

Reißaus & Baumberg Maschinenbau GmbH

**Entwicklungsvorhaben mit der Bezeichnung Modifizierte Begasungshaube zur  
Einsparung von Energie für die Herstellung von Gießereikernen**

Abschlussbericht über das o.g. Entwicklungsprojekt  
mit dem AZ 31326-21/2  
für die Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Von  
Dipl.-Ing. Helge Hänsel  
Höxter, Juli 2014

**Projektkennblatt**  
der  
**Deutschen Bundesstiftung Umwelt**



<b>Az. 31326 – 21/2</b>	Referat <b>21/2</b>	Fördersumme	<b>120.000 €</b>
<b>Antragstitel</b> Modifizierte Begasungshaube zur Einsparung von Energie für die Herstellung von Gießereikernen			
<b>Stichworte</b> Neue Begasungstechnologie für die Herstellung von Gießerei Kernen			
<b>Laufzeit</b>	<b>Projektbeginn</b>	<b>Projektende</b>	<b>Projektphase(n)</b>
<b>1 Jahr</b>	<b>01.07.2013</b>	<b>01.07.2014</b>	<b>1</b>
<b>Zwischenberichte:</b> alle 6 Monate Kurzbericht			
<b>Bewilligungsempfänger</b>	Firma Reißaus & Baumberg Maschinenbau GmbH Zum Monarchenhügel 23 04523 Pegau Werben	<b>Tel</b>	(034296)71190
		<b>Fax</b>	(034296)71192
		<b>Projektleitung</b> Herr Hänsel	
		<b>Bearbeiter</b> Herr Hänsel	
<b>Kooperationspartner</b>	Ingenieurbüro Hänsel Helge Hänsel Im Hohem Felde 33 37671 Hörter Handy: 0170-5505033 E-Mail: helge.haensel@t-online.de		
<b>Zielsetzung und Anlass des Vorhabens</b>			
<p>Das Projekt stellt eine Entwicklung zur Umsetzung von Energieeinsparung in einem Teilprozess der Gießereiindustrie vor. Es handelt sich um den energieintensiven Begasungsprozess in der Kernherstellung. Für die Kernherstellung werden Bindemittel eingesetzt, die zur Aushärtung ein gasförmiges Medium benötigen. Die Aufbereitung des gasförmigen Mediums mittels Temperatur durch leistungsstarke Heizelemente (Verdampfer) wird außerhalb der Kernschießeinrichtung realisiert. Von der thermischen Aufbereitung des gasförmigen Mediums außerhalb der Kernschießeinheit bis zur Begasungshaube in der Kernschießeinheit sind in der Regel lange Versorgungsleitungen im Einsatz. Diese Versorgungswege verursachen erhebliche Energieverluste. Zusätzlich entstehen Energieverluste durch eine strömungsgünstige Geometrie innerhalb der Begasungshaube. Um die Energieverluste zu vermeiden, wurde dieses Projekt gestartet mit dem Ziel eine neue Begasungshaube zu entwickeln. Das beinhaltet die Integration von Heizelementen und einer strömungsgünstigen Gestaltung in der Begasungshaube. Damit wird die erzeugte Energie ohne nennenswerte Verluste für die Aufheizung des gasförmigen Mediums genutzt. Das Gesamtkonzept dieser Entwicklung beinhaltet zusätzlich die Entwicklung einer einfachen Dosierung von Katalysatoren.</p>			
<b>Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden</b>			
<p>In der Vorgehensweise wird zunächst die Luftmenge bestimmt, um die benötigte Heizleistung zur Erwärmung des gasförmigen Mediums für die maximale Temperaturanforderung zu berechnen. Dazu wird eine Versuchseinrichtung zur Erfassung der Luftmenge in Abhängigkeit zur Temperatur und Druckbeaufschlagung des gasförmigen Mediums erstellt. Die Dimensionierung der Begasungshaube ist vorgegeben. Dadurch ist es möglich die benötigte maximale Heizleistung durch verschiedene Bauweisen von Heizelementen in der modifizierten Begasungshaube umzusetzen. Dazu wurden verschiedene Konzepte in der Umsetzung und Anordnung der unterschiedlichen Heizelemente in der modifizierten Begasungshaube entwickelt. Der Aufbau der modifizierten Begasungshaube ist modular und hat verschiedene Funktionen. Insgesamt wird bei der Konstruktion der modifizierten Begasungshaube eine strömungsgünstige Gestaltung umgesetzt. Diese strömungsgünstige Gestaltung wird bestimmt durch die Simulation des Strömungsprozesses innerhalb der Begasungshaube. In der finalen Umsetzung des Konzeptes wurden sog. Rippenrohrheizkörper eingesetzt.</p>			
Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190			

### **Ergebnisse und Diskussion**

Die erzielten Ergebnisse konnten in vollen Umfang mit den gesetzten Zielen erreicht werden. Die Energieeinsparungen und Kostenreduzierungen wurden mit einem Gesamtkonzept erreicht, das wie folgt zu beschreiben ist.

1. Einsatz konventioneller handelsüblicher Heizelemente in der modifizierten Begasungshaube,
2. Modularer Aufbau der modifizierten Begasungshaube,
3. Strömungsgünstige Gestaltung im Innenaufbau der modifizierten Begasungshaube,
4. Einfache Dosiertechnik für das tertiäre Amin.

Dieses Gesamtkonzept wurde in Form eines Prototyps umgesetzt. Mit dem Prototyp konnten im Versuchsstadium folgende Ergebnisse erreicht werden.

- A. Die verbaute Heizleistung im Prototyp entspricht 5 KW. Die Heizleistung des vergleichbaren konventionellen Begasungsgerätes entspricht 8 KW. (**38 % Elektrische Leistungsreduzierung**).
- B. Im Begasungsprozess wurde bei einer Temperaturvorgabe von 90°C eine Heizleistung abgerufen von 3,5 KW (**56 % Energieeinsparungen**).
- C. Verwendung handelsüblicher Heizelemente zur thermischen Aufbereitung des Trägergases in der modifizierten Begasungshaube (**Kostenreduzierung gegenüber den bisher eingesetzten Heizelemente in der konventionellen Begasung ca. 50 %**).
- D. Reduzierung der Gesamtinvestition im Bereich der Begasung (**Kostenreduzierung ca. 42 %**).
- E. Steigerung der Produktivität durch verkürzte Begasungszeiten in der Kernherstellung (**Produktivitätssteigerung um 7%**).

Durch den modularen Aufbau der modifizierten Begasungshaube ist es möglich mit konventionellen Heizelementen (Rippenrohrheizkörper) das explosionsfähige tertiäre Amin zur beschleunigten Aushärtung für das Cold-Box-Verfahren einzusetzen. Durch den einfachen Aufbau der modifizierten Begasungshaube ist es möglich für den Einsatz höherer Begasungstemperaturen (Aushärtung anorganischer Bindemittel) leistungsstärkere Rippenrohrheizkörper, bei gleicher Baumaßdimensionierung, einzusetzen. Durch die zusätzliche Entwicklung der modifizierten Begasungshaube im Außendesign ist es möglich eine Nachrüstung für bestehende Kernschießeinheiten vorzunehmen.

Durch den Rippenaufbau der Rippenrohrheizkörper konnte rechnerisch nachgewiesen werden, dass eine diffuse Strömung entsteht, die für den Wärmeübergang von großer Bedeutung ist. Zusätzlich wurden verschiedene wichtige Kenngrößen für den Wärmeübergang, z.B. der Wärmeübergangskoeffizient, berechnet. Durch die berechneten Kenngrößen wurden Optimierungen vorgenommen, die den Wärmeübergang zwischen Heizkörperoberfläche und strömendem Medium um 24 % verbessert haben. Ein zusätzlich positiver Effekt ist die strömungsgünstige Gestaltung der eingesetzten Heizkörper. Der Heizkörper besteht aus mehreren parallel angeordneten Heizsträngen die an den Enden eine kreisförmige Anbindung aufweisen. Dadurch wird eine strömungsgünstige Umlenkung des strömenden Mediums realisiert. Insgesamt konnte durch die Verwendung der Rippenrohrheizkörper eine gestreckte Heizlänge von 5655 mm in der modifizierten Begasungshaube realisiert werden. Im Bereich der Dosierung des tertiärenamins für die beschleunigte Aushärtung des Cold-Box Verfahrens wurde eine Schwingkolben Saugpumpe in der modifizierten Begasungshaube eingesetzt. Die Pumpe stellt eine kostengünstige Alternative dar zu den bisher eingesetzten Dosiersystemen. Anzumerken ist, dass die Pumpe bisher ausschließlich im Versuchsstadium getestet wurde.

### **Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation**

Mit dem Hintergrund, dass die bisherigen guten Ergebnisse im Versuchsstadium erzielt worden sind, sollen die Ergebnisse bestätigt werden durch den Einbau der modifizierten Begasungshaube in eine Serien-Kernschießmaschine (Teilprojekt II). Es ist geplant, vorausgesetzt die guten Ergebnisse bestätigen sich, dass die Serien-Kernschießmaschine mit der modifizierten Begasungshaube auf der Internationalen Gießereifachmesse in Düsseldorf 2015 präsentiert wird. Darüber hinaus soll ein Fachartikel über die erzielten Ergebnisse in der Fachzeitschrift Giesserei vorgestellt werden.

### **Fazit**

Die Umsetzung des Konzeptes der modifizierten Begasungshaube in einem Prototyp fällt außerordentlich positiv aus. Die erzielten Ergebnisse mit dem Prototyp bestätigen diese Aussage. Hervorzuheben sind die Ergebnisse der Energieeinsparungen gegenüber der konventionellen Technik. Aufgrund der Entwicklung der modifizierten Begasungshaube für den Einsatz in Kernschießmaschinen mittlerer Größe ( $\leq 15 \text{ L}$ ), ist es notwendig den Prototyp in eine Serien Kernschießmaschine einzusetzen und zu prüfen. Darüber hinaus ist es notwendig, dass Konzept der modifizierten Begasungshaube in große Serien-Kernschießmaschinen zu testen, um auch in diesem Bereich Energieeinsparungen zu erreichen.

## Inhalt

- I. Verzeichnis von Bildern und Tabellen
- II. Verzeichnis von Begriffen und Definition
- III. Zusammenfassung
- IV. Einleitung
  - 4.1 Ausgangssituation
  - 4.2 Zielsetzung
  - 4.3 Aufgabenstellung
- V. Hauptteil
  - 5.1 Bestandaufnahme des konventionellen Begasungsprozesses hinsichtlich der Druckluftmenge/Zeiteinheit in Abhängigkeit zum Begasungsdruck
  - 5.2 Berechnung der theoretischen Heizleistung
  - 5.3 Maßliche Dimensionierung der modifizierten Begasungshaube in der Kernschießeinheit
  - 5.4 Untersuchung des Einsatzes explosionsfähiger Stoffe (tertiäres Amin) für die Anwendung in der modifizierten Begasungshaube
  - 5.5 Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse für den Begasungsprozess mit der modifizierten Begasungshaube
  - 5.6 Konzeptauswahl der Heizelemente in der modifizierten Begasungshaube
  - 5.7 Umsetzung des Konzeptes Heizelemente in die modifizierte Begasungshaube
  - 5.8 Versuchsdurchführung mit dem Prototyp der modifizierten Begasungshaube
    - 5.8.1 Versuchsaufbau
    - 5.8.2 Versuchsdurchführung
    - 5.8.3 Versuchsergebnisse (Begasungstemperatur bis 100°C, Organischer Bereich)
    - 5.8.4 Versuchsergebnisse (Begasungstemperatur bis 180°C, Anorganischer Bereich)
  - 5.9 Simulation durch die Berechnung verschiedener Ähnlichkeitskenngrößen zur Optimierung des Wärmeüberganges
  - 5.10 Umsetzung einer einfachen Dosiertechnik und Zuführung des Katalysators

5.11 Vergleich der Investitionskosten der modifizierten Begasungshaube zur konventionellen Begasungstechnologie

5.12 Reduzierung der Begasungszykluszeit zur Verbesserung der Produktivität

VI. Fazit

## I. Verzeichnis von Bildern und Tabellen

Bild 4.1.1	Aufbau der konventionellen Begasung, Seite 16
Bild 4.1.2	Aufbau der modifizierten Begasung, Seite 17
Bild 5.1.1	Lüber Begasungsgerät, Seite 20
Bild 5.1.2	Ansaugkrümmer Kern, Seite 20
Tabelle 5.1.3	Versuchsreihe zur Bestimmung der Durchflussmenge/Zeiteinheit, Seite 21
Tabelle 5.1.4	Überblick der Versuchsergebnisse zu den Versuchsreihen, Seite 22
Tabelle 5.2.1	Berechnung der Leistung in Abhängigkeit zur Durchflussmenge/Zeiteinheit und Begasungsdruck, Seite 23
Bild 5.2.2	Graphische Darstellung der theoretischen Heizleistung in Abhängigkeit zur Durchflussmenge/Zeiteinheit und Begasungsdruck, Seite 23
Bild 5.3.1	Begasungseinrichtung für eine Kernschießeinrichtung, Seite 24
Bild 5.3.2	Schießkopf mit konventioneller Begasungshaube, Seite 25
Bild 5.4.1	Grundlegendes Konzept zum Aufbau der modifizierten Begasungshaube, Seite 26
Tabelle 5.4.2	Zahlenwerk aus der Versuchsreihe zur Berechnung der Katalysatorkonzentration, Seite 28
Tabelle 5.4.3	Berechnung der Katalysatorkonzentration bei einer Durchflussmenge Luft von 295 l/min, Seite 28
Tabelle 5.4.4	Konzentration des Katalysators DMEA in Abhängigkeit zum Spüldruck, Seite 29
Bild 5.4.5	Graphische Darstellung der Konzentration DMEA zur Durchflussmenge, Seite 29
Bild 5.5.1	Modifizierte Begasungshaube mit Sicherheitsvorkehrungen, Seite 30
Tabelle 5.6.1	Rahmenbedingungen der Heizelemente, Seite 32
Tabelle 5.6.2	Gesamtansicht Heizelemente, Seite 33
Bild 5.7.1	Rippenrohrheizelement, Seite 34
Bild 5.7.2	Grundkonzept Integration Heizelemente, Seite 35

Bild 5.7.3	Konstruktionszeichnung Hauptmodul, Seite 36
Bild 5.7.4	Konstruktionszeichnung Deckel Hauptmodul, Seite 37
Bild 5.7.5	Konstruktionszeichnung Modul A, Seite 38
Bild 5.7.6	Prototyp Hauptmodul mit Rippenrohrheizelement, Seite 38
Bild 5.7.7	Prototyp Deckel Hauptmodul, Seite 38
Bild 5.7.8	Prototyp Modul A, Seite 39
Bild 5.7.9	Prototyp Modifizierte Begasungshaube, Seite 39
Bild 5.8.1.1	Versuchsanordnung, Seite 40
Bild 5.8.1.2	Temperatur Erfassungspunkte, Seite 40
Bild 5.8.1.3	Temperatur Erfassungspunkte Oberfläche Hauptmodul, Seite 41
Bild 5.8.1.4	Temperatur Erfassungspunkte Th7 Modul A, Seite 41
Tabelle 5.8.2.1	Eingestellte Durchflussmengen, Seite 42
Bild 5.8.2.2	Panel Siemens, Seite 43
Tabelle 5.8.3.1	Temperaturerfassung für die Durchflussmenge 1750 l/min, Seite 45
Bild 5.8.3.2	Temperaturverlauf 1750 l/min, Seite 45
Bild 5.8.3.3	Temperaturverläufe in Abhängigkeit zu der Durchflussmenge, Seite 46
Bild 5.8.3.4	Darstellung der Heizphasen, Seite 47
Bild 5.8.3.5	Darstellung der Heizphasen in Abhängigkeit zur gewählten Grundtemperatur, Seite 47
Bild 5.8.3.6	Vergleich der Temperaturverläufe mit unterschiedlichen Grundeinstellungen, Seite 48
Bild 5.8.3.7	Vergleich der Aktivphase und Passivphase bei unterschiedlicher Varianten Begasung, Seite 50
Tabelle 5.8.4.1	Übersicht der Temperaturverläufe mit der Vorgabetemperatur Th3/Th4 180°C, Seite 50
Tabelle 5.8.4.2	Übersicht der Temperaturverläufe mit einer Leistung von 8 KW, Seite 51
Tabelle 5.9.1	Tabelle zur Berechnung des Wärmeübergangskoeffizienten, Seite 53
Tabelle 5.9.2	Maßnahmen zur Intensivierung des Wärmetransportes, Seite 53
Bild 5.9.3	Rippenrohrheizkörper, Seite 53

Bild 5.9.4	Querschnitt Strömungskanal und Querschnitt Heizelement, Seite 54
Tabelle 5.9.5	Zusammenhang zwischen Strömungsgeschwindigkeit und Volumenfluss, Seite 54
Tabelle 5.9.6	Darstellung der Temperaturerfassungspunkte zu Heizlängen, Seite 55
Bild 5.9.7	Verlauf des Wärmeübergangskoeffizienten mit einem Volumenfluss von 250 l/min, Seite 56
Bild 5.9.8	Verlauf des Wärmeübergangskoeffizienten mit einem Volumenfluss von 1750 l/min, Seite 56
Bild 5.9.9	Vergleich des Verlaufes des Wärmeübergangskoeffizienten bei unterschiedlicher Strömungsgeschwindigkeit und Volumenfluss, Seite 57
Bild 5.9.10	Einfluss der Fließgeschwindigkeit auf den Wärmeübergangskoeffizienten, Seite 57
Bild 5.9.11	Vergleich der Verläufe des Wärmeübergangskoeffizienten bei gleichen Volumenfluss und Strömungsgeschwindigkeit und unterschiedlichen Begasungsdruck, Seite 58
Bild 5.9.12	Hauptmodul mit Umlenkung des gefrästen Strömungskanals, Seite 58
Tabelle 5.9.13	Berechnung der Re-Zahl zur Berechnung des Wärmeübergangskoeffizienten, Seite 59
Bild 5.10.1	Schwingkolben-Saugpumpe, Seite 60
Bild 5.10.2	Bohrung Modul A, Seite 61
Bild 5.10.3	Anschlussleitung Katalysator, Seite 61
Bild 5.10.4	Stichbohrung Hauptstromkanal, Seite 61
Tabelle 5.11.1	Gegenüberstellung der Investitionskosten, Seite 63
Bild 5.12.1	Kalkulation Kern mit der Bez. Wolf, Seite 64
Tabelle 5.12.2	Vergleich der Begasungszeiten, Seite 64

## II. Verzeichnis von Begriffen und Definitionen

### 1. Formstoffaufbereitung

In der Formstoffaufbereitung wird der Formgrundstoff und das Formstoffbindemittel homogen in einem Mischaggregat zum Formstoff gemischt.

### 2. Formstoff

Der Formstoff ist eine Mischung aus Formgrundstoff, Formstoffbindemittel und evtl. Zusatzstoffen und dient zur Herstellung von Formsteinen

### 3. Kern (Forminnenteile)

Kerne sind Formteile, die in Formenaußenteile zur Bildung von Hohlräumen in Gussteil eingesetzt werden.

### 4. Formgrundstoff

Der Formgrundstoff ist Sand, der als Füllstoff den Hauptbestandteil des Formstoffes bildet.

### 5. Formstoffbindemittel

Formstoffbindemittel sind Stoffe organischer oder anorganischer Natur. Durch das Mischen mit dem Formgrundstoff entsteht der Formstoff. Hauptaufgabe des Formstoffbindemittels ist es, dem Formteil die erforderliche Festigkeit zu verleihen.

### 6. Kernschießeinrichtung

Die Kernschießeinrichtung ist eine Maschine, die zur Herstellung von Kernen eingesetzt wird. Der Prozess der Kernherstellung mittels einer Kernschießeinrichtung ist automatisiert. Der Formstoff wird über einen sog. Schießzylinder mittels Druckluft in das Kernwerkzeug geschossen und ausgehärtet.

### 7. Begasungshaube

Die Begasungshaube ist Teil einer Kernschießeinrichtung. Nach dem Kernschießprozess wird die Begasungshaube über das Kernwerkzeug druckdicht positioniert und der Begasungsprozess beginnt. Die Funktion der Begasungshaube ist die gezielte druckdichte Überführung des Trägergases in das Kernwerkzeug.

## 8. Trägergas

Das Trägergas ist in den meisten Fällen getrocknete Druckluft oder ein inertes Gas. Das Trägergas wird eingesetzt um das dosierte tertiäre Amin in das Kernwerkzeug bzw. dem permeablen Formstoff zur beschleunigten Aushärtung zu zuführen.

## 9. Cold-Box Verfahren

Das Cold-Box Verfahren ist ein organisches Bindersystem. Zunächst werden die Hauptkomponenten (Benzyletherharz und Isocyanant) homogen zu einem Formstoff gemischt. Anschließend wird ein gasförmiger Katalysator mittels Trägergas diesem permeablen Formstoff zur beschleunigten Aushärtung zu geführt.

## 10. Tertiäres Amin (Katalysator)

Das tertiäre Amin wird eingesetzt für die beschleunigte Aushärtung der Cold-Box Komponenten (Bindemittelsystem). Das tertiäre Amin ist zu charakterisieren durch einen geringen Dampfdruck. Durch die thermisch aufbereitete Druckluft wird das tertiäre Amin von den flüssigen Aggregatzustand in den gasförmigen Aggregatzustand überführt. Durch die Zuführung des gasförmigen Katalysators über die Druckluft werden die Binderkomponenten im permeablen Formstoff beschleunigt ausgehärtet.

## 11. Gasförmiges Medium

Als gasförmiges Medium wird das Trägergas oder technisch getrocknete heiße Luft bezeichnet.

## 12. Modifizierte Begasungshaube

Die modifizierte Begasungshaube ist dadurch zu charakterisieren, dass verschiedene Modifizierungen wie bspw. die Integration von Heizelemente in der Begasungshaube vorhanden sind.

