

Reißaus & Baumberg Maschinenbau GmbH

**Entwicklungsvorhaben mit der Bezeichnung Modifizierte Begasungshaube zur
Einsparung von Energie für die Herstellung von Gießereikernen
Teilprojekt 2**

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

Von

Dipl.-Ing. Helge Hänsel

Höxter, Januar 2016

Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt			
Az.31326/02	Referat 21/2	Fördersumme	105.000 €
Antragstitel Entwicklung einer modifizierten Begasungshaube als Bestandteil einer Kernschießmaschine (Teilprojekt II)			
Stichworte Neue Begasungstechnologie für die Herstellung von Gießerei Kernen			
Laufzeit 1 Jahr	Projektbeginn 19.01.2015	Projektende 19.01.2016	Projektphase(n) 2
Zwischenberichte: alle 6 Monate Kurzbericht			
Bewilligungsempfänger	Reißaus & Baumberg Maschinenbau GmbH Zum Monarchenhügel 23 04523 Pegau Warbsen	Tel.	(034296)71190
		Fax	(034296)71192
		Projektleitung Herr Hänsel	
		Bearbeiter Herr Hänsel	
Kooperationspartner	Ingenieurbüro Hänsel Helge Hänsel Im Hohem Felde 33 37671 Hörter		
<p>Zielsetzung und Anlass des Vorhabens</p> <p>Das Projekt stellt eine Entwicklung zur Umsetzung von Energieeinsparung in einem Teilprozess der Gießerei Industrie 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 wird durch leistungsstarke Heizelemente (Verdampfer) außerhalb der Kernschießmaschine realisiert. Von der thermischen Aufbereitung des gasförmigen Mediums außerhalb der Kernschießmaschine bis zur Begasungshaube in der Kernschießmaschine sind in der Regel lange Versorgungsleitungen im Einsatz. Diese Versorgungsleitungen verursachen erhebliche Energieverluste. Zusätzlich entstehen Energieverluste durch eine strömungsungünstige Geometrie innerhalb der Begasungshaube. Um die Energieverluste zu vermeiden, wurde das 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 nennenswerten Verluste für die Aufheizung des gasförmigen Mediums genutzt. Das Gesamtkonzept dieser Entwicklung beinhaltet zusätzlich die Entwicklung einer einfachen Dosierung von Katalysatoren.</p> <p>Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden</p> <p>Das Projekt stellt die Umsetzung eines Prototyps aus dem ersten Teilprojekt der modifizierten Begasungshaube in einer Kernschießmaschine der mittleren Größe dar. Zusätzlich wird für große Kernschießeinheiten ein Begasungskonzept entwickelt, das den Ansprüchen der effizienten und energiesparenden Begasung in Form einer modifizierten Begasungshaube gerecht wird. Dazu werden verschiedene Konzepte in der Umsetzung und Anordnung der relevanten Heizelemente in der modifizierten Begasungshaube entwickelt. Bestandteil dieses Konzeptes für eine modifizierte Begasungshaube soll ein modularer Aufbau mit einer elektrischen Leistungserweiterung bis 24 KW sein. Der innere Aufbau der modifizierten Begasungshaube wird strömungsgünstig gestaltet. Die Effizienz des Wärmeüberganges der modifizierten Begasungshaube zwischen dem strömenden Medium und der Oberfläche der Heizelemente soll durch die Berechnungen verschiedener Wärmeübergangskoeffizienten im Hauptströmungskanal der modifizierten Begasungshaube berechnet werden. Dazu dient eine Matrix von Temperaturaufnahmepunkte die in Abhängigkeit zur Begasungszeit die Temperaturen aufnehmen. Für die Dosierung des Katalysators, zur Herstellung von Cold-Box Kernen, soll eine modifizierte Dosiertechnik erprobt werden. Darüber hinaus soll ein Konzept entwickelt werden, für die teilweise Rückgewinnung der Abwärme von der Oberfläche der modifizierten Begasungshaube. Weitere Arbeitsschritte in der praktischen Erprobung des Prototyps der modifizierten Begasungshaube in ein Kernschießmaschine der mittleren Größe ist die Reduzierung der Begasungszeit wie auch eine Reduzierung der Katalysatormenge durch die Erprobung der neuen Dosiertechnik.</p>			
Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Borneu 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190			

Ergebnisse und Diskussion

Im Rahmen des Teilprojektes 2 wurde das Gesamtpaket bestehend aus der Modifizierte Begasungshaube und einer „neuen“ Dosiertechnologie zur Kernherstellung eingesetzt und getestet. Die Versuche wurden durchgeführt, um die Effizienz der modifizierten Begasungshaube gegenüber der konventionellen Technologie zu eruiieren. Diese Versuche wurden mit einem Produktionskernkasten der Firma GF Leipzig realisiert. Die Produktionsparameter der konventionellen Cold-Box Kernfertigung konnten somit mit den Produktionsparametern der modifizierten Begasungshaube verglichen werden. Die Versuche wurden durchgeführt mit den folgenden Einheiten,

- Konventionelle Kernschießmaschine der Fa. R&B, Kernschießvolumen 18 l (Mittlere Größe),
- Prototyp der modifizierten Begasungshaube,
- Dosierpumpe mit Durchflussmesseinheit zur Dosierung der tertiären Amin Menge.

Die nachfolgenden Ergebnisse wurden aus der Versuchsreihe bei der Firma Reißaus & Baumberg eruiert. Im Rahmen der Cold-Box Kernproduktion konnten die folgenden Größen gegenüber der konventionellen Kernproduktion erheblich verbessert werden.

- Reduzierung der Begasungszeit.
- Reduzierung der Taktzeit der Kernfertigung.
- Reduzierung der tertiären Amin Menge.
- Reduzierung der eingesetzten Energie für die Kernaushärtung.

Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle festgehalten. Die Einsparungen basieren darauf, dass die Parameter der konventionellen Kernfertigung als Referenzwerte eingesetzt wurden. Diese Referenzwerte wurden mit den Parametern der Kernherstellung, die mit der modifizierten Begasungshaube erreicht wurden, verglichen.

	Konventionelle Kernfertigung	Modifizierte Begasungshaube	Einsparungen
Amin Menge	4,5 ml/Kern	1,74 ml/Kern	2,76 ml/Kern (56%)
Gesamt Härtezeit	15s/Kern	12s/Kern	3s/Kern (20%)
Heiz Energie	4,5 kWh	1,3 kWh	3,2 kWh (70%)

Weiterhin wurde mit verschiedenen Kernkästen ebenfalls eine Kernproduktion mit der modifizierten Begasungshaube realisiert. Damit konnte bestätigt werden, dass durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube signifikante Einsparungen erreicht wurden. Besonders hervorzuheben sind die Ergebnisse der Einsparungen der tertiären Amin Menge und der benötigten Heiz Energie. Die theoretisch ermittelten tertiären Amin Mengen für die Kernproduktion (Bezogen auf das Kerngewicht) konnten mit der modifizierten Begasungshaube bestätigt werden. In der konventionellen Kernfertigung sind diese sehr guten Werte nicht zu erreichen. Auch die relativ geringe elektrische Energiemenge für die Kernherstellung mit der modifizierten Begasungshaube, bestätigen das sehr effiziente Konzept der modifizierten Begasungshaube.

Aufgrund dieser sehr guten Ergebnisse ist darüber nachzudenken, dieses effiziente Konzept der modifizierten Begasungshaube auch für große Kernschießmaschinen umzusetzen und somit für das gesamte Sortiment von Kernschießmaschinen anzubieten. Es ist zu attestieren, dass der Einsatz der modifizierten Begasungshaube erhebliche Einsparungen für den Kernherstellungsprozess geniert. Weiterer großer Vorteile der modifizierten Begasungshaube sind der einfache modulare Aufbau (geringe Wartungskosten) und die Möglichkeit die modifizierte Begasungshaube in bestehende Kernschießmaschinen nachzurüsten. Ebenfalls hervorzuheben, ist die Einheit der Dosierung des tertiärenamins im Zusammenhang mit der modifizierten Begasungshaube. Die Einheit bestehend aus Dosierpumpe, Dosierventil und Durchflussmesser besticht durch hohe Dosiergenauigkeit und Reproduktion der Amin Menge. Die kompakte sehr platzsparende Bauweise zeichnet sich ebenfalls aus gegenüber dem konventionellen Aufbau der Dosierung des tertiärenamins.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Der Prototyp der modifizierten Begasungshaube wird auf der Hannover Messe in diesem Jahr ausgestellt. Die sehr guten Ergebnisse der verschiedenen Versuchsreihen mit der modifizierten Begasungshaube wird in verschiedenen Fachzeitschriften erscheinen. Weiterhin wird eine Gießerei gesucht, um die modifizierte Begasungshaube unter Produktionsbedingungen einzusetzen.

Fazit

Insgesamt stellt die modifizierte Begasungshaube mit der neuen Dosiertechnologie eine kostengünstige Variante gegenüber der konventionellen Technologie dar. Durch die Effizienz der modifizierten Begasungshaube konnten erhebliche Einsparungen in den Bereichen Energie, tertiäre Amin Menge, Taktzeit gegenüber dem konventionellen Prozess erreicht werden.

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 Das Konzept der modifizierten Begasungshaube
 - 5.2 Versuchseinheiten
 - 5.3 Dosiertechnologie
 - 5.4 Eingesetztes Kernwerkzeug und Produktionsreferenzwerte der Kernherstellung
 - 5.5 Berechnung der Katalysator Menge
 - 5.6 Dosierung des tertiären Amins
 - 5.7 Begasungsparameter
 - 5.8 Leistung der verbauten Heizelemente
 - 5.9 Temperaturvorwahl für die Kernherstellung
 - 5.10 Begasungszeit
 - 5.11 Formstoffmischung
 - 5.12 Ergebnisse
 - 5.13 Gesamtüberblick der Einsparungen
 - 5.14 Ökonomischer Vergleich zur konventionellen Begasungstechnik
 - 5.14.1 Vergleich der Investitionskosten der konventionellen Begasungseinheit und der modifizierten Begasungshaube
 - 5.14.2 Einsparung der Kernherstellkosten durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube
 - 5.14.3 Einsparung der tertiären Amin Menge durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube

- 5.14.4 Reduzierung der Betriebskostenrechnung für den Amin Wäscher durch die modifizierte Begasungshaube
- 5.14.5 Einsparung der Heiz Energiekosten durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube
- 5.14.6 Einsparung der Kosten für die Waschlösung durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube
- 5.14.7 Gesamtüberblick der Kosteneinsparung durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube
- 5.14.8 Amortisation der modifizierten Begasungshaube
- 5.14.9 Ökonomische Vorteile der modifizierten Begasungshaube
- 5.15 Ökologischer Vergleich zur konventionellen Begasungstechnik
- 5.15.1 Einsparung der CO₂-Emissionen durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube
- 5.15.2 Ökologische Vorteile der modifizierten Begasungshaube

VI. Fazit

I. Verzeichnis von Bildern und Tabellen

Bild 1	Aufbau der konventionellen Begasung, Seite 12
Bild 2	Aufbau der modifizierten Begasung, Seite 13
Bild 3	Hauptmodul, Seite 16
Bild 4	Modul A, Seite 17
Bild 5	Hauptmodul und Modul A, Seite 17
Bild 6	Versuchskernschießmaschine mit modifizierter Begasungshaube, Seite 18
Bild 7	Kernkasten, Seite 19
Bild 8	Förderprinzip der Zweikolbenpumpe, Seite 20
Bild 9	Schema der Pumpentechnik und Dosierung, Seite 21
Bild 10	Versuchsordnung Pumpentechnik und Dosierung, Seite 22
Tabelle 1	Dosiergenauigkeit, Seite 23
Tabelle 2	Kernherstellungsparameter, Seite 23
Bild 11	Oberkasten Kernkasten, Seite 24
Bild 12	Unterkasten Kernkasten, Seite 24
Bild 13	Oberkasten mit Kernen, Seite 25
Bild 14	Flussrate tertiäre Amin Menge, Seite 25
Bild 15	Messpunkt Th4, Seite 27
Bild 16	Temperaturüberwachungspunkte, Seite 27
Bild 17	Eingabe Panel, Seite 29
Tabelle 3	Versuchswerte, Seite 30
Tabelle 4	Heizzeiten, Seite 31
Tabelle 5	Gesamtüberblick Einsparungen, Seite 32
Tabelle 6	Preisrelation Pumpen.- und Dosiertechnik, Seite 32
Tabelle 7	Gesamt Investitionskosten, Seite 33
Bild 18	Kernfertigungskosten, Seite 35
Bild 19	Kernfertigungskosten mit der modifizierten Begasungshaube, Seite 36
Tabelle 8	Gegenüberstellung der Kernfertigungskosten, Seite 36
Bild 20	Gegenüberstellung der Kernherstellungskosten/h, Seite 37

Bild 21	Darstellung der Produktivitätssteigerung, Seite 37
Bild 22	Einsparungspotential für den Schichtbetrieb, Seite 38
Tabelle 9	Gegenüberstellung der tertiären Amin Mengen, Seite 38
Bild 23	Gegenüberstellung der tertiären Amin Menge zur konventionellen Begasung, Seite 39
Tabelle 10	Einsparungspotential tertiäre Amin Menge, Seite 39
Bild 24	Gegenüberstellung der Einsparung der tertiären Amin Kosten, Seite 40
Bild 25	Betriebskosten Amin Wäscher, Seite 41
Bild 26	Einsparung der Amin Menge und Reduzierung der Betriebskosten des Amin Wäschers, Seite 42
Bild 27	Einsparungen der Heizkosten, Seite 43
Bild 28	Einsparung der Entsorgungskosten für die Waschlösung, Seite 44
Bild 29	Gesamtüberblick der Einsparungen, Seite 45
Tabelle 11	Einsparungen/Jahr, Seite 45
Tabelle 12	Amortisationszeit, Seite 46
Tabelle 13	Elektrischer Verbrauch, Seite 47
Bild 30	Reduzierung der CO ₂ -Emissionen, Seite 48

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 Formteilen

3. Kern (Forminnenteile)

Kerne sind Formteile, die in Formenaußenteile zur Bildung von Hohlräumen in Guss Teil 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 dem 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.

