen für starre oder flexible Mehrkörpersysteme in Maple-kompatibler Form zu erzeugen. In einem Eingabe-File lassen sich die Eigenschaften aller Komponenten sowie die geometrischen und kinematischen Bindungen systematisch festlegen. Nach der Erstellung des Eingabe-Files kann dieses in der Maple-Umgebung aufgerufen werden und die Bewegungsgleichungen mittels „DynaFlex“ in symbolischer Form bestimmt werden. Die Ausgabe des Differentialgleichungssystems erfolgt in Matrizenform. Die so generierten Gleichungen können in einer sich anschließenden Optimierungsrechnung weiter verwendet werden.

### 2.2 Horizontaler 3-Massen-Schwinger als Beispiel

Die allgemeine Vorgehensweise wird im folgenden an einem 3-Massen-Schwinger näher dargestellt (Abbildung 1). Die drei Massen ( $m_1, m_2, m_3$ ) besitzen jeweils einen Freiheitsgrad ( $s_1, s_2, s_3$ ). Verbunden sind sie durch insgesamt zwei Federn ( $c_1, c_2$ ) und zwei Dämpferelemente ( $k_1, k_2$ ).

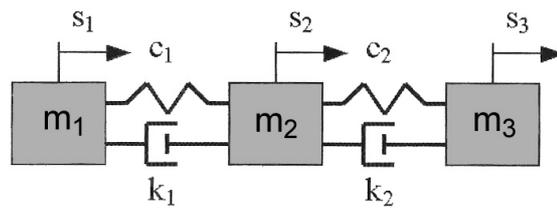


Abbildung 1 : 3-Massen-Schwinger

Um das Mehrkörpersystem in eine dem Programm „DynaFlex“ gemäÙe Form zu überführen, ist eine grafische Systemdarstellung in Form eines „topologischen Schaubildes“ zweckmäßig.

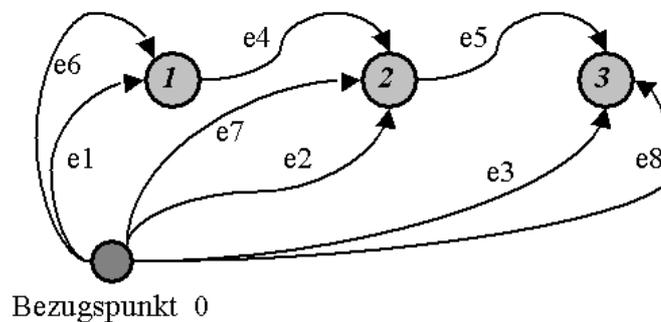


Abbildung 2 : topologisches Schaubild für einen 3-Massen-Schwinger

Die hierin enthaltenen Knoten entsprechen zum einen den drei Massen ( nodes 1, 2 und 3 ) und zum anderen dem Bezugspunkt ( node 0 ) im Inertialsystem.

Die acht Kanten ( edges e1 bis e8 ) markieren Systeminformationen. Im vorliegenden Beispiel sind dies:

- e1** starrer Körper „1“ mit Masse  $m_1$
- e2** starrer Körper „2“ mit Masse  $m_2$
- e3** starrer Körper „3“ mit Masse  $m_3$
- e4** Feder-Dämpfer-Element mit  $c_1$  und  $k_1$
- e5** Feder-Dämpfer-Element mit  $c_2$  und  $k_2$
- e6** Längs-Führung in x-Richtung
- e7** Längs-Führung in x-Richtung
- e8** Längs-Führung in x-Richtung

Mit Hilfe des obigen Schaubildes kann das Eingabefile für dieses Mehrkörpersystem erstellt werden. Die Syntax sieht hierbei - am Beispiel des starren Körpers „1“ - wie folgt aus :

```
edge[1]:=table ([ (1)=N,
                  (2)=[0,1],
                  (3)=BE_R,
                  (4)=table ([ inert=[[0,0,0],[0,0,0],[0,0,0]], mass=m1 ] ) );
```

### 3. Formulierung der Optimierungsaufgabe

Der allgemeine Optimierungsablauf, der hier speziell für mechanische Systeme Anwendung findet, wird im folgenden an einem  $\frac{1}{4}$ -Fahrzeugmodell dargestellt.

#### Erstellung des physikalischen Ersatzmodells

Das Ersatzmodell besteht aus Fahrzeugaufbau ( $m_1$ ) und Radkörper ( $m_2$ ). Die zwischen Aufbau und Radkörper befindlichen Feder- und Dämpferelemente ( $c_1, k$ ) entsprechen der Radaufhängung. Die Feder zwischen Radkörper und Fahrbahn ( $c_2$ ) steht für die Gummifederung des Reifens. Die Anregung erfolgt durch eine Kraftanregung  $F_1(t)$  an der Aufbaumasse (z.B. unausgeglichene resultierende Massenkraft des Motors), sowie durch eine Fußpunkterregung  $x(t)$  über den Fahrweg. Die Auslenkungen  $s_1(t)$  und  $s_2(t)$  beziehen sich auf die statische Gleichgewichtslage.