## 13. Ex-Schutz

Der Explosionsschutz (Ex-Schutz) ist ein Teilgebiet der Technik, das sich mit dem Schutz vor der Entstehung von Explosionen und deren Auswirkungen beschäftigt. Grundlage hierzu sind gesetzliche Bestimmungen, wie zum Beispiel die ATEX-Richtlinien der Europäischen Union oder national Electrical Code (NEC) in den USA.

#### 14. ATEX-Richtlinien

Die Bezeichnung ATEX leitet sich aus der französischen Abkürzung für **ATmosphère EXplosibles** ab. Die Direktive umfasst aktuell zwei Richtlinien auf dem Gebiet des Explosionsschutzes, nämlich die ATEX- Produktrichtlinie 94/9/EG und die ATEX-Betriebsrichtlinie 1999/92/EG.

#### 15. ATEX-Produktrichtlinie 94/9/EG

ist die sogenannte ATEX-Richtlinie (11. Verordnung zum Geräte- und Produktsicherheitsgesetz) regelt Beschaffenheitsanforderungen von Geräten, Schutzsystemen und elektrischen Betriebsmitteln, die in explosionsgefährdeten Bereichen eingesetzt werden und über eine eigene potentielle Zündquelle verfügen

#### 16. ATEX Betriebsrichtlinie 1999/92/EG

legt Mindestvorschriften fest, die zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der in explosionsgefährdeten Umgebungen arbeitenden Arbeitnehmer beitragen soll.

#### 17. Explosionsgrenze

Brennbare Gase und Dämpfe sowie brennbare Stäube können mit einem Oxidationsmittel wie z.B. Luftsauerstoff so reagieren, dass sich nach erfolgter Zündung eine Reaktion selbstständig fortpflanzt, d.h. es kommt zur Explosion. Eine Explosion ist mit einer Temperatur – und Druckerhöhung verbunden. Der Explosionsbereich ist begrenzt durch eine untere (UEG) und eine obere (OEG) Explosionsgrenze.

#### 18. Untere Explosionsgrenze (UEG)

Die untere Explosionsgrenze ist die niedrigste Konzentration, bei der eine Entzündung und eine selbstständige Flammenausbreitung beobachtet wird.

#### 19. Obere Explosionsgrenze (OEG)

Die obere Explosionsgrenze ist die höchste Konzentration, bei der gerade noch eine Entzündung und eine selbstständige Flammenausbreitung beobachtet wird.

#### 20. Zoneneinteilung

Explosionsgefährdete Bereiche werden nach Häufigkeit und Dauer des Auftretens von explosionsfähiger Atmosphäre in Zonen unterteilt. Aus dieser Einteilung ergibt sich der Umfang der zu ergreifenden Maßnahmen.

## 21. Zone 0

Bereich in dem explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist.

## 22. Oberflächenbelastung Heizelemente

Der wichtigste Kennwert für die Dimensionierung von Heizelementen ist die Oberflächenbelastung oder flächenbezogene Leistung. Sie ist ein Maß für die Beanspruchung und Lebensdauer eines Heizelementes. Gerade bei Hochleistungsheizelementen hat die Oberflächenbelastung eine zentrale Bedeutung.

## 23. Gesamte Oberfläche Heizelement

Dieser Kennwert beschreibt die gesamte aktiv beheizte Oberfläche eines Heizelementes.

## 24. Wärmeübergang

Als Wärmeübergang bezeichnet man die Wärmeübertragung zwischen Phasengrenzen, beispielsweise zwischen einer fluiden und einer festen Phase. Man geht von der Modellvorstellung aus, dass sich an der Wand ein laminar fließender Film (Grenzschicht) ausbildet, im angrenzenden Turbulenzgebiet dagegen eine gute Durchmischung stattfindet.

## 25. Wärmeübertragung

Wärmeübertragung ist die Übertragung von Energie in Form eines Wärmestromes. Eine Form der Wärmeübertragung ist die Konvektion.

## 26. Konvektion

Betrachtet man die Grenzfläche zwischen einem festen Körper und einem sich bewegendem Fluid, wird bei einem Temperaturunterschied Wärme durch Konvektion übertragen.

## 27. Reynolds-Zahl zur Berechnung des Wärmeübergangskoeffizienten

$Re = \hat{u} \cdot \rho \cdot l \cdot \eta^{-1}$  stellt das Verhältnis von Trägheitskraft zur inneren Reibungskraft in strömenden Flüssigkeiten und Gasen über eine konstruktive Länge  $l$  dar. Sie ist abhängig von der mittleren Strömungsgeschwindigkeit  $\hat{u}$ , der Fluidichte  $\rho$  und der Viskosität  $\eta$ . So ist bei turbulenter Strömung der Wärmeübergang deutlich besser als bei laminarer Strömung. Der Umschlag laminar/turbulent tritt bei einem  $Re$ -Wert von ca. 2315 ein.

## 28. Nusselt-Zahl zur Berechnung des Wärmübergangskoeffizienten

$Nu = \alpha \cdot l \cdot \lambda^{-1}$  dient der Berechnung des Wärmeübergangskoeffizienten  $\alpha$ . Nu stellt das Verhältnis zwischen dem Wärmeübergangskoeffizienten  $\alpha$  und Wärmeleitfähigkeitskoeffizient  $\lambda$  über die konstruktive Länge  $l$  dar. Die dimensionslose Nusselt-Kennzahl wiederum ist eine Funktion von dimensionslosen Kennzahlen, die Strömungs- und Wärmetransportvorgänge kennzeichnen.

## 29. Prandtl Zahl

$Pr = \nu \cdot \alpha^{-1}$  vereinigt die reinen Stoffwerte des Fluids. Sie wird in der Regel als Quotient aus kinematischer Viskosität  $\nu$  und Temperaturleitkoeffizient  $\alpha$  berechnet. Pr ist also ein reiner Stoffwert.

## 30. Wärmeleitfähigkeitskoeffizient

Der Wärmeübergangskoeffizient  $\alpha$  kennzeichnet die Wärmemenge, die je Flächen- und Zeiteinheit bei 1 K Temperaturdifferenz zwischen Wand und Fluid übergeht.  $\alpha$  ist kein reiner Stoffwert (wie die Wärmeleitfähigkeit, Dichte oder Viskosität), er ist abhängig von den Stoffeigenschaften des Fluids, der Rauigkeit der Wand, dem Temperaturfeld und den Strömungsverhältnissen in Wand nähe.

## 31. Strömungsgeschwindigkeit

Die Strömungsgeschwindigkeit, ist die Geschwindigkeit in einer Strömung, einer gerichteten Bewegung von Teilchen oder kontinuierlichen Körpern (Fluiden).

## 32. Volumenstrom

Ein Volumenstrom ist das Volumen eines Mediums, welches sich in einer Zeiteinheit durch einen Querschnitt bewegt.

## 33. Wärmeleitfähigkeitskoeffizient $\lambda$ .

Der Wärmeleitübergangskoeffizient beschreibt die Wärmeleitfähigkeit der Wand und ist ein stoffspezifischer Wert.

### III. Zusammenfassung

Das Projekt mit der Bezeichnung Modifizierte Begasungshaube beschreibt die Entwicklung eines Prototyps zur Begasung von Gießereikernen. Die Hauptziele dieses Projektes waren die Energieeffizienz des konventionellen Begasungsprozesses in Form von Energieeinsparungen zu verbessern und eine Kostenreduzierung gegenüber dem konventionellen Begasungsprozesses zu erreichen. Um diese Ziele erreichen zu können, wurde das grundsätzliche Konzept der thermischen Aufbereitung des Trägergases für die Kernfertigung in der Begasungshaube (Modifizierte Begasungshaube) entwickelt. Das Trägergas wird auf kürzesten Weg thermisch aufgeladen. Durch diese Vorgehensweise werden die erheblichen Energieverluste der konventionellen Aufbereitung des Trägergases kompensiert und verbessert. Die erzielten Energieeinsparungen und Kostenreduzierungen wurden erreicht mit einem Gesamtkonzept das wie folgt zu beschreiben ist.

1. Einsatz konventioneller handelsüblicher Heizelemente in der modifizierten Begasungshaube,
2. Modularer Aufbau der modifizierten Begasungshaube,
3. Strömungsgünstige Gestaltung im Innenaufbau der modifizierten Begasungshaube,
4. Einfache Dosiertechnik für das tertiäre Amin.

Dieses Gesamtkonzept wurde in Form eines Prototyps in Kooperation mit der Firma REIßAUS & BAUMBERG MASCHINENBAU GMBH umgesetzt. Mit dem Prototyp konnten im Versuchsstadium folgende Ergebnisse erreicht werden.

- Die verbaute Heizleistung im Prototyp entspricht 5 KW. Die Heizleistung des vergleichbaren konventionellen Begasungsgerätes entspricht 8 KW.  
(Aushärtung organisch gebundener Kerne = Cold-Box Verfahren)  
**(38 % Elektrische Leistungsreduzierung).**
- Im Begasungsprozess wurde bei einer Temperaturvorgabe von 90°C (Cold-Box Begasungstemperatur) eine Heizleistung abgerufen von 3,5 KW.  
**(56 % Energieeinsparungen).**

- Verwendung handelsüblicher Heizelemente zur thermischen Aufbereitung in der modifizierten Begasungshaube gegenüber der bisher eingesetzten Technik von Heizelementen (**Kostenreduzierung ca. 50 %**).
- Geringere Gesamtinvestition Kosten für den Bereich Begasung. (**Kostenreduzierung ca. 42%**).
- Steigerung der Produktivität dargestellt mit einem Kernbeispiel der Bezeichnung Wolf (**Steigerung der Produktivität um 7%**).

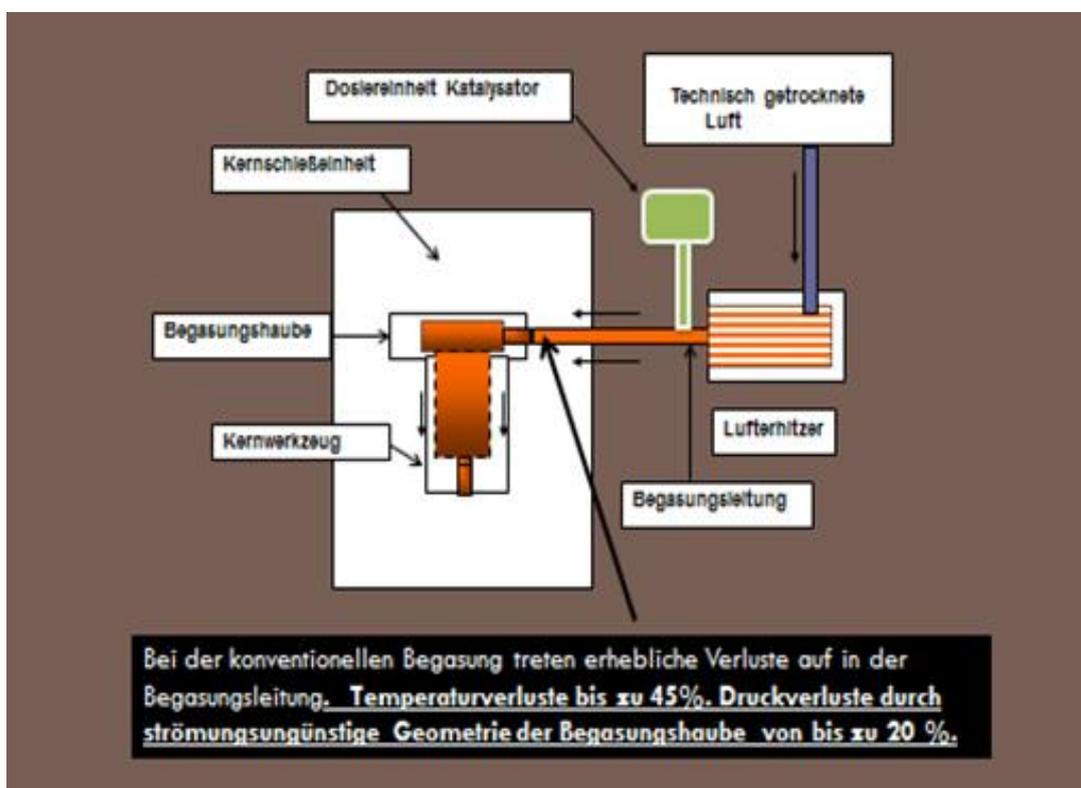
## IV. Einleitung

In der Gießereiindustrie hat die Energieeinsparung aufgrund der stetig steigenden Energiekosten einen immer bedeutenderen Stellenwert bekommen. Der Gießereibetrieb ist geprägt durch energieintensive Prozesse. Diese Prozesse müssen kritisch betrachtet werden und in einem Gesamtenergiekonzept für den Gießereibetrieb verarbeitet werden. Dazu ist es notwendig, den Energiebedarf für die Teilprozesse zu bestimmen und mit den tatsächlichen Energiebedarf zu vergleichen, um daraus für den Teilprozess Energieeinsparungskonzepte zu entwickeln. Diese Einsparungen können durch neue Technologien und/oder Modifizierungen von schon eingesetzter Technologie realisiert werden. Der vorliegende Abschlussbericht stellt das Konzept der modifizierten Begasungshaube zur Umsetzung von Energieeinsparung in einem Teilprozess der Kernfertigung vor. Es handelt sich um den energieintensiven Begasungsprozess in der Kernherstellung. Als Grundlage für das Entwicklungskonzept der modifizierten Begasungshaube wurde der konventionelle Begasungsprozess analysiert.

### 4.1 Ausgangssituation

Nach der Formstoffaufbereitung wird der permeable Formstoff mittels der Kernschießeinrichtung in das Werkzeug überführt. Danach beginnt der Begasungsprozess. Die Begasungshaube wird druckdicht über das Werkzeug aufgesetzt, anschließend fließt das gasförmige Medium über die Begasungshaube in das Werkzeug, um den permeablen Formstoff auszuhärten. Nach dem Aushärteprozess wird die Begasungshaube von dem Werkzeug entfernt. Der

Begasungsprozess ist damit abgeschlossen. Das eingesetzte gasförmige Medium ist abhängig von dem eingesetzten Bindemittel. Für die Anwendung anorganischer Bindemittel wird technisch getrocknete Luft eingesetzt. Das am häufigsten eingesetzte organische Bindemittel verwendet zur Aushärtung ein Trägergas mit Katalysator (Tertiäres Amin). Grundsätzlich muss das gasförmige Medium auf ein Temperaturniveau gehoben werden, das sich nach dem jeweiligen eingesetzten Bindemittel richtet. Die Aufbereitung des gasförmigen Mediums mittels Temperatur durch leistungsstarke Heizelemente (Verdampfer) wird außerhalb der Kernschießeinrichtung realisiert. Bild 4.1.1 zeigt schematisch den Aufbau der konventionellen Begasung.

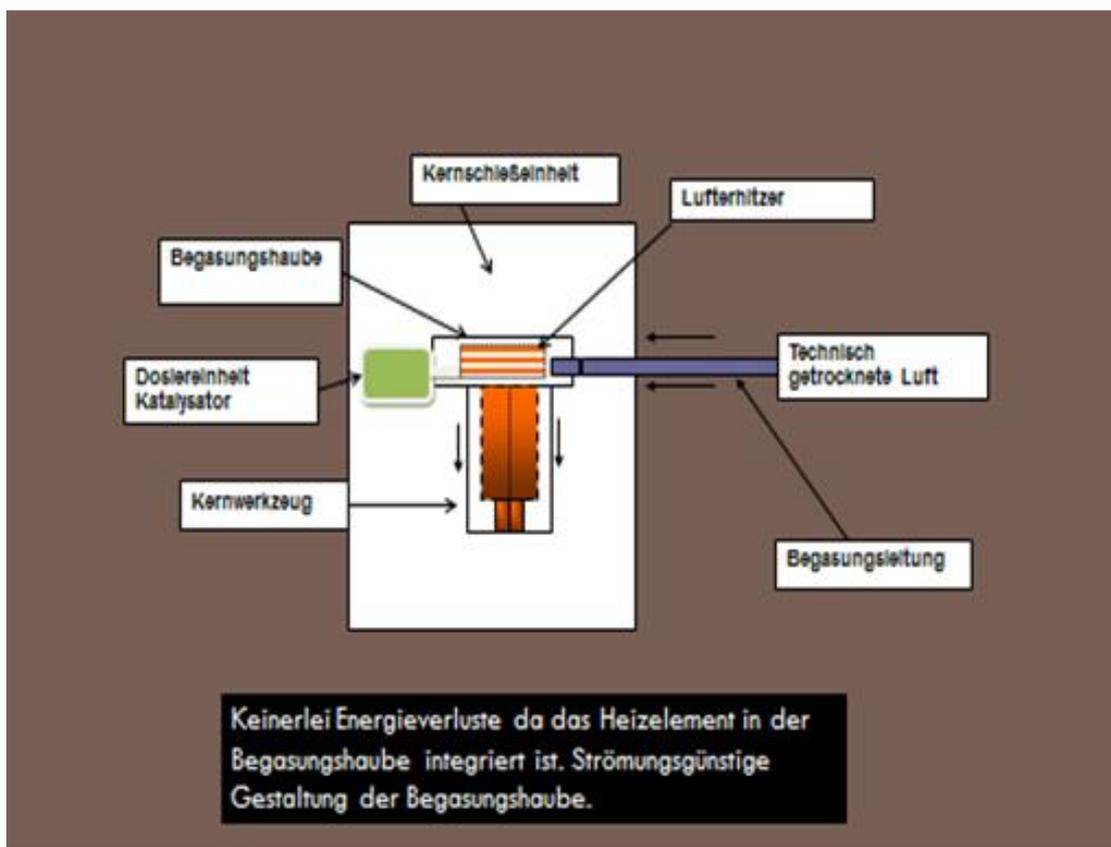


Aufbau der konventionellen Begasung

Bild 4.1.1

Von der thermischen Aufbereitung des gasförmigen Mediums außerhalb der Kernschießeinheit bis zur Begasungshaube in der Kernschießeinheit sind in der Regel lange Versorgungsleitungen im Einsatz. **Diese Versorgungswege verursachen erhebliche Energieverluste.** In der Praxis ist festzustellen, dass durch diese Vorgehensweise bis zu 45 % der eingesetzten Energie verloren gehen. Diese Verluste werden kompensiert, indem die Versorgungsleitungen zusätzlich geheizt werden. Darüber hinaus wird mit einem Überschuss des geforderten

Temperaturniveaus gearbeitet. Ein weiterer Faktor sind Energieverluste von bis zu 20 %, hervorgerufen durch eine strömungsungünstige Geometrie innerhalb der Begasungshaube. Die konventionelle Begasungshaube hat bisher nur die Funktion kontrolliert das gasförmige Medium dem Formstoff zuzuführen. In der Regel ist dabei die Gestaltung der Begasungshaube primitiv. Um die wesentlichen Energieverluste zu vermeiden, wurde dieses Konzept für eine neue Generation modifizierter Begasungshauben entwickelt. Es beinhaltet die Integration von Heizelementen und einer strömungsgünstigen Gestaltung in der Begasungshaube. Zusätzlich soll mit diesem Konzept das kostenintensive tertiäre Amin für die katalytische Aushärtung reduziert werden. Aufgrund der kompakten Bauweise der modifizierten Begasungshaube und der konzeptionellen Vorgehensweise zur Dosierung des Amins sind kurze Weg der Dosierung des Amins gegeben. Damit soll erreicht werden, dass Kondensationserscheinungen des Amins innerhalb der Zuleitung ausgeschlossen werden. Im Bild 4.1.2 ist das Konzept der modifizierten Begasungshaube schematisch dargestellt.



Aufbau der modifizierten Begasung

Bild 4.1.2

Die modifizierte Begasungshaube ist so konzipiert, dass nahezu keine Energieverluste auftreten.

## **4.2. Zielsetzung**

- 4.2.1 Zielsetzung ist die Einsparung von Energie für den Begasungsprozess zur Aushärtung der Kerne durch die Integration von Heizelementen in die Begasungshaube (*Energieeinsparung*).
- 4.2.2 Zielsetzung ist die Reduzierung der Begasungszykluszeiten zur Verbesserung der Produktivität. (*Verbesserung der Wirtschaftlichkeit*).
- 4.2.3 Zielsetzung ist eine Reduzierung der Investitionskosten für den Begasungsprozess innerhalb der Gesamtinvestition der Kernschießmaschine. (*Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit*).
- 4.2.4 Zielsetzung ist die Begasung von anorganischen- wie auch organisch gebundenen Kernen. (*Multifunktionaler Einsatz für alle gashärtenden Verfahren*).
- 4.2.5 Zielsetzung ist die einfache Dosierung und Zuführung eines Katalysators unter sicherheitstechnischen Aspekten für den Einsatz explosionsfähiger Gemische (*Kostenreduzierung*).
- 4.2.6 Zielsetzung ist die Gestaltung der modifizierten Begasungshaube für den Einsatz in neue Kernschießmaschinen und zur Nachrüstung für schon vorhandene Kernschießmaschinen (*Nachrüstung*).

## **4.3 Aufgabenstellung**

Dazu wurden zunächst die Rahmenbedingungen des konventionellen Begasungsprozesses zur Herstellung von Kernen für die Gussteilfertigung erfasst. Das beinhaltet die Mengen Druckluft zu erfassen die unter bestimmten Begasungsdrücken für die Kernherstellung verbraucht werden. Diese Verbrauchswerte wurden mit einer Versuchsanordnung unter realen Bedingungen in einer Gießerei ermittelt.