III. Zusammenfassung

Das vorgestellte Projekt beschreibt den Versuchseinsatz mit dem entwickelten Prototyp der modifizierten Begasungshaube und der neuen Dosiertechnik des tertiären Amins in einer Serien-Kernschießmaschine. Mit dem Ziel die Effizienz des Prototyps zu prüfen. Dazu wurde ein Produktionskernkasten eingesetzt und die damit verbundenen Produktionsparameter für die Kernherstellung eruiert. Die Produktionsparameter mit dem Prototyp wurden mit den Produktionsparametern der konventionellen Kernfertigung verglichen. Damit war es möglich einen differenzierten Vergleich vorzunehmen und Einsparungen aufzuzeigen. Der Versuchsaufbau beinhaltete den Einsatz einer mittleren Kernschießmaschine (Kernschießvolumen 16 l) für die Cold-Box Kernfertigung mit dem erwähnten Prototyp der modifizierten Begasungshaube. Weitere Bestandteile des Versuchsaufbaus waren eine „neue“ Dosiereinheit für die Dosierung des tertiären Amins, einer Ventileinheit zum Öffnen und Schließen der eigentlichen Dosierung und einer Durchflussmessenheit zur Überwachung der dosierten Menge des tertiären Amins. In dieser Kombination und dem erwähnten Produktionskernkasten wurden die Versuchsreihen durchgeführt. Die Essenz der durchgeführten Versuchsreihen zeigten hohe Einsparungspotentiale in den Bereichen,

- Energie für den Härteprozess,
- Tertiäre Amin Menge,
- Taktzeit für die Kernherstellung.

In dem Zusammenhang der Taktzeit Reduzierung sollte erwähnt werden, dass die Produktivität der Kernherstellung durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube entschieden gesteigert werden konnte. Die Effizienz aus der Kombination aus der modifizierten Begasungshaube und der neuen Dosiertechnik konnte ebenfalls durch den Einsatz mit verschiedener Kernkästen verifiziert werden.

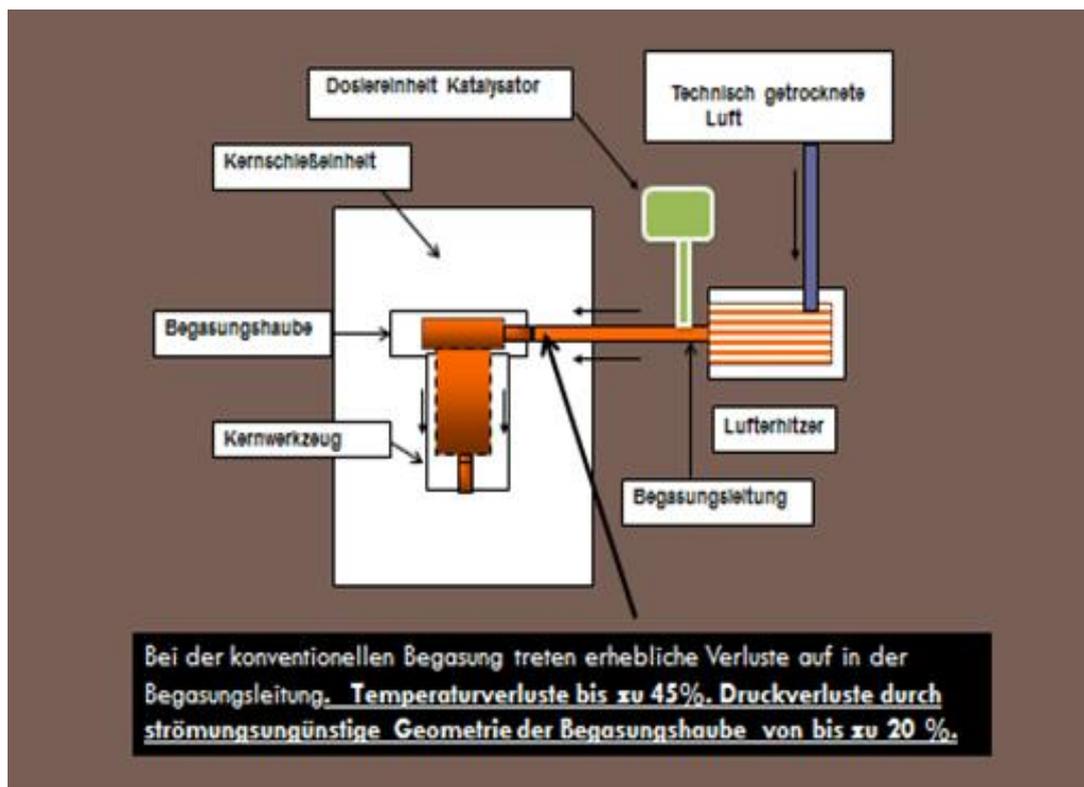
IV. Einleitung

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 dem 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 hier betrachtete Teilprozess ist der energieintensive Begasungsprozess für die Kernherstellung. Als Grundlage für das Entwicklungskonzept der modifizierten Begasungshaube wurde der konventionelle Begasungsprozess analysiert. Der vorliegende Abschlussbericht stellt den Prototyp dar, der aus dem erarbeiteten Konzept aus dem Teilprojekt 1 entwickelt wurde und in einer Kernschießmaschine verbaut wurde. Im Rahmen von umfangreichen Versuchen mit Produktionskernkästen aus der konventionellen Kernfertigung wurden die jeweiligen Produktionsparameter aus der konventionellen Kernfertigung mit den Produktionsparametern der Kernfertigung mit der modifizierten Begasungshaube verglichen. Zusätzlich wurde für die Dosierung des Katalysators eine neue Dosiertechnologie angewendet.

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 1 zeigt schematisch den Aufbau der konventionellen Begasung.

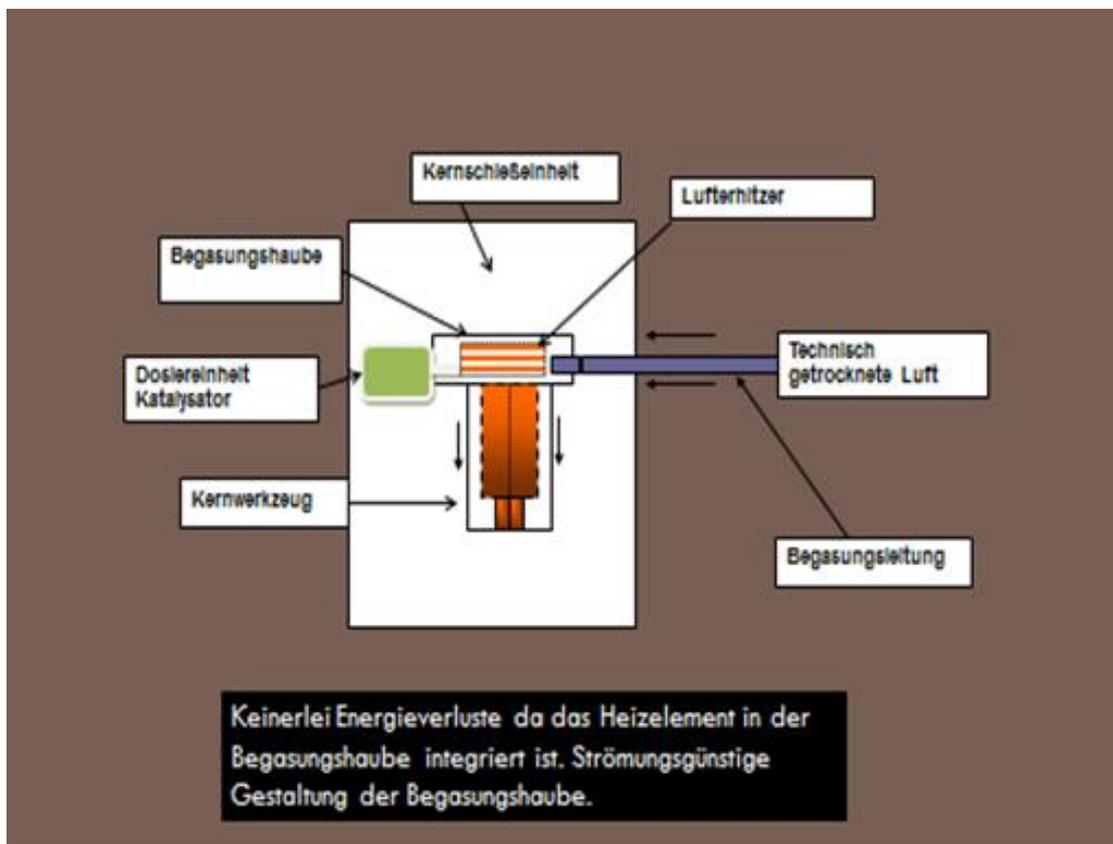


Aufbau der konventionellen Begasung

Bild 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 2 ist das Konzept der modifizierten Begasungshaube schematisch dargestellt.



Aufbau der modifizierten Begasung

Bild 2

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

4.2. Zielsetzung

- 4.2.1 Zielsetzung ist die Umsetzung des entwickelten Prototyps aus dem Teilprojekt I in einer Kernschießmaschine mit einem Schießvolumen von 16 l. (**Umsetzung des Prototyps in einer Kernschießmaschine**).
- 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 der Einsatz einer kostengünstigen Technologie zur Dosierung und Zuführung eines tertiären 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

Die Aufgabenstellung war zunächst die Implementierung der nachfolgend aufgeführten Einheiten in eine Standard Kernschießmaschine mittlerer Größenordnung. Wie schon in den Zielsetzungen des Projektes vorgestellt, war u.a. ein Ziel die Implementierung der Einheit der modifizierten Begasungshaube in eine bestehende Kernschießmaschine (Nachrüstung) und die Einheit der dazugehörigen neuen Dosiertechnologie für den Katalysatoreinsatz im Cold-Box Verfahren.

Dazu wurde ein entsprechend dimensionierter Begasungsschlitten konstruiert und gebaut. Der Schlitten hat die Funktion die modifizierte Begasungshaube im Kernherstellungsprozess über den Kernkasten zu positionieren damit der Begasungsprozess (Härteprozess) begonnen werden kann. Nach der eigentlichen Begasung (Aushärtung durch Zuführung des Katalysators) wird die modifizierte Begasungshaube mit Hilfe des Begasungsschlittens in die Ursprungssituation gebracht, damit der hergestellte Kern aus dem Kernkasten entnommen werden kann. Zusätzlich mussten die zwei verbauten Heizelemente, die in der modifizierten Begasungshaube verbaut sind, elektrisch angeschlossen werden und in den programmtechnischen Ablauf der Kernschießmaschine installiert werden.

Eine weitere Aufgabenstellung war die Implementierung der neuen Dosiertechnologie. Die Kombination aus Dosierpumpe, Ventiltechnik und Durchflussmesseinrichtung musste in den programmtechnischen Ablauf der Kernschießmaschine ebenfalls eingebunden werden. Darüber hinaus musste die Dosiertechnik an die modifizierte Begasungshaube angeschlossen werden. Zusätzlich wurde nach der eigentlichen Dosierung des tertiären Amins eine Spülluftsequenz eingebaut, damit die komplette Amin Menge dem Kernkasten zugeführt wird.

V. Hauptteil

Die einzelnen Projektabschnitte im Hauptteil wurden umfangreich bearbeitet. 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. Die Projektabschnitte für das Teilprojekt 2 sind wie folgt zu beschreiben.

5.1. Das Konzept der modifizierten Begasungshaube

Das Konzept wurde in dem Teilprojekt 1 erarbeitet. Die charakteristischen Merkmale dieses Konzeptes sind,

- die Integration von Heizelementen in der Begasungshaube zur thermischen Aufbereitung des eingesetzten Mediums,
- die modulare Bauweise.