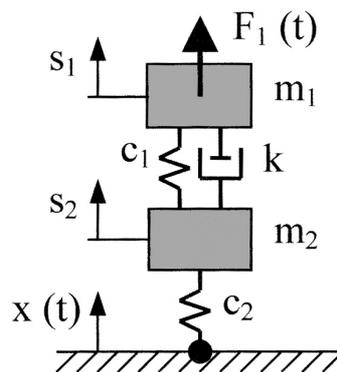


Abbildung 3 : Zweimassenmodell für ein  $\frac{1}{4}$ -Fahrzeugmodell

#### Formulierung des mathematischen Modells

Die zugehörigen Bewegungsgleichungen stellen sich wie folgt als Differentialgleichungssystem dar :

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{s}_1 \\ \ddot{s}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k & -k \\ -k & k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{s}_1 \\ \dot{s}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 & -c_1 \\ -c_1 & c_1 + c_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1 \\ c_2 \cdot x \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{M} \cdot \ddot{\mathbf{s}} + \mathbf{K} \cdot \dot{\mathbf{s}} + \mathbf{C} \cdot \mathbf{s} = \mathbf{F}$$

#### Wahl der Optimierungsparameter

Hier gilt es festzulegen, welche Größen als Parameter für die Optimierung zur Verfügung stehen sollen, wobei zwischen den sogenannten Zustandsvariablen und den Entwurfsvariablen bzw. Optimierungsparameter zu unterscheiden ist.

Zustandsvariablen:	Auslenkung	$\mathbf{s}$ bzw. $s_i$
	Geschwindigkeit	$\dot{\mathbf{s}}$ bzw. $\dot{s}_i$
Entwurfsvariablen:	Masse „1“	$m_1$
	Masse „2“	$m_2$
	Federsteifigkeit „1“	$c_1$
	Federsteifigkeit „2“	$c_2$
	Dämpfungskonstante	$k$

Zur Vereinfachung werden die auserwählten Entwurfsvariablen meist nach einer geeigneten Normierung (Loswerden von jeglichen Einheiten) zu einem Spaltenvektor  $\mathbf{p}$  zusammengefasst.

Aus der Masse  $m_1$  wird z.B. durch die mögliche Normierung  $m_1/m_{\text{ges}}$  ein dimensionsloser Optimierungsparameter  $p_1$ , den man als erste Komponente im Vektor  $\mathbf{p}$  wiederfindet.

$$\mathbf{p} = ( p_1 \ p_2 \ p_3 \ p_4 \ p_5 )^T$$

Die hier genannten Optimierungsparameter stellen die maximal mögliche Auswahl an Variablen dar. Für die spätere Optimierung müssen nicht zwangsläufig alle Variablen herangezogen werden.

### Festlegung eines zulässigen Anfangsentwurfes

Als nächstes legt man für die Entwurfsvariablen Anfangswerte fest, die für eine zeitlich rasche Optimierung aufgrund von Erfahrungswerten sinnvoll gewählt sein und darüber hinaus auch ( wenn vorhanden ) noch alle Nebenbedingungen erfüllen sollten.

Anfangswerte der Entwurfsvariablen :	$m_{1,0}$	bzw.	$p_{1,0}$
	$m_{2,0}$	bzw.	$p_{2,0}$
	$c_{1,0}$	bzw.	$p_{3,0}$
	$c_{2,0}$	bzw.	$p_{4,0}$
	$k_0$	bzw.	$p_{5,0}$

### Aufstellung der zu minimierenden Gütefunktion/en sowie einzuhaltender Nebenbedingungen

Ein wichtiger Punkt ist die Festlegung auf Kriterien, nach denen die Optimierung durchgeführt werden soll. Im Falle eines Fahrzeuges sind dies z.B. Anforderungen an den Fahrkomfort und die Fahrsicherheit. Diese lassen sich durch die Beschleunigung des Fahrzeugaufbaus und die Kontaktkraft  $F_K = m_{\text{ges}} \cdot g - F_{\text{dyn}}$  zwischen Rad und Fahrbahn beschreiben.

Zu minimieren sind demnach die **Beschleunigung**  $\ddot{s}_1$   
sowie die **dynamische Kraft**  $F_{\text{dyn}} = c_2 \cdot (s_2 - x)$

Beide Größen sind abhängig von den vorgegebenen Entwurfsvariablen.

Die zu minimierenden Gütefunktionen ergeben sich damit zu:

$$f_1(\mathbf{p}) = \int_0^T (\ddot{s}_1)^2 dt \quad \text{und} \quad f_2(\mathbf{p}) = \int_0^T (F_{\text{dyn}})^2 dt$$

Der zulässige Parameterbereich kann über Nebenbedingungen wie folgt eingeschränkt werden:

$$\begin{aligned} m_{1,\min} &\leq m_1 \leq m_{1,\max} \\ m_{2,\min} &\leq m_2 \leq m_{2,\max} \\ c_{1,\min} &\leq c_1 \leq c_{1,\max} \\ c_{2,\min} &\leq c_2 \leq c_{2,\max} \\ k_{\min} &\leq k \leq k_{\max} \\ \text{bzw. } p_{k,\min} &\leq p_k \leq p_{k,\max} \end{aligned}$$

Gemäß der obigen Definition des Optimierungsproblems liegt in diesem Fall eine Vektor- bzw. Mehrkriterienoptimierung mit Nebenbedingungen vor.

In mathematischer Schreibweise hat dieses Problem folgendes Aussehen:

$$\begin{aligned} & \underset{\mathbf{p} \in P}{\text{opt}} \begin{bmatrix} f_1(\mathbf{p}) \\ f_2(\mathbf{p}) \end{bmatrix} \\ & \text{mit } P := \{ \mathbf{p} \in \mathbb{R}^h \mid \mathbf{p}_{\min} \leq \mathbf{p} \leq \mathbf{p}_{\max} \} \end{aligned}$$

### Ermittlung der optimalen Entwurfsvariablen

Die Ermittlung der optimalen Entwurfsvariablen geschieht durch einen für den Anwendungsfall geeigneten Optimierungsalgorithmus. In Kapitel 4 wird auf die wichtigsten Algorithmen näher eingegangen.