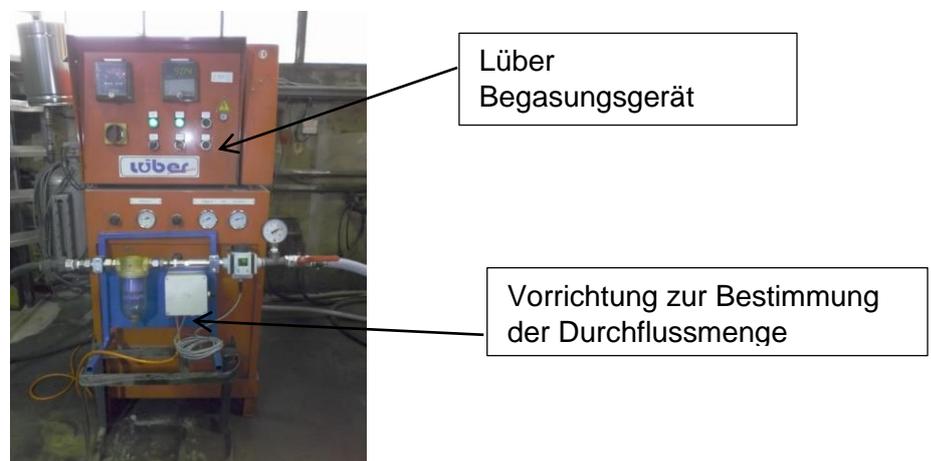
Mit diesen Verbrauchswerten und einer Temperaturvorgabe des Trägergases von 90°C (Cold-Box Fertigung) wurde die theoretische Heizleistung berechnet. Mit dieser theoretischen Heizleistung und der räumlichen Vorgabe der Dimensionierung der modifizierten Begasungshaube in die Kernschießmaschine waren die Rahmenbedingungen für die Konzipierung der modifizierten Begasungshaube zum Teil gegeben. Aufgrund der Anwendung von tertiären Aminen für die Kernherstellung nach dem Cold-Box Verfahren war es notwendig die Rahmenbedingungen für die Anwendung sog. explosionsfähiger Gemische zu erarbeiten. Tertiäre Amine und das Trägergas können unter bestimmten Bedingungen ein explosionsfähiges Gemisch bilden. Sind diese Prämissen gegeben, müssen sog. ATEX-Richtlinien angewendet werden. Diese ATEX-Richtlinien erfordern ein hohes Maß an Sicherheitsanforderungen an verbauten Geräten und stellen somit einen hohen Kostenanteil dar. Daher wurde im Aufbau der modifizierten Begasungshaube ein Konzept entwickelt (Modulare Bauweise), dass die Anwendung der ATEX-Richtlinien vermeidet. Mit den erfassten Rahmenbedingungen wurden verschiedene Konzepte von konventionellen Heizelementen unter bestimmten Kriterien geprüft. Diese Kriterien beinhalten bspw. die erforderliche errechnete Heizleistung zu erreichen, einen hohen Wärmeübergangskoeffizienten aufzuweisen und eine strömungsgünstige und kompakte Bauweise des Heizelementes darzustellen. Darüber hinaus musste ein einfaches Konzept entwickelt werden, um das tertiäre Amin dem thermisch aufbereiteten Trägergas zu zuführen.

## **V. Hauptteil**

Es ist an dieser Stelle anzumerken, dass die einzelnen Projektabschnitte im Hauptteil umfangreich bearbeitet wurden. Aufgrund der Vorgaben über den Gesamtumfang des Hauptteils, stellen die nachfolgenden Projektabschnitte eine kurze Zusammenfassung dar. In dem Hauptteil wird die systematische Vorgehensweise der einzelnen Projektabschnitte dokumentiert.

## 5.1 Bestandsaufnahme des konventionellen Begasungsprozesses hinsichtlich der Druckluftmenge/Zeiteinheit in Abhängigkeit zum Begasungsdruck

Im Rahmen des Projektes mit der Bezeichnung Modifizierte Begasungshaube wurde festgelegt, dass die Durchflussmenge Luft/Zeiteinheit bestimmt werden soll. Die ermittelten Werte sind erforderlich um die Heizleistung der Heizelemente, die in der modifizierten Begasungshaube verbaut werden sollen, zu ermitteln. Zur Ermittlung der Durchflussmengen in Abhängigkeit zum Begasungsdruck wurde eine Vorrichtung eingesetzt, die die Durchflussmenge (l/min) ermittelt. Dazu wurde die Vorrichtung zwischen dem Druckluftanschluss und dem konventionellen Begasungsgerät (Lüber) eingebaut (Bild 5.1.1).



Lüber Begasungsgerät

Bild 5.1.1

### Versuch:

Die Kernherstellung wurde mit einer handelsüblichen Kernschießeinheit von der Firma REIßAUS & BAUMBERG MASCHINENBAU GMBH (12 l) in der Gießerei RACKWITZ durchgeführt.

Für die Kernherstellung wurde der Kern Ansaugkrümmer (Bild 5.1.2) produziert.



Ansaugkrümmer Kern

Bild 5.1.2

Für die Kernherstellung wurde ein klassierter Quarzsand mit der Bez. H32 eingesetzt. Als Binderkomponenten für das Cold-Box Verfahren wird ECOCURE 10 EP (Teil 1) und ECOCURE 20 EP (Teil 2) verwendet. Als Katalysator wird der Katalysator 702 eingesetzt. Auf 25 Kg Quarzsand werden jeweils 0,4 Gew. %/ Binderkomponente dosiert. Die Leistung des Lufterhitzers (Lüber Begasungsgerät) beträgt 8 KW. Die Versuchsergebnisse sind in der Tabelle 5.1.3 einzusehen.

Versuchsreihe zur Bestimmung der Durchflussmenge/Zeiteinheit

Versuchsreihe zur Bestimmung der Durchflussmenge/Zeiteinheit			
Datum	05.09.2013	Kernschießeinheit Bez.	12l
		Durchflussmengen-zähler	Festo
Spüldruck (bar)	Durchflussmenge (l/s)	Kernbezeichnung	Ansaugkrümmer
0,8	295	Kerngewicht/kg	1,79-1,95
1	370	Arbeitsdruck 1	bar 0
2	1390	Arbeitsdruck 2	bar 0,8-3,0
3	3033	Begasungszeit	s 5
		Spülzeit	s 40
Druckluftanschluß Nenndurchmesser	1 Zoll		
<b>Bemerkungen zum Versuchsaufbau</b>			
Druckluftanschluss	Heizgerät	Begasungshaube	Kern
<b>Bemerkung</b>			
Es war festzustellen, dass der Arbeitsdruck 1 nicht den Herstellungsparameter von 0,2 - 0,4 bar entsprach, da der Durchflussmengen-zähler keinen Durchfluss erkennen ließ. Erst nach Ablauf der Begasungszeit (5s) waren die verschiedenen Durchflussmengen in Abhängigkeit zum Spüldruck (Siehe Tabelle) ermittelbar.			

Tabelle 5.1.3

Die verschiedenen Spüldrücke von 0,8 – 3 bar wurden gewählt, um festzustellen ob eine Proportionalität zwischen den ermittelten Durchflussmengen und dem jeweiligen Spüldruck besteht. Die Versuchsergebnisse zeigen eindeutig, dass dieser Zusammenhang nicht besteht. Ebenfalls war in der Versuchsdurchführung festzustellen, dass durch die Erhöhung des Spüldruckes Ausspülungen am Kern festzustellen waren. Das bedeutet, dass der Arbeitsdruck 1 von 0,2 – 0,4 bar nicht aktiviert wurde und somit eine „Vorhärtung“ des Kerns nicht stattfindet. Daher muss davon ausgegangen werden, dass nur die Spülzeit (Arbeitsdruck 2) aktiviert ist und somit statt 45 s Gesamtzeit 40 s für die ermittelten Durchflussmengen gerechnet werden muss. Das bedeutet für die Spülzeit von 40 s und dem jeweiligen Spüldruck die nachfolgenden Durchflussmengen (Tabelle 5.1.4).

Überblick der Versuchsergebnisse zu den Versuchsreihen

Spülzeit (s)	Spüldruck (bar)	Durchflussmenge (l)
40	0,8	197
40	1	247
40	2	927
40	3	3033

Tabelle 5.1.4

## 5.2 Berechnung der theoretischen Heizleistung

Die Berechnung der theoretischen Heizleistung wird am Beispiel des Wertpaares aus der Versuchsreihe mit 3 bar Spüldruck und einer Durchflussmenge von 3033 l/min vorgestellt.

### Wärmemenge Berechnung und Leistungsberechnung

Grundlage der Berechnung: Wertepaar aus der Versuchsreihe die in der Gießerei RACHWITZ ermittelt wurden.

*Wertepaar: 3 bar Spüldruck, Durchflussmenge 3033 l/min*

#### 1. Umrechnung des Volumens (v)

$$3033\text{l/min} = 3,033\text{m}^3/\text{min} = 0,05\text{m}^3/\text{s} \quad \text{Spülzeit effektiv: 35s}$$

$$0,05\text{m}^3/\text{s} * 35\text{s} = 1,752\text{m}^3$$

$$V = 1,752\text{m}^3$$

*(Anmerkung: Von der Gesamtzeit von 40s wurde eine Spülzeit bzw. Durchflussmenge über 35s gemessen)*

#### 2. Berechnung der Masse (m)

$$m = V * \text{Dichte (Luft)}$$

$$\text{Dichte (Luft, 20°C)} = 3,577 \text{ Kg/m}^3$$

$$m = 1,752\text{m}^3 * 3,577 \text{ Kg/m}^3$$

$$m = 6,266 \text{ Kg}$$

#### 3. Wärmemenge = Q

$$Q = m * c_p * \text{Delta T}$$

$$c_p \text{ (Luft, 20°C)} = 1,0123 \text{ kJ/kg K}$$

$c_p$  = Wärmekapazität

$$\text{Delta T} = 70 \text{ K (20°C – 90°C)}$$

$$Q = 6,266 \text{ kg} * 1,0123 \text{ kJ/kg K} * 70 \text{ K}$$

$$Q = 444,02 \text{ kJ}$$

#### 4. Leistung = Energieumsatz (Wärmemenge)/Zeit

$$444,02 \text{ kJ} / 35\text{s} = 12 \text{ KW}$$

Nachfolgend die Berechnung der elektrischen Leistung für alle Wertepaare aus der Versuchsreihe und die graphische Darstellung.

*Konstant: Spülzeit 35s*

Berechnung der Leistung in Abhängigkeit zur Durchflussmenge/Zeiteinheit und Begasungsdruck

Druck (bar)	Durchflussmenge (l/min)	Leistung (KW)
3	3033	12,81
2	1390	5,87
1	370	1,56
0,8	295	1,25

Tabelle 5.2.1

Nachfolgend ist die graphische Darstellung dieser Berechnungen vorgestellt.

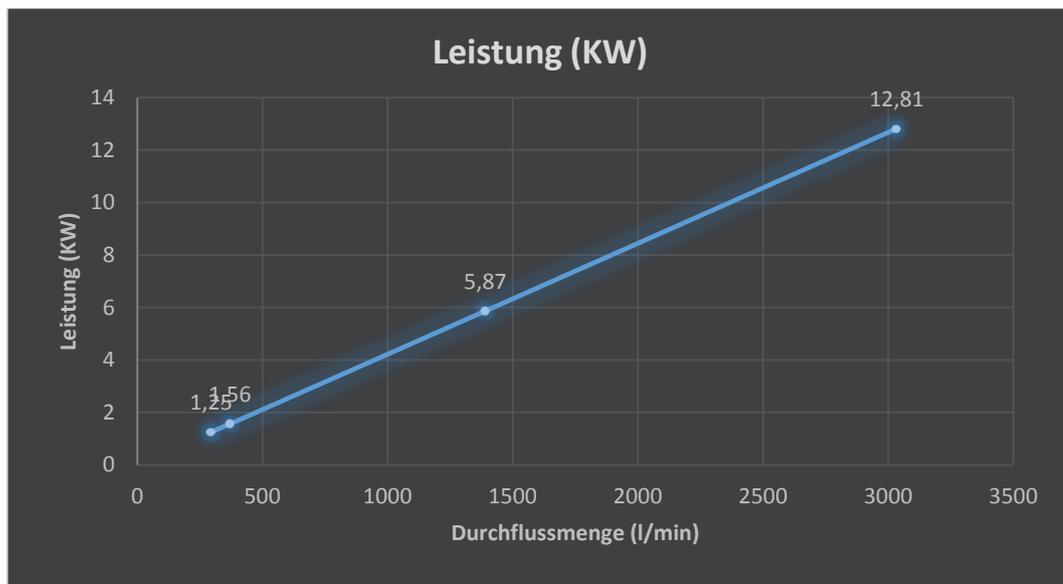


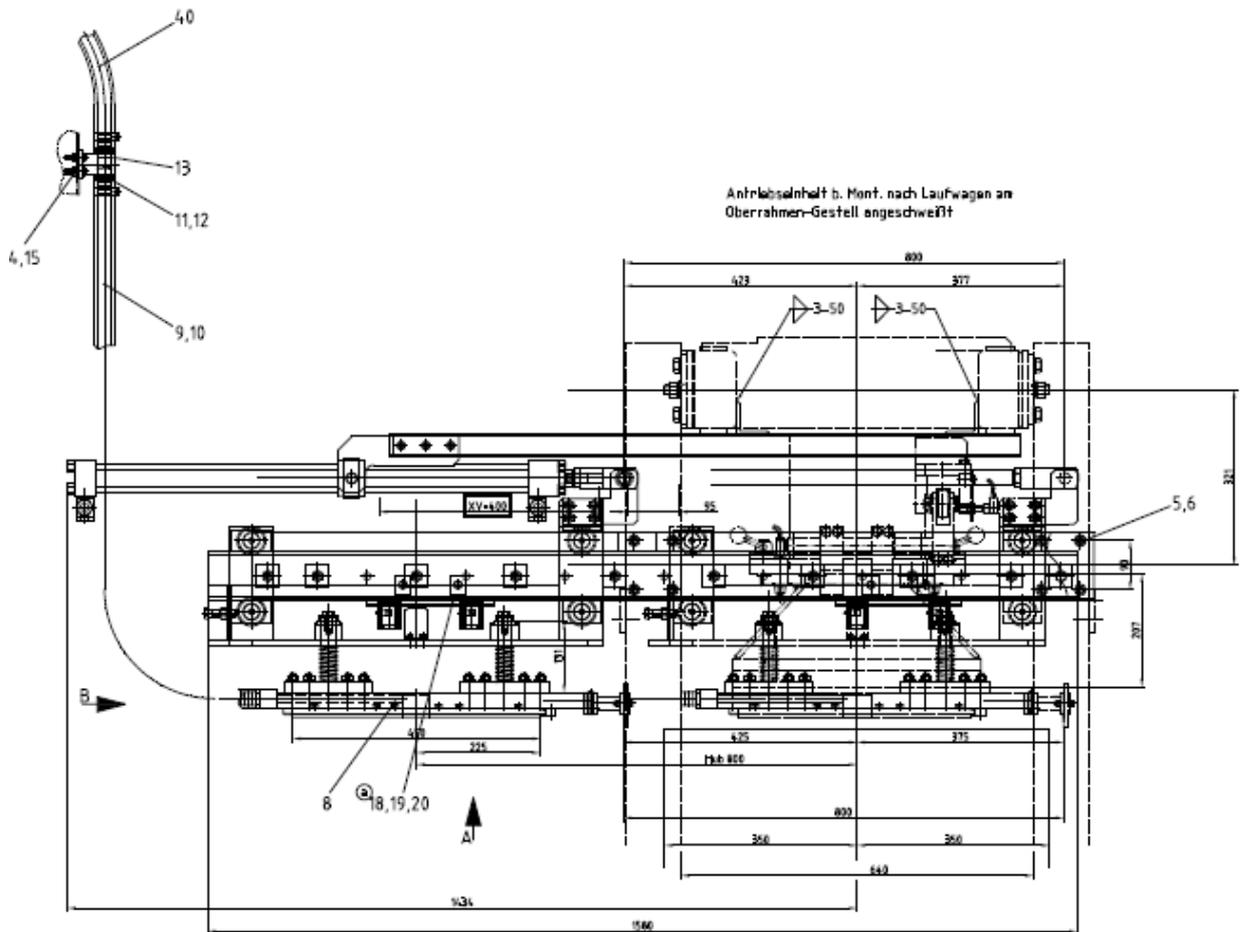
Bild 5.2.2

Graphische Darstellung der Leistung in Abhängigkeit zur Durchflussmenge/Zeiteinheit und Begasungsdruck

### 5.3 Maßliche Dimensionierung der modifizierten Begasungshaube in der Kernschießeinheit

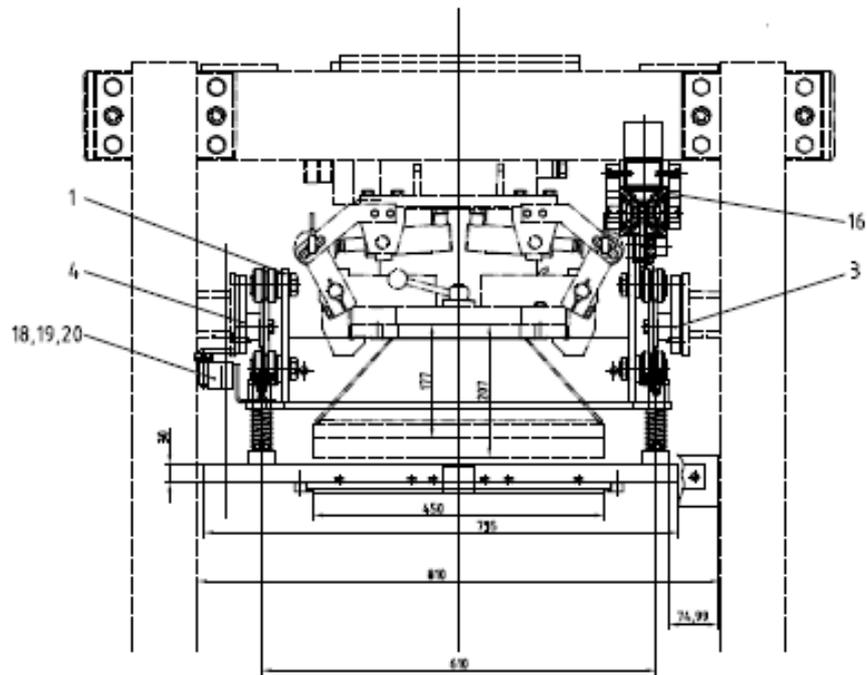
Als Grundlage wurde eine Kernschießeinheit von dem Kooperationspartner REIßAUS & BAUMBERG MASCHINENBAU GMBH mit einem Schießvolumen von 15 l gewählt. Die maßliche Dimensionierung der modifizierten Begasungshaube

beinhaltet zusätzlich die Berücksichtigung der Aufnahmepunkte für die Installation der modifizierten Begasungshaube in der Kernschießmaschine. Diese Vorgehensweise wurde gewählt, um eine Nachrüstung der modifizierten Begasungshaube in bestehenden Kernschießmaschinen zu ermöglichen. Nachfolgend sind die relevanten Bauteile mit den Bildern 5.3.1 und 5.3.2 dargestellt.



Begasungseinrichtung für eine Kernschießeinrichtung

Bild 5.3.1



Schießkopf mit konventioneller Begasungshaube

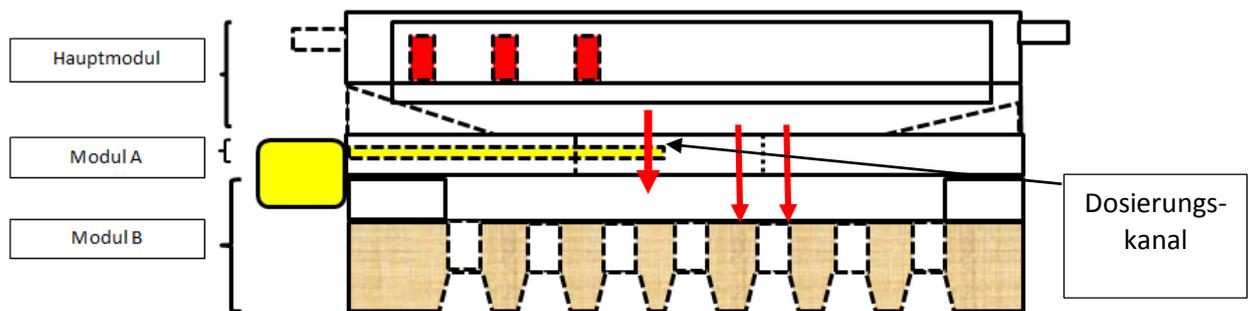
Bild 5.3.2

Die Bemaßung der modifizierten Begasungshaube wurde mit dem maßlichen Hintergrund der Kernschießeinheit wie folgt gewählt. Die modifizierte Begasungshaube wurde mit einer Breite von 560 mm und einer Länge von 680 mm bemaßt. Die Höhe wurde mit maximal 90 mm angegeben. Diese maßliche Festlegung bestimmt die weitere Vorgehensweise wie der Aufbau der modifizierten Begasungshaube gestaltet wird und die konzeptionelle Auslegung der verwendeten Heizelemente.

#### **5.4. Untersuchung des Einsatzes explosionsfähiger Stoffe (tertiäres Amin) für die Anwendung in der modifizierten Begasungshaube**

In der Gießereiindustrie werden für die Herstellung von Gießereikernen organische wie auch anorganische Bindemittel eingesetzt. Der wichtigste Vertreter in der Anwendung organischer Bindemittel ist das sogenannte Cold-Box Verfahren. Dieses Verfahren verwendet zur beschleunigten Aushärtung einen Katalysator (Tertiäres Amin). Dieser Katalysator kann mit dem Trägergas ein explosionsfähiges Gemisch bilden. Aus diesem Grund ist es von erheblicher Bedeutung festzustellen, ob das

Konzept der modifizierten Begasungshaube (Integration der Heizelemente in der Begasungshaube) in der Anwendung des Katalysators mit dem Trägergas ein Gefahrenpotential aufweist, dass das gesamte System unter dem sogenannten ex-Schutz stellt. Da die Begasungshaube ein Bestandteil der Kernschießeinheit darstellt, ist der Hersteller nach der Richtlinie 2006/42 EG (Maschinenrichtlinie) verpflichtet eine Risikobeurteilung vorzunehmen. Weiterhin sind in diesem Kontext das Produktsicherheitsgesetz (ATEX 95) und die Betriebssicherheitsverordnung (ATEX 137) zu nennen. Die Risikobeurteilung wurde gemeinsam mit einem Vertreter der Firma DEKRA EXAM vorgenommen. Nach eingehender Analyse des Konzeptes der modifizierten Begasungshaube wurde die folgende Sichtweise vertreten. Diese Sichtweise soll an dem folgenden Bild 5.4.1 zum Aufbau der modifizierten Begasungshaube erklärt werden.