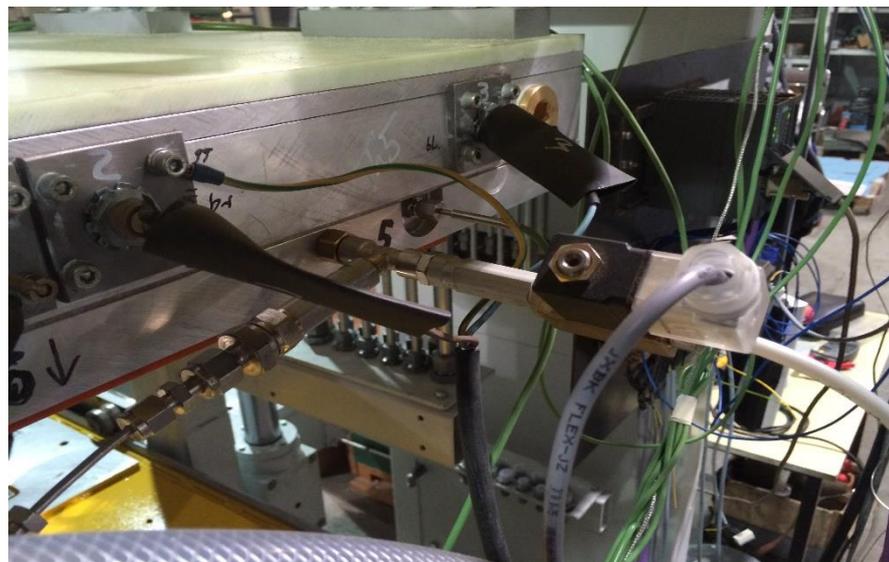
Diese modulare Bauweise hat verschiedene Funktionen. Die modulare Bauweise besteht aus dem Hauptmodul und dem Modul A. In dem Hauptmodul befinden sich die verbauten Heizelemente. Das Modul A hat die Funktion, ausschließlich die Dosierung und Zuführung des tertiären Amins in den Hauptstromkanal zu realisieren. Die modifizierte Begasungshaube ist somit für die Applikation von organischen, wie auch von anorganischen Bindemitteln einsetzbar. In dem Teilprojekt 2 wurde dieses Konzept in einen Prototyp für eine Kernschießmaschine mittlerer Größe umgesetzt. In dem Bildern 3, 4 und 5 sind die einzelnen Module der modifizierten Begasungshaube dargestellt.



Hauptmodul, Bild 3



Modul A, Bild 4



Hauptmodul und Modul A, Bild 5

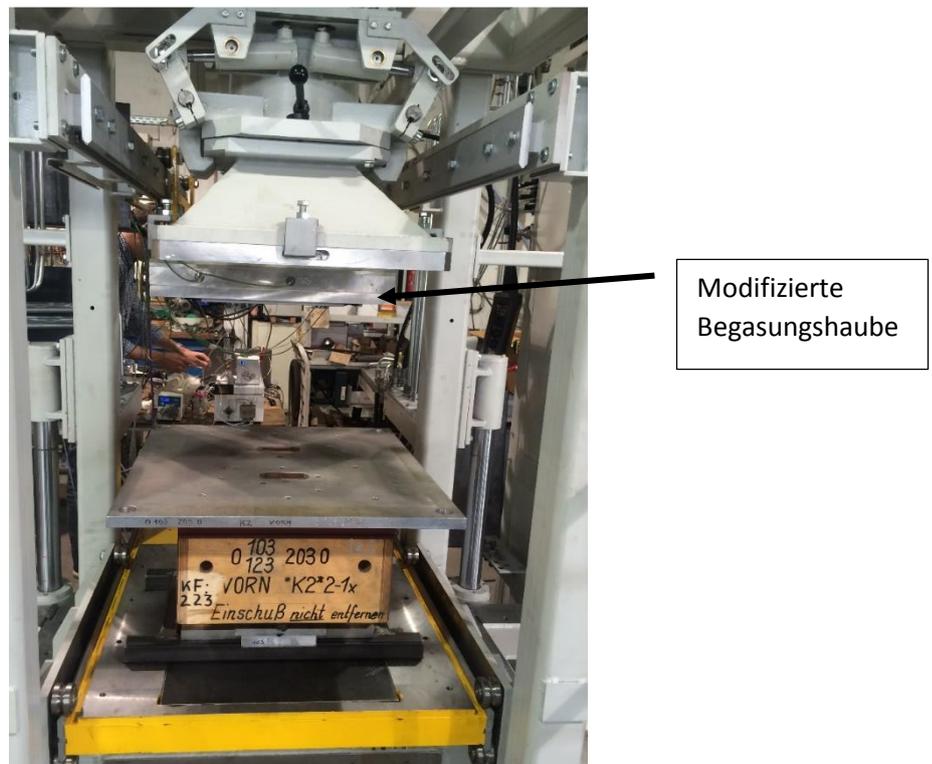
5.2. Versuchseinheiten

Im Rahmen des Teilprojektes 2 wurde das Gesamtpaket bestehend aus der modifizierten Begasungshaube und einer „neuen“ Dosiertechnologie zur Kernherstellung eingesetzt und getestet. Die Versuche wurden durchgeführt, um die Effizienz der modifizierten Begasungshaube gegenüber der konventionellen

Technologie zu eruieren. Diese Versuche wurden mit einem Produktionskernkasten der Firma GF Leipzig realisiert. Die Produktionsparameter der konventionellen Cold-Box Kernfertigung konnten somit mit den Produktionsparametern der modifizierten Begasungshaube verglichen werden. Die Versuche wurden durchgeführt mit den folgenden Einheiten,

- Konventionelle Kernschießmaschine der Fa. R&B, Kernschießvolumen 16l (Mittlere Größe),
- Prototyp der modifizierten Begasungshaube,
- Dosierpumpe mit Durchflussmessenheit zur Dosierung der tertiären Amin Menge.

Das Bild 6 zeigt die Versuchskernschießmaschine mit der modifizierten Begasungshaube und dem Produktionskernkasten.



Versuchskernschießmaschine mit modifizierter Begasungshaube, Bild 6

In dem Bild 7 ist der Kernkasten mit den Kernen dargestellt der produziert wurde.

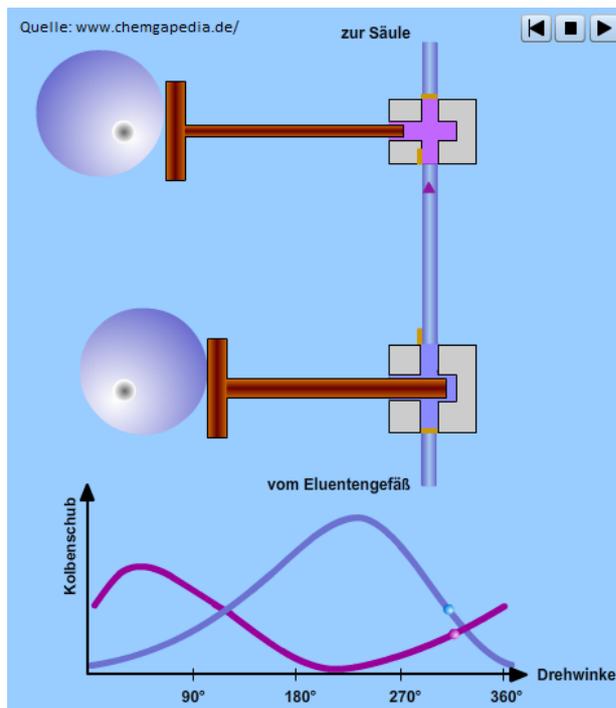


Kernkasten, Bild 7

Es ist an dieser Stelle anzumerken, dass unterschiedliche Kerne im Rahmen dieser Versuchsreihe getestet wurden. Diese Ergebnisse sollten zur Verifizierung der erzielten Einsparungen zur nachfolgend vorgestellten Kernherstellung dienen. Der hier vorstellte Kern soll als repräsentatives Beispiel der umfangreichen getesteten unterschiedlichen Kerne angesehen werden.

5.3. Dosiertechnologie

In dem Kontext der Kernherstellung konnte erstmalig eine „neue“ Pumpentechnologie“ zur Förderung und Dosierung von tertiären Aminen für die Cold-Box Kernfertigung eingesetzt werden. Es handelt sich hierbei um das Förderprinzip der Zweikolbentechnik. Das Förderprinzip ist in dem Bild 8 dargestellt. Mit dieser Technologie kann nicht nur sehr genau dosiert werden, zusätzlich ist der Platzbedarf für die gesamte Dosiereinheit sehr kompakt und daher einfach in der Gesamtkonstruktion der Kernschießmaschine zu integrieren.



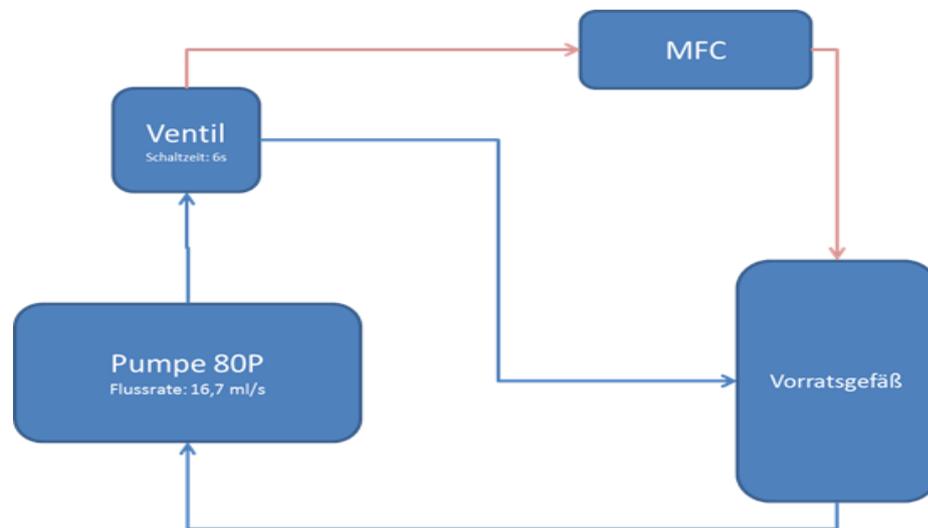
Förderprinzip der Zweikolbenpumpe, Bild 8

Die Funktionsweise lässt sich wie folgt beschreiben. Zwei an einer Achse aufgehängte Kurvenscheiben treiben jeweils einen Pumpenkolben (je nach Ausführung aus Keramik oder Glas) um 180° versetzt an. Durch eine Druckfeder werden die Kolben wieder aktiv aus dem Pumpenkopf herausgetrieben und im nächsten Zyklus gegen den Federdruck wieder eingetrieben. In den Ein- und Auslass Verschraubungen befinden sich die Rückschlagventile, die den Rückfluss des zu fördernden Mediums verhindern und so den Druckaufbau und Förderung des Mediums ermöglichen. Durch die synchronisierte Abstimmung der beiden Kolben wird die Pulsation auf ein Minimum bei gleichzeitiger hoher Förderleistung reduziert.

Die verwendete gesamte Dosiereinheit besteht aus,

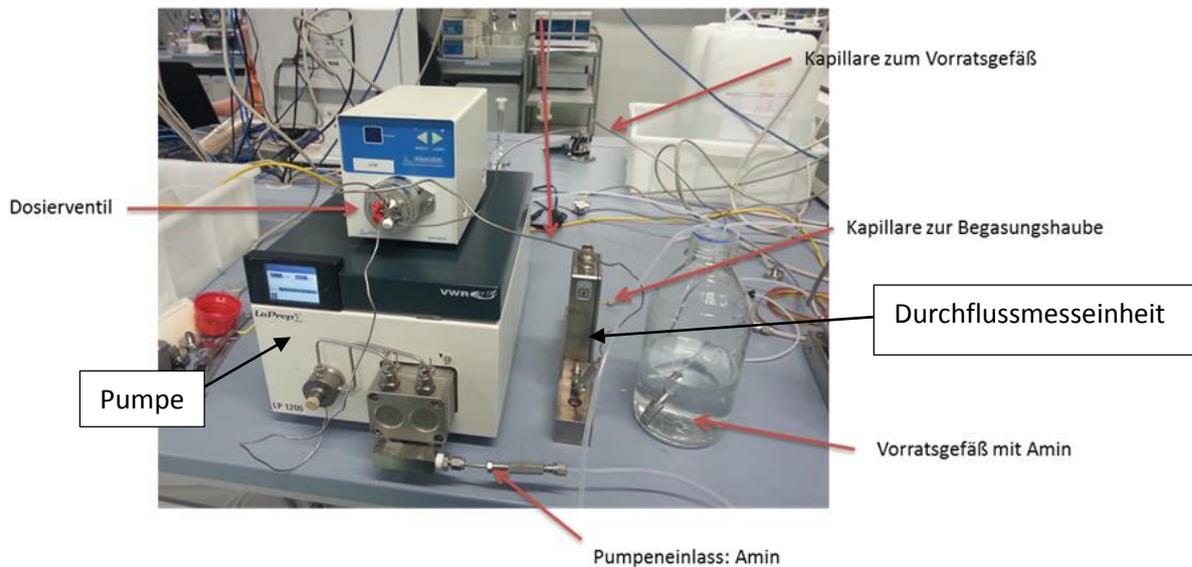
- der Zweikolbenpumpe zur Förderung des Mediums,
- dem Dosierventil, zur Dosierung der Dosiermenge,
- der Durchflussmesseinheit zur Überprüfung der dosierten Menge.

Das Schema der Komponenten zur Förderung und Dosierung des tertiären Amins ist in dem folgendem Bild 9 dargestellt.



Schema der Pumpentechnik und Dosierung, Bild 9

Das eingesetzte Förder- und Dosiersystem für das tertiäre Amin ist folgendermaßen zu beschreiben. Über die Pumpe wird das tertiäre Amin im Kreislauf gefördert. Die Dosierung erfolgt über das Öffnen des Dosierventils. In dem vorgestellten Schema ist eine Öffnungszeit bzw. eine Dosierzeit von 6 s eingestellt. Über die Flussrate und die eingestellte Zeit wird die Menge des tertiärenamins dosiert. Die Durchflussmessenheit dient zur Überwachung der dosierten Menge des tertiärenamins. Nachdem die korrekte Menge des tertiärenamins die Durchflussmessenheit durchlaufen hat, wird die Dosiermenge direkt dem Modul A der modifizierten Begasungshaube zugeführt. Nachdem dieser Vorgang des Dosierens abgeschlossen ist, wird anschließend über ein Ventil Druckluft in den Dosierkanal der modifizierten Begasungshaube gepresst. Mit diesem Vorgang wird sichergestellt, dass die gesamte dosierte Aminmenge in den Hauptstromkanal des Modul A der modifizierten Begasungshaube gelangt. Zur Verdeutlichung der einfachen und kompakten Bauweise der vorgestellten Einheiten, ist in dem Bild 10 die Versuchsanordnung für die Kernherstellung dargestellt.