### Realisierung des optimalen Entwurfs

Zu guter letzt erfolgt die konstruktive Umsetzung des gefundenen optimalen Entwurfs. Zu betonen ist, dass es nicht nur einen einzigen optimalen Entwurf geben muss. Unter Umständen ist ein zusätzlicher iterativer Entscheidungsprozess zu durchlaufen, um das tatsächlich beste Konzept zu finden.

## 4. Algorithmen zur Lösung von Optimierungsaufgaben

Im Bereich der Optimierung stehen dem Anwender eine Auswahl unterschiedlichster mathematischer Algorithmen zur Verfügung, die sich hauptsächlich in der Schnelligkeit der Lösungsfindung und deren grundsätzliche Eignung für die vielfältigsten Problemstellungen unterscheiden. Im Bereich der restringierten Mehrkriterienoptimierung werden häufig die Sequentielle Quadratische Optimierung, die Modifizierte Methode der zulässigen Richtungen und das Quasi-Newton-Verfahren verwendet.

### 4.1 Sequentielle Quadratische Programmierung (SQP)

nach POWELL und SCHITTKOWSKI

Einsatz / Eignung : komplexere restringierte Optimierungsaufgaben  
Stärken (+) : hohes Maß an Effektivität und Allgemeingültigkeit

#### Beschreibung des Verfahrens

Die Sequentielle Quadratische Programmierung ist ein direktes Verfahren zur Lösung restringierter Optimierungsprobleme. Dieses Verfahren ähnelt, abgesehen von den hier zu berücksichtigenden Ungleichungsnebenbedingungen und der speziellen Suchrichtungsbestimmung, in gewisser Weise dem Vorgehen beim Quasi-Newton-Verfahren. Zunächst werden für einen zu wählenden zulässigen Startpunkt die Funktionswerte und die jeweiligen Gradienten des Gütekriteriums und der vorhandenen Nebenbedingungen an diesem Anfangspunkt berechnet. Die Bestimmung der Suchrichtung  $\mathbf{s}$  erfolgt durch eine zusätzlich auszuführende Minimierungsaufgabe. Die hier zu minimierende Funktion entspricht einer Approximation der Lagrange-Funktion durch eine Taylor-Reihe mit Termen inklusive der 2. Ordnung.

$$\begin{aligned} \min_{\mathbf{s} \in S} \varphi(\mathbf{s}) \quad & \text{mit} \quad \varphi(\mathbf{s}) = L^{(v)} + \nabla L^{(v)} \cdot \mathbf{s} + \frac{1}{2} \cdot \mathbf{s}^T \cdot \mathbf{H}^{(v)} \cdot \mathbf{s} \\ & \text{und} \quad S := \{ \mathbf{s} \in \mathbb{R}^h \mid h_j^{(v)} + \nabla h_j^{(v)T} \cdot \mathbf{s} \geq 0 \} \end{aligned}$$

Die Matrix  $\mathbf{H}$  entspricht einer Näherung der Hesse-Matrix der Lagrange-Funktion, die - wie auch beim Quasi-Newton-Verfahren zu sehen ist - anfänglich als Einheitsmatrix  $\mathbf{E}$  definiert wird und mit steigender Zahl von Iterationsschritten gegen die eigentliche Hesse-Matrix konvergiert. Ist die Suchrichtung  $\mathbf{s}$  bekannt, er-

folgt die Ermittlung des Liniensuch-Parameters  $\alpha$  in Abhängigkeit der geltenden Restriktionen, so dass sich dadurch der nächst-bessere Parameterpunkt gemäß

$$\mathbf{p}^{(v+1)} = \mathbf{p}^{(v)} + \alpha^{(v)} \cdot \mathbf{s}^{(v)}$$

ergibt. Die hier vorgestellte Vorgehensweise wird dabei so lange wiederholt, bis das Abbruchkriterium erfüllt ist bzw. die restringierte Gütefunktion ausreichend minimiert ist. Der zuletzt berechnete Parameterpunkt kann dann somit als Minimierer angesehen werden. In den Fällen der ersten Iterationsschritte, nach denen das Abbruchkriterium noch nicht positiv erfüllt werden kann, muss - wie auch beim Quasi-Newton-Verfahren - die Ersatzmatrix z.B. durch den Algorithmus nach „Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno“ ( BFGS ) für die geforderte zunehmende Konvergenz zwischen Ersatz- und Hesse-Matrix entsprechend verändert werden, bevor innerhalb der nächsten Iteration die neue Suchrichtung bestimmt wird.

## 4.2 Modifizierte Methode der zulässigen Richtungen ( MMFD )

nach VANDERPLAATS

Einsatz / Eignung : einfache restringierte Optimierungsaufgaben  
 Stärken ( + ) : effiziente Suchrichtungsbestimmung ;  
 Anstatt des Zick-Zack-Verlaufes ergibt sich hier ein Pfad entlang der Grenze der Ungleichungsnebenbedingung

### Beschreibung des Verfahrens

Die modifizierte Methode der zulässigen Richtungen, auch „Modified Method of Feasible Directions“ kurz MMFD genannt, entspricht einer Weiterentwicklung der Methode der zulässigen Richtungen ( MFD ). Bei dieser Optimierungsmethode wird der störende Zick-Zack-Verlauf der aufeinander folgenden Liniensuchen innerhalb einer bestimmten Umgebung entlang der Grenzlinie einer aktiven Ungleichungsnebenbedingung bewusst vermieden. Die Bestimmung der Suchrichtung  $\mathbf{s}$  in einem Punkt der Grenzkurve der Restriktion erfolgt äquivalent zur MFD, nur mit dem kleinen Unterschied, dass der „Push-Off“-Faktor von vornherein gleich Null gesetzt wird.