Grundlegendes Konzept zum Aufbau der modifizierten Begasungshaube Bild 5.4.1

### *Hauptmodul*

Das Hauptmodul lässt sich eindeutig dadurch kennzeichnen, dass in diesem Bereich ausschließlich aufbereitete Druckluft vorhanden ist, die auf die jeweilige Einsatztemperatur aufbereitet wird. In dem Hauptmodul sind die Heizelemente angeordnet. Die Luftmoleküle werden über die Oberflächentemperatur der Heizelemente aufgeheizt. In dem Hauptmodul befindet sich kein Katalysator und somit kein explosives Gemisch aus Druckluft und Katalysator. Das bedeutet, dass dieser Bereich keine Gefahrenzone nach ATEX Richtlinien darstellt.

## Modul A

Das Modul A stellt die Einheit zum Dosieren des Katalysators dar. Durch den Überdruck der aufbereiteten Luft mit Temperatur (90°C) fließt die Luft in Richtung Werkzeug, dargestellt durch den roten Pfeil im Bild 5.4.1. Durch die Fließrichtung des aufbereiteten Luftstroms mit Temperatur wird der Katalysator zum Werkzeug bzw. Formstoff transportiert. In dem sog. Dosierungskanal bildet sich somit ein Gemisch aus Katalysator und Luft mit der Konzentration  $x$ . In Abhängigkeit zu der Konzentration kann es sich um ein explosionsfähiges Gemisch handeln. Dazu wurden sogenannte Explosionsgrenzen eingeführt. Die Explosionsgrenzen werden unterschieden zwischen unterer Explosionsgrenze und oberer Explosionsgrenze. Wenn die Konzentration des brennbaren Stoffes in der Luft innerhalb der Explosionsgrenzen liegt, wird das Gemisch als explosionsfähige Atmosphäre bezeichnet. Einer der am häufigsten eingesetzten Katalysatoren für das Cold-Box Verfahren ist DMEA (Dimethylethylamin). Laut dem Sicherheitsdatenblatt für DMEA (Tertiäres Amin, Katalysator) sind die folgenden Angaben für die Untere- und Obere Explosionsgrenze relevant,

Untere Explosionsgrenze (UEG) = 0,9 Vol.%,

Obere Explosionsgrenze (OEG) = 11,2 Vol.%.

In diesem Kontext ist festzuhalten, wenn die Rahmenbedingungen für ein explosionsfähiges Gemisch (Katalysator/Luft) gegeben sind, d.h. die Konzentration des Luft/Katalysatorgemisches in dem Bereich zwischen UEG und OEG liegt, handelt es sich definitiv um die Zone 0 (ATEX Richtlinien). Es ist daher von größter Bedeutung festzustellen, ob die in der Praxis dosierte Menge Katalysator und die ermittelten Durchflussmengen Luft in Abhängigkeit zum Betriebsdruck (Begasungsdruck) innerhalb oder außerhalb der genannten Explosionsgrenzen liegen. Um dieser zentralen Frage nachzugehen, wurden auf der Grundlage der Versuchsergebnisse der Luftmengen in Abhängigkeit zum Begasungsdruck und der verwendeten Katalysatormenge für die Kernherstellung die jeweiligen Konzentrationen errechnet. Für die nachfolgende Berechnung ist in der Tabelle 5.4.2 die zu grundgelegten Zahlen zur Durchflussmenge mit dem jeweiligen Spüldruck bzw. Begasungsdruck und der Angabe der Kernparameter aufgeführt.



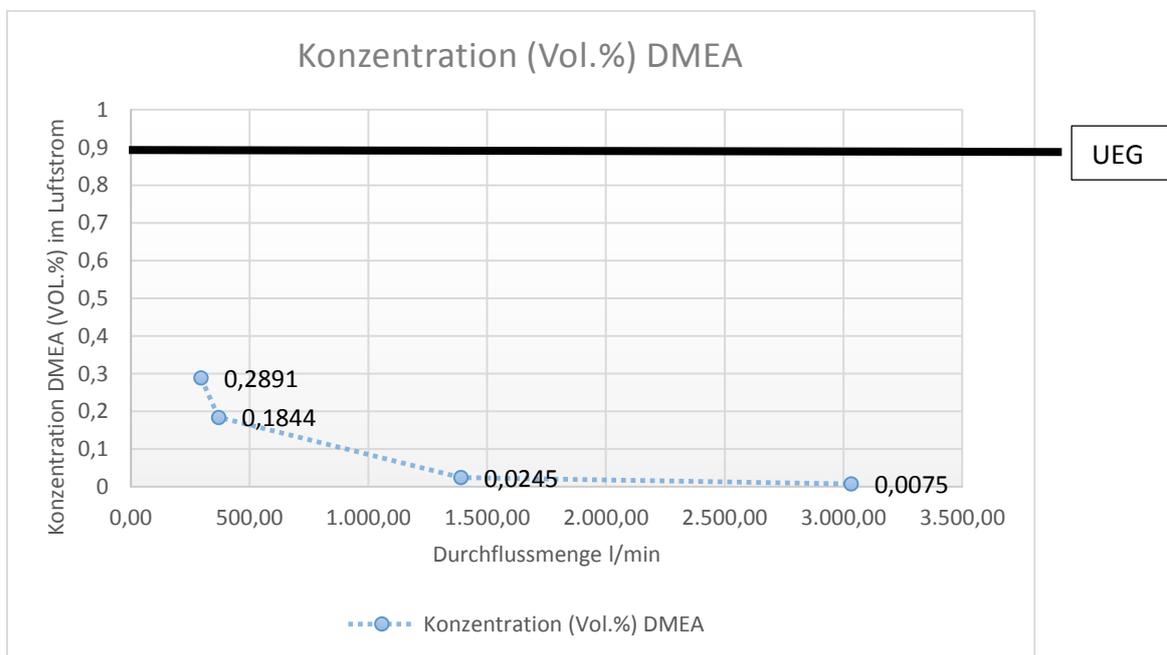
In der Tabelle 5.4.4 wurde dargestellt, wie die Konzentration (Vol.%) Katalysator (DMEA) in Abhängigkeit zum Spül.- bzw. Begasungsdruck ausfällt.

Konzentration des Katalysators DMEA in Abhängigkeit zum Spül- bzw. Begasungsdruck

Konzentration (Vol.%) DMEA	Volumen <sub>DMEA</sub> (m <sup>3</sup> )	Druck (bar)
0,2891	0,000497	0,8
0,1844	0,000398	1
0,0245	0,000199	2
0,0075	0,000132	3

Tabelle 5.4.4

Die Tabelle 5.4.4 zeigt eindeutig, dass die Untere Explosionsgrenze des Katalysators DMEA von 0,9 Vol. % unterschritten wird. Damit handelt es sich nicht um eine explosionsfähige Atmosphäre. Die ATEX-Richtlinien sind damit nicht relevant. Die graphische Darstellung in Abhängigkeit zur Durchflussmenge und der damit verbundenen Konzentration DMEA ist in dem Bild 5.4.5 zu sehen.



Graphische Darstellung der Konzentration DMEA zur Durchflussmenge

Bild 5.4.5

Grundsätzlich ist anzumerken, dass die funktionale Sicherheit der modifizierten Begasungshaube gewährleistet sein muss. Insbesondere die Steuerungstechnik für die Dosierung des Katalysators und der Luftmenge.

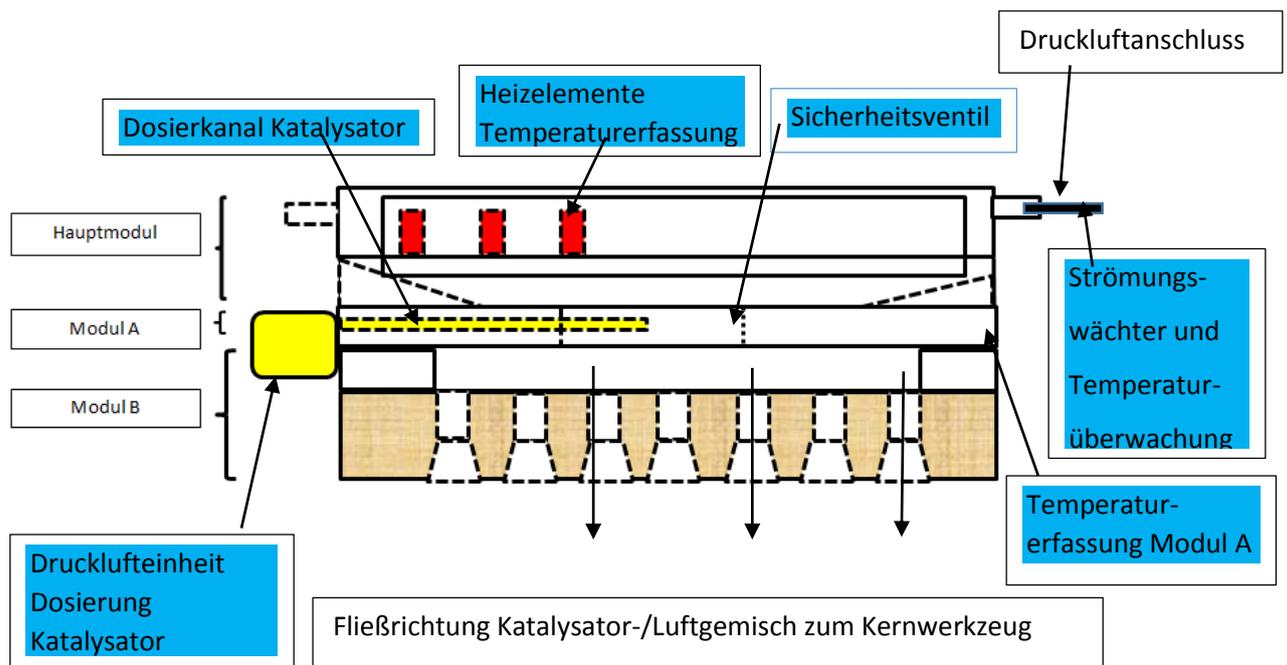
Das bedeutet im Einzelnen,

1. Dosierung des Katalysators. Es muss gewährleistet werden, dass die Dosiermenge des Katalysators genau einstellbar ist und eine konstante Dosiermenge für jeden Kernherstellungsvorgang gewährleistet ist.
2. Die Dosierung des Katalysators darf nur aktiviert werden, wenn ein Durchfluss der Trägerluft erkannt wird.
3. Die Oberfläche der modifizierten Begasungshaube darf nicht so heiß werden, dass die Zündtemperatur (190°C) des Katalysators erreicht wird.

## 5.5 Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse für den Begasungsprozess mit der modifizierten Begasungshaube

Das Thema der Sicherheit im Umgang mit dem Katalysator soll in dieser Abschnitt erarbeitet werden. Auf der Basis einer FMEA (Fehlermöglichkeits- und Einfluss-Analyse), eine analytische Methode der Zuverlässigkeitstechnik, wird die FMEA zur Fehlervermeidung und Erhöhung der technischen Zuverlässigkeit eingesetzt.

Mit dem Bild 5.5.1 werden die einzelnen Komponenten (Blau gekennzeichnet) für die Sicherheitsvorkehrungen im Umgang mit dem Katalysator vorgestellt.



Modifizierte Begasungshaube mit Sicherheitsvorkehrungen

Bild 5.5.1

Insgesamt werden in der Anwendung der modifizierten Begasungshaube die folgenden Sicherheitselemente berücksichtigt.

1. Durchflusswächter,
2. Temperaturerfassung Luft,
3. Temperaturerfassung Oberfläche Heizelement,
4. Spülung Dosierkanal,
5. Temperaturüberwachung Modul A,
6. Sicherheitsventil Spülluft im Übergang des Hauptmoduls und dem Hauptmodul A.

Nachfolgend sind die einzelnen Sicherheitsvorkehrungen aufgezählt.

- Verhinderung der Überhitzung der Heizelemente. (1+3)
- Verhinderung hoher Oberflächentemperaturen der Heizelemente. (1+3)
- Verhinderung der Dosierung von Katalysatormengen ohne Trägergas. (1)
- Verhinderung zu hoher Lufttemperatur des Trägergases. (2)
- Verhinderung von Katalysatorresten im Dosierkanal. (4)
- Verhinderung einer Entzündung des Katalysators im Modul A.(5)
- Verhinderung einer Entzündung des Katalysators im Hauptmodul (6)
- Wird kein fließendes Medium detektiert, wird der Begasungsprozess gestoppt bzw. nicht gestartet (1)

## **5.6 Konzeptauswahl der Heizelemente in der modifizierten Begasungshaube**

Mit der Erfassung der berechneten theoretischen Heizleistung, der maßlichen Rahmenbedingungen der modifizierten Begasungshaube, wie auch dem konzeptionellen Aufbau der Begasungshaube waren die Prämissen erfüllt, verschiedene Hersteller von Heizelementen aufzusuchen. Als Grundlage für den Einsatz eines geeigneten Heizelementes wurde aus Sicht des Autors verschiedene Konzepte der Zwangsführung des Luft.- Katalysatorgemisches den Heizelementen Herstellern vorgestellt. Darüber hinaus wurde den Heizelementen Herstellern mitgeteilt, dass ein möglichst hoher Wirkungsgrad des Wärmeübergangs von der Oberfläche Heizelement und dem fließenden Medium Luft gefordert ist und dass der Strömungswiderstand des Heizelementes relativ gering ausfallen sollte.

In der nachfolgenden Tabelle 5.6.1 ist das technische Anforderungsprofil dargestellt.

Rahmenbedingungen der Heizelemente

Maßliche Rahmenbedingung	680 mm * 560 mm * 90 mm
Druckbeaufschlagung	Bis 4 bar
Temperatureinsatz	90°C – 180°C
Bauart	Standard Heizkörper
Explosionsschutz	Nein
Bauweise	Kompakt
Elektrische Leistung	Hohe Leistungsdichte (6 kW)
Oberflächenbelastung Heizelement	400°C

Tabelle 5.6.1

Im Kontext des dargestellten Anforderungsprofils sind die folgenden Heizelemente Typen für den Einsatz in der modifizierten Begasungshaube recherchiert worden.

#### 1. Register Heizelement

Leistungsvariante I für 90°C = 6 kW

Leistungsvariante II für 220°C=15 kW

Anzumerken sind die hohen Oberflächentemperaturen von

Zu I = 480°C

Zu II= 560°C

Anmerkung: Flanschplatte verstärkt, da im allgemeinen diese Heizelement für den drucklosen Betrieb ausgelegt ist.

#### 2. Rippenrohrheizkörper

Es handelt sich um ein Rippenrohrheizkörper mit einer Leistung von 3 kW. Für den Einbau in die modifizierte Begasungshaube geeignet.

#### 3. Durchlauferhitzer

Anordnung von 2 oder 3 Durchlauferhitzer. Diese Elemente stehen mit 3 und 6 kW Leistung zur Verfügung.

#### 4. Einschraubheizkörper

Für die gedachte Anwendung möglich. Elektrische Leistung 2 kW/Einheit. Nachteil die kostenintensive Steuerung durch den Verbau von 4 Einheiten.

In der Tabelle 5.6.2 ist die Gesamtansicht der in Betracht kommenden Heizelemente dargestellt mit der Preisrelation, der elektrischen Leistung, Anzahl der Heizelemente, Heizkonzept und die Preisrelation für die benötigte Steuerung der Heizelemente.

## Gesamtansicht Heizelemente

Hersteller	Heizkonzept	Anzahl	Preis (€)	Leistung (kW)	Steuerung (€)	Einbaulänge (mm)	Kostensumme	Variante
Schniwindt	Durchlauferhitzer	1	3.190	8	3.375	1.500	6.565	90
	Einschraubheizkörper	4	5.200	8	10.070	525	15.270	90
	Al-Block (Durchlauferhitzer)	1	9.700	9	3.375	700	13.075	90
Elwatec	Register Heizelement	1	1.235	6	3.950	280	5.185	90
	Register Heizelement	1	1.955	15	3.950	590	5.905	220
	Schaltanlage 3.000€/Stück+Elektronische Regelung 950€/Stück							
Döbeln	Rippenheizkörper	3	180	9	1.800	490	1.980	90
	Durchlauferhitzer	1	300	6	1.800	520	2.100	90

Tabelle 5.6.2

Die gelb gekennzeichneten Heizelemente kommen nicht in Betracht, da diese Heizelemente als „Vorheizaggregate“ angedacht waren und nur zur Vollständigkeit in dieser Tabelle vorgestellt werden.

Über einen Kenngrößenvergleich der vorgestellten Heizelemente wie,

- ▶ Oberflächenbelastung der vorgestellten Heizelemente ( $\text{W}/\text{cm}^2$ ),
- ▶ Gesamte Heizoberfläche ( $\text{cm}^2$ ),

soll zusätzlich ein direkter Vergleich der vorgestellten Heizelemente stattfinden.

### ➤ Rippenrohrheizkörper

Die Oberflächenbelastung beträgt pro Element  $4,35 \text{ W}/\text{cm}^2$  bei einer gestreckten und beheizten Länge von 2580 mm/Element. Die Temperatur an der Oberfläche des Heizstabes erreicht ca.  $400^\circ\text{C}$  bei  $20^\circ\text{C}$  Umgebungstemperatur. Die Temperatur nimmt von Innen nach Außen ab.

Bei drei verbauten Elementen (je 3 kW Leistung) stellt sich eine Oberfläche von  $6150 \text{ cm}^2$  dar, das entspricht  $0,615 \text{ m}^2$ .

### ➤ Heizeinsatz (Register Heizelement)

Diese Variante stellt 24 U-förmige gebogene Heizelemente dar. Diese Elemente sind waagrecht nebeneinander leicht versetzt angeordnet. Die Leistung/Element beträgt 375 W. Das entspricht einer Gesamtleistung von 7,8 kW. Die Oberflächenbelastung beträgt  $1,6 \text{ W}/\text{cm}^2$ . Die gesamte Oberfläche der 24 Elemente beträgt  $5640 \text{ cm}^2 = 0,564 \text{ m}^2$ . Die Heizkörperoberfläche beträgt ca.  $400^\circ\text{C}$  bei  $20^\circ\text{C}$  Umgebungstemperatur.

### ➤ Durchlauferhitzer

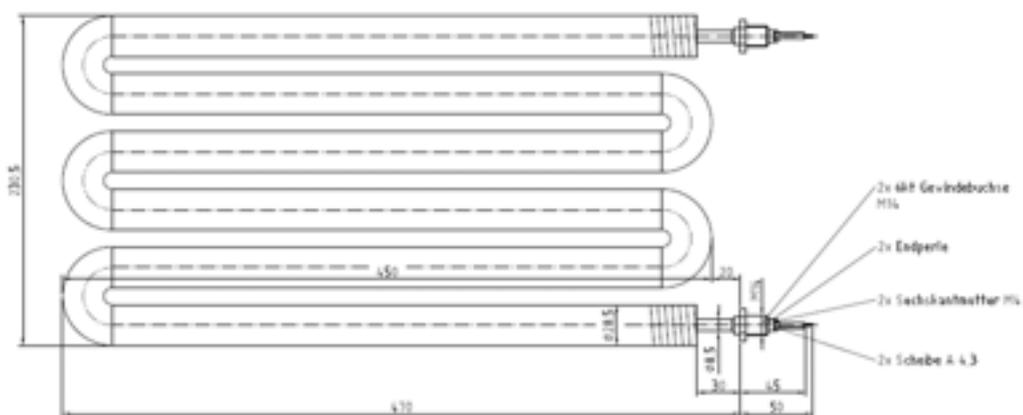
Diese Variante kommt nicht mehr in Betracht, da die Oberfläche wesentlich geringer ausfällt. Der Durchlauferhitzer hat eine Gesamtoberfläche von  $640,8 \text{ cm}^2$  und eine Oberflächenbelastung von  $1,56 \text{ W}/\text{cm}^2$ .

Abschließend ist nach dem vorgestellten Kenntnisstand zu den verschiedenen Hezelementen und den dargestellten Rahmenbedingungen für die modifizierte Begasungshaube der Rippenrohrheizkörper die erste Wahl. Zu diesem Ergebnis führten die folgenden Fakten.

1. Die Oberflächenbelastung ist von allen vorgestellten Hezelementen am höchsten,
2. Die Gesamtoberfläche ist durch die Rippenstruktur ebenfalls am größten.
3. Die Preisrelation fällt außerordentlich günstig aus.
4. Die geometrische Form ist strömungsgünstig gestaltet.
5. Durch den Rippenaufbau wird eine diffuse Strömung realisiert, die für den Wärmeübergang zwischen Rippenheizkörper und dem Medium Luft von Bedeutung ist.
6. Kompakte und robuste Bauweise.