Versuchsanordnung Pumpentechnik und Dosierung, Bild 10

Nachfolgend soll die Dosiergenauigkeit der vorgestellten Dosiertechnik mit dem vorgestellten Aufbau (Bild 10) dokumentiert werden. Die Pumpe wird betrieben mit einer Flussrate von 100 ml/min (1,67 ml/s) im Dauerbetrieb und das Medium wird im Kreislauf gefördert. Das dahinter geschaltete Ventil wird direkt durch die Pumpe zeitlich gesteuert und übernimmt die eigentliche Dosierung. Die Dosierzeit beträgt 6 s. Durch Anpassung der Flussrate kann die Dosiermenge direkt gesteuert werden. Während der Dosierung wird die Durchflussmenge mit einem Massenflussmesser (MFC) überwacht. Mit diesem Aufbau war eine Dosierung von ca. 9 ml (Tabelle 1) möglich.

Zu den eingesetzten Komponenten für die Dosierung sind folgende Angaben zu machen.

1. Für die eingesetzte Pumpe im Versuchsstadium (Pumpe 4.1. S) ist eine Flussratengenauigkeit von $\pm 1\%$ anzugeben.
2. Die Flussratenpräzision hat eine rel. Standardabweichung von $< 0,5\%$.
3. Die Durchflussmesseinheit hat eine Abweichung von $\pm 0,2\%$ der Flussrate.

Zeit	Dosiermenge [ml]	Abweichung vom Mittelwert
0		
10	9,93	0,23
40	9,89	0,63
70	9,9	0,53
100	9,9	0,53
130	9,92	0,33
160	9,92	0,33
190	9,99	-0,37
220	9,91	0,43
250	9,94	0,13
280	9,97	-0,17
310	10	-0,47
340	9,99	-0,37
370	10,02	-0,67
400	9,98	-0,27
430	9,99	-0,37
460	9,98	-0,27
490	9,97	-0,17
Mittelwert	9,952941176	

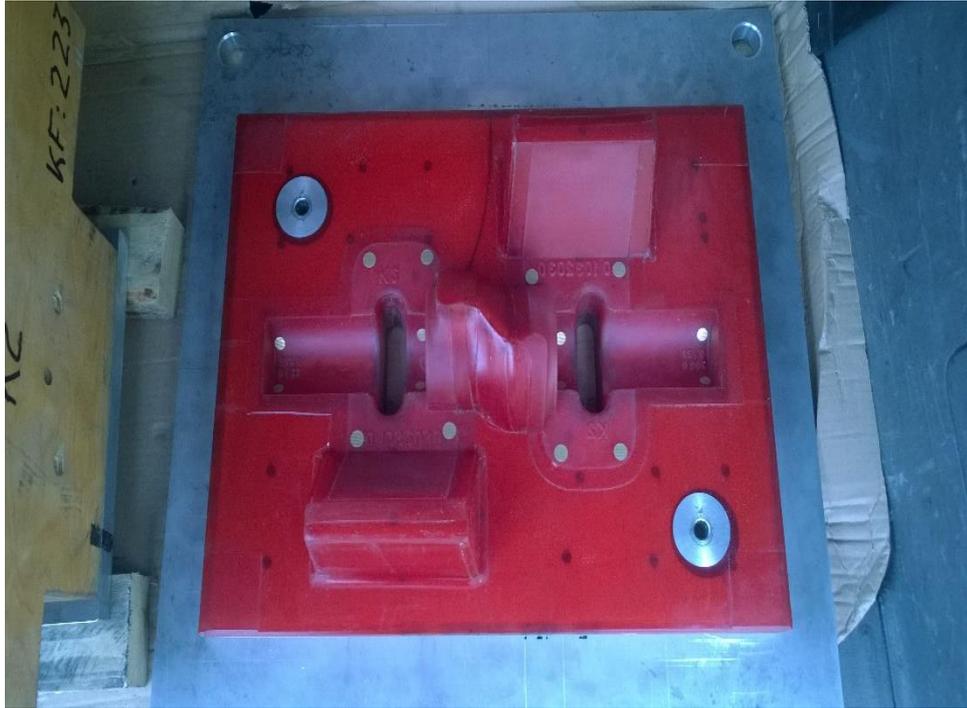
Dosiergenauigkeit, Tabelle 1

5.4. Eingesetztes Kernwerkzeug und Produktionsreferenzwerte der Kernherstellung

Die hergestellten Kerne haben ein Gewicht von ca. 3920 g. Die Tabelle 2 zeigt die Kernherstellungsparameter für die Kernproduktion der Gießerei GF. Die Bilder 11 - 13 zeigen das eingesetzte Werkzeug zur Kernproduktion bestehend aus dem Unter- und Oberkasten.

Schießdruck	4 bar
Schiesszeit	1,5 s
Spülzeit	15 s
Amin Dosierung	8 Hübe ($8 \cdot 0,5\text{cm}^3 = 4\text{cm}^3$)
Härte druck	3,5 bar
Vorhärte druck	1,5 bar
Sandrezeptur	6

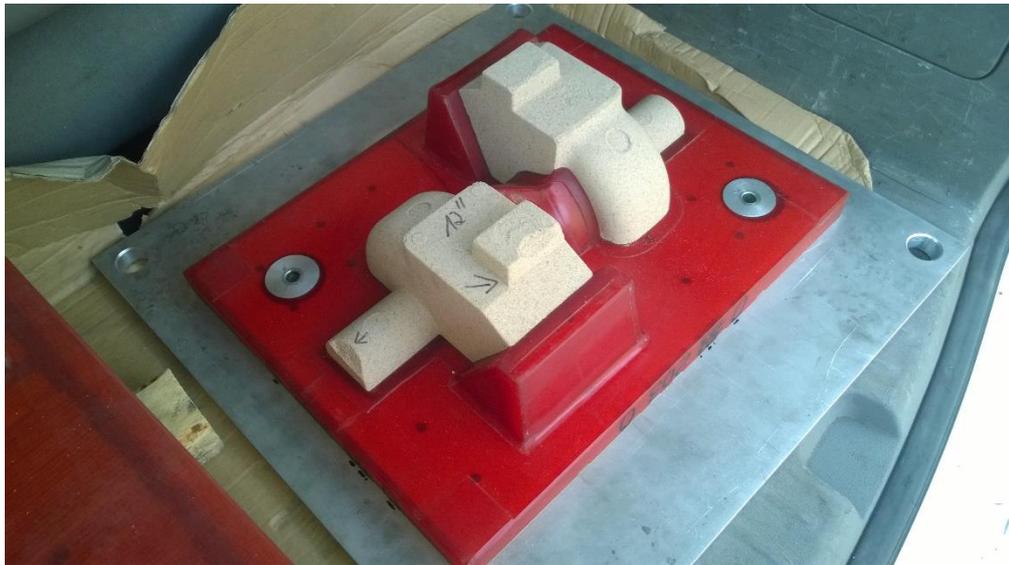
Kernherstellungsparameter, Tabelle 2



Oberkasten Kernkasten, Bild 11



Unterkasten Kernkasten, Bild 12



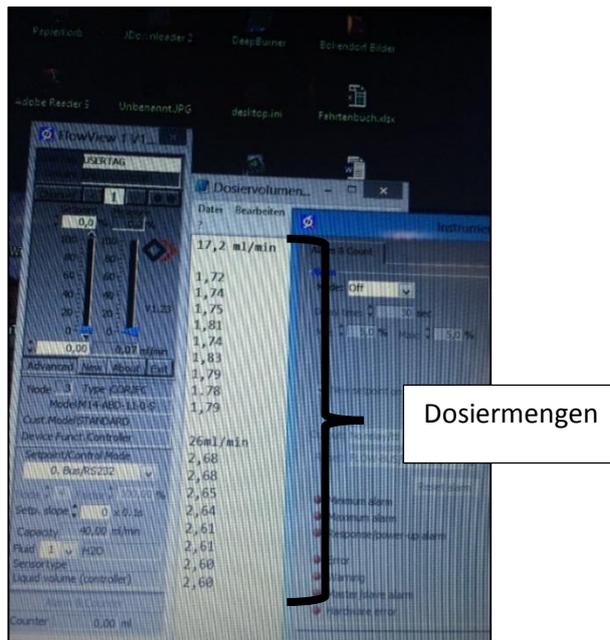
Oberkasten mit Kernen, Bild 13

5.5. Berechnung der Katalysatormenge

Katalysatormenge (GH 50) bezogen auf das Kerngewicht = $1,75 \text{ cm}^3$ (0,03 Gew. %)

5.6. Dosierung des tertiären Amins

Die Pumpe wird permanent im Kreislauf betrieben. In der ersten Versuchsreihe wurde zunächst mit einer Fluss Rate von 17,2 ml/min gearbeitet. Das Bild 14 zeigt die Flussrate an und die dosierten Mengen Katalysator.



Flussrate tertiäre Amin Menge, Bild 14

Das Regelventil wird mit der SPS Steuerung der Kernschießmaschine angesteuert und über eine Zeit von 6 s geöffnet und anschließend geschlossen. Die dosierte Menge von 1,72 ml wird über die Durchflussmesseinheit überprüft und in den Dosierkanal der modifizierten Begasungshaube gefördert. Nach 5 s wird Druckluft in den Dosierkanal (Modul A) mit 1,8 bar geführt. Damit soll gewährleistet werden, dass der gesamte Katalysator dem Trägergas zugeführt wird. Nach dem Startimpuls „Dosieren“ wird dieser Überdruck bis zum Ende der Gesamtbegasungszeit aufrechterhalten.

5.7. Begasungsparameter

Der Formstoff wird mit 4,5 bar in das Kernwerkzeug überführt. Anschließend wurde mit einem Vorhärtedruck von 1,5 bar über einer Zeit von 5 s begast. Nach Ablauf dieser Zeit wurde zunächst mit einem Härtedruck von 3,5 bar über eine Zeit von 10s der Kern begast.

5.8. Leistung der verbauten Heizelemente

Die Leistung beträgt 3,5 kW/Heizelement. Die Gesamtleistung beträgt somit 7 kW.

5.9. Temperaturvorwahl für die Kernherstellung

In der modifizierten Begasungshaube sind zwei Heizelemente verbaut. Beide Heizelemente können unabhängig voneinander in der Temperaturvorwahl geschaltet werden. Über die Temperaturerfassungspunkte Th3 und Th4 werden die vorgegebenen Temperaturen überwacht. Zunächst wurde eine Temperaturvorwahl von

Th3 = 70°C (Heizung 1)

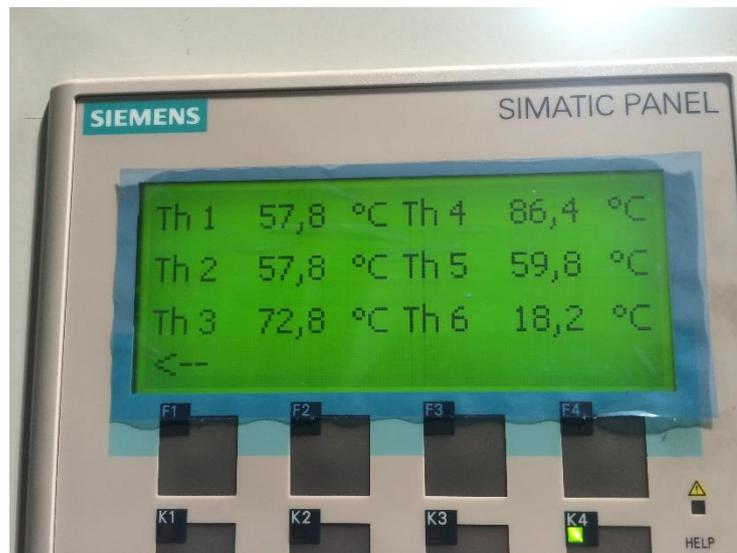
Th4= 100°C (Heizung 2)

eingestellt. Aufgrund der Trägheit der Heizelemente war festzustellen, dass bei der ersten Kernherstellung eine Temperaturerfassung am Th4 Messpunkte von 190°C erfasst wurde. Diese Temperatur ist für die Cold-Box Kernfertigung zu hoch. Daher wurde die Temperaturüberwachung im Th4 Messpunkt auf 80°C reduziert (Bild 15)



Messpunkt Th4, Bild 15

Zusätzlich ist die modifizierte Begasungshaube mit mehreren Temperaturüberwachungspunkten ausgestattet, die über ein Panel überwacht werden. Das Bild 16 zeigt die Temperaturen, die während der Produktion der Kernherstellung zu den einzelnen Temperaturerfassungspunkten aufgenommen wurden.