Die Suchrichtung  $\mathbf{s}$  folgt nun aus

$$\begin{aligned} \min_{\mathbf{s} \in S} \beta \quad \text{mit} \quad S := \{ \mathbf{s} \in \mathbb{R}^n \mid \\ \beta - (\nabla f^{(v)})^T \cdot \mathbf{s} \geq 0, \\ \nabla h_j^{(v)T} \cdot \mathbf{s} \geq 0, \\ | \mathbf{s}^T \cdot \mathbf{s} | \leq 1 \} \quad \text{mit } h_j \geq 0 \end{aligned}$$

Demzufolge bewegt man sich vor allem bei konvexen Optimierungsproblemen auf der Suche nach dem Minimierer zunächst tangential zur Grenzkurve der aktiven Restriktion in den unzulässigen Parameterraum. Um jedoch bei der Annäherung an das Minimum - und gerade dies ist die Verbesserung des Verfahrens gegenüber der Methode der zulässigen Richtungen - stets auf dem Rand der Restriktion zu verbleiben und somit den oben genannten Zick-Zack-Verlauf zu vermeiden, muss dem mit dem Liniensuch-Parameter  $\alpha$  multiplizierten Suchrichtungsvektor  $\mathbf{s}$  ein zusätzlicher Vektor  $\delta\mathbf{p}$  hinzugefügt werden, um aus dem unzulässigen Bereich zurück auf die Grenzlinie zu gelangen.

Daher ergibt sich für den nächst-besseren Parameterpunkt

$$\mathbf{p}^{(v+1)} = \mathbf{p}^{(v)} + \alpha^{(v)} \cdot \mathbf{s}^{(v)} + \delta\mathbf{p}^{(v)}$$

Um jedoch den Vektor  $\delta\mathbf{p}$  zu bestimmen, muss zusätzlich die folgende Optimierungsaufgabe innerhalb jeder Iterationsschleife gelöst werden

$$\min_{\delta \mathbf{p} \in P} \delta \mathbf{p}^T \cdot \delta \mathbf{p} \quad \text{mit} \quad P := \{ \delta \mathbf{p} \in \mathbb{R}^h \mid$$

$$h_j(\mathbf{p}(\alpha)) + \nabla h_j(\mathbf{p}^{(v)})^T \cdot \delta \mathbf{p} = 0 \}$$

$$\text{mit} \quad \mathbf{p}(\alpha) = \mathbf{p}^{(v)} + \alpha \cdot \mathbf{s}^{(v)}$$

### 4.3 Quasi-Newton-Verfahren

nach FLETCHER und POWELL

Einsatz / Eignung : nicht restringierte Optimierungsaufgaben  
 Besondere Merkmale : globales Optimierungsverfahren  
 Stärken ( + ) : Hesse-Matrix muss nicht exakt berechnet werden

#### Beschreibung des Verfahrens

Das Quasi-Newton-Verfahren bedient sich wie das reine Newton-Verfahren eines Modells 2. Ordnung, allerdings entspricht es im Gegensatz dazu lediglich einem Verfahren 1. Ordnung. Das heißt, dass dieser Algorithmus die direkte und somit für die Suchrichtung benötigte Berechnung der Hesse-Matrix vermeidet. Der wesentliche Unterschied zwischen diesem Verfahren und dem reinen Newton-Verfahren liegt in der Bestimmung der Suchrichtung am Beginn jedes Iterationsschrittes. Um den Auswirkungen von schlecht gewählten Startwerten entgegenzuwirken, ersetzt man die inverse Hesse-Matrix  $(\nabla^2 f)^{-1}$ , welche in solchen Fällen nicht zwangsläufig positiv definit ist, durch eine zuerst beliebige positiv definite Ersatzmatrix  $\mathbf{H}$ , welche während eines Optimierungsvorganges - mit jedem Iterationsschritt mehr - gegen die eigentliche inverse Hesse-Matrix konvergiert.

Nachdem Startwerte  $\mathbf{p}^{(0)}$  für die zu minimierende Gütefunktion  $f(\mathbf{p})$  festgelegt sind, kann mit der eigentlichen Optimierung begonnen werden.