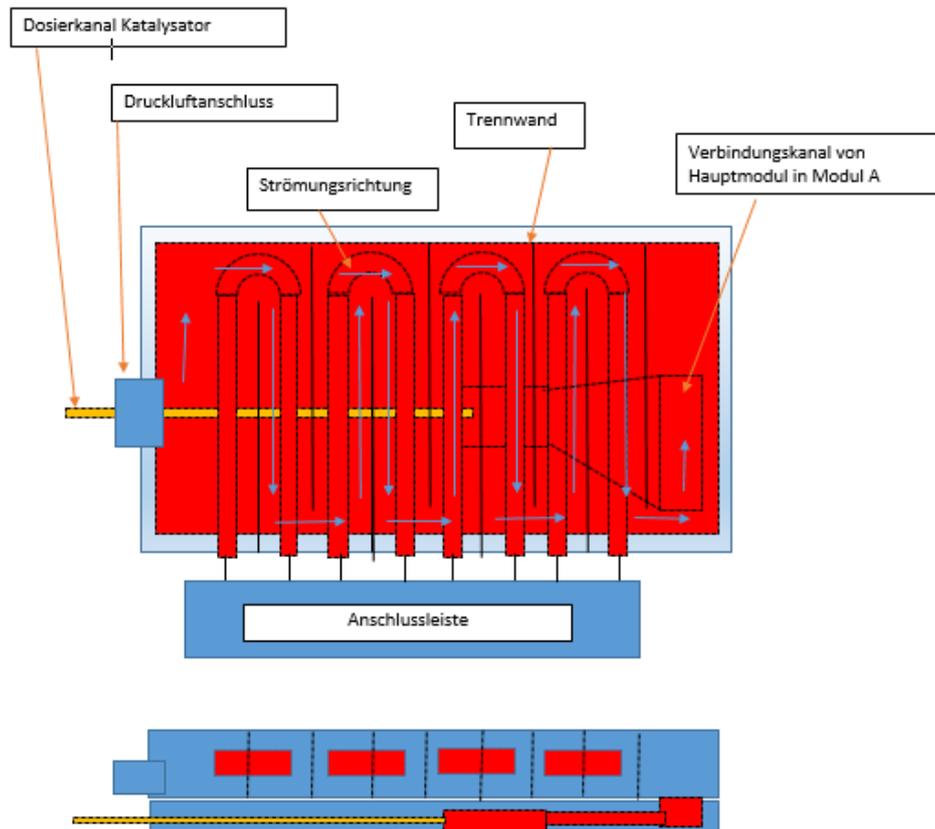
## 5.7 Umsetzung des Konzeptes Hezelemente in die modifizierte Begasungshaube

Aufgrund der Gestaltung des Rippenrohrhezelementes im Bild 5.7.1 wurde zunächst das Konzept zur Integration der Hezelemente in die modifizierte Begasungshaube entwickelt. Das Konzept ist im Bild 5.7.2 dargestellt.



Rippenrohrhezelement

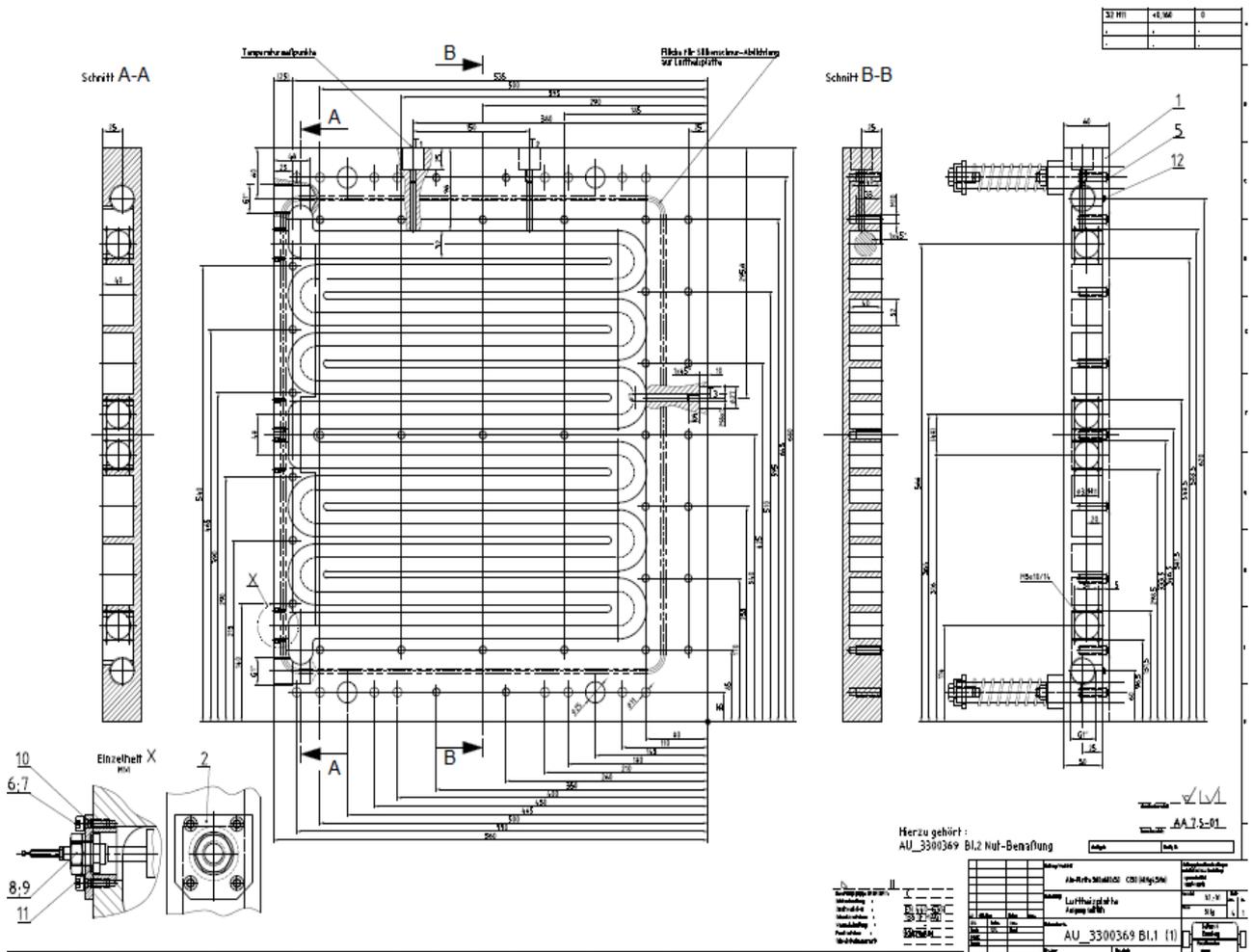
Bild 5.7.1



Grundkonzept Integration Heizelemente

Bild 5.7.2

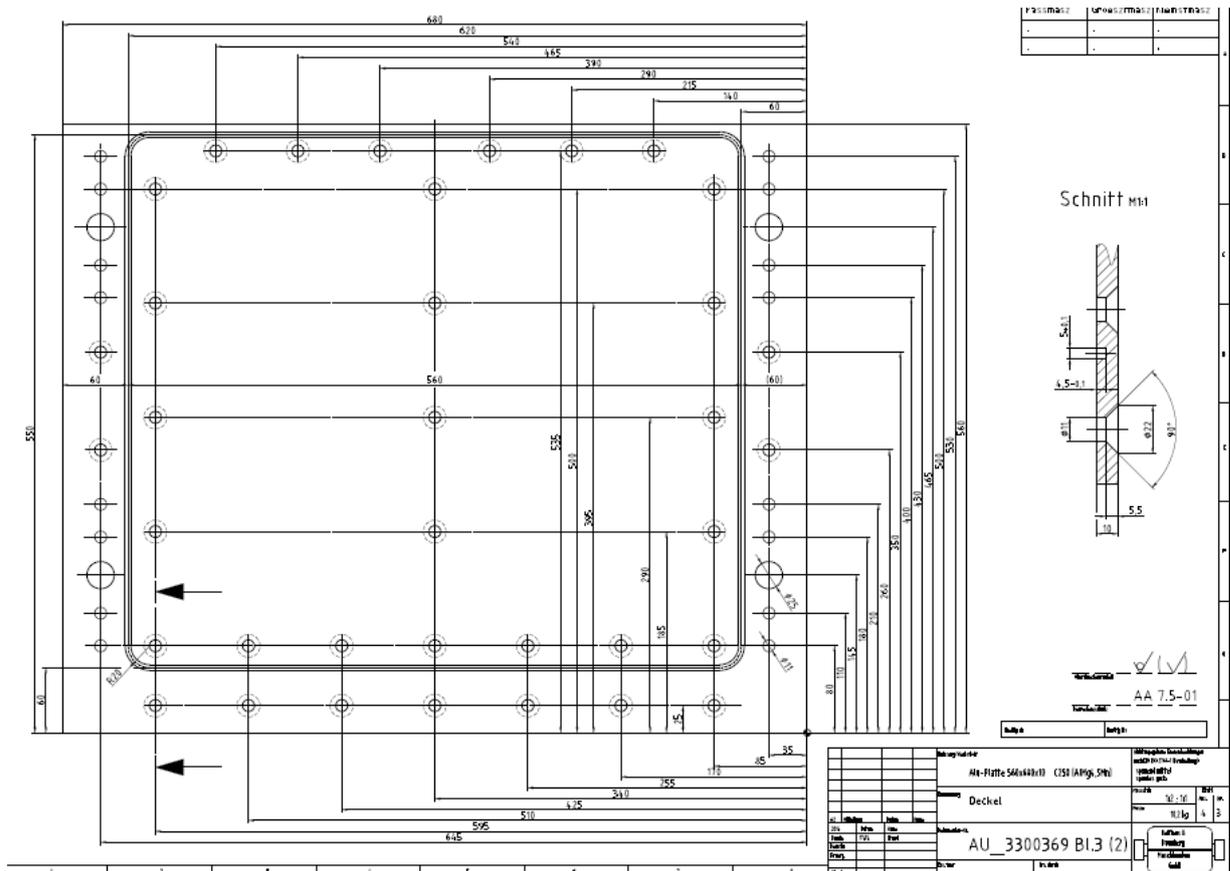
Das Konzept lässt sich wie folgt beschreiben. Die Rippenrohrheizelemente liegen parallel angeordnet in dem Hauptmodul. Innerhalb der Rippenrohrheizelemente und zwischen den Rippenrohrheizelementen sind vertikal angeordnete Wände vorgesehen, die auf der unteren Seite geöffnet sind um eine geführte Strömung zwischen den Heizelementen zu realisieren. Damit wird die aufzuheizende Luft an der Rippenstruktur des Heizelementes geführt. Damit soll erreicht werden, dass ein effektiver Wärmeübergang von der Rippenstruktur des Heizelementes und der vorbeiströmenden Luft stattfindet. In der finalen Umsetzung dieses Konzeptes wurde allerdings im Aufbau der geführten Strömung eine Modifikation vorgenommen. Diese Modifikation wurde gewählt, da die technische Umsetzung erheblich erleichtert wurde. Die konstruktive Zeichnung dieses finalen Konzeptes ist im Bild 5.7.3 aufgeführt.



Konstruktionszeichnung Hauptmodul

Bild 5.7.3

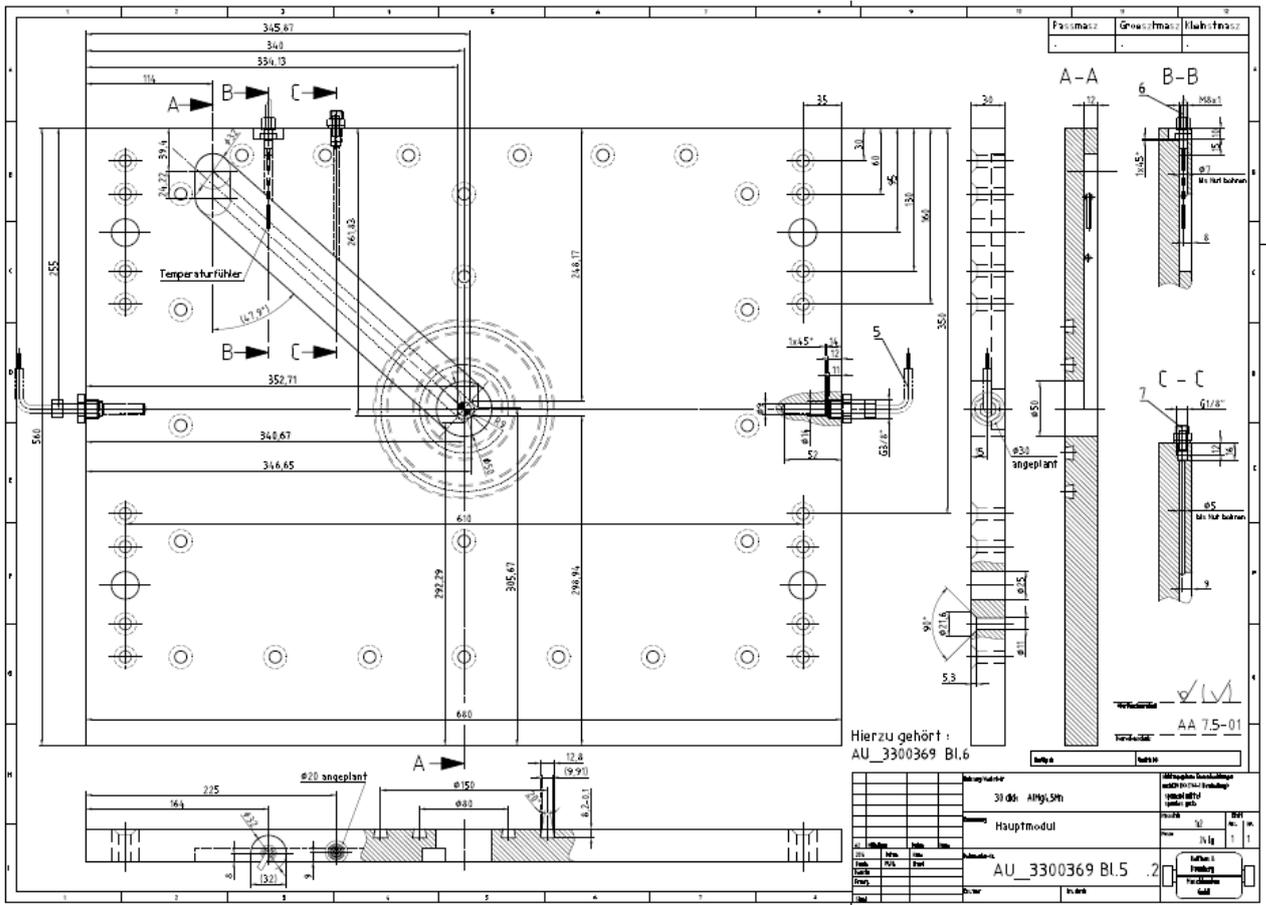
In dem Hauptmodul ist die Form des Rippenrohrheizelementes in die Al-Platte gefräst. Die einzelnen Heizelemente sind mit Verbindungskanälen verbunden. Das Hauptmodul wird mit einem Deckel verschlossen. Der Deckel ist in dem Bild 5.7.4 dargestellt.



Konstruktionszeichnung Deckel Hauptmodul

Bild 5.7.4

Wie schon in dem Kapitel 5.4 vorgestellt, besteht die modifizierte Begasungshaube aus dem Hauptmodul und dem Modul A. Die Konstruktionszeichnung des Modul A ist in dem nachfolgenden Bild 5.7.5 zu sehen. Das Modul A hat die Funktion den Katalysator dem aufgeheizten Luftstrom aus dem Hauptmodul zu zuführen. Das Modul A ist mit einer Stichbohrung mit dem Hauptmodul verbunden. Das bedeutet, dass die heiße Luft aus dem Hauptmodul über die Stichbohrung in das Modul A überführt wird. Die heiße Luft wird anschließend über einen Kanal im Modul A einer zentral angelegten Bohrung zugeführt. Über eine seitlich angelegte Stichbohrung (Dosierkanal) wird der Katalysator dosiert und dem Kanal (Führung Luftstrom) zugeführt. Durch die strömende heiße Luft im Kanal wird das Luft.-Katalysatorgemisch über die zentrale Bohrung dem Kernwerkzeug bzw. dem Formstoff zugeführt.



Konstruktionszeichnung Modul A

Bild 5.7.5

Die bildliche Dokumentation der Umsetzung des Prototyps der modifizierten Begasungshaube ist in den Bildern 5.7.6 - 5.7.8 dargestellt.



Prototyp Hauptmodul mit Rippenrohrheizelementen  
Bild 5.7.6

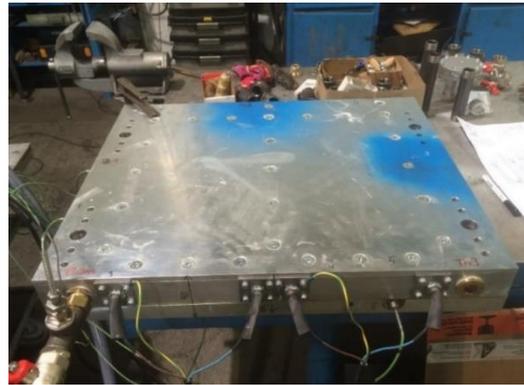


Prototyp Deckel des Hauptmoduls  
Bild 5.7.7



Prototyp Modul A

Bild 5.7.8



Prototyp modifizierte Begasungshaube

Bild 5.7.9

## 5.8 Versuchsdurchführung mit dem Prototypen der modifizierten Begasungshaube

Die Versuche wurden bei dem Kooperationspartner der Firma REIßAUS & BAUMBERG MASCHINENBAU GMBH im Technikum durchgeführt. Nach der Entwicklung der einzelnen Bauteile für das Hauptmodul und das Modul A der modifizierten Begasungshaube wurden die Bauteile zu einem Prototyp verbaut. Der Prototyp soll im Rahmen des nachfolgenden beschriebenen Versuchsaufbaus getestet werden. Hauptziel dieser Versuche ist festzustellen, ob der komplette Prototyp den Anforderungen entsprechen kann. Das beinhaltet,

1. Ist die verbaute elektrische Leistung von 6 KW ausreichend, um die Luft auf eine Temperatur von  $\geq 90^{\circ}\text{C}$  zu erhitzen (Ausgangstemperatur Modul A),
2. Ein weiteres Ziel ist die Simulation der sog. Intervallbegasung, d.h. der Produktionsprozess wird nachgestellt in der Form das über 60 s begast wird und anschließend 60 s kein Luft fließt. Damit wird die Zeit nach der Begasung, der Entnahme des Kerns, eventuelle Reinigung des Kernkastens und der Neustart der Kernherstellung simuliert.
3. In diesem Zusammenhang sollen die Versuchsreihen zeigen, in welchen Zeitabständen die Heizelemente in dem Begasungstakt aktiviert und deaktiviert werden.
4. Das Heizverhalten der modifizierten Begasungshaube in Abhängigkeit zu der Durchflussmenge Luft darzustellen.

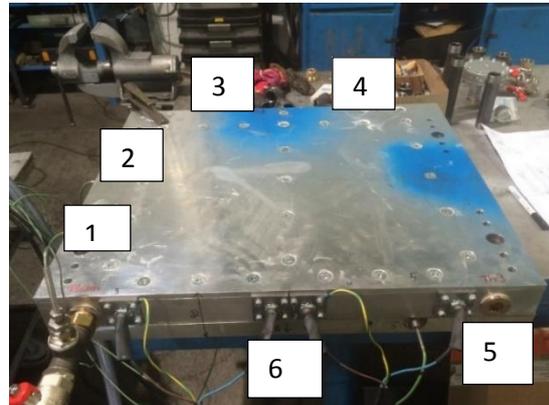
### 5.8.1 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau ist mit einer 1 Zoll Luftleitung verbunden. Der anstehende Druck wird mit einem Manometer gemessen. Der Eingangsdruck der Luft ist mit 6 bar zu beziffern. Eine Einheit zur Druckregulierung der Druckluft ist nachgeschaltet. Dahinter ist eine Durchflussmeseinheit installiert. Mit dieser Einheit wird das fließende Medium Luft in der Einheit l/min gemessen. Nach dieser Einheit ist ein weiteres Manometer installiert, um den anstehenden Druck zu messen. Anschließend wird die Druckluft direkt der Begasungshaube (Hauptmodul) zugeführt. Der Aufbau ist in dem Bild 5.8.1.1 dargestellt. An dieser Stelle wird die Eingangstemperatur der Luft gemessen (Th 0). Insgesamt werden sechs Temperaturen innerhalb der Begasungshaube mit Messfühlern erfasst. Die Temperaturen werden mit den Bezeichnungen Th 1, Th 2, Th 3, Th 4, T 5 und Th 6 gekennzeichnet. Diese Temperaturen werden in einem Display angezeigt. Die Temperaturerfassungspunkte sind im Bild 5.8.1.2 dargestellt. Zusätzlich werden definierte Temperaturpunkte auf der Oberfläche der Begasungshaube, die Oberfläche ist mit blauer Farbe gekennzeichnet, mit Hilfe eines Infrarot Messgerätes händisch erfasst (Bild 5.8.1.3).



Versuchsanordnung

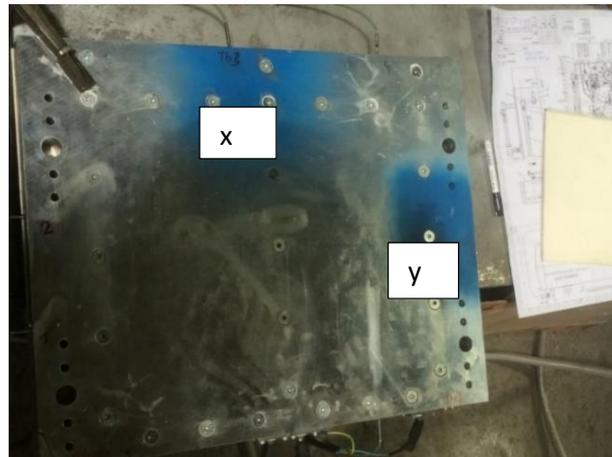
Bild 5.8.1.1



Temperatur Erfassungspunkte

Bild 5.8.1.2

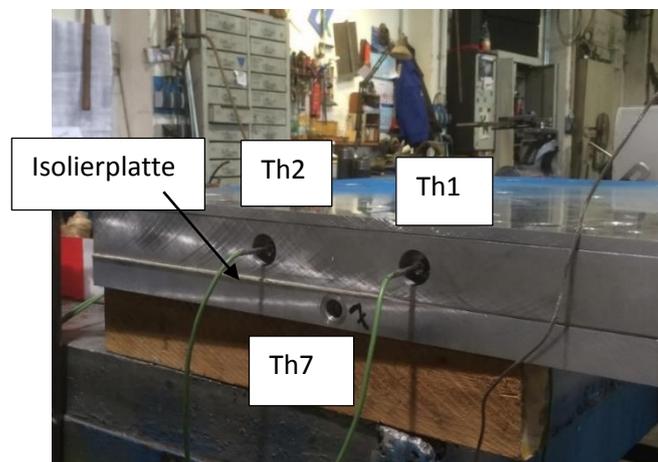
Die Temperaturerfassungspunkte 5 und 6 befinden sich im Modul A bzw. im Ausgang des Moduls A. Die punktuell manuell erfassen Oberflächentemperaturen sind in den nachfolgenden Dokumentation mit den Bezeichnungen x und y dargestellt.



