

Grohmann GmbH & Co. KG

**Entwicklung einer modifizierten Begasungshaube als Bestandteil einer
Kernschießmaschine (Teilprojekt 4)**

Abschlussbericht über das o.g. Entwicklungsprojekt

mit dem AZ 34563/01

für die Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Von

Dipl.-Ing. Helge Hänsel

Höxter, September 2019

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az.34563/01	Referat 21/2	Fördersumme	121.300 €
Antragstitel		Entwicklung einer modifizierten Begasungshaube als Bestandteil einer Kernschießmaschine (Teilprojekt IV)	
Stichworte		Neue Begasungstechnologie für die Herstellung von Gießerei Kernen	
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
1 Jahr	01.08.2018	01.08.2019	4
Zwischenberichte:	Ein Kurzbericht		
Bewilligungsempfänger	Grohmann GmbH & Co. KG Heidelbergstraße 54 72406 Bisingen	Tel.	(07476) 94130
		Fax	
		Projektleitung	
		Herr Hänsel	
Bearbeiter	Herr Hänsel		
Kooperationspartner	Ingenieurbüro Hänsel Helge Hänsel Im Hohen Felde 33 37671 Hötter		

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Das Projekt stellt die Weiterentwicklung für den Einsatz der modifizierten Begasungshaube in der Gießerei-Industrie dar. Damit soll die praktische Anwendung des Prototyps der modifizierten Begasungshaube und der Prototyp der Dosiertechnik für das tertiäre Amin (Katalysator) in einer mittelständischen Kundengießerei getestet werden. In diesem Kontext wurden für den praktischen Einsatz sicherheitstechnische Überwachungseinheiten verwendet, die den gesamten Ablauf der eingesetzten Prototypen in der Produktion überwachen. Ein entsprechendes sicherheitstechnisches Konzept für die eingesetzte Druckluft und die Dosierung des explosionsfähigen tertiärenamins wurde erstellt und umgesetzt. Wie schon vorgestellt, wurde erstmalig in diesem Projekt ein Prototyp für die Dosierung des tertiärenamins erstellt. Dieser Prototyp stellt eine kompakte Einhausung zur Aufnahme der Dosiereinheiten wie Pumpen- und Ventiltechnik dar, die mit entsprechender Sicherheitstechnik betrieben werden.

Ein weiterer Schwerpunkt in diesem Projekt war es den Wirkungsgrad der modifizierten Begasungshaube zu steigern. Hier lag die Betrachtung auf dem Wärmeübergang von den verwendeten Heizelementen auf das strömende Medium (Druckluft). Im Rahmen von dreidimensionalen numerischen Strömungsuntersuchungen wurde ein Konzept entwickelt, das den Wärmeübergang verbessert und damit weitere Einsparungen im Bereich der Begasungszykluszeit/Kern hervorrufen soll. Das bestehende Konzept der Vorwärmung der Druckluft, durch die Abwärme des sog. Hauptmoduls der modifizierten Begasungshaube, wurde in diesem Projekt umgesetzt. Zusätzlich wurde in einer Versuchsreihe die Aushärtetemperatur für anorganische Bindemittel angewendet, um herauszufinden, ob die Temperatur mit den technischen Rahmenbedingungen der modifizierten Begasungstemperatur erreicht werden kann.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Für die Vorbereitung des praktischen Einsatzes für die Sandkernfertigung wurde der Prototyp für die Dosierung mit sicherheitstechnischen Einheiten zur Dosierung des Katalysators geplant und umgesetzt. Parallel zu dieser Arbeit wurden Simulationen zur Effizienzsteigerung des Wärmeüberganges zwischen der Heizelementoberfläche und der strömenden Druckluft durchgeführt. Nach der Fertigstellung des Prototyps für die Dosierung wurden beide Prototypen mit der Steuerung der eingesetzten Produktionskernschießeinheit verbunden. Die sicherheitstechnischen Einheiten, zur Überwachung der Druckluft- und Katalysatorversorgung, wurden ebenfalls verbaut. Damit waren die Prämissen erfüllt, den praktischen Einsatz im Rahmen umfangreicher Sandkernfertigungen durchzuführen. Die praktischen Kernfertigungen mit den vorgestellten Prototypen wurden zunächst mit den technischen Parametern der konventionellen Sandkernfertigung begonnen. Anschließend wurden die technischen Kernherstellungsparameter soweit optimiert, dass eine sichere Sandkernfertigung gewährleistet war. Die dabei entstandenen Einsparungen, gegenüber der konventionellen Kernfertigung, wurden dokumentiert und ausgewertet. Darüber hinaus wurden Auffälligkeiten, die durch den Einsatz der Prototypen entstanden, ebenfalls dokumentiert.