Temperaturüberwachungspunkte, Bild 16

Zur Erklärung die folgenden Bezeichnungen zu den Abkürzungen

Th6 = Umgebungstemperatur

Th5 = Temperatur Modul A (Dosiermodul)

Th4 = Temperaturüberwachung Heizungselement 2

Th3 = Temperaturüberwachung Heizungselement 1

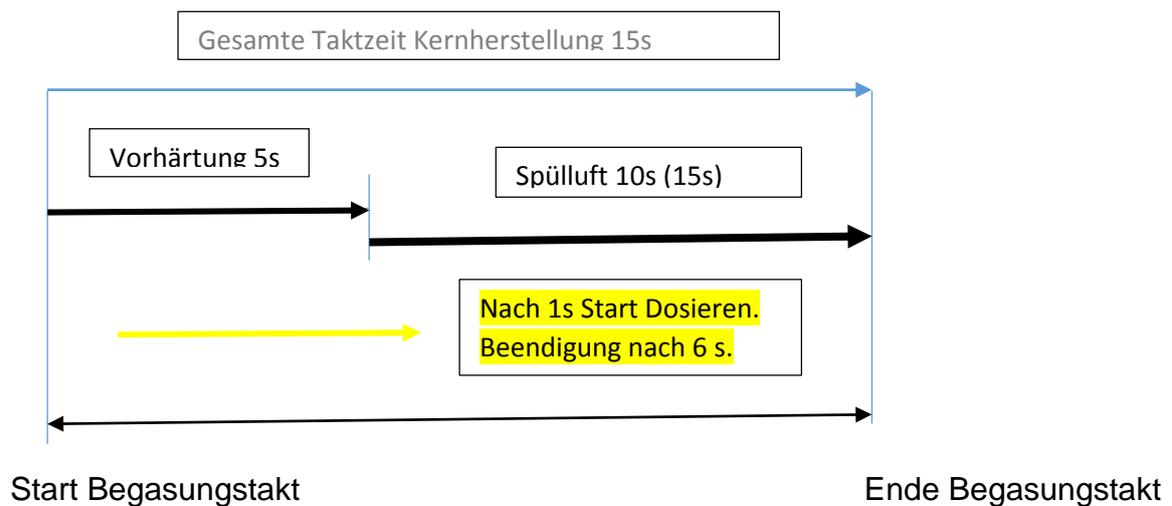
Th2 = Temperaturerfassung Heizungselement 1

Th1 = Temperaturerfassung Heizungselement 1

5.10. Begasungszeit

Das Ablaufschema ist nachfolgend aufgeführt.

Ablaufschema Begasung:



Die Begasungszeit wurde am Eingabe Panel vorgegeben. Das Bild zeigt die Vorgaben im Bild 17.



Eingabe Panel Begasungszeiten, Bild 17

5.11. Formstoffmischung

Die Formstoffzusammensetzung beträgt pro Binderanteil 0,6 Gew. %.

Formgrundstoff: F 36.

5.12. Ergebnisse

Die nachfolgenden Ergebnisse wurden aus den Versuchsreihen bei der Firma Reißaus & Baumberg eruiert. Die Versuchsreihen wurden mit dem Gesamtpaket, bestehend aus den schon vorgestellten Versuchseinheiten der Kernschießmaschine der Firma Reißaus und Baumberg (16 l Kernschießvolumen), der modifizierten Begasungshaube (Prototyp) und der Konfiguration der Dosiereinheiten durchgeführt. Um die Effizienz der modifizierten Begasungshaube zu prüfen, wurde für diese Versuchsreihe ein Kernkasten von der Gießerei GF Leipzig zur Verfügung gestellt und eingesetzt. Die Produktionsparameter der Kernherstellung von GF dienen als Referenzwerte.

Anmerkung: Die nachfolgenden Versuchswerte (Tabelle 3) sind ein Auszug aus einer Vielzahl von Versuchswerten, die in der vorgestellten Konstellation der verwendeten Einheiten eruiert wurden.

Schiessdruck: 4,5 bar

Th3 = 70°C und Th4= 80°C

Totale Begasungszeit (s)	Amin Menge (ml)	Vorhärtezeit (s)	Härtezeit (s)	Druck Vorhärtung /Härtung (bar)	Beurteilung
20	1,14	5	15	1,5/3,5	A
15	1,14	5	10	1,5/3,5	A
14	1,74	5	9	1,5/3,5	A
13	1,74	5	8	1,5/3,5	A
13	1,74	5	8	1,5/3,5	A
12	1,74	5	7	1,5/3,5	A
12	1,74	5	7	1,5/3,5	A
12	1,74	5	7	1,5/3,5	A
12	1,74	5	7	1,5/3,5	A
12	1,86	5	7	1,5/3,5	A
12	1,86	5	7	1,5/3,5	A
12	1,86	5	7	1,5/3,5	A
12	1,86	5	7	1,5/3,5	A
12	1,86	5	7	1,5/3,5	A

Ausgehärtet = A

Versuchswerte, Tabelle 3

Die Kernherstellung wurde mit einer Begasungszeit von 20 s begonnen. Die Kerne konnten einwandfrei hergestellt werden. Aufgrund der Referenzparameter wurde anschließend eine Gesamtbegasungszeit von 15 s gewählt. Dabei war festzustellen, dass der hintere Kern an der Kernmarke nur teilweise ausgehärtet war. Weiterhin konnte festgestellt werden, dass durch die gewählten Begasungszykluszeiten (Vorhärtezeit, Härtezeit und Dosierzeit) eine Überschneidung des Dosierdruckes

und Härte druckes nach 5 s stattfindet. Das hatte zur Folge, dass die Dosierzeit von 6s auf 4s reduziert wurde. Dadurch konnten nur 1,14 ml tertiäres Amin dosiert werden. Daher wurde die Flussrate der Dosierpumpe auf 26 ml/min erhöht. Mit dieser Flussrate wird über den Zeitraum von 4s Ventilöffnung die geforderte Menge von 1,74 ml/Kernschuss dosiert. Das bedeutet, eine **Amin Mengen Reduzierung von 2,76 ml/Kernschuss gegenüber der konventionellen Kernfertigung.** Damit konnte die Kernherstellung einwandfrei realisiert werden. Darüber hinaus konnte durch Optimierung der Härtezeit die gesamte **Begasungszeit auf 12 s reduziert werden.** **Das bedeutet eine Taktzeitreduzierung von 3 s/Kernschuss.** Mit diesen Kernherstellungsparametern konnte eine sichere reproduzierbare Kernherstellung über mehrere Tage realisiert werden. Es ist davon auszugehen, dass durch weitere Optimierungsmaßnahmen eine weitere Reduzierung der gesamten Begasungszeit einzustellen ist.

Im Rahmen dieser Versuche wurden die Einschaltzeiten der Heizelemente gemessen. Damit war es möglich, den tatsächlichen Verbrauch der elektrischen Heizelemente festzustellen. Nach einer Kernproduktion von 1h wurde die aktive Heizzeit der beiden Heizelemente ausgewertet. In der Tabelle 4 sind die aktiven Heizzeiten der beiden Heizelemente dargestellt.

Heizelement	Aktive Heiz Zeit
1	345s
2	426s
Summe	671s

Heizzeiten, Tabelle 4

Die Summe der Heizzeiten beider Heizelemente beträgt 671s. Das entspricht 11,2 min/h Kernproduktion. Bei einer Gesamt elektrischen Leistung von 7 KW entspricht das einen Verbrauch von 1,31 kWh. Eine konventionelle Begasungsanlage hat einen Verbrauch von ca. 4,5 kWh. ***Das bedeutet eine Einsparung von 70 % der Energiekosten.***

5.13. Gesamtüberblick der Einsparungen

Im Gesamtüberblick (Tabelle 5) ergibt das folgenden Einsparungen gegenüber der konventionellen Kernfertigung.

	Konventionelle Kernfertigung	Modifizierte Begasungshaube	Einsparungen
Amin Menge	4,5 ml/Kern	1,74 ml/Kern	2,76 ml/Kern (56%)
Gesamt Härtezeit	15s/Kern	12s/Kern	3s/Kern (20%)
Heiz Energie	4,5 kWh	1,3 kWh	3,2 kWh (70%)

Gesamtüberblick Einsparungen, Tabelle 5

5.14 Ökonomischer Vergleich zur konventionellen Begasungstechnik

5.14.1 Vergleich der Investitionskosten der konventionellen Begasungseinheit und der modifizierten Begasungshaube

Als Grundlage für diesen Vergleich dient die eingesetzte Versuchsanordnung der Pumpentechnologie und Kernschießmaschine mit 16 l Kernschießvolumen. Als Begasungseinheit wird definiert die Einheit der Aufbereitung der technisch getrockneten Luft mit Temperatur und die Dosierung des Katalysators. In dieser Betrachtung wird für die konventionelle Begasung der handelsübliche Preis angesetzt, der für diese Größenordnung von Kernschießmaschine kalkuliert wird. Als Grundlage für die Investitionskosten der eingesetzten Pumpen- und Dosiertechnologie für die modifizierte Begasungshaube sind die folgenden Preisrelationen (Tabelle 6) zu nennen.

Pumpentyp	Dosier Ventil (€)	Anschaffungskosten Pumpe (€)	Durchflussmesser (€)	Gesamtkosten(€)
4.1S	1.785	3.950	4.300	10.035

Preisrelation Pumpen.- und Dosiertechnik, Tabelle 6

In der folgenden Gesamtübersicht (Tabelle 7) sind die Gesamt Investitionskosten der konventionellen Begasung und der modifizierten Begasung gegenübergestellt.

<i>Begasungseinheit Extern Konventionell</i>	<i>Begasungseinheit Intern Modifizierte Begasungshaube</i>
Investitionskosten Verdampfer (5 kW-Leistung) und Dosiereinheit für den Katalysator	Investitionskosten Heizelemente (7 kW-Leistung) und Dosiereinheit für den Katalysator
18000,-€	Ca. 13.000,-€
Einsparung	5000,-€

Gesamt Investitionskosten, Tabelle 7

Anmerkung zu der elektrischen Leistungsangabe von 7 kW.

Die elektrische Leistungsauslegung (7 kW) des Prototyps der modifizierten Begasungshaube wurde gewählt, da die modifizierte Begasungshaube in dem Teilprojekt II für die Begasung von organisch gebundenen wie auch anorganisch gebundenen Formstoffe ausgelegt wurde. Aufgrund der höheren Begasungstemperaturen für die Aushärtung von anorganischen Bindemitteln ist eine größere Auslegung der elektrischen Leistung nötig. In der Gesamtkalkulation für die konventionelle Begasung ist die Auslegung für die anorganischen Formstoffe nicht berücksichtigt worden. Es ist davon auszugehen, dass das Einsparungspotential für diese Anwendung noch höher für die modifizierte Begasungshaube ausfallen würde, als die hier vorgestellte Auslegung für die Cold-Box Fertigung.

5.14.2 Einsparung der Kernherstellungskosten durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube

Im Rahmen der vorgestellten Versuche mit dem Referenzkernkasten konnte eine signifikante Reduzierung der Begasungszeit gegenüber der konventionellen Kernfertigung erreicht werden. Mit dem Prototyp der modifizierten Begasungshaube

konnte die Begasungszeit des Versuchs Kern um **3 s reduziert** werden. **Das bedeutet eine Reduzierung der Taktzeit um 20 %.** In der nachfolgenden Kalkulation (Bild 18) wird sichtbar, wie signifikant die Begasungszeit Einfluss nimmt auf die Kernherstellungskosten

Matrix zur Erstellung der Kernfertigungskosten für das Cold-Box Verfahren ohne Regenerierung					
Kostensatz für Formstoff und Binder					
				€/100Kg	€/100kg
100,00	Kg Sand			2,50	2,50
0,45	Kg Harz			339,00	1,53
0,45	Kg Härter			262,00	1,18
0,02	Kg Katalysator			585,00	0,12
100,00	Kg Kernsand Gesamt				11,00
Einrichtungskosten					
Kernkasteneinrichtungskosten (€)		Geschätzte Haltbarkeit der Einrichtung		Einrichtungskosten (€/Gußstück)	
6.000,00		10.000,00		0,6	
Kernstoffkosten					
Kernvolumen (l)	Kern je Gußstück	Kostensätze (Einheit) (€/Einheit)		Kernstoffmenge (l/Kern)	Kernstoffkosten (€/Gußteil)
1,50	1,00	Liter	0,154	1,50	0,231
Faktor 0,1414=Summe Formstoffkosten dividiert durch (100Kg/1,4=71.42l) 10,10€/71,42					
Kernfertigungskosten inkl. Maschinen und Personalkosten					
Kern je Stück	Arbeitsgangbezeichnung	Kostensätze (Einheit) (€/Einheit)		Kernfertigungszeit (min/Kern)	Kernfertigungskosten (€/Gußstück)
1,00	schießen/trockne	min	0,800	0,25	0,200
Kostenkalkulation Grohmann Faktor 0,80 € für die Kernschießeinheit H12					
Kosten Umwelt (Aminwäscher)					
Kostenfaktor 12,54€/h/60min=0,21€/min (Siehe Kostenaufstellung Aminwäscher)					
Verfahren	Kernanzahl (Stück)	Kostensätze (Einheit) (€/Einheit)		Kernspezifisches Begasen (min)	Wäscherkosten €/Gußteil
Absorber	1,000	min	0,210	0,25	0,05
Kosten Deponie					
Verfahren	Kernanzahl (Stück)	Kostensätze (Einheit) (€/Einheit)		Kernspezifisches Gewicht (Kg)	Deponiekosten €/Gußteil
	1,000	kg	0,075		0,000
Kernstoffbedingte Entkernungs- und Putzkosten					
Arbeitsgangbezeichnung	Kernanzahl (Stück)	Kostensätze (Einheit) (€/Einheit)		Kernstoffbedingtes Entkernen (min)	Entkernungskosten (€/Gußteil)
Entkernen	1,000	min	0,625	1,10	0,69
Arbeitsgangbezeichnung	Kernanzahl (Stück)	Kostensätze (Einheit) (€/kg)		Strahlen kg	Entkernungskosten (€/Gußteil)
Strahlen	1,000	kg	0,250	1,50	0,38
Strahlkammer 40Stk*1,5Kg=60Kg, laut Grohmannkalkulation 0,25€/60kg					
Summe aus Kernstoffkosten + Kernfertigungskosten (1)					0,43
Kernausschuß 2% (bezogen auf 1)					0,01
Einrichtungskosten					0,60
Kosten Absorber (Aminwäscher)					0,05
Kosten Deponie					-
Kernstoffbedingte Entkern- und Strahlkosten					1,06
€/Gußstück					2,15
Ausschuß 1% durch Entkernen bzw. zusätzliche Putzarbeit					0,02
Gesamtkosten €/Gußstück					2,18

Kernfertigungskosten, Bild 18

Das Bild 19 stellt die Kalkulation dar für die Kernherstellung mit der modifizierten Begasungshaube und der damit verbundenen Taktzeitreduzierung von 3 s.