Temperatur Erfassungspunkte Oberfläche Hauptmodul

Bild 5.8.1.3

Das Bild 5.8.1.4 stellt den Temperaturerfassungspunkt mit Bez. Th7 dar. Diese Temperatur soll dokumentieren, wie hoch die Temperaturerfassung des Moduls A ist. Diese Maßnahme wurde gewählt, um festzustellen wie gut die Isolierung einer verbauten Isolierplatte zwischen Hauptmodul und Modul A ist.



Temperatur Erfassungspunkt Th7 Modul A

Bild 5.8.1.4

## 5.8.2 Versuchsdurchführung

Der Messpunkt mit der Bez. Th 4 regelt den Umschaltzeitpunkt der elektrischen Heizung. Das bedeutet, dass eine Lufttemperatur von 80°C (Temperaturvorgabe Cold-Box Fertigung) vorgegeben wird. Erreicht das Medium Luft die Temperatur von 80°C wird

die Heizung ausgeschaltet. Die Heizung wird wieder eingeschaltet, wenn die Temperatur 80°C unterschreitet. Insgesamt wurden zwei Heizelemente mit jeweils einer Leistung von 3 KW verbaut. Beide Heizelemente werden zunächst über den Temperaturfühler Th 4 **parallel** geschaltet.

Es wurden verschiedene Durchflussmengen Luft eingestellt, die mit einem Kugelhahn an der modifizierten Begasungshaube eingestellt wurden. Es wurden die folgenden Durchflussmengen gewählt mit einem Begasungsdruck von konstant 2 bar (Tabelle 5.8.2.1).

	1020
250	1500
500	1750

Tabelle 5.8.2.1

Die erstellten Versuchswerte zu den einzelnen Durchflussmengen sind mit der Anwendung von zwei Varianten generiert worden.

#### *Variante 1*

Die Versuchswerte wurden bei kontinuierlichen strömenden Medium Luft erfasst.

#### *Variante 2*

Die Versuchswerte wurden in einem 60 s Takt ermittelt, d.h. 60 s mit strömenden Medium Luft und anschließend 60 s der Zufluss des Mediums in der modifizierten Begasungshaube unterbrochen.

Die Eingangstemperatur (Th 0) der Luft beträgt 20,8 °C. Die Druckluft wurde über einen Druckluftspeicher entnommen.

Mit Hilfe des Simativ Panels der Fa. Siemens wurde über die Programmierung die folgenden Einstellungen vorgenommen.

- Heizung Ein/Aus,
- Amin Dosierung,
- Eingangstemperatur Pt 100 (Th 0) erfassen,
- Temperaturpunkte abrufen (Th1 – Th7)
- Temperaturvorgaben Th3 und Th4 einstellen,
- Maximale Temperatureinstellung vornehmen,

In dem Bild 5.8.2.2 ist das Panel dargestellt.



Panel Siemens

Bild 5.8.2.2

### 5.8.3 Versuchsergebnisse (Begasungstemperatur bis 100°C)

Der folgende Abschnitt gibt die Essenz umfangreicher Untersuchungen mit der modifizierten Begasungshaube für die Anwendung des organisch gebundenen Cold-Box Binders wieder. Die ersten Versuchsergebnisse wurden mit der ursprünglichen Programmierung, wie unter dem Abschnitt 5.8.2 vorgestellt, generiert. Die darauffolgenden dokumentierten Versuchsergebnisse wurden mit einer Modifizierung der Programmierung erzielt. Die Modifizierung wurde vorgenommen, da die ursprüngliche Programmierung in der Versuchsdurchführung Schwächen aufzeigte. Das bedeutet, dass die bestehende Programmierung wie folgt modifiziert wurde.

1. Die Grundtemperatur der Temperatur Erfassungspunkte mit den Bezeichnungen Th3 und Th4 sind unabhängig voneinander in der Temperaturvorgabe variierbar. Damit sollte erreicht werden, dass der Wirkungsgrad der Heizleistung der modifizierten Begasungshaube noch effizienter wird.
2. Die aktive Zeit der Heizphase und passive Zeit der Heizphase werden für die jeweiligen verbauten Heizelemente erfasst. Das bedeutet, dass in den angewendeten Varianten (Kontinuierliche- und Intervallbegasung) die

Schaltzeiten der Aktivierung der Heizelemente für die verbauten Heizelemente 1 (Heizzeit 1) und 2 (Heizzeit 2) erfasst werden. Die erweiterte Programmierung ist mit dem schon vorgestellten Siemens Panel abrufbar.

Weiterhin wurde die passive Phase der Heizelemente 1 und 2, mit den Bezeichnungen Pausenzeit 1 und Pausenzeit 2, aufgenommen.

Die vorliegenden Versuchsergebnisse wurden mit Hilfe der Temperaturerfassung der vorgestellten Temperaturabnahmepunkte vorgenommen. Diese Temperaturerfassungen wurden in tabellarischer Form aufgezeichnet. Zu den jeweiligen Temperaturerfassungspunkten wurde der statistische Mittelwert errechnet. Damit wurden die jeweiligen Temperaturverläufe graphisch dargestellt in Abhängigkeit zu den jeweiligen Durchflussmengen. Aufgrund der umfangreichen Datenmengen soll die tabellarische Form nur exemplarisch vorgestellt werden. In der nachfolgenden Tabelle 5.8.3.1 ist die Temperaturerfassung für die Durchflussmenge von 1750 l/min dargestellt. Die weitere Dokumentation soll ausschließlich graphisch erfolgen.

Temperaturerfassung für die Durchflussmenge von 1750 l/min

<b>Grundeinstellung Th3:</b>	<b>Temperatur (°C)</b>	<b>Grundeinstellung Th4:</b>	<b>Temperatur (°C)</b>
<b>Max. Temperatur:</b>	<b>120</b>	<b>Max. Temperatur</b>	<b>120</b>
<b>Oberwert:</b>	<b>80</b>	<b>Oberwert:</b>	<b>80</b>
<b>Untervert:</b>	<b>80</b>	<b>Untervert:</b>	<b>80</b>

**Durchflussmenge: 1750 l/min**

**Kontinuierliche Luftzufuhr**

Druck (bar)	Th1 (°C)	Th2 (°C)	Th3 (°C)	Th4 (°C)	Th5 (°C)	Th6 (°C)	Th7 (°C) Modul A	Zeit	Mess- reihe 5
2	25,5	28,6	54,2	78,1	83,8	80,1	45,6		
2	29,7	57,8	80,6	86,4	82,2	80,0	46,0		
2	26,6	29,7	58,3	80,6	84,8	80,6	45,4		

**Durchflussmenge: 1750 l/min**

**Diskontinuierliche Luftzufuhr (nach 60s die Luftzufuhr ab bzw. Eingeschaltet).**

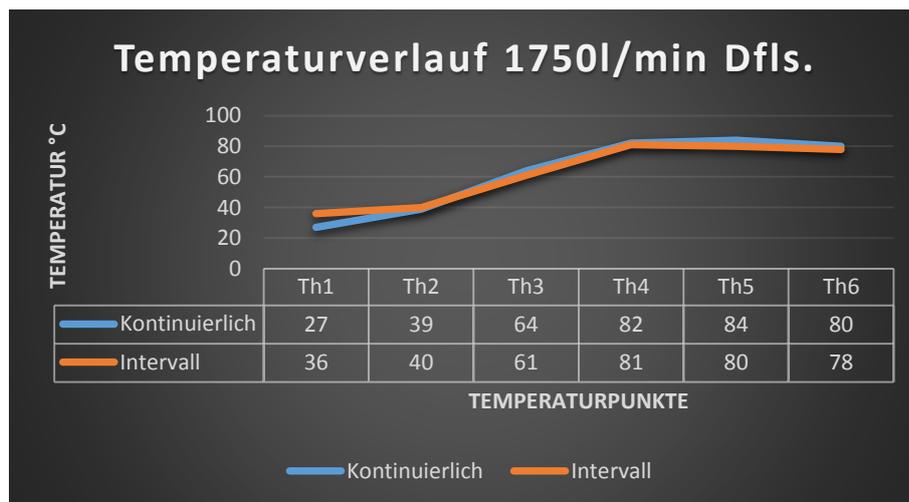
Druck (bar)	Th1 (°C)	Th2 (°C)	Th3 (°C)	Th4 (°C)	Th5 (°C)	Th6 (°C)	Th7 (°C) Modul A	Zeit (s) 60	Messreihe 5.1
2	45,8	54,6	69,0	84,8	77,0	74,9	50,8	(zu)	
2	27,6	29,2	57,2	79,1	80,6	79,1	49,9	(auf)	
2	43,7	51,5	63,5	84,1	78,6	76,5	50,1	Zu	
2	27,6	29,2	55,7	78,6	81,2	80,1	49,9	auf	
2	41,1	49,0	63,0	83,2	79,6	77,0	49,5	Zu	
2	27,6	29,2	55,7	78,6	81,2	80,6	49,0	Auf	

Temperatur Hauptmodul

Temperaturpunkt X	Temperaturpunkt Y
59°C	70°C

Tabelle 5.8.3.1

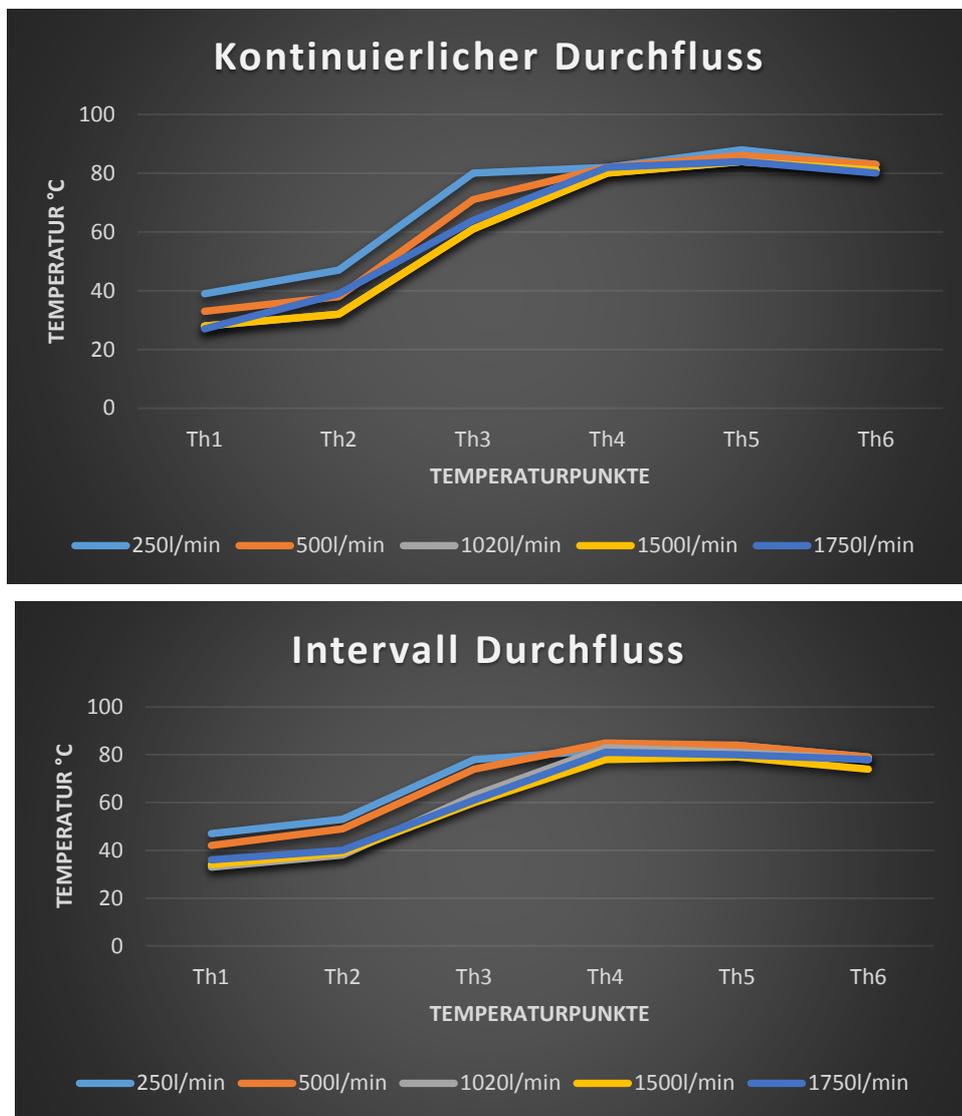
Die gewählte Temperaturüberwachung von zunächst 80°C Unter- und Oberwert für die Erwärmung der Luft wurde über den Th 4 Temperaturfühler geregelt. Es war nicht möglich mit der ursprünglichen Programmierung, den Temperaturfühler mit der Bez. Th3 unabhängig von Th4 zu steuern bzw. eine Temperaturvorgabe zu wählen. In dem Bild 5.8.3.2 ist der Temperaturverlauf mit einer Durchflussmenge von 1750 l/min dargestellt. Der Temperaturverlauf für die Intervall.- bzw. Kontinuierliche Begasung zeigt marginale Unterschiede.



Temperaturverläufe 1750l/min Durchflussmenge

Bild 5.8.3.2

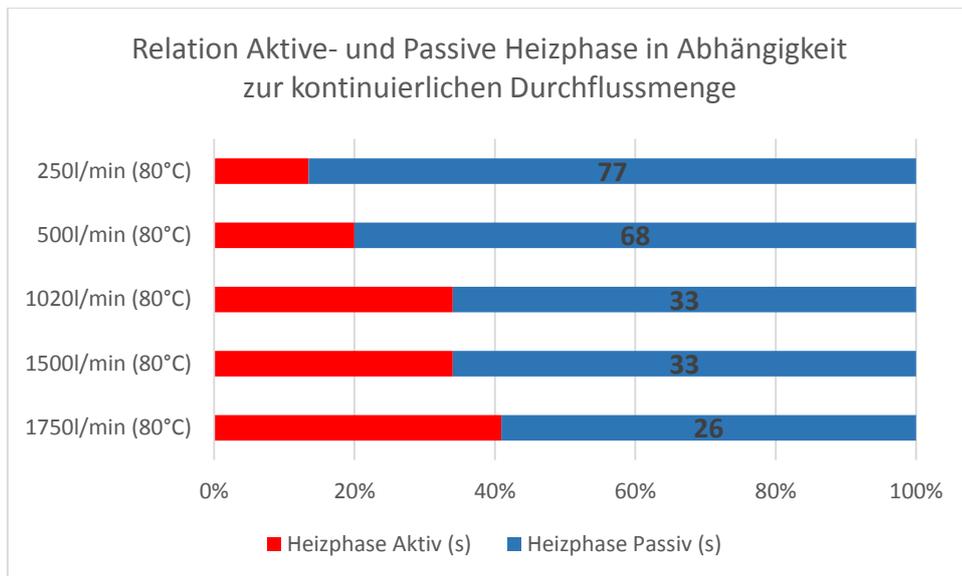
Das Bild 5.8.3.3 bestätigt diese Aussage. Es ist festzustellen, dass für die vorgestellten Durchflussmengen der Temperaturverlauf zwischen der kontinuierlichen Begasung und der Intervall Begasung ebenfalls im Verlauf marginale Unterschiede aufzeigen. Insbesondere die Ausgangstemperatur (Th6) sind geringfügig für die vorgestellten Begasungsarten unterschiedlich.



Temperaturverläufe in Abhängigkeit zur Durchflussmenge

Bild 5.8.3.3

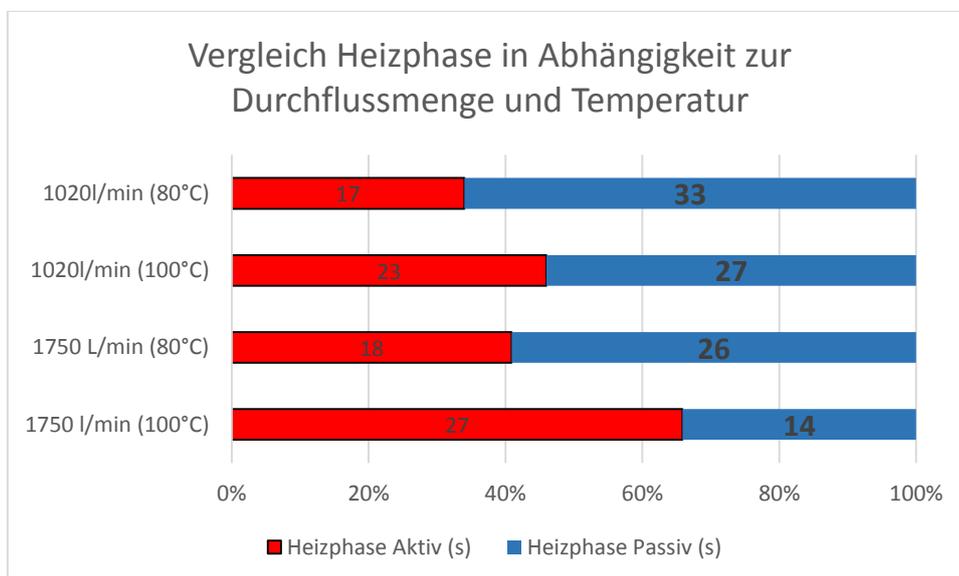
Abschließend ist in dem Bild 5.8.3.4 der Anteil der Heizphase der Heizelemente in Abhängigkeit zur Durchflussmenge bei einer kontinuierlichen Begasung dargestellt. Interessant ist die Tatsache, dass bei den Durchflussmengen von 1020 l/min und 1500 l/min keine Veränderung in der Heizphase der Heizelemente vorliegt.



Darstellung der Heizphasen

Bild 5.8.3.4

Nachfolgend ist in dem Bild 5.8.3.5 die Relation dargestellt zu der veränderten Grundtemperatur von 80°C auf 100°C bezogen auf die Durchflussmengen von 1020 l/min und 1720 l/min. Die Heizphasen Anteile verschieben sich signifikant. Insbesondere bei der Durchflussmenge von 1720 l/min ist der Anteil von 80°C auf 100°C ausgeprägt.



Darstellung der Heizphasen in Abhängigkeit zur gewählten Grundtemperatur

Bild 5.8.3.5

Das Fazit der ersten Versuchsreihen zeigt eindeutig, dass unabhängig von der Durchflussmenge (250 l/min – 1750 l/min) die geforderte Temperatur von 80°C erreicht wurde. Diese Aussage wird ebenfalls bestätigt für die geforderte Temperatur

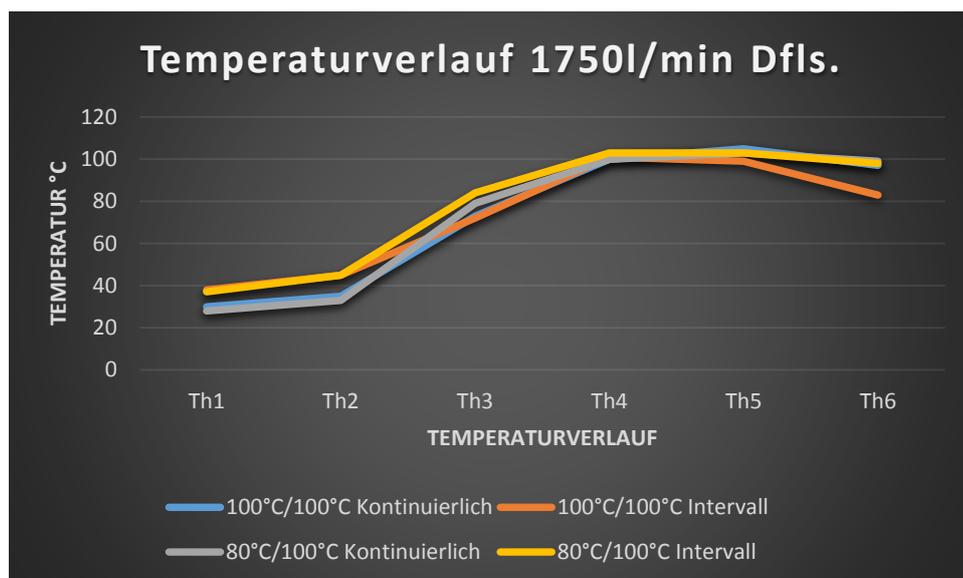
von 100°C. Ein Indikator dafür, dass die Auslegung der gewählten Heizleistung ausreicht.

Nachfolgend ist die Zusammenfassung der Versuchsreihen mit der vorgestellten modifizierten Programmierung der Steuerung der verbauten Heizelemente.

Anzumerken ist, dass messtechnische Untersuchungen gezeigt haben, dass die aufgenommene elektrische Leistung der verbauten Heizelemente nicht den Vorgaben des Herstellers entspricht. Die tatsächliche Leistung beträgt 2,5 KW statt 3,0 KW/Heizelement.

Es soll an dieser Stelle betont werden, dass für alle vorgestellten Durchflussmengen die Temperaturverläufe ermittelt wurden. Da die Durchflussmenge von 1750 l/min das Maximum der Durchflussmenge darstellt, steht die nachfolgende Ausarbeitung repräsentativ für alle Durchflussmengen.

Das folgende Bild 5.8.3.6 stellt die Temperaturverläufe für unterschiedliche Vorgaben der Grundtemperaturen (Th3 und Th4) dar.



Vergleich der Temperaturverläufe mit unterschiedlichen Grundeinstellungen

Bild 5.8.3.6

Ein signifikanter Einfluss der Temperaturvorgabe über Th3 und Th4 ist nicht festzustellen. Für die maximale Durchflussmenge von 1750 l/min wurde die aktive bzw. passive Heizzeit ermittelt. Im Bild 5.8.3.7 sind die Ergebnisse dargestellt.

**Grundlage für die Berechnung ist ein kontinuierlicher Luftdurchsatz von 1750 l/min über 7 min (420 s).**

Dabei wurden die folgenden Heizzeiten in der Summe erfasst.