Ergebnisse und Diskussion

Die praktischen Anwendungen der modifizierten Begasungshaube und der entwickelten Dosiertechnik haben im Vergleich zu der konventionellen Sandkernfertigung erhebliche Einsparungen aufgezeigt. Aufgrund umfangreicher unterschiedlicher Sandkernproduktionen wurde aus den jeweiligen Einsparungen im Bereich der eingesetzten Katalysatormenge, Heizenergieverbrauch, Begasungszykluszeit/Kern und der damit verbundenen Produktivitätssteigerung, der jeweilige statistische Mittelwert aus nahezu allen Kernproduktionen berechnet. Damit konnte eine repräsentative Aussage über die Gesamteinsparungen aus den umfangreichen Sandkernproduktionen, im Zusammenhang mit der modifizierten Begasungshaube und der Dosiertechnik, vorgenommen werden. Durch den Einsatz konnte im Bereich der Begasungszeit/Kern im Mittel eine Einsparung von 21 % erreicht werden. Eine Einsparung von 57 % konnte im Mittel für die Katalysatormenge/Kern erreicht werden. Durch die Einsparung im Bereich der Begasungszeit/Kern konnte die Produktivität im Mittel um 25 % gesteigert werden. Die eingesetzten sicherheitstechnischen Elemente zur Überwachung der Dosierung des explosionsfähigen Katalysators und der modifizierten Begasungshaube haben sich als praktisch erwiesen. Im Bereich der durchgeführten dreidimensionalen Simulationstechnik wurden verschiedene Modifikationen des Hauptstromkanals im Hauptmodul berechnet, um den Wärmeübergang zwischen der Heizelementoberfläche und der strömenden Druckluft zu verbessern. Aus den Berechnungen wurde eine finale Modifikation des Hauptstromkanals gewählt. Diese Modifikation zeigt eine erhebliche Verbesserung des Wärmeüberganges der eingesetzten Heizelemente und der strömenden Druckluft. Es sind dadurch weitere Energie-Einsparungen von bis zu 20 % im Bereich des Hauptmoduls zu erwarten. Ein Einsatz dieser Modifikation des Hauptstromkanals soll in einem Folgeprojekt umgesetzt werden.

Das gefertigte Modul zur Energierückgewinnung konnte nicht mit dem Prototyp der modifizierten Begasungshaube eingesetzt werden. Die gesamte Bauhöhe, bestehend aus dem Energierückgewinnungsmodul und den Modulen der modifizierten Begasungshaube, war für die Produktionskernschießeinheit zu hoch dimensioniert. Die Vorgaben aus den technischen Zeichnungen der Produktionskernschießeinheit stimmten nicht mit den tatsächlichen Vorgaben der Kernschießeinheit überein. Eine Modifizierung des Gesamtkonzeptes, bestehend aus der modifizierten Begasungshaube und dem Energierückgewinnungsmodul ist entwickelt worden und soll in einem Anschlussprojekt umgesetzt werden.

Im Bereich der Dosiertechnik konnte festgestellt werden, dass die Dosierpumpe des Katalysators nicht den Erwartungen der Prozesssicherheit entsprechen konnte, da zum Ende des praktischen Einsatzes die Dosierpumpe die geforderte Durchflussrate nicht reproduzierbar aufweisen konnte. Mit der Folge das die Sandkerne nicht ausgehärtet wurden. Durch Erhöhung der Durchflussrate konnte das Problem bis zur Inspektion der Pumpe behoben werden. Nach Begutachtung des Pumpenkopfes konnte festgestellt werden, dass im Bereich eines Kugelventils Probleme aufgetreten sind. Es kam zu wiederholten Ausfällen. Es konnte bisher noch nicht eindeutig eruiert werden, ob „Verunreinigungen“ oder andere technische Gründe für diese Ausfälle verantwortlich sind. Es bedarf daher einer genauen Analyse. In diesem Kontext stellt sich die grundsätzliche Frage, ob die verwendete Pumpentechnologie für diese Applikation einsetzbar ist.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Im Kontext dieses praktischen Einsatzes sollen Fachartikel in Fachzeitschriften veröffentlicht werden. Auf verschiedenen Fachtagungen werden die Vorteile der modifizierten Begasungshaube im Rahmen von Vorträgen mit dem Titel „Die neue Dimension zur Begasung von Kernen“ vorgestellt. Erste Vorstellungen in der praktischen Anwendung haben stattgefunden. Weitere Kontaktaufnahmen mit Gießereien zur Anwendung der modifizierten Begasungshaube sind geplant.