Summe aus Kernstoffkosten + Kernfertigungskosten (1)	0,39
Kernausschuß 2% (bezogen auf 1)	0,01
Einrichtungskosten	0,60
Kosten Absorber (Aminwäscher)	0,04
Kosten Deponie	-
Kernstoffbedingte Entkern- und Strahlkosten	1,06
l/Gußstück	2,10
Ausschuß 1% durch Entkernen bzw. zusätzliche Putzarbeit	0,02
Gesamtkosten €/Gußstück	2,12

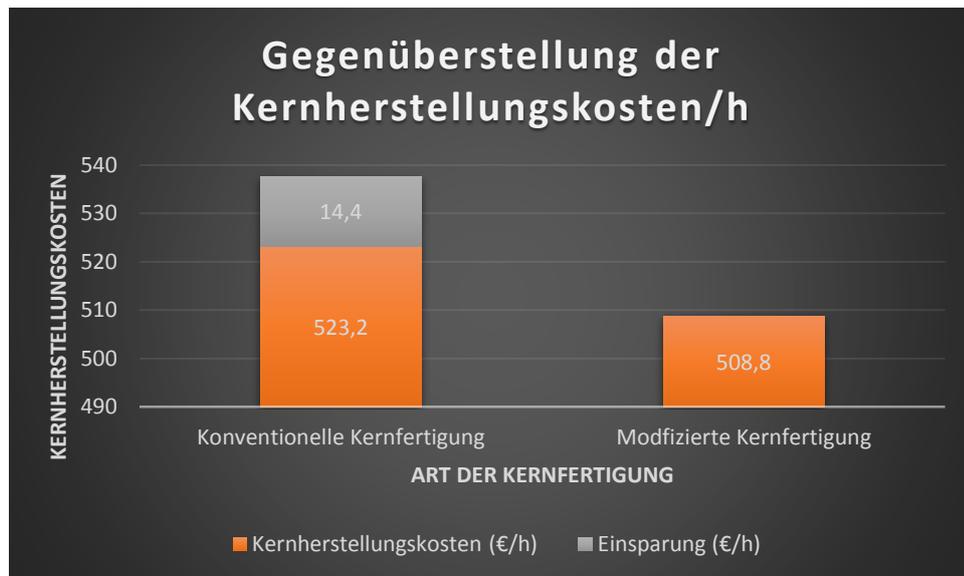
Kernfertigungskosten mit modifizierter der Begasungshaube, Bild 19

In der Tabelle 8 sind die Kernherstellungskosten für die konventionelle Kernfertigung und der Kernfertigung mit der modifizierten Begasungshaube gegenübergestellt. Zusätzlich ist die Produktivitätssteigerung von 60 Kernen/h dargestellt, die durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube generiert wurde.

	Konventionelle Kernfertigung (15 s Begasungszeit)	Modifizierte Begasungshaube (12 s Begasungszeit)	Einsparung
Kernherstellungskosten	2,18 €	2,12 €	0,06€/Kern
Steigerung der Produktivität/h	240 Kerne/h	300 Kerne/h	+60Kerne/h

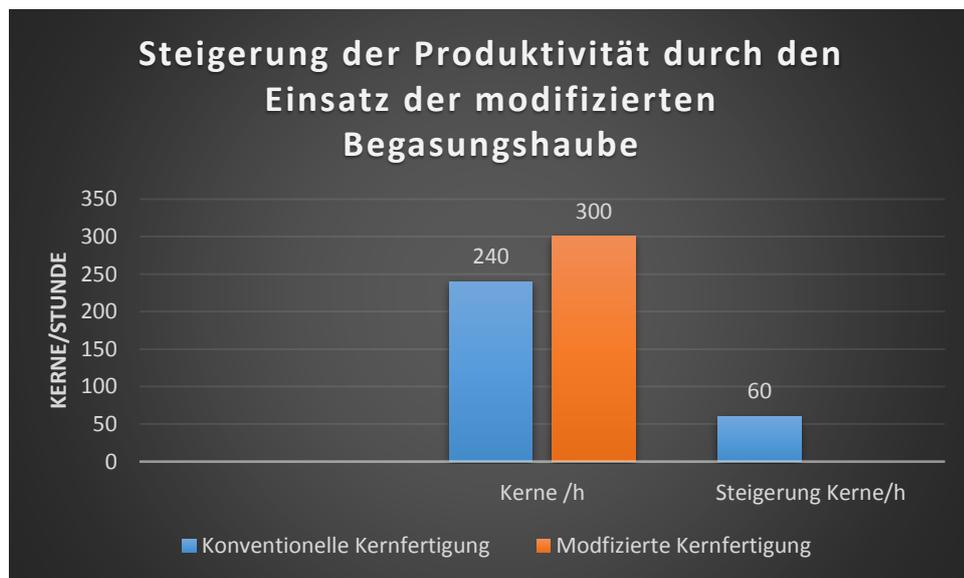
Gegenüberstellung der Kernfertigungskosten, Tabelle 8

Das Bild 20 dokumentiert das Einsparungspotential der Kernherstellungskosten/h im Vergleich zur konventionellen Kernherstellung und der Applikation mit der modifizierten Begasungshaube.



Gegenüberstellung der Kernherstellungskosten/h, Bild 20

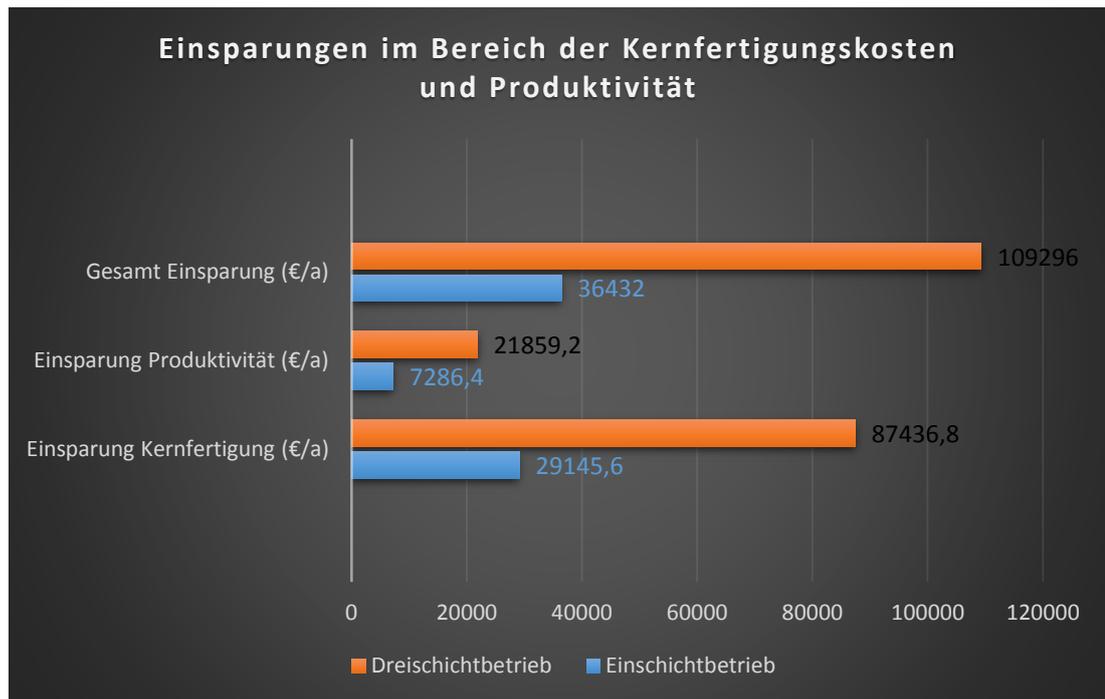
Zusätzlich zu der Einsparung der Kernherstellungskosten ist die Steigerung der Produktivität zu nennen. In diesem Kontext soll das Bild 21 die Einsparung durch die Produktivitätssteigerung darstellen.



Darstellung der Produktivitätssteigerung, Bild 21

In der nachfolgenden Darstellung (Bild 22) wird das Einsparungspotential, durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube, für einen Einschichtbetrieb bzw. Dreischicht Betrieb dargestellt. Die Darstellung des Einsparungspotentials für einen Dreischicht Betrieb wurde gewählt, da der Einsatz der modifizierten Begasungshaube nicht nur für

Kundengießer (Kleine-bis Mittlere Guss Teil Serien), sondern auch für Seriengießer (Große Guss Teil Serien) konzipiert wurde.



Einsparungspotential für den Schichtbetrieb, Bild 22

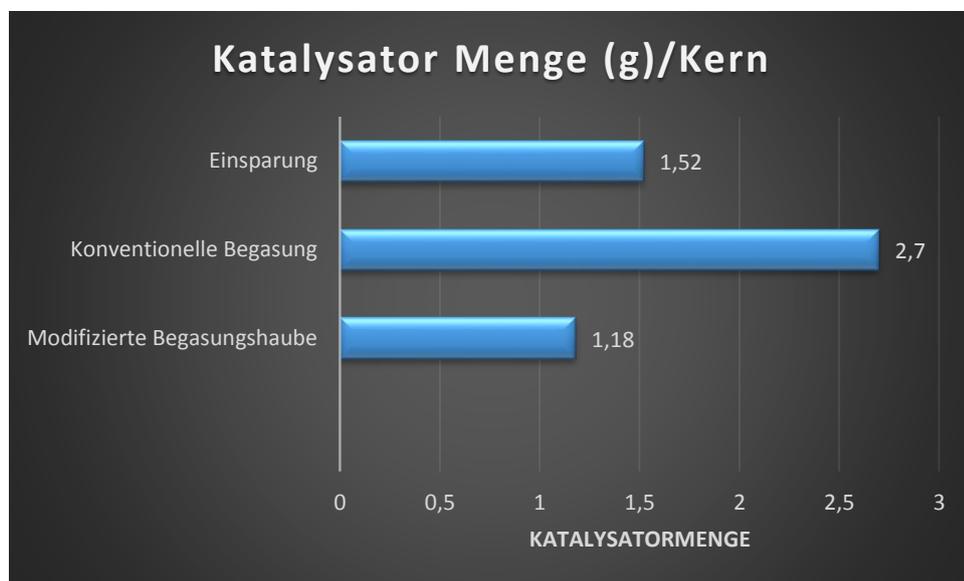
5.14.3 Einsparung der tertiären Amin Menge durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube

Durch die Versuche aus dem Teilprojekt II konnte die für die Cold-Box Kernherstellung benötigte tertiäre Amin Menge erheblich reduziert werden gegenüber der konventionellen Kernfertigung. In der Tabelle 9 sind die eingesetzten tertiären Amin Mengen der modifizierten Begasungshaube der konventionellen Kernfertigung gegenübergestellt.

	Konventionelle Kernfertigung (Produktionskernkasten)	Modifizierte Begasungshaube
Amin Dosierung/Kern	8*0,5 cm ³ = 4 cm ³	1,75 cm ³
Einsparung		2,25 cm³

Gegenüberstellung der tertiären Amin Menge, Tabelle 9

Die theoretisch benötigte Katalysatormenge (0,03 Gew. %) wird auf das Kerngewicht (3920g) berechnet. Das ergibt eine Katalysator Menge von 1,75 cm³/Kern. In der Praxis ist festzustellen, dass bei der konventionellen Begasung immer von einem Überschuss der Amin Menge auszugehen ist. Dieser Überschuss ist damit zu erklären, dass bspw. durch lange Begasungswege Kondensationseffekte des Katalysators auftreten. Dass mit der theoretisch berechneten Amin Menge die Versuchs Kernproduktion realisiert werden konnte, zeigt die außerordentliche Effizienz der modifizierten Begasungshaube. Das nachfolgende Bild 23 zeigt die Relation der Einsparung der tertiären Amin Menge durch die modifizierte Begasungshaube gegenüber der konventionellen Begasung.