#### Iterationsschritt „0“

Für die erstmalige Festlegung der Suchrichtung  $\mathbf{s}^{(0)}$  wird gemäß dem folgenden Zusammenhang

$$\mathbf{s}^{(0)} = -\mathbf{H}^{(0)} \cdot \nabla f^{(0)}$$

für die erste Ersatzmatrix  $\mathbf{H}^{(0)}$  die Einheitsmatrix  $\mathbf{E}$  ( hier 2 x 2 ) gewählt

$$\mathbf{H}^{(0)} = \mathbf{E} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

so dass sich die Formel der Suchrichtung entsprechend vereinfacht

$$\mathbf{s}^{(0)} = -\mathbf{H}^{(0)} \cdot \nabla f^{(0)} = -\nabla f(\mathbf{p}^{(0)})$$

Nachdem die Suchrichtung bekannt ist, wird in einem nächsten Schritt die Linienfunktion  $\mathbf{p}(\alpha)$  in Suchrichtung  $\mathbf{s}^{(0)}$  aufgestellt.

$$\mathbf{p}(\alpha) = \mathbf{p}^{(0)} + \alpha \cdot \mathbf{s}^{(0)}$$

Anschließend wird die gerade ermittelte Linienfunktion  $\mathbf{p}(\alpha)$  in die das Optimierungsproblem kennzeichnende Gütefunktion eingesetzt. Das Gütekriterium, welches vorher eine Funktion der Entwurfsvariablen war, ist nun eine der Liniensuch-Variablen  $\alpha$ .

$$f(\alpha) = f(\mathbf{p}(\alpha))$$

Als nächstes wird ausgehend von der Funktion  $f(\alpha)$  die Lage des Minimums der selben in Form einer Liniensuch-Variablen  $\alpha^{(0)}$  bestimmt. Im Falle einer stetig differenzierbaren Funktion  $f(\alpha)$  folgt aus  $f'(\alpha^{(0)}) = 0$  ein  $\alpha^{(0)}$ , welches durch Einsetzen in die bereits bekannte Linienfunktion  $\mathbf{p}(\alpha)$

$$\mathbf{p}^{(1)} = \mathbf{p}^{(0)} + \alpha^{(0)} \cdot \mathbf{s}^{(0)}$$

einen ersten approximierten Minimierer in Suchrichtung im Parameterraum liefert.

### Iterationsschritt „1“

Für die Berechnung der zweiten Suchrichtung  $\mathbf{s}^{(1)}$ , gemäß

$$\mathbf{s}^{(1)} = -\mathbf{H}^{(1)} \cdot \nabla f^{(1)} \quad \text{muss die erste Ersatzmatrix } \mathbf{H}^{(0)} \text{ entsprechend}$$

ersetzt werden

$$\mathbf{H}^{(v+1)} = \mathbf{H}^{(v)} + \frac{\delta \mathbf{p} \cdot \delta \mathbf{p}^T}{\delta \mathbf{p}^T \cdot \boldsymbol{\gamma}} - \frac{\mathbf{H}^{(v)} \cdot \boldsymbol{\gamma} \cdot \boldsymbol{\gamma}^T \cdot \mathbf{H}^{(v)}}{\boldsymbol{\gamma}^T \cdot \mathbf{H}^{(v)} \cdot \boldsymbol{\gamma}} \quad (\text{nach Davidon-Fletcher-Powell}),$$

wobei für die Einzelkomponenten folgende Beziehungen gelten

$$\delta \mathbf{p} = \mathbf{p}^{(1)} - \mathbf{p}^{(0)} \quad \text{und} \quad \boldsymbol{\gamma} = \nabla f^{(1)} - \nabla f^{(0)}$$

Nach dem Einsetzen der zweiten Ersatzmatrix  $\mathbf{H}^{(1)}$  als Approximation der Hesse-Matrix, folgt daraus die nächste Suchrichtung  $\mathbf{s}^{(1)}$  usw.. Da das Quasi-Newton-Verfahren gegenüber dem reinen Newton-Verfahren zur Bestimmung des Minimierers einen Iterationsschritt mehr benötigt, bedingt dies zwar zunächst einen größeren Rechenaufwand bzw. eine längere Rechenzeit, allerdings ist diese Methode wesentlich unempfindlicher gegenüber weit vom Optimum entfernt liegenden Startwerten für die Entwurfsvariablen, sodass dieser Algorithmus gerade bei globalen Optimierungsproblemen bevorzugt wird.



Die Bewegungsgleichungen des obigen Mehrkörpersystems wurden linearisiert. Das Problem der statischen Anfangseinfederung durch das Eigengewicht der Einzelkörper wurde über die Wahl der oberen und unteren Schranken für die Federsteifigkeiten des Systems berücksichtigt.

## 5.2 Definition der zu minimierenden Gütefunktionen

**Kriterien Nr. 1 bis 4 — Zweck :** Minimierung der relativen Einfederwege und –winkel zwischen Wagenkasten, Zwischenrahmen und Aggregat.

Für die Minimierung der Einfederwege und -winkel, jeweils bezogen auf einen Sollwert, gilt folgender mathematischer Ausdruck als Kriterium :

$$\psi_1 \text{ bis } \psi_4 = \int_0^T (\Gamma)^6 dt$$

$$\text{mit } \Gamma = \left( \frac{s_2 - s_1}{s_o} \right) \quad \text{beim Gütekriterium } \psi_1$$

$$\Gamma = \left( \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{\varphi_o} \right) \quad \text{beim Gütekriterium } \psi_2$$

$$\Gamma = \left( \frac{s_3 - s_2}{s_o} \right) \quad \text{beim Gütekriterium } \psi_3$$

$$\Gamma = \left( \frac{\varphi_3 - \varphi_2}{\varphi_o} \right) \quad \text{beim Gütekriterium } \psi_4$$

Diese Kriterien sorgen in erster Linie für die Vermeidung eines großen Einbauraumes und für die Nichtbeschädigung der Lager durch eine eventuelle starke Annäherung beider Körper.