Fazit

Im Rahmen des vorliegenden „Langzeitversuches“ wurden die Prototypen der modifizierten Begasungshaube und der Dosiertechnik unter Praxisbedingungen getestet. Die hohen Einsparungspotentiale die mit den bisherigen Anwendungen der modifizierten Begasungshaube erzielt wurden, konnten auch in diesem Projekt bestätigt werden. Einsparungen im Mittel von 57 % der tertiären Aminmenge, Produktivitätssteigerungen von 25 % und eine Reduzierung der Begasungszeit/Kern im Mittel von 21 % sind in diesem Langzeitversuch eingefahren worden. Allerdings ist auch zu betonen, dass Störungen in der Anwendung der Dosierpumpe aufgetreten sind. Die Ursache für die Störungen konnten bisher nicht eindeutig identifiziert werden. Es bedarf an dieser Stelle eine genaue Analyse in Form einer Revision der eingesetzten Pumpe. Ist eine eindeutige Analyse nicht möglich, ist die grundsätzliche Frage zu beantworten, ob unter den vorhandenen Einsatzbedingungen die verwendete Pumpentechnologie geeignet ist. Nach den bisherigen Erkenntnissen kann konstatiert werden, dass die eingesetzte Sicherheitstechnik im Kontext der Anwendung des Prototyps der modifizierten Begasungshaube den produktionstechnischen Ansprüchen entsprechen konnte. Der Prototyp der Dosiertechnik ist nicht in eine Serienfertigung übertragbar, da der Ex-Schutz für den Einsatz der Dosierkomponenten in der jetzigen Ausführung nicht eindeutig geklärt ist.

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 Entwicklung und Umsetzung eines Konzeptes zur Vorwärmung des Trägergases für den Katalysator
 - 5.2 Einfache Dosierung und Zuführung eines Katalysators unter sicherheitstechnischen Aspekten für den Einsatz explosionsfähiger Gemische
 - 5.3 Modifizierung der eingesetzten Dosiertechnik zur Dosierung des Katalysators
 - 5.4 Langzeittest der eingesetzten Technik und Modifikationen der modifizierten Begasungshaube in der Anwendung in einer Gießerei
 - 5.4.1 Wirtschaftliche Betrachtung der Ergebnisse aus dem Langzeittest
 - 5.5 Versuch der modifizierten Begasungshaube im Bereich höherer Aushärtetemperaturen zur Aushärtung anorganischer Bindemitteln (180°C)
 - 5.6 Dreidimensionale, numerische Strömungsuntersuchung der modifizierten Begasungshaube
 - 5.6.1 Datengrundlage
 - 5.6.2 Berechnung des Ist-Zustandes
 - 5.6.3 Berechnung der Optimierungsvariante
 - 5.6.4 Zusammenfassung und Empfehlung
- VI. Fazit

I. Verzeichnis von Bildern und Tabellen

Bild 1	Aufbau der konventionellen Begasung, Seite 16
Bild 2	Aufbau der modifizierten Begasung, Seite 17
Bild 3	Konzept der Vorwärmung, Bild 3, Seite 20
Bild 4	Modul der Vorwärmung, Bild 4, Seite 21
Bild 5	Bauhöhe aus Kernwerkzeug und Schießdüsenplatte, Seite 22
Bild 6	Grundlegendes Konzept zum Aufbau der modifizierten Begasungshaube, Seite 24
Tabelle 1	Untere- und Obere Explosionsgrenze DMEA, Seite 25
Tabelle 2	Maximale Durchflussrate Katalysator, Seite 26
Tabelle 3	Maximale Durchflussrate Druckluft, Seite 26
Bild 7	Sicherheitstechnisches Konzept der modifizierten Begasungshaube, Seite 27
Bild 8	Gesamtkonzept Dosierschrank und Bevorratung Katalysator, Seite 30
Bild 9	Prototyp Dosierschrank, Seite 31
Bild 10	Außengehäuse Dosierschrank, Seite 31
Bild 11	Konzept der Zwangsbelüftung und Trennung Liquid-/Elektro-Bereich, Seite 32
Bild 12	Trennwand separiert den Liquid- vom Elektro-Raum, Seite 33
Bild 13	Vorratsbehälter Katalysator, Seite 33
Bild 14	Konzeptionelle Rückansicht Dosierschrank, Seite 35
Bild 15	Rückansicht Dosierschrank Prototyp, Seite 36
Bild 16	Temperaturüberwachung im Dosierschrank, Seite 36
Bild 17	Displaysoftware zur Aktivierung der Dosierpumpe und weiterer Parameter, Seite 37