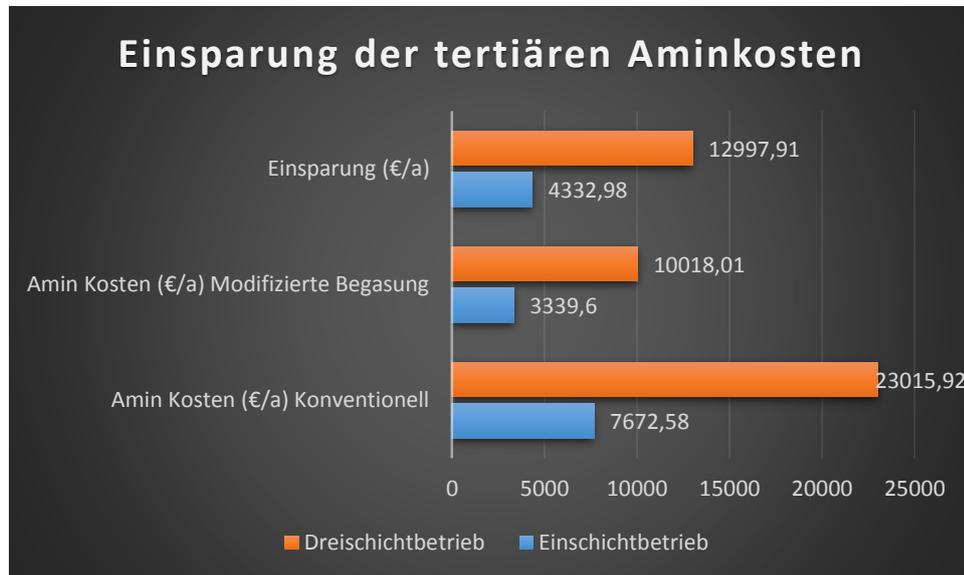
Gegenüberstellung der tertiären Amin Menge zur konventionellen Begasung, Bild 23

In der Tabelle 10 wird das Einsparungspotential aufgezeigt. Als Basis für die Einsparung wird ein Preis $Katalysator = 5,85 \text{ €/kg}$ angenommen.

	Modifizierte Beg.	Kosten Kat./Kern	Konventionell Beg.	Kosten Kat./Kern	Einsparung	
Kerngewicht (g)	Kat.Menge (g)/Kern	(€)	Kat.Menge (g)/Kern	(€)		
3920	1,18	0,006903	2,7	0,015795	0,008892	€/Kern
Kosten/h		1,65672		3,7908	2,13408	€/h

Einsparungspotential tertiäre Amin Menge, Tabelle 10

In dem Bild 24 ist die Relation der Einsparungen der Amin Menge gegenüber der konventionellen Kernfertigung für ein Einschicht,- bzw. Dreischichtbetrieb dargestellt.



Gegenüberstellung der Einsparung der tertiären Amin Kosten, Bild 24

Das Cold-Box Verfahren ist gekennzeichnet durch den Einsatz von tertiären Aminen. Die tertiären Amine werden eingesetzt zur beschleunigten Aushärtung der Binderkomponenten. Der Katalysator wird über ein Trägergas durch den permeablen Kern geführt, um eine beschleunigte Aushärtung zu initiieren. Danach wird das Trägergas mit der Amin Konzentration einem Amin Wäscher zugeführt. Im Gegenstromprinzip wird der Katalysator aus dem Trägergas herausgewaschen. Die Amin Wäscher Betriebskostenrechnung (Bild 25) für eine mittelständische Gießerei soll als Berechnungsgrundlage für die Einsparung dienen.

5.14.4 Reduzierung der Betriebskosten des Amin Wäschers durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube

Betriebskostenrechnung für die Abluftreinigung in der Cold-Box-Kernmacherei

Angaben des Kunden zum Betrieb

Normalarbeitszeit:	8,00	Stunden pro Tag
Arbeitsschichten	1,00	Schichten pro Tag
Arbeitstage:	5,00	Tage pro Woche
Arbeitswochen:	4,30	Wochen pro Monat
Arbeitsmonate:	11,00	Monate pro Jahr
Katalysatortyp:	DMEA	
Amindurchsatz:	0,84	kg/h
Strompreis:	0,11	€/kWh
Wasserpreis:	1,53	€/m³

Daten zur Abluftreinigungsanlage

Absorbertyp:	GKoV 200
Lufmenge:	25.000,00 m³/h
Durchmesser:	2.000,00 mm
Inst. Leistung Ventilator	30,00 kW
Inst. Leistung Pumpe	7,50 kW
Inst. Leistung Heizung	2,00 kW
Heizdauer über:	3,00 Monate
Taschenfilter für Feststoffabscheider	6,00 Sätze pro Jahr
Preis für Taschenfilter	250,50 €/Satz

Betriebskosten-Zusammenstellung für Absorptionsanlage

Basis: Versorgung und Rücknahme durch Gitterboxen

1.589,28 kg Waschkonzentrat K 103 per Gitterbo	0,38 €/kg	€	603,93
6.357,12 kg beladenes Waschkonzentrat (Gitterboxen	0,56 €/kg	€	3.559,99
59.661,00 kWh elektrische Energie	0,11 €/kWh	€	6.562,71
473,00 m³ Wasser	1,53 €/m³	€	723,69
6,00 Sätze Taschenfilter	250,50 €/Satz	€	1.503,00
Kosten pro Jahr:			€ 12.953,31
Kosten pro Stunde:			€ 6,85

Die Preise für die Versorgung der Anlage gelten frei Ihrem Werk. Für die Nutzung des Leihcontainers fallen Pfandgebühren in Höhe von 155,00€ pro Container an. Bei der Entsorgung fallen Kosten für Transport (1.800,00 € pro Jahr bei 6 Containern) und Erstellung der Papiere (12,50€/Transport) an. Ersatz- und Verschleißteile werden von uns unfrei versandt.

Container-Bewegungen/Jahr

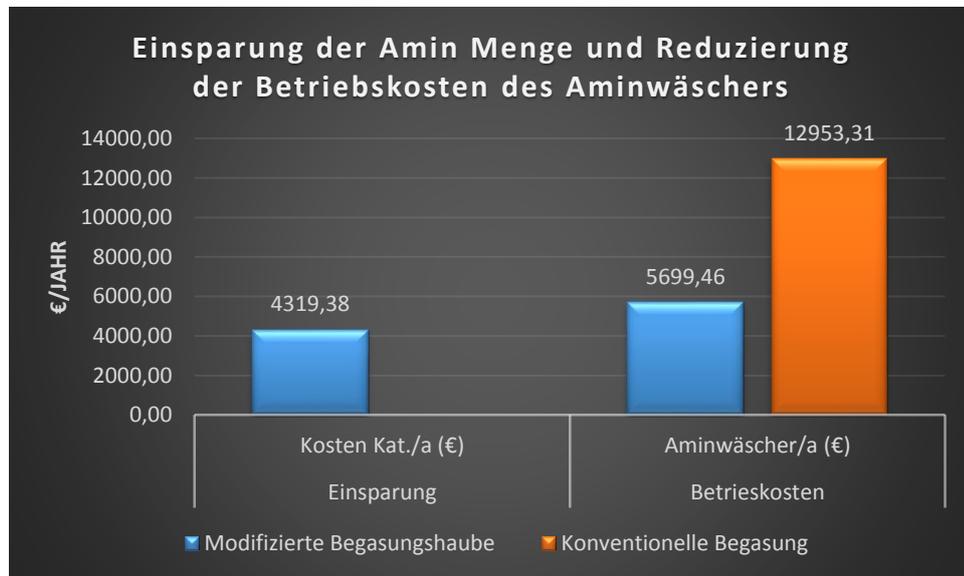
Für Waschkonzentrat K 103/Jahr	0,99	Container (K 103)
Für beladenes Waschkonzentrat/Jahr	5,30	Container (BWK)

Betriebskosten Amin Wäscher, Bild 25

Für die Berechnung der Reduzierung der Betriebskosten, durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube, wurden 50 % Einsparungspotential angenommen. Grundlage für diese Annahme ist die Reduzierung der Amin Menge für den

Versuchskern um 56 %. Mit dieser Rahmenbedingung werden Betriebskosten für den Amin Wäscher von 7253,85 €/a eingespart.

Durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube konnten im Kontext der Amin Mengenreduzierung/Jahr und der dadurch verursachten geringeren Betriebskosten/Jahr für den Amin Wäscher die folgenden Kosten eingespart werden (Bild 26).



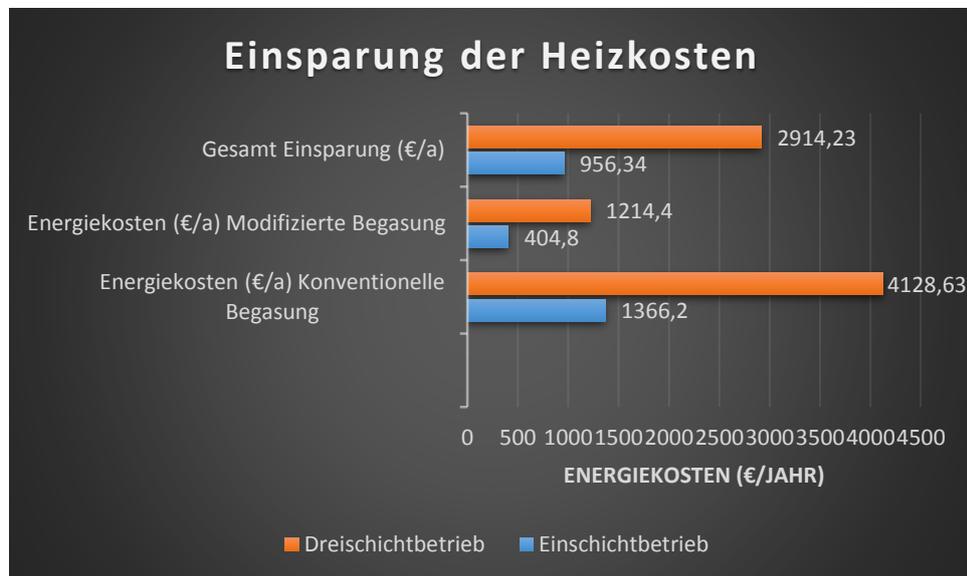
Einsparung der Amin Menge und Reduzierung der Betriebskosten des Amin Wäschers, Bild 26

Eine Anmerkung zu der Reduzierung der Betriebskosten für den Amin Wäscher. Es ist davon auszugehen, dass durch die exorbitante Reduzierung der Amin Menge (56 %) die Größenordnung des eingesetzten Amin Wäschers ebenfalls reduziert werden kann. Das bedeutet geringere Investitionskosten für die Gießerei, wie auch die Reduzierung der Betriebskosten für den Amin Wäscher.

5.14.5 Einsparung der Heiz Energiekosten durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube

Im Rahmen der Eruiierung der Energiekosten der Heizelemente im Teilprojekt II während der Kernherstellung war festzustellen, dass auf der Basis der abrufbaren Leistung von 7 kW ein elektrischer Verbrauch von 1,3 kWh festzustellen war. Eine konventionelle Kernfertigung ist mit 4,5 kWh Energiekosten Verbrauch anzugeben.

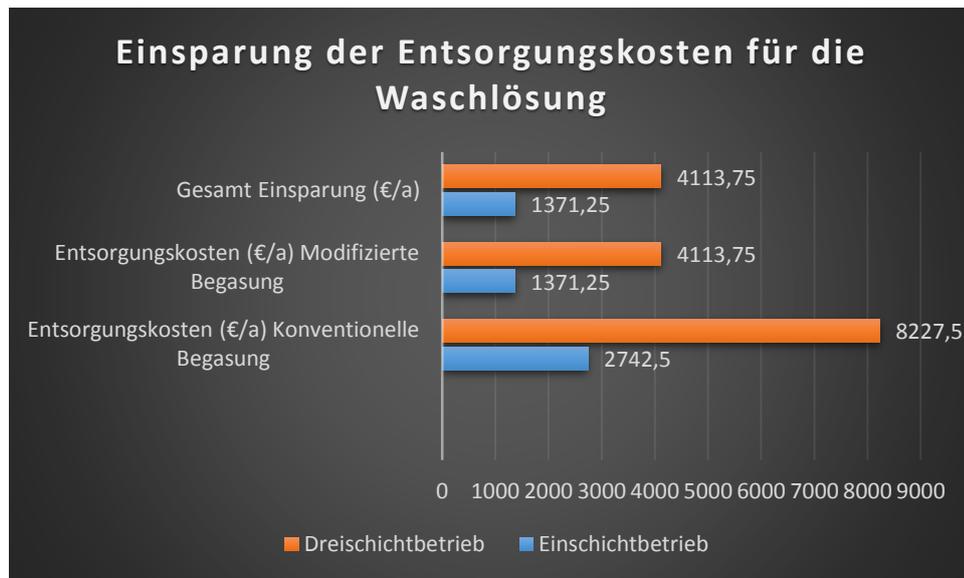
Das ergibt eine Einsparung der Energiekosten von rund 70 %. Im Bild 27 ist diese Relation bezogen auf die Einsparung/Jahr für ein Einschicht,- bzw. Dreischichtbetrieb dargestellt. Als Berechnungsgrundlage wurde ein Energiepreis von 0,15 €/kWh zugrunde gelegt.



Einsparung der Heizkosten, Bild 27

5.14.6 Einsparung der Kosten für die Waschlösungen durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube

Wie schon vorgestellt entstehen durch den Einsatz von tertiären Aminen Waschlösungen aus der Abluftbehandlung durch den Amin Wäscher. Diese Waschlösungen müssen entsorgt werden. Für die vorgestellte Größenordnung des Amin Wäschers sind 6 Container/Jahr anzunehmen für die Aufnahme der Waschlösung. Damit sind Leihgebühren von 155,-€/Container kalkuliert. Der Transport und die Entsorgung wurden mit 1800 €/Jahr kalkuliert. Durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube halbieren sich die Kosten. Diese Relation wird nachfolgend für ein Einschicht.- bzw. Dreischichtbetrieb im Bild 28 vorgestellt.