**Kriterium Nr. 5 — Zweck :** Minimierung der Beschleunigung an der Sitzbank oder an einem anderen sensiblen Zusatzsystem

Für die Erhöhung des Fahrkomforts bzw. die Minimierung der auftretenden Beschleunigung auf den Körper 4 gilt folgender mathematischer Ausdruck als Kriterium

$$\psi_5 = \int_0^T \left( \begin{matrix} \dots \\ s_4 \end{matrix} \right)^2 dt$$

Da aufgrund der Vielzahl der definierten Kriterien eine Mehrkriterienoptimierung vorliegt und programmtechnisch ein skalarer Kriterienwert wünschenswert ist, wurde in der späteren Optimierungsrechnung die Methode der gewichteten Kriterien angewandt, um aus dem Vektorkriterium ein skalares Ersatzkriterium zu machen.

### 5.3 Definition der einzuhaltenden Restriktionen

Die geltenden Nebenbedingungen sind in dieser Problemstellung rein geometrischer Natur und haben ausschließlich die Form einer Gleichungsnebenbedingung.

$$\text{Nebenbedingung Nr. 1 : } \quad \text{dol} + \text{dor} = j$$

$$\text{Nebenbedingung Nr. 2 : } \quad \text{dul} + \text{dur} = j$$

$$\text{Nebenbedingung Nr. 3 : } \quad b - \text{dol} = a - \text{dul}$$

Mit diesen Nebenbedingungen wird das Ziel verfolgt, dass der Zwischenrahmen und das Aggregat bezüglich ihrer äußeren Geometrie, sowie die Feder-Dämpfer-Pakete jeweils übereinander liegen. Als weitere, hier jedoch nicht niedergeschriebene Nebenbedingungen könnten die oberen und unteren Schranken für die Entwurfsvariablen genannt werden.

### 5.4 Angaben für das Optimierungsprogramm in „MATLAB“

#### Veränderliche Parameter

a	=	p(1)	m	Position des Aggregat-Schwerpunktes
b	=	p(2)	m	Position des Zwischenrahmen-Schwerpunktes
dol	=	p(3)	m	Abstand von SP-Körper 2 zu Feder-col
dor	=	p(4)	m	Abstand von SP-Körper 2 zu Feder-cor
dul	=	p(5)	m	Abstand von SP-Körper 3 zu Feder-cul
dur	=	p(6)	m	Abstand von SP-Körper 3 zu Feder-cur
col	=	p(7)	N/m	Federsteifigkeit ( oben / links )
cor	=	p(8)	N/m	Federsteifigkeit ( oben / rechts )
cul	=	p(9)	N/m	Federsteifigkeit ( unten / links )
cur	=	p(10)	N/m	Federsteifigkeit ( unten / rechts )
kol	=	p(11)	N*s/m	Dämpfungskonstante ( oben / links )
kor	=	p(12)	N*s/m	Dämpfungskonstante ( oben / rechts )
kul	=	p(13)	N*s/m	Dämpfungskonstante ( unten / links )
kur	=	p(14)	N*s/m	Dämpfungskonstante ( unten / rechts )

#### Initialisierung der Entwurfsvariablen als Vektoren

Vektor der Entwurfsvariablen

$$\mathbf{p} = [ a \ b \ \text{dol} \ \text{dor} \ \text{dul} \ \text{dur} \ \text{col} \ \text{cor} \ \text{cul} \ \text{cur} \ \text{kol} \ \text{kor} \ \text{kul} \ \text{kur} ]^T$$

$$\text{Vektor der Startwerte} \quad \mathbf{p_0} = [ \dots ]^T$$

$$\text{Vektor der unteren Schranken} \quad \mathbf{p_u} = [ \dots ]^T$$

$$\text{Vektor der oberen Schranken} \quad \mathbf{p_o} = [ \dots ]^T$$

#### Nicht veränderliche Parameter

m1	=	10000	kg	Masse des Wagenkastens
m2	=	100	kg	Masse des Zwischenrahmens
m3	=	1000	kg	Masse des Aggregates
m4	=	10	kg	Masse einer Sitzbank
Jz1	=	2.5e5	kg*m <sup>2</sup>	Massenträgheitsmoment des Wagenkastens
Jz2	=	50	kg*m <sup>2</sup>	Massenträgheitsmoment des Zwischenrahmens
Jz3	=	500	kg*m <sup>2</sup>	Massenträgheitsmoment des Aggregates

cs	=	1.0e4	N/m	Federsteifigkeit der Sitzbank
cdg	=	1.0e5	N/m	Federsteifigkeit des Drehgestells
ks	=	1000	N*s/m	Dämpfungskonstante der Sitzbank
kdg	=	1000	N*s/m	Dämpfungskonstante des Drehgestells
l	=	14.0	m	Länge des Wagenkastens
e	=	2.0	m	Abstand von SP-Masse1 zu Feder-cs
j	=	3.0	m	Länge des Zwischenrahmens
Ferr	=	1000	N	Krafterregung am Aggregat
Merr	=	0	N*m	Momentenerregung am Aggregat

### Komponenten der Bewegungsdifferentialgleichung des MKS

Die Generierung der Bewegungsgleichungen erfolgte mittels „Dynaflex“ bzw. „Maple“. Die Linearisierung der Gleichungen führt auf die folgenden Systemmatrizen **M**, **K** und **C** sowie den Erregervektor **F** :

Massenmatrix **M** [7x7]

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} m1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & ;... \\ 0 & Jz1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & ;... \\ 0 & 0 & m2 & 0 & 0 & 0 & 0 & ;... \\ 0 & 0 & 0 & Jz2 & 0 & 0 & 0 & ;... \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m3 & 0 & 0 & ;... \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Jz3 & 0 & ;... \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m4 & ] \end{bmatrix}$$