Bild 18	Produktionskernschießmaschine, Seite 38
Bild 19	Konventionelles Begasungsgerät, Seite 39
Bild 20	Konventionelle Begasungshaube, Seite 39
Bild 21	Kernschießmaschine mit der modifizierten Begasungshaube, Seite 40
Bild 22	Prototyp Dosiertechnik der modifizierten Begasungshaube mit Eingabepanel, Seite 41
Bild 23	Tablet der Dosierpumpe, Seite 42
Bild 24	Überwachungseinheiten der Druckluft, Seite 42
Tabelle 4	Repräsentativer Querschnitt der Sandkernproduktion, Seite 44
Tabelle 5	Kalkulation der Gesamtkosten €/Gussstück (Konventionelle Kernfertigung), Seite 46
Tabelle 6	Kalkulation der Gesamtkosten €/Gussstück (Modifizierte Begasungshaube), Seite 46
Bild 25	Gegenüberstellung der Gesamtkosten €/Gussstück, Seite 47
Bild 26	Darstellung der Einschaltdauer und der aktiven Heizzeit (Heizelement 1), Seite 47
Bild 27	Darstellung der Einschaltdauer und der aktiven Heizzeit (Heizelement 2), Seite 48
Bild 28	Energiekosten (€/h) der modifizierten Begasungshaube, Seite 48
Tabelle 7	Einsparung der Energiekosten (€/h) durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube, Seite 48
Tabelle 8	Einsparung der Energiekosten (€/a) durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube, Seite 49
Tabelle 9	Einsparungen der Druckluftkosten (€/a) durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube, Seite 49
Tabelle 10	Einsparungen der Gesamtkosten (€/a) durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube, Seite 50
Tabelle 11	Einsparungen Produktivitätssteigerung (€/a) durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube, Seite 50

Bild 29	Gesamte Einsparungen (€/a) durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube, Seite 51
Bild 30	3D-Darstellung des Hauptmoduls mit Heizelementen, Seite 56
Bild 31	Gemessene Temperaturverläufe über die Heizlänge, Seite 57
Tabelle 12	Berechnete Leistungen für die relevanten Endtemperaturen, Seite 58
Bild 32	Berechnungsnetz des Modells für den Istzustand, Seite 60
Bild 33	Detail des Berechnungsnetzes (Istzustand), Seite 61
Bild 34	Geschwindigkeitskonturen bei einem Durchfluss von 1750 l/min im Istzustand, Seite 62
Bild 35	Geschwindigkeitsvektoren beim Durchfluss von 1750 l/min im Istzustand (Detail im Modellausschnitt vor dem Auslass), Seite 62
Bild 36	Temperaturverlauf beim Durchfluss von 1750 l/min im Istzustand, Seite 63
Bild 37	Optimierungsvariante mit wellenförmigem Kanal, Seite 64
Bild 38	Geschwindigkeitskonturen bei einem Durchfluss von 1750 l/min in der Variante, Seite 65
Bild 39	Geschwindigkeitsvektoren beim Durchfluss von 1750 l/min in der Variante (Detail im Modellausschnitt vor dem Auslass), Seite 65
Bild 40	Temperaturverlauf beim Durchfluss von 1750 l/min in der Variante, Seite 66
Bild 41	3D-Darstellung der optimierten Variante des Hauptmoduls, Seite 67

II. Verzeichnis von Begriffen und Definitionen

1. Formstoffaufbereitung

In der Formstoffaufbereitung werden 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 zur Bildung von Hohlräumen in Gussteilen 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 bestimmte technologische Eigenschaften 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 dem 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. Katalysator (Tertiäre Amin)

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. DMEA (Dimethylethylamin, Katalysator)

Bestimmtes tertiäres Amin.

12. Modifizierte Begasungshaube (MBH)

Die modifizierte Begasungshaube ist eine modular aufgebaute Begasungshaube, die sich von der konventionellen Begasungshaube dadurch unterscheidet, dass verschiedene Modifizierungen wie bspw. die Integration von Heizelemente in der Begasungshaube vorhanden sind.

13. Energierückgewinnungssystem

Es handelt sich dabei um eine Energierückgewinnung, die durch Nutzung der Abwärme der modifizierten Begasungshaube genutzt wird.

14. Kernwerkzeug

Das Kernwerkzeug bestimmt die Kontur des Kerns der zum Abguss eingesetzt wird.