Th3 Heizzeit (s) Heizelement 1	Th4 Heizzeit (s) Heizelement 2	Summe aus Th3+Th4 (s)
121	162	283

Bezogen auf die gesamte Begasungszeit von 420 s entspricht der Anteil von 283 s  
= 67 %

**Bezogen auf eine gesamte Leistung von  $2 * 2,5 \text{ KW} = 5 \text{ KW}$  entspricht das einem Anteil von 3,4 KW.**

Diese ermittelte Leistung wurde nochmals über die Pausenzeiten für die einzelnen Heizelemente, d.h. der passive Anteil der jeweiligen Heizelemente ermittelt. Die folgenden Werte wurden erfasst.

Th3 Pausenzeit (s) Heizelement 1	Th4 Pausenzeit (s) Heizelement 2	Summe der Pausenzeit (s)
66	64	128

Daraus ergibt sich ein Anteil von 31 % Pausenanteil und 69 % Aktivanteil. Das ergibt eine effektive Leistung von 3,5 KW.

Um die tatsächliche elektrische Leistung der Heizkörper zu erfassen, wurden die Heizzeiten der einzelnen Heizkörper ermittelt.

**Grundlage für die Berechnung ist ein diskontinuierlicher Luftdurchsatz (Intervall Begasung) von 1750 l/min über 7 min (420 s).**

Dabei wurden die folgenden Heizzeiten in der Summe erfasst.

Th3 Heizzeit (s) Heizelement 1	Th4 Heizzeit (s) Heizelement 2	Summe aus Th3+Th4 (s)
152	103	255

Bezogen auf die gesamte Begasungszeit von 420 s entspricht der Anteil von 255 s  
= 61 %

**Bezogen auf eine gesamte Leistung von  $2 * 2,5 \text{ KW} = 5 \text{ KW}$  entspricht das einem Anteil von 3,0 KW.**

Diese ermittelte Leistung wurde nochmals über die Pausenzeiten für die einzelnen Heizelemente, d.h. der passive Anteil der jeweiligen Heizelemente ermittelt. Die folgenden Werte wurden zu einer Gesamtzeit von 420 s Begasungszeit ermittelt.

Th3 Pausenzeit (s) Heizelement 1	Th4 Pausenzeit (s) Heizelement 2	Summe der Pausenzeit (s)
83	81	164

Daraus ergibt sich ein Anteil von 39 % Pausenanteil und 61 % Aktivanteil. **Das ergibt eine effektive Leistung von 3,0 KW.**

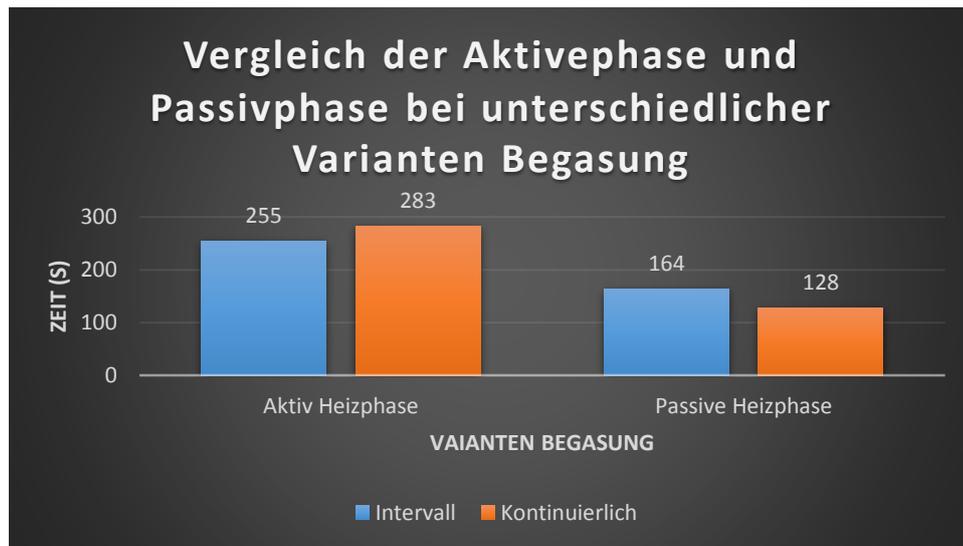


Bild 5.8.3.7

#### 5.8.4 Versuchsergebnisse (Begasungstemperatur > 100°C, Anorganischer Bereich)

Wie vorgestellt soll die modifizierte Begasungshaube für den Einsatz anorganisch gebundener Formstoffe ebenfalls eingesetzt werden. In der technischen Ausführung wurde zunächst die ursprüngliche Leistungsabnahme von 5 KW für das Aufheizen des strömenden Mediums eingesetzt. Dazu wurden die folgenden Versuchsergebnisse in der Tabelle 5.8.4.1 aufgeführt. Die geforderte Temperatur für die Anwendung für anorganische Bindemittel wurde wie folgt vorgegeben.

Temperaturvorwahl für Th3 = 180°C,

Temperaturvorwahl für Th4 = 180°C,

Übersicht der Temperaturverläufe mit der Vorgabe Temperatur von Th3/Th4=180°C

Druck (bar)	Th1 (°C)	Th2 (°C)	Th3 (°C)	Th4 (°C)	Th5 (°C)	Th6 (°C)	Th7 (°C)	Zeit (s)
							Modul A	60
2	35	46	118	146	156	145	76,4	(auf)
2	37	49	121	148	158	140	76	(zu)
2	39	50	125	150	160	142	77	(auf)
2	46	60	143	164	175	161	76	(zu)
2	40	52	123	153	162	145	76,5	(auf)
Mittelwert	39	51	126	152	162	147	76	

**Leistungsaufnahme 5 KW**

## Oberflächentemperatur Hauptmodul

Temperaturpunkt X	Temperaturpunkt Y
100°C	120°C

Tabelle 5.8.4.1

Die Ergebnisse zeigen eindeutig, dass die geforderte Temperatur (180°C) mit dem Volumenfluss von 1750 l/min nicht erreicht werden konnte. Die verbaute elektrische Leistung von 5 KW erreicht im Mittel eine Ausgangstemperatur von Th6 = 147°C. Grund für die Ergebnisse ist die nicht ausreichende elektrische Leistung der verbauten Rippenrohrheizkörper. Aufgrund dieser Tatsache wurden die verwendeten Rippenrohrheizkörper substituiert durch leistungsstärkere Rippenrohrheizkörper mit einer elektrischen Gesamtleistung von 8 KW. Die erzielten Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle 5.8.4.2 einzusehen. Die verbaute elektrische Leistung erreicht die geforderte Temperatur von 180°C. Es ist an dieser Stelle zu erwähnen, dass der Austausch der Rippenrohrheizkörper innerhalb von einer 0,5 h zu realisieren war.

Temperaturvorwahl für Th3 = 180°C,

Temperaturvorwahl für Th4 = 180°C.

Übersicht der Temperaturverläufe mit einer Leistung von 8 KW

	Th1	Th2	Th3	Th4	Th5	Th6	Th7	Zeit
(bar)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(s)
							Modul	60
							A	
2	45	60	135	175	186	179	91	(auf)
2	47	62	138	177	185	180	92	(zu)
2	50	63	137	176	188	181	94	(auf)
2	48	62	136	177	186	181	92	(zu)
2	47	61	135	176	185	180	91	(auf)
Mittelwert	47,4	61,6	136,2	176,2	186	180,2		

### Leistungsaufnahme 8 KW

## Oberflächentemperatur Hauptmodul

Temperaturpunkt X	Temperaturpunkt Y
131°C	156°C

Tabelle 5.8.4.2

Die geforderte Temperatur von 180°C wird mit der elektrischen Leistung von 8 KW erreicht. Der Mittelwert (Th6) beträgt 180,2 °C.

## 5.9 Simulation durch Berechnung verschiedener Ähnlichkeitskenngrößen zur Optimierung des Wärmeüberganges

Der Wärmeübergang ist ein Teil des Gesamtvorganges Wärmedurchgang. Der Wärmeübergang wird über den Wärmeübergangskoeffizienten beschrieben und wird in dieser Betrachtung als signifikante Größe für die Simulation eingesetzt. Die Wärmeübertragung erfolgt durch die Konvektion. Die Ermittlung des Wärmeübergangskoeffizienten  $\alpha$  ist zumeist schwierig zu berechnen. In der Technik ist es üblich, solche Beziehungen als Gleichungen aus dimensionslosen Kennzahlen (so genannten Ähnlichkeitskenngrößen) darzustellen. Aus der Kenntnis dieser Formeln lassen sich Maßnahmen zur Intensivierung des Wärmetransportes ableiten. Die für die Berechnung des Wärmeübergangskoeffizienten nötigen Ähnlichkeitskenngrößen sind nachfolgend aufgelistet.

1. Die Reynolds-Zahl (Re)            ( $Re = \hat{u} \cdot \rho \cdot l \cdot \eta^{-1}$ )
2. Die Nusselt-Zahl (Nu)            ( $Nu = \alpha \cdot l \cdot \lambda^{-1}$ )
3. Die Prandtl-Zahl (Pr)            ( $Pr = \nu \cdot \alpha^{-1}$ )

Der Wärmeübergangskoeffizient  $\alpha$  berechnet sich wie folgt,

$$\alpha = Nu \cdot \lambda \cdot l^{-1} \quad (\text{W/m}^2\text{K})$$

(Wärmeleitfähigkeitskoeffizient  $\lambda$ , konstruktive Länge  $l$ )

Zur Veranschaulichung sind für die nachfolgenden Parameter, in der Tabelle 5.9.1, die benötigten Rechnungsgrößen zur Berechnung des Wärmeübergangskoeffizienten vorgestellt.

Volumenfluss: 1750 l/min

Strömungsgeschwindigkeit: 60,25 m/s

Begasungsdruck: 2 bar

Temperaturvorgabe Th3/Th4: 100°C

Tabelle zur Berechnung des Wärmeübergangskoeffizienten

Temperatur- erfassung Th	Wärmeüber- gangskoeffizient (W/K*m <sup>2</sup> )	Reynolds- zahl	Prandle- Zahl	Nus- sel- zahl	Tem- peratur (°C)	Wärme- leitfähigkeit 10- <sup>3</sup> (W/m*K)
6	331,2444913	153890,53	0,707115	302,75	97	31,292
5	328,5293392	148265,7	0.706785	295,8	105	31,765
4	329,6633357	151639,75	0.706975	299,98	100	31,430
3	336,9380208	173111,73	0.708917	325,99	73	29,561
2	348,6557944	213029,5	0.71303	371,56	35	26,837
1	350,199974	219204,95	0.713665	378,33	30	26,474

Tabelle 5.9.1

Einige technisch bedeutsame Maßnahmen, zur Intensivierung des Wärmetransportes, sind in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt.

Maßnahmen zur Intensivierung des Wärmetransportes

Erwünschte Beeinflussung	technische Maßnahme
Vergrößerung der Wärmeübertragungsfläche	Berippung der Oberfläche,
Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit und Turbulenz	Einbau von Umlenkungen, Stromführung in Kanälen

Tabelle 5.9.2

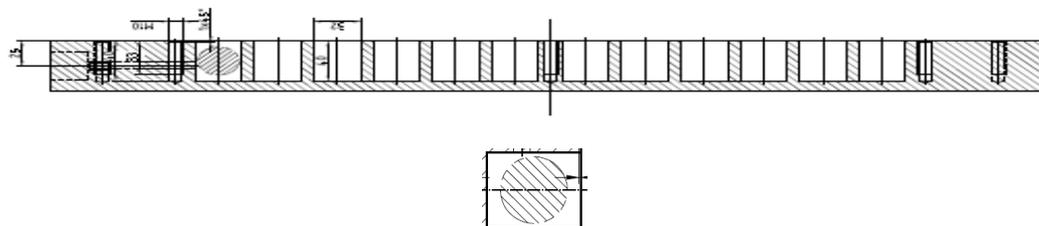
Wie aus der Tabelle 5.9.2 zu ersehen ist, wurden durch die Auswahl des Rippenrohrheizkörpers die Maßnahmen zur Intensivierung des Wärmetransportes umgesetzt. Zur Veranschaulichung ist der Rippenrohrheizkörper mit der Rippenstruktur in dem Bild 5.9.3 dargestellt.



Rippenrohrheizkörper

Bild 5.9.3

Aus den technischen Zeichnungen der modifizierten Begasungsplatte geht hervor, dass es sich im Hauptmodul um einen rechteckigen Strömungskanal handelt. Dieser Strömungskanal hat eine Gesamt Querschnittsfläche von 1280 mm<sup>2</sup>. Die Querschnittsfläche des Rippenrohrheizkörpers beträgt 637,9 mm<sup>2</sup>. Das Bild 5.9.4 zeigt das Querschnittsprofil des Hauptmoduls und eine Vergrößerung des Strömungskanals mit dem Querschnitt des Rippenrohrheizkörpers.



Querschnitt Strömungskanal Hauptmodul und Querschnitt Heizelement

Bild 5.9.4

Die Strömungsgeschwindigkeit ist eine signifikante Größe für den Wärmeübergang. Den Zusammenhang zwischen Volumenstrom, Querschnitt und Geschwindigkeit erklärt die Kontinuitätsgleichung.

$$V_s = V \cdot A$$

$V_s$  – Volumenstrom in m<sup>3</sup>/s

$V$  – Geschwindigkeit in m/s

$A$  – Fläche in m<sup>2</sup>

Je kleiner der Querschnitt, desto größer ist die Geschwindigkeit (und umgekehrt). Die Strömungsgeschwindigkeit ist Abhängig von der Differenzfläche des rechteckigen Strömungskanals und der Fläche des Rippenrohrheizkörpers. Die Differenzfläche beträgt in der ursprünglichen Variante 642,1 mm<sup>2</sup>. Das entspricht einem Durchmesser von 28,6 mm. Nachfolgend ist in der Tabelle 5.9.5 der Zusammenhang dargestellt zwischen der Strömungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit zu den eingesetzten Strömungsvolumen/Zeiteinheit auf der Basis des errechneten Differenz Durchmessers von 28,6 mm.

Zusammenhang zwischen Strömungsgeschwindigkeit und Volumenfluss

Volumenfluss (l/min)	Mittlere Strömungsgeschwindigkeit (m/s)
1750	44,62
1500	38,92
1100	28,54
1040	26,98
500	12,97
250	6,99

Tabelle 5.9.5

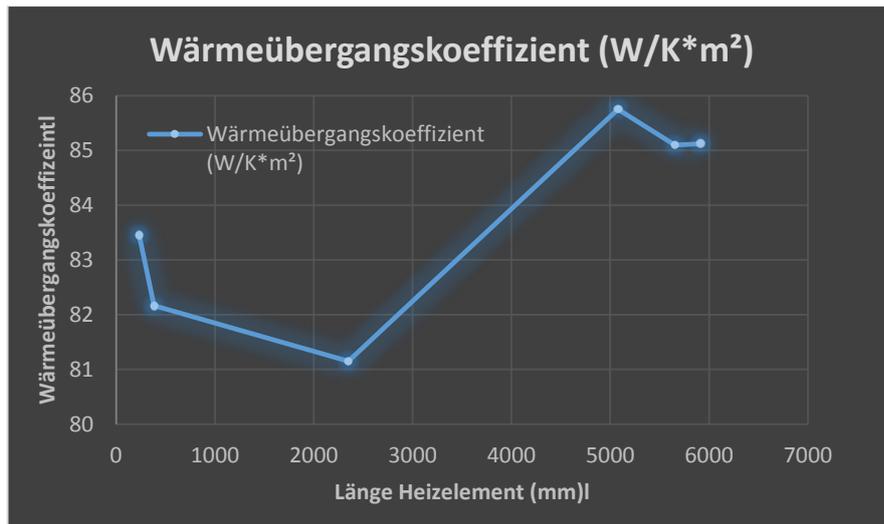
In der folgenden Auswertung der Berechnungen für den Wärmeübergangskoeffizienten wurden für die einzelnen Temperaturerfassungspunkte Th1 – Th6 die Wärmeübergangskoeffizienten berechnet. Die berechneten Wärmeübergangskoeffizienten werden anschließend als Wertepaare mit der Heizlänge der einzelnen Temperaturerfassungspunkte dargestellt. In der Tabelle 5.9.6 sind die Heizlängen des Hezelementes im Abstand zum Eintritt in das Hauptmodul und die dazugehörigen Temperaturerfassungspunkte aufgeführt. Einschränkend muss an dieser Stelle betont werden, dass der Temperaturerfassungspunkt mit der Bezeichnung Th6 die Ausgangstemperatur im Modul A darstellt und somit den gesamten Strömungsweg zwischen Ein- und Austritt des strömenden Mediums darstellt. Die gesamte Heizlänge beträgt 5655 mm (Temperaturerfassungspunkt Th5).

Darstellung der Temperaturerfassungspunkte zu Heizlängen

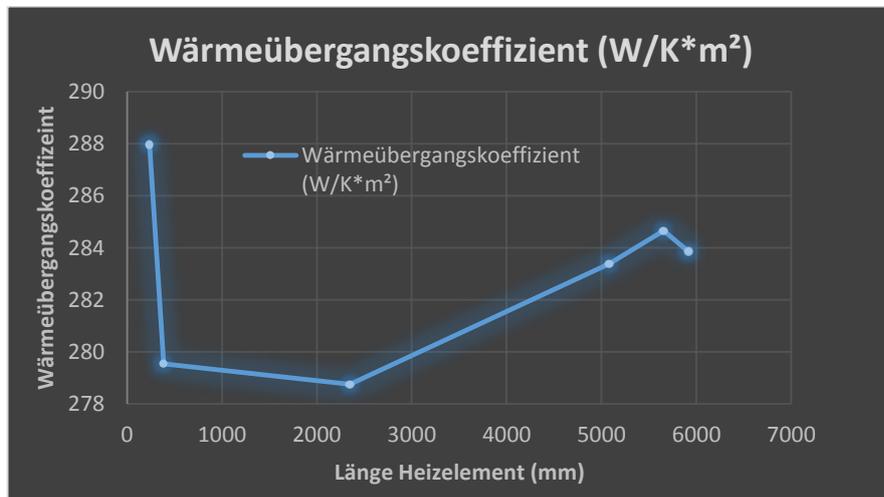
Temperaturerfassungspunkte	Heizlängen (mm)
Th1	235
Th2	385
Th3	2350
Th4	5080
Th5	5655
Th6	5915

Tabelle 5.9.6

Zur Veranschaulichung der berechneten Wertepaare aus Wärmeübergangskoeffizient und Heizlänge der Rippenrohrheizkörper in Abhängigkeit zu den Temperaturerfassungspunkten werden nachfolgend die Bilder 5.9.7 und 5.9.8 für die Volumenflüsse von 250 l/min und 1750 l/min vorgestellt.

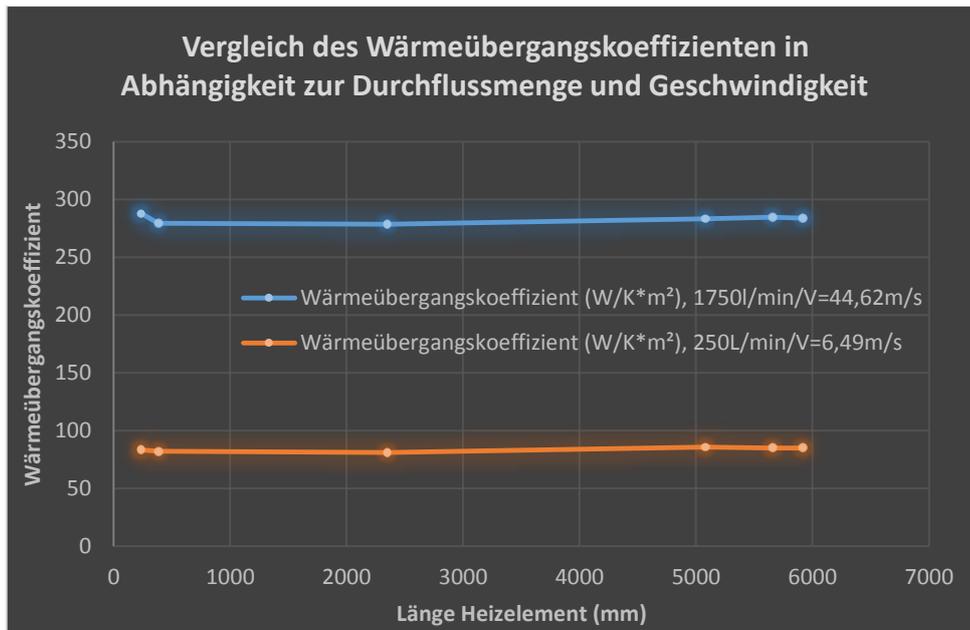


Verlauf des Wärmeübergangskoeffizienten mit einem Volumenfluss 250 l/min Bild 5.9.7



Verlauf des Wärmeübergangskoeffizienten mit einem Volumenfluss 1750 l/min Bild 5.9.8

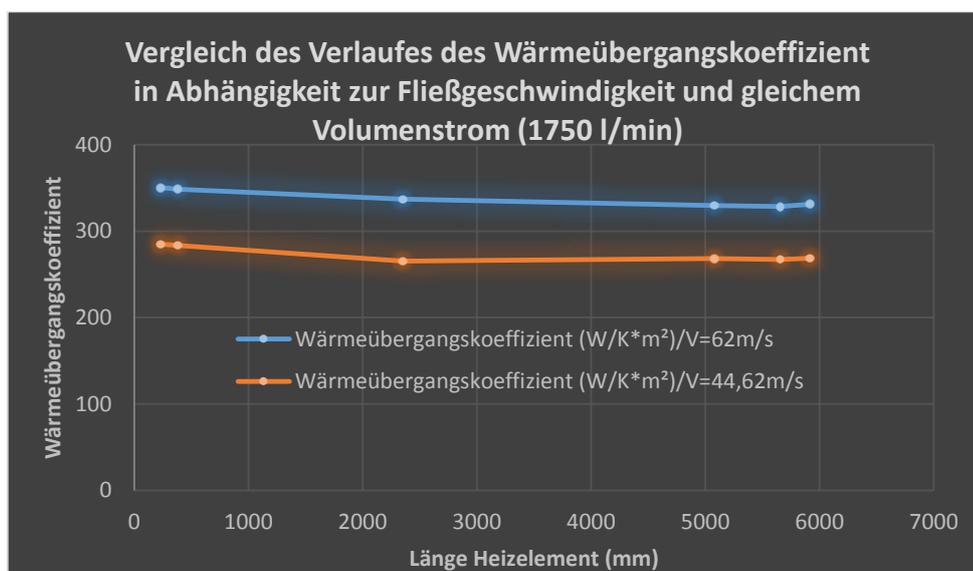
In der folgenden graphischen Darstellung ist im Bild 5.9.9 der signifikante Einfluss der Strömungsgeschwindigkeit von 6,49 m/s und 44,62 m/s auf den Verlauf des Wärmeübergangskoeffizienten dargestellt.