Dämpfungsmatrix **K** [7x7]

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} k11 & k12 & k13 & k14 & 0 & 0 & k17 & ;... \\ k21 & k22 & k23 & k24 & 0 & 0 & k27 & ;... \\ k31 & k32 & k33 & k34 & k35 & k36 & 0 & ;... \\ k41 & k42 & k43 & k44 & k45 & k46 & 0 & ;... \\ 0 & 0 & k53 & k54 & k55 & k56 & 0 & ;... \\ 0 & 0 & k63 & k64 & k65 & k66 & 0 & ;... \\ k71 & k72 & 0 & 0 & 0 & 0 & k77 & ] \end{bmatrix}$$

Steifigkeitsmatrix **C** [7x7]

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} c11 & c12 & c13 & c14 & 0 & 0 & c17 & ;... \\ c21 & c22 & c23 & c24 & 0 & 0 & c27 & ;... \\ c31 & c32 & c33 & c34 & c35 & c36 & 0 & ;... \\ c41 & c42 & c43 & c44 & c45 & c46 & 0 & ;... \\ 0 & 0 & c53 & c54 & c55 & c56 & 0 & ;... \\ 0 & 0 & c63 & c64 & c65 & c66 & 0 & ;... \\ c71 & c72 & 0 & 0 & 0 & 0 & c77 & ] \end{bmatrix}$$

mit z.B.

$$c22 = cs * e^2 + cdg * l^2 / 2 + col * dol * ( dol - b + l / 2 ) + cor * dor * ( b - l / 2 + dor )$$

Vektor der Anregung **F** [7x1]

$$\mathbf{F} = [ 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; Ferr ; Merr ; 0 ]^T$$

Die Anfangsbedingungen bezüglich der Auslenkungen und Geschwindigkeiten wurden wie folgt festgelegt :

$$\mathbf{s}_0 = [0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0]^T$$

$$\dot{\mathbf{s}}_0 = [0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0]^T$$

## 5.5 Durchführung der Systemoptimierung

Die Systemanregung erfolgte hierbei über eine sprungförmige Kraftanregung am Körper 3 mit  $F_{err} = 1000$  N zum Zeitpunkt  $t = 1.0$  s. Die folgenden Ergebnisse gelten für den Fall der alleinigen Optimierung bzgl. der Beschleunigung des Körpers 4.

### Informationen über die Optimierungsrechnung :

Gütefunktionswert am Ende der Optimierung	=	0.1015
Anzahl der durchgeführten Iterationen	=	20
Anzahl der Funktionswertberechnungen	=	326
Zuletzt durchgeführte Schrittweite	=	1.0
Verwendete Optimierungsalgorithmen	=	SQP, Quasi-Newton-Verfahren, Liniensuchverfahren

### Lösung der Optimierung bzw. Entwurfsvariablen nach der letzten Iteration :

p(1)	=	4.00	( 7.0 )	m
p(2)	=	4.71	( 7.0 )	m
p(3)	=	1.21	( 1.5 )	m
p(4)	=	1.79	( 1.5 )	m
p(5)	=	0.50	( 1.5 )	m
p(6)	=	2.50	( 1.5 )	m
p(7)	=	15000	( 15000 )	N/m
p(8)	=	15000	( 15000 )	N/m
p(9)	=	15000	( 15000 )	N/m
p(10)	=	15000	( 15000 )	N/m
p(11)	=	500.23	( 500 )	N*s/m
p(12)	=	500.24	( 500 )	N*s/m
p(13)	=	500.24	( 500 )	N*s/m
p(14)	=	500.11	( 500 )	N*s/m

( Die Zahlenwerte in Klammern entsprechen den gewählten Anfangswerten )

Verlauf des Kriterienwertes in Abhängigkeit der Iterationen :

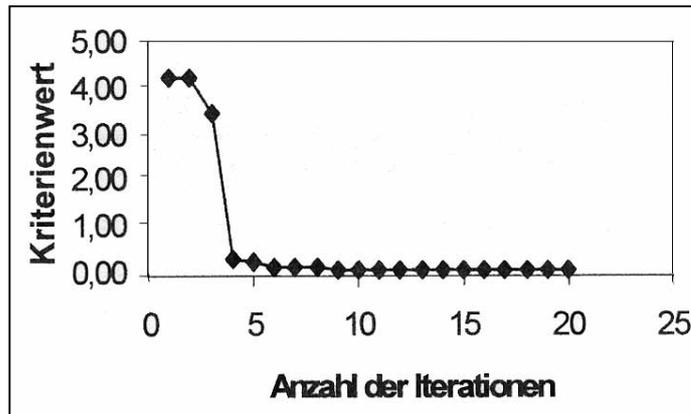


Abbildung 5 : Kriterienwert als Funktion der Iterationen

## 5.6 Ergebnisdiskussion

Aus der beispielhaften Optimierungsrechnung und den daraus resultierenden Ergebnissen im Vergleich zum Ausgangszustand lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

In dem dargestellten Optimierungsvorgang, in dem lediglich die Beschleunigung auf den Körper 4 berücksichtigt wurde, ist eine deutliche Reduzierung der Beschleunigungsspitzen erkennbar. Im Falle der Krafterregung wurde eine Verringerung der maximalen Beschleunigung von 83 % und im Falle der Momentenerregung ( wurde hier nicht dargestellt ) von 56 % erreicht. Allerdings muss dabei beachtet werden, dass bei einer ausschließlichen Betrachtung der Beschleunigung, die Weg- und Winkeldifferenzen völlig außer Acht gelassen werden, was anhand der idealen Beharrungswerte für die Wege und Winkel bei der durchgeführten Optimierung auch besonders gut zu sehen war.