Einsparung der Entsorgungskosten für die Waschlösung, Bild 28

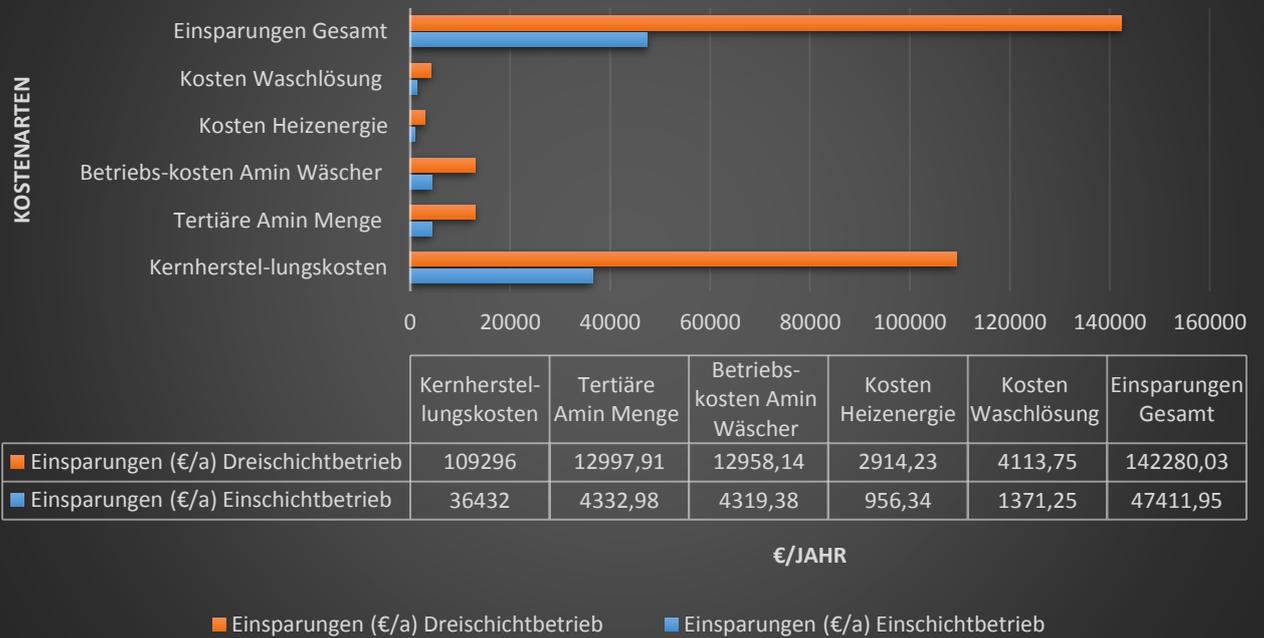
5.14.7 Gesamtüberblick der Kosteneinsparung durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube

Der Gesamtüberblick beinhaltet die Kosteneinsparungen bezogen auf die konventionelle Kernfertigung. Nachfolgend sind die einzelnen Kosteneinsparungen aufgeführt.

1. Die Taktzeitreduzierung von **20 %** und damit verbunden die Senkung der Kernherstellkosten.
2. Die Kosteneinsparung durch die Reduzierung der tertiären Amin Menge von **56 %**.
3. Die damit verbundene Senkung der Betriebskosten für den Amin Wäscher um **50 %**.
4. Die Reduzierung der Waschlösungen aus dem Amin Wäscher wird ebenfalls um **50%** reduziert.
5. Einsparung der Heizenergie zur thermischen Aufbereitung des Trägergases um **70%**.

Das nachfolgende Bild 29 zeigt die Gesamteinsparungen, die durch die modifizierte Begasungshaube generiert werden, bezogen auf einen Einschicht.- bzw. Dreischichtbetrieb.

Gesamtüberblick der Einsparungen durch die Anwendung der modifizierten Begasungshaube



Gesamtüberblick der Einsparungen, Bild 29

Insgesamt werden durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube für Ein.- bzw. Dreischichtbetriebe die folgenden Einsparungen/Jahr erzielt (Tabelle 11)

	Einschichtbetrieb	Dreischichtbetrieb
Einsparungen/Jahr	47.411,95 €	142.280,03 €

Einsparungen/Jahr, Tabelle 11

5.14.8 Amortisation der modifizierten Begasungshaube

Wie vorgeschellt liegen die Investitionskosten für die modifizierte Begasungshaube bei ca. 13.000 € für eine mittlere Kernschießmaschine. Daraus ergibt sich eine Amortisation die nachfolgend vorgestellt wird (Tabelle 12).

	Einschichtbetrieb (Jahre)	Dreischichtbetrieb (Jahre)
Amortisationszeit	0,3	0,09

Amortisationszeit, Tabelle 12

5.14.9 Ökonomische Vorteile der modifizierten Begasungshaube

1. Geringere Investitionskosten gegenüber der konventionellen Begasung.
2. Höhere Produktivität durch die Reduzierung der Taktzeit.
3. Geringere Gussteilkosten.
4. Keine Kosten durch Einsparung langer Versorgungsleitungen.
5. Keine Kosten für Zusatzheizungen, um Kondensationseffekte in den langen Versorgungsleitungen zu vermeiden.
6. Geringere Kosten durch Reduzierung der benötigten Heizleistung.
7. Hohe Wartungsfreundlichkeit durch modulare Bauweise.
8. Einfache Dosiertechnik des Katalysators.
9. Einsparung der Katalysatormenge.
10. Einsparung der Investitionskosten für den Amin Wäscher.
11. Geringere Betriebskosten für den Amin Wäscher.
12. Einsparungen von Entsorgungskosten für die Waschlösungen.
13. Nachrüstung möglich.

5.15 Ökologischer Vergleich zur konventionellen Begasungstechnik

Grundlage dieses Vergleiches ist die Relation zwischen der Stromerzeugung und dem daraus resultierenden CO₂-Emissionen durch die Bereitstellung. Die Relation lautet

$$1 \text{ kWh} \quad \rightarrow \quad 900 \text{ g CO}_2 \text{ h}$$

5.15.1 Einsparung der CO₂-Emissionen durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube

Das Hauptaggregat der Kernschießmaschine ist die Hydraulik. Die Hydraulik wird durch einen Elektromotor betrieben. Für die verwendete Kernschießmaschine ist eine Leistung für die Hydraulik von 15 kW zu kalkulieren. Für die konventionelle Begasung wird eine elektrische Leistung von 4,5 kW berechnet. Da die Hydraulik während der Kernherstellung nicht permanent abgerufen wird, ist von einer Leistung von 7,5 kW auszugehen. Das bedeutet in der Summe eine Gesamtleistung von 12 kW für die konventionelle Kernherstellung.

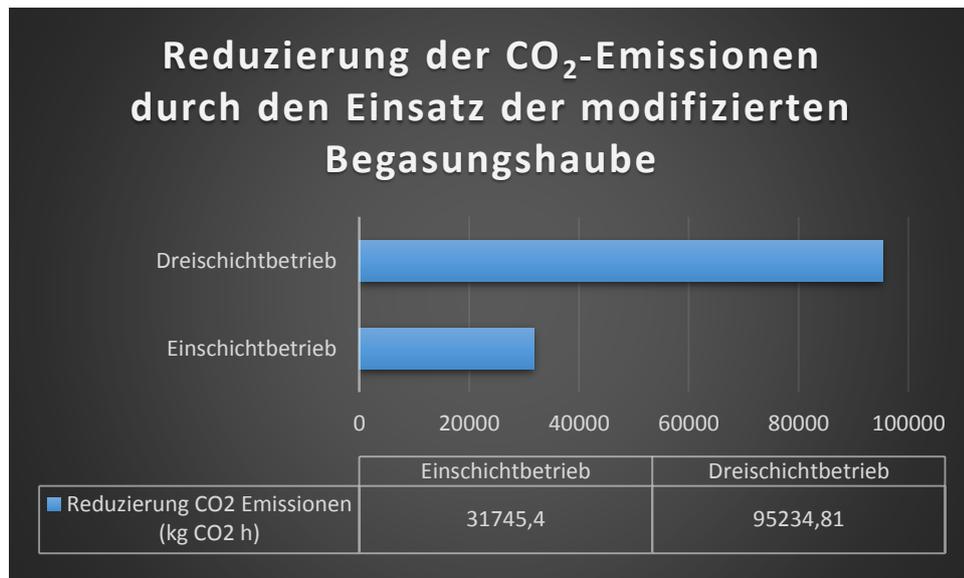
In der Anwendung der modifizierten Begasungshaube ist die Leistungsangabe für die Hydraulik der Kernschießmaschine gleich den 7,5 kW. Der Einsatz für die modifizierte Begasungshaube bedarf einer Leistung von 1,3 kW. Das ergibt eine Gesamtleistung von 8,8 kW.

In der Tabelle 13 sind die elektrischen Verbräuche für einen Einschicht.- bzw. Dreischichtbetrieb dargestellt, wie auch die Einsparungen die damit verbunden sind.

	Modifizierte Begasungshaube	Konventionelle Begasung	Einsparung
Gesamtleistung (kW)	8,8	12	3,2

Elektrischer Verbrauch, Tabelle 13

Für einen Einschichtbetrieb ergibt das eine Ersparnis des elektrischen Verbrauches von 6476,80 kWh/Jahr. Für einen Dreischichtbetrieb eine Ersparnis von 19428,86 kWh/Jahr. Wie schon vorgestellt werden durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube die Betriebskosten des Amin Wäschers ebenfalls reduziert. Der eingesparte elektrische Verbrauch wird den vorgestellten Einsparungen durch die reduzierte elektrische Leistung der Heizelemente zu addiert. Damit wird die gesamte Einsparung bezogen auf die konventionelle Kernfertigung sichtbar. Die daraus resultierenden Einsparungen der CO₂-Emissionen/Jahr werden in dem Bild 30 dargestellt.



Reduzierung der CO₂-Emissionen, Bild 30

5.15.2 Ökologische Vorteile der modifizierten Begasungshaube

1. Reduzierung des Energieeinsatzes.
2. Reduzierung der CO₂-Emissionen.
3. Reduzierung des Abfallaufkommens durch die Waschlösung aus dem Amin Wäscher.
4. Reduzierung der Waschlösung (Schwefelsäure) für den Einsatz im Amin Wäscher.
5. Kleinere Amin Wäscher.

VIII Fazit

Im Rahmen dieser vorliegenden umfangreichen Versuche kann grundsätzlich festgehalten werden, dass mit der Kombination aus der modifizierten Begasungshaube und der neuen Dosiertechnologie signifikante Einsparungen erreicht werden konnten. Diese signifikanten Einsparungen beziehen sich auf die,

- Energie für den Härteprozess,
- Tertiäre Amin Menge,
- Taktzeit für die Kernherstellung.

Diese signifikanten Einsparungen wurden im Technikum der Firma Reißaus & Baumberg mit einer Standard Kernschießmaschine erreicht. Die signifikanten Einsparungen konnten mit verschiedenen Sandkernproduktionen verifiziert werden. Darüber hinaus hat sich der einfache konzeptionelle Aufbau der modifizierten Begasungshaube in der praktischen Anwendung bestätigt. Die einfache Implementierung der modifizierten Begasungshaube in eine Standard Kernschießmaschine, wie auch die elektrische Einbindung in die Steuerung der Kernschießmaschine, sind ebenfalls als positiv zu bewerten. Eine Nachrüstung der modifizierten Begasungshaube für bestehende Kernschießmaschinen dürfte daher einfach umzusetzen sein. Ebenfalls kann konstatiert werden, dass die Anwendung der „neuen Dosiertechnologie“ in Kombination mit der modifizierten Begasungshaube für die Dosierung von tertiären Aminen ebenfalls große Vorteile beinhaltet. Diese Vorteile sind,

- Genaue Dosierbarkeit,
- Hohe Reproduzierbarkeit der dosierten Amin Menge,
- Überwachung der Dosiermenge,
- Sehr geringe tertiäre Amin Mengen,
- Geringer Platzbedarf für die Dosiertechnik.

Es ist ebenfalls an dieser Stelle zu betonen, dass aufgrund des geringen Platzbedarfes eine Implementierung der Dosiertechnik einfach zu realisieren ist. Relativ lange Rohrlängen, die für den Transport des Amin-Luft Gemisches bei dem Einsatz konventioneller Technik üblich sind, sind nicht notwendig.

Betriebswirtschaftlich betrachtet ist die Investition einer modifizierten Begasungshaube und Dosiertechnik sehr interessant, da durch die generierten Einsparungen wie auch die geringeren Investitionskosten gegenüber der konventionellen Technik eine sehr niedrige Amortisation von 0,3 Jahren zu verzeichnen ist.

Insgesamt betrachtet haben die Versuchsreihen gezeigt, dass die modifizierte Begasungshaube eine sehr gute Alternative darstellt zu der konventionellen Technik. Der Energie intensive Prozess der Kernherstellung kann durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube entschieden effizienter gestaltet werden.

Dieses effiziente Konzept der modifizierten Begasungshaube soll in einem weiteren Projekt in große Kernschießmaschinen umgesetzt werden, um auch in diesem Segment die großen Vorteile der modifizierten Begasungshaube nutzen zu können. Zusätzlich soll ein Energie Rückführungssystem entwickelt werden, insbesondere für die Kernherstellung mit anorganischen Bindemitteln, die die Effektivität der modifizierten Begasungshaube nochmals steigern soll.