Vergleich des Verlaufes der Wärmeübergangskoeffizienten bei unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten und Volumenströmen Bild 5.9.9

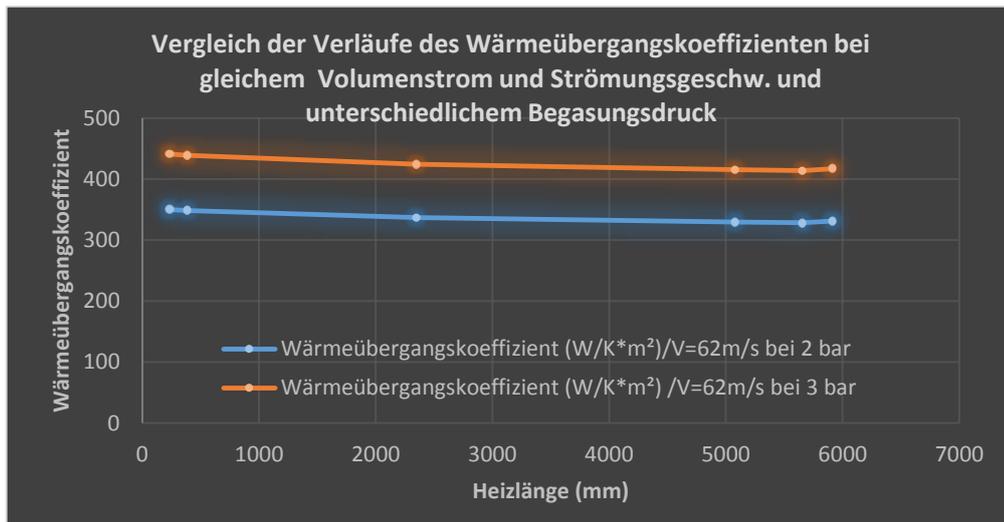
Im Vergleich der Mittelwerte der vorgestellten Verläufe der Wärmeübergangskoeffizienten im Bild 5.9.9 konnte der Wärmeübergangskoeffizient im Mittel um 238 % verbessert werden.

Um einen direkten Vergleich der Wärmeübergangskoeffizienten Verläufe zu erhalten, zeigt das Bild 5.9.10 den Einfluss der Strömungsgeschwindigkeit bei gleichem Volumenfluss von 1750 l/min. Die Strömungsgeschwindigkeit wurde dadurch erhöht, indem der Durchmesser des freien Strömungskanals von 28,6 mm auf 24,2 mm reduziert wurde.



Einfluss der Fließgeschwindigkeit auf den Wärmeübergangskoeffizienten Bild 5.9.10

Bezogen auf den statistischen Mittelwert der vorgestellten Wärmeübergangskoeffizienten im Bild 5.9.10 konnte der mittlere Wärmeübergang um 24 % verbessert werden. Um eine weitere Verbesserung des Wärmeübergangs zu erreichen, wurde bei gleichen Parametern der Begasungsdruck von 2 bar auf 3 bar erhöht. Das nachfolgende Bild 5.9.11 zeigt eine Verbesserung des Wärmeüberganges um weitere 26 %.



Einfluss des Begasungsdruckes auf den Wärmeübergangskoeffizienten

Bild 5.9.11

Darüber hinaus wurde in der Umsetzung des Strömungsverlaufes darauf geachtet eine strömungsgünstige Gestaltung in der Umlenkung der Strömungsrichtung umzusetzen. Das bedeutet konkret, dass die Umlenkung in Form eines strömungsgünstigen Kreisbogens umgesetzt worden ist. Das Bild 5.9.12 zeigt die Umsetzung in dem Hauptmodul.



Hauptmodul mit Umlenkung des gefrästen Strömungskanals

Bild 5.9.12

Wie schon vorgestellt ist die Berechnung der Reynolds-Zahl eine Größe zur Berechnung des Wärmeübergangskoeffizienten. Die Größe der Reynolds-Zahl ( $Re > ca. 2315$ ) ist ein Indikator für den Umschlag von der laminaren Strömung in die diffuse Strömung. Es ist davon auszugehen, dass aufgrund der Rippenstruktur des Rippenrohrheizkörpers eine diffuse Strömung aufgebaut wird und dadurch der Wärmeübergang entscheidend verbessert wird. In der Tabelle 5.9.13 sind die berechneten Reynolds-Zahlen für den Wärmeübergangskoeffizient Verlauf (Bild 5.9.11) für die Geschwindigkeit von 62 m/s und 3 bar Begasungsdruck aufgeführt. Die Zahlen dokumentieren, dass es sich bei allen Temperaturerfassungspunkten um eine diffuse Strömung handelt.

Berechnete Re-Zahlen zur Berechnung des Wärmeübergangskoeffizienten

Reynolds-Zahl	Temperaturerfassungspunkte
153890,53	Th1
148265,7	Th2
151639,75	Th3
173111,73	Th4
213029,5	Th5
219204,95	Th6

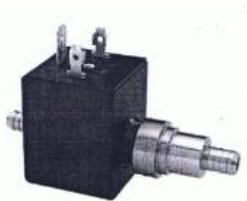
**Re > 2315 = Umschlag von laminar in diffuse Strömung**

Tabelle 5.9.13

Insgesamt betrachtet zeigen die Untersuchungen, dass die Optimierungen mit der rechnerischen Größe des Wärmeübergangskoeffizienten außerordentlich effektiv sind. So konnte der Wärmeübergang durch die Erhöhung der Fließgeschwindigkeit von 44,62 m/s auf 62 m/s bei gleichem Stromfluss um 24 % verbessert werden. Eine weitere Optimierungsmaßnahme war die Erhöhung des Begasungsdruckes von 2 bar auf 3 bar. Mit dieser Maßnahme konnte der Wärmeübergang um nochmals 26 % verbessert werden. Die strömungsgünstige Gestaltung des Rippenrohrheizkörpers ist ebenfalls ein positiver Einfluss auf das Strömungsverhalten. Aufgrund der Rippenstruktur des Rippenrohrheizkörpers konnte über die rechnerische Größe der Reynolds-Zahl nachgewiesen werden, dass es sich um eine diffuse Strömung handelt. Die diffuse Strömung begünstigt den Wärmeübergang.

## 5.10 Umsetzung einer einfachen Dosiertechnik und Zuführung des Katalysators

In der Praxis wird der Katalysator im flüssigen Zustand in dem aufbereiteten temperierten gasförmigen Medium (Bspw. trockene Druckluft) dosiert. Durch die Temperatureinwirkung und dem relativ geringen Siedepunkt des eingesetzten Katalysators (z.B. DMEA, 36,5°C Siedetemperatur) wird der Katalysator gasförmig und wird zur beschleunigten Aushärtung in den Kernkasten mit dem gasförmigen Medium (Trägergas) geführt. Dieser Prozess wird bisher, wie schon dargestellt, außerhalb der Kernschießmaschine realisiert. In der konzeptionellen Ausarbeitung der Dosierung und Zuführung des Katalysators für die modifizierte Begasungshaube, wird der flüssige Katalysator über eine temperaturbeständige Zuleitung **nach der Temperaturbeaufschlagung** des gasförmigen Mediums durch die Heizelemente, in den Trägerstrom dosiert. Im Rahmen der schon vorgestellten Versuchsanordnung wurde zur Dosierung des Katalysators eine Schwingkolben – Saugpumpe eingesetzt. Eine Abbildung der eingesetzten Schwingkolben – Saugpumpe ist in dem Bild 5.10.1 dargestellt.



Schwingkolben – Saugpumpe

Bild 5.10.1

Die Pumpe ist für den Dauerbetrieb konzipiert. Die Einschaltdauer ist abhängig von den Umgebungseinflüssen und dem Fördermedium. In den nachfolgenden Bildern ist die Versuchsanordnung für die Dosierung dargestellt. Wie aus der technischen Zeichnung für das Modul A hervorgeht, ist eine Stichbohrung in dem Hauptstromkanal im Modul A vorhanden (Konstruktionszeichnung Modul A, Bild 5.7.5, Schnitt C – C). Die Schwingkolben – Saugpumpe ist an dieser Bohrung angeflanscht (Bild 5.10.2). Die Anschlussleitung des Katalysators ist zwischen der Pumpe und dem Modul A angeschlossen (Bild 5.10.3). Die Schwingkolben – Saugpumpe wird elektrisch angesteuert und über die Funktion des Schwingkolbens

wird der Katalysator über die Einschaltdauer angesaugt, dosiert und über die Stichbohrung in den Hauptstromkanal gedrückt (Bild 5.10.4).



Bohrung Modul A

Bild 5.10.2



Anschlussleitung Kat. Bild 5.10.3



Stichbohrung Hauptstromkanal Bild 5.10.4

Die Dosierung des Katalysators erfolgt über die Zeit. Die Pumpe fördert  $1\text{g (Katalysator)/s}$  (Einschaltdauer).

Aufgrund sicherheits- und geruchstechnischer Maßnahmen, der Katalysator hat einen sehr hohen penetranten Geruch (Schwellenwert = 3 ppm), wurde die Schwingkolben – Saugpumpe im Vorfeld unter Laborbedingungen (Absaugung) getestet. Die Schwingkolben – Saugpumpe wurde auf die reproduzierbare Katalysatormenge überprüft. Dazu wurde die Pumpe im Dauerbetrieb 2 h geprüft. Die Prüfung erfolgte über die abgesaugte Menge Katalysator bezogen auf die Förderzeit. Die überprüfte Fördermenge betrug 7300 g über einen Zeitraum von 2h (7200 s). Diese Überprüfung wurde viermal wiederholt. Die Dosiergenauigkeit ergab im Mittel einen Wert von 1,4 %. Aufgrund des starken und penetranten Geruchs wie auch der Einstufung des Katalysators nach der EWG Richtlinie 67/548 (R11 Leichtentzündlich, R20/22 Gesundheitsschädlich beim Einatmen und Verschlucken, R34 verursacht Verätzungen) und den Versuchsbedingungen bei der

Firma REIßAUS & BAUMBERG GMBH, wurde bisher ein praktischer Versuch in der Anwendung des Katalysators vorgenommen. Die Funktionsweise konnte bestätigt werden. Die Versuche konnten aufgrund des intensiven starken Geruchs des Katalysators nicht weiter ausgebaut werden. Nach Mitteilung des Herstellers der Schwingkolben-Saugpumpe liegen keine Erfahrungen mit der Förderung eines tertiären Amins vor. Kritisch zu betrachten ist die niedrige Viskosität des Katalysators. Aufgrund der niedrigen Viskosität hat der Katalysator keine Eigenschmierung. Das kann dazu führen, dass der Kolben der Schwingkolben – Saugpumpe mit zunehmender Förderzeit defekt wird. Weitere umfangreiche Untersuchungen werden im Teilprojekt II berücksichtigt.

### **5.11 Vergleich der Investitionskosten der modifizierten Begasungshaube zur konventionellen Begasungstechnologie**

Als Grundlage für diesen Vergleich dient eine Kernschießmaschine mit einem Schießvolumen von 10-15 Liter Formstoff.

Als Begasungseinheit wird die Einheit der Aufbereitung der technisch getrockneten Luft mit Temperatur definiert (Verdampfer) und die Dosierung des Katalysators. Zusätzlich sind die Begasungseinheiten ausgelegt für die Temperaturbeaufschlagung des Trägergases von max. 140°C.

Die Investitionskosten für die Zuleitung des Luft/Katalysatorgemisches und Zusatzheizungen in der Zuleitung werden an einem konkreten Beispiel vorgestellt. Die vorgestellte Ausführung für die modifizierte Begasungshaube beinhalten sicherheitstechnische Bauelemente wie z.B. Strömungswächter und Thermostate. In der Tabelle 5.11.1 ist die Gegenüberstellung der Kosten aufgeführt.

Gegenüberstellung der Investitionskosten

<b><i>Begasungseinheit Extern Konventionell</i></b>	<b><i>Begasungseinheit Intern Modifizierte Begasungshaube</i></b>
Investitionskosten Verdampfer <b>(8 KW-Leistung)</b> und Dosiereinheit für den Katalysator	Investitionskosten Heizelemente <b>(5 KW-Leistung)</b> und Dosiereinheit für den Katalysator)
18.000,-€	9.800,-€
<b><i>Begasungseinheit Extern Konventionell</i></b>	<b><i>Begasungseinheit Intern Modifizierte Begasungshaube</i></b>
Zuleitung 2" Durchmesser, Länge 30 m + Zusatzheizungen	Zuleitung 2" Durchmesser, Länge 30 m + Aufwand der Modifikation der Begasungshaube
6500,-€	ca. 4500,-€
Begasungseinheit Extern Konventionell	Begasungseinheit Intern Modifizierte Begasungshaube
<b>Gesamtsumme</b>	<b>Gesamtsumme</b>
<b>24.500,-€</b>	<b>13.300,-€</b>
<b>Einsparung</b>	<b>10.200,-€</b>

Tabelle 5.11.1

Grundlage dieser Berechnung für die modifizierte Begasungshaube ist die Kalkulation für den Prototyp mit einer elektrischen Leistung von 5 KW. Diese Leistungsangabe stellt das Äquivalent zu der konventionellen Verdampfer Leistung von 8 kW (Temperaturniveau 140°C) dar. Die Einsparung ergibt eine Kostenreduzierung von 42 %.

## 5.12 Reduzierung der Begasungszykluszeit zur Verbesserung der Produktivität

Als Grundlage dient die nachfolgende Kalkulation (Bild 5.12.1) der Kernherstellkosten für den Kern mit der Bezeichnung Wolf (Konventionelle Kernproduktion).

Cold-Box Regenerat					
<b>Kostensatz für Formstoff und Binder</b>					
				€/100Kg	€/100kg
100,00	Kg Sand (Cold-Box-Regenerat)			1,39	1,39
0,45	Kg Harz			262,00	1,18
0,45	Kg Härter			339,00	1,53
0,02	Kg Katalysator			585,00	0,12
100,00	<b>Kg Kernsand Gesamt</b>				<b>4,21</b>
<b>Einrichtungskosten</b>					
Kernkasteneinrichtungskosten (€)		Geschätzte Haltbarkeit der Einrichtung (Stück/Kernkasten)		Einrichtungskosten (€/Gußstück)	
6.000,00		10.000,00		0,6	
<b>Kernstoffkosten</b>					
<b>Kernvolumen (l)</b>	<b>Kern je Gußstück</b>	<b>Kostensätze (Einheit) (€/Einheit)</b>		<b>Kernstoffmenge (l/Kern)</b>	<b>Kernstoffkosten (€/Gußstück)</b>
6,90	1,00	Liter	0,059	6,90	0,407
Faktor 0,1414=Summe Formstoffkosten dividiert durch (100Kg/1,4=71.42l)10,10€/71,42					
<b>Kernfertigungskosten inkl. Maschinen und Personalkosten</b>					
<b>Kern je Stück</b>	<b>Arbeitsgang-bezeichnung</b>	<b>Kostensätze (Einheit) (€/Einheit)</b>		<b>Kernfertigungszeit (min/Kern)</b>	<b>Kernfertigungskosten (€/Gußstück)</b>
1,00	schießen/trocknen	min	0,800	1,50	1,200
Kostenkalkulation Grohmann Faktor 0,8€ für die Kernschießeinheit H12					
<b>Kosten Umwelt (Aminwäscher)</b>					
Kostenfaktor 12,54€/h/60min=0,21€/min (Siehe Kostenaufstellung Aminwäscher)					
<b>Verfahren (Stück)</b>	<b>Kernanzahl (Stück)</b>	<b>Kostensätze (Einheit) (€/Einheit)</b>		<b>Kernspezifisches Begasen (min)</b>	<b>Wäscherkosten (€/Gußstück)</b>
Absorber	1,000	min	0,210	1,50	0,32
<b>Arbeitsgang-bezeichnung</b>	<b>Kernanzahl (Stück)</b>	<b>Kostensätze (Einheit) (€/Einheit)</b>		<b>Kernstoffbedingtes Entkernen (min)</b>	<b>Entkernungskosten (€/Gußstück)</b>
Entkernen	1,000	min	0,800	1,10	0,88
<b>Arbeitsgang-bezeichnung</b>	<b>Kernanzahl (Stück)</b>	<b>Kostensätze (Einheit) (€/kg)</b>		<b>Strahlen kg</b>	<b>Entkernungskosten (€/Gußstück)</b>
Strahlen	1,000	kg	0,650	1,50	0,98
Strahlkammer 40Stk*1,5Kg=60Kg, laut Grohmannkalkulation 0,30€/60kg+0,35€(Faktor Reinigung Kokille)					
Summe aus Kernstoffkosten + Kernfertigungskosten (1)					1,61
Kernausschuß 2% (bezogen auf 1)					0,03
Einrichtungskosten					0,60
Kosten Absorber (Aminwäscher)					0,32
Kosten Deponie					-
Kernstoffbedingte Entkern- und Strahlkosten+Reinigung der Kokille					1,86
<b>€/Gußstück</b>					<b>4,41</b>
Ausschuß 1% durch Entkernen bzw. zusätzliche Putzarbeit					0,04
<b>Kernherstellungskosten €/Kern</b>					<b>4,45</b>

Kalkulation Kern mit der Bez. Wolf

Bild 5.12.1

Im Rahmen einer Maschinenabnahme eines Kunden bei der Firma REIßAUS & BAUMBERG MASCHINENBAU GMBH konnte die modifizierte Begasungshaube unter hohem Aufwand getestet werden. Mit dem Ergebnis, dass eine vollständige Aushärtung des vorgestellten Kerns mit einer Reduzierung der Begasungszeit von 6 s realisiert werden konnte. In der Tabelle 5.12.2 ist die Einsparung gegenüber der konventionellen Kernherstellung dargestellt.

Vergleich der Begasungszeiten

	Konventionelle Begasung	Modifizierte Begasung
Begasungszeit (min)	1,5 (90 s)	1,4 (84 s)
Kern Stückpreis (€)	4,45	4,37
Einsparung/Kern (€)	0	0,08

Tabelle 5.12.2

Bei einer Produktion von 150.000 Kerne/Jahr ergibt sich eine Einsparung von 12.000 €. Die Produktivität steigt um 7 %, d.h. in einer Schicht kann die Produktivität der Kerne um 22 Kerne erhöht werden

## VI. Fazit

Insgesamt betrachtet ist das Gesamtkonzept der modifizierten Begasungshaube außerordentlich effektiv. Die erzielten Ergebnisse mit dem Prototyp der modifizierten Begasungshaube belegen diese Aussage. Das Gesamtkonzept ist einfach aufgebaut und somit kostengünstig umzusetzen. Durch die modulare Bauweise konnten die kostenintensiven Auflagen nach ATEX-Richtlinien umgangen werden. Das bedeutet, dass konventionelle kostengünstige Heizelemente eingesetzt werden. Um eine strömungsgünstige Gestaltung und einen hohen Wärmeeintrag für die thermische Aufbereitung des Trägergases zu erzielen, wurden Rippenrohrheizkörper eingesetzt. Der Rippenrohrheizkörper ist dadurch zu charakterisieren,

- die Rippenstruktur stellt eine große Oberfläche für den Wärmeübergang dar,
- die Gestaltung des Rippenrohrheizkörpers ist strömungsgünstig aufgebaut,
- die Rippenstruktur verursacht eine diffuse Strömung und damit verbunden einen guten Wärmeübergang,
- der Heizkörper ist robust aufgebaut.

Die reduzierte eingesetzte elektrische Leistung von 8 KW (Konventionelle Auslegung der Heizleistung) auf 5 KW zeigen eindeutig, dass das Konzept der modifizierten Begasungshaube sehr gut funktioniert. Die berechneten Wärmeübergangskoeffizienten bestätigen diese Aussage. Durch die Erfassung der Heizphasen der verbauten Heizelemente in der Versuchsphase des Prototyps konnte festgestellt werden, dass eine tatsächliche elektrische Leistung von nur 3,0 KW für die Anwendung bis 100°C Begasungstemperatur benötigt wurden.

Kritisch zu betrachten ist das Konzept der Dosierung des tertiären Amins. Aufgrund des schwierigen Umgangs mit diesem Stoff konnten noch keine umfangreichen Versuchsergebnisse ermittelt werden, die die ersten positiven Ergebnisse verifizieren könnten. Deshalb sollen in dem Teilprojekt II, innerhalb der Umsetzung des Prototyps in der Kernschießmaschine, die Versuche fortgesetzt werden oder weitere kostengünstige Alternativen getestet werden. Zusätzlich ist anzumerken, dass der erstellte Prototyp konzipiert worden ist für die Größenordnung mittlerer Kernschießmaschinen (Kernschießvolumen  $\leq 15$  l). Es ist zu prüfen, ob das Konzept für Kernschießmaschinen  $> 15$  l Kernschießvolumen in dieser Form umzusetzen ist oder Alternativen in der thermischen Aufbereitung des Trägergases erarbeitet werden müssen. Ein weiterer Aspekt, der im Zusammenhang mit den umfangreichen Versuchen mit dem Prototyp entstanden ist, ist die Nutzung der Abwärme die durch die Konvektionsfläche des Prototyps entsteht. Insbesondere in der Anwendung für anorganische Bindemittel (Begasungstemperatur 180°C) ist die Nutzung der Abwärme (Oberflächentemperatur ca. 140°C) von Interesse. Das Konzept der Nutzung der Abwärme ist in dem Gesamtkonzept des Teilprojektes II berücksichtigt.