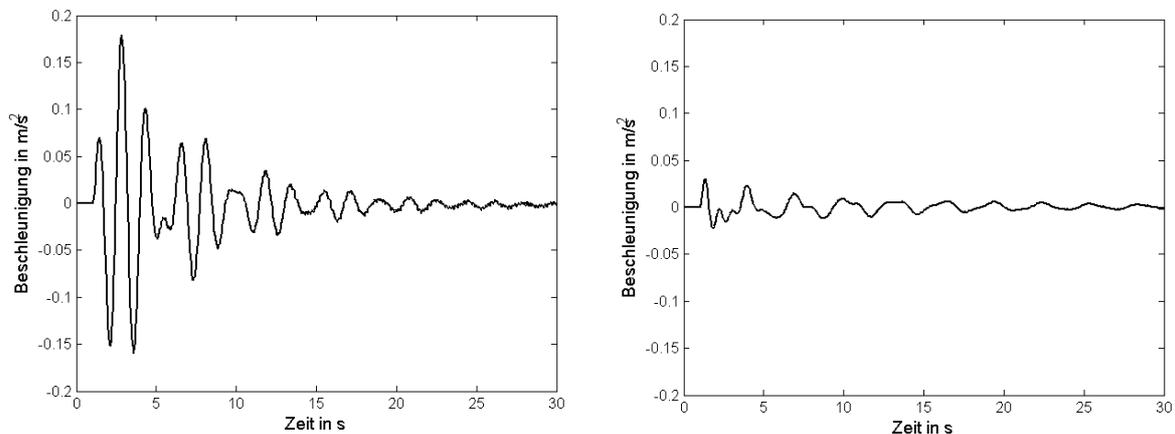


Abbildung 6 : Beschleunigung des Körpers 4 bei Krafterregung  
links : vor der Optimierung, rechts : nach der Optimierung

In weiteren, hier nicht explizit ausgeführten Optimierungsrechnungen — in denen, unabhängig davon ob Kraft- oder Momentenanregung, zum einen nur die Weg- und Winkeldifferenzen und zum anderen alle Kriterien gleich bewertet wurden — ist kaum eine Veränderung der Entwurfsvariablen und damit auch der zeitlichen Verläufe der Untersuchungsergebnisse erkennbar. Dies bedeutet, dass bei einem stärker gewichteten Kriterium des Einfederweges und -winkels, bei diesem Mehrkörpersystem die symmetrische An-

ordnung des Zwischenrahmens und des Aggregates im Bezug auf den Wagenkasten die besten Ergebnisse liefert.

Da das hier verwendete Optimierungsprogramm lediglich für die Suche nach dem lokalen Minimum geeignet ist und ebenso schwer ersichtlich ist, ob ein konvexer, nicht konvexer oder gar ein disjunkter Parameterraum vorliegt, macht es Sinn, nicht immer im selben Punkt des hier 14-dimensionalen Parameterraums mit der Suche zu beginnen. Daraufhin wurden in nachfolgenden Optimierungen unterschiedliche Startpunkte gewählt. Es wurden für die Federsteifigkeiten und Dämpfungskonstanten zum einen die oberen Schranken und zum anderen die unteren Schranken für die Startwerte herangezogen, während die anderen Entwurfsvariablen nicht verändert wurden.

Anhand der später ermittelten zeitlichen Verläufe ist der Konflikt zwischen der Reduktion der Beschleunigung und der Reduktion der Weg- und Winkeldifferenz eindeutig zu erkennen:

- Kleinste Wegdifferenz bei **c maximal** und **k maximal**
- Höchste Beschleunigung bei **c maximal** und **k minimal**
- Kleinste Beschleunigung bei **c minimal** und **k maximal**

Der Fall der kleinsten Winkeldifferenz ist hier nicht eindeutig zuweisbar. Hier muss man abwägen, welche Einflüsse die wohl störendsten sind.

## 6. Literaturverzeichnis

**BAIER, H. / SEEBELBERG, C. / SPECHT, B.:**

Optimierung in der Strukturmechanik, Vieweg-Verlag,  
Braunschweig Wiesbaden, 1994

**BESTLE, D.:**

Analyse und Optimierung von Mehrkörpersystemen, Springer-Verlag,  
Berlin Heidelberg, 1994

**BESTLE, D.:**

Optimization of a Contact Surface - Optimierung mit Matlab/Simulink,  
Lehrstuhl für Maschinendynamik, Technische Universität Cottbus, 2002

**McPHEE, J. / SHI, P.:**

DynaFlex User's Guide - Versions 5 and 6,  
Systems Design Engineering, University of Waterloo, Canada, 2002

**MEISINGER, R.:**

Fahrzeugsimulation - Vorlesungsskript,  
Fachbereich Maschinenbau und Versorgungstechnik,  
Fachhochschule Nürnberg, 2002

**THEIS, W.:**

Maschinendynamik - Vorlesungsskript,  
Fachbereich Maschinenbau und Versorgungstechnik,  
Fachhochschule Nürnberg, 2000

**TRETOW, H. J.:**

Schienenfahrzeuge - Vorlesungsskript,  
Fachbereich Maschinenbau und Versorgungstechnik,  
Fachhochschule Nürnberg, 2001