15. Einschusssdüsen

Einschusssdüsen werden in Kombination mit dem Kernwerkzeug eingesetzt. Die Düsen dienen der gezielten Füllung des Kernwerkzeuges mit dem Formstoff.

16. Schießkopf

Der Schießkopf ist ein Bestandteil der Kernschießeinrichtung. In dem Schießkopf wird der Formstoff gebunkert. Durch Öffnen eines Ventils wird der Formstoff durch Druckluft in das Kernwerkzeug transportiert.

17. Explosionsgrenzen

Explosionsgrenzen sind Grenzen des sogenannten "Explosionsbereiches". Die untere Explosionsgrenze (UEG) bzw. die obere Explosionsgrenze (OEG) sind der untere bzw. obere Grenzwert der Konzentration (Stoffmengenanteil) eines brennbaren Stoffes in einem Gemisch von Gasen, in dem sich nach dem Zünden eine von der Zündquelle unabhängige Flamme gerade nicht mehr selbstständig fortpflanzen kann.

18. Liquidbereich

Der Liquidbereich beschreibt den Raum im Dosierschrank, indem der Katalysator mit Hilfe der Dosierpumpe und des Dosierventils der modifizierten Begasungshaube zugeführt wird.

19. Elektrobereich

Der Elektrobereich beschreibt den Raum im Dosierschrank, indem die elektrischen Anschlüsse der Dosierpumpe und des Dosierventils abgelegt sind.

20. Dosiereinheiten

Dosiereinheiten = Dosierpumpe und das Dosierventil

21. Begasungsschlitten

Der Begasungsschlitten ist eine Konstruktion zur Aufnahme der Begasungshaube. Der Begasungsschlitten hat die Funktion die Begasungshaube in verschiedene Positionen im Kernherstellungsprozess zu bewegen.

22. ATEX ist eine Abkürzung und steht für "ATmosphère EXplosible". ATEX ist die Kurzbezeichnung für die europäische Richtlinie 2014/34/EU für das Inverkehrbringen explosionsgeschützter elektrischer und mechanischer Geräte, Komponenten und Schutzsysteme

III. Zusammenfassung

Das vorgestellte Projekt beschreibt die Fortsetzung der Entwicklung einer Vorrichtung mit der Bezeichnung „Modifizierte Begasungshaube“ als Bestandteil einer Kernschießeinrichtung zur Einsparung von Energie und Ressourcen für das Begasen von Kernen für die Gießereiindustrie.

Konkret befasst sich das vorliegende Projekt mit der praktischen Anwendung der Prototypen der modifizierten Begasungshaube und der Technologie zur Dosierung des Katalysators in einer Kundengießerei. Im Rahmen umfangreicher Sandkernfertigungen soll die Praxistauglichkeit in einem Langzeitversuch geprüft werden. Im Vorfeld zu dem praktischen Einsatz der modifizierten Begasungshaube wurde ein Konzept, für die Unterbringung der Technologie der Dosierung des Katalysators, entwickelt. Die Umsetzung dieses Konzeptes erfolgte in Form eines Prototyps zur Aufnahme der Dosiereinheiten. Zusätzlich wurde für den Einsatz der Prototypen ein umfangreiches sicherheitstechnisches Konzept eingesetzt, das die Bereiche Druckluft und Katalysator überwachte.

Um weiteres Optimierungspotenzial hinsichtlich der Effizienz des Einsatzes der modifizierten Begasungshaube aufzuzeigen, wurden Simulationsrechnungen durchgeführt. Im Fokus dieser Simulation wurde der Bereich des Hauptstromkanals betrachtet. Die Motivation dazu war es den Wärmeübergang zwischen der Oberfläche der verbauten Heizelemente und des strömenden Mediums (Druckluft) zu optimieren. Die Berechnungen zeigen, dass durch die Modifikation des Strömungskanals eine Einsparung von bis zu 20 % zu erwarten ist. Der Einsatz dieser Modifikation in dem Hauptmodul der modifizierten Begasungshaube soll in einem Anschlussprojekt erfolgen.

In diesem Kontext der Effizienzsteigerung wurde das Konzept der Energierückgewinnung, in der angewendeten modularen Bauweise, umgesetzt. Damit wird ein erheblicher Teil der Abwärme der modifizierten Begasungshaube für die Vorwärmung des strömenden Mediums genutzt.

Das Modul der Energierückgewinnung wurde mit dem bisher eingesetzten Prototyp der modifizierten Begasungshaube verbunden und für den Langzeitversuch eingesetzt. Dabei stellt sich heraus, dass ein Großteil der eingesetzten Produktionswerkzeuge für die Kernherstellung mit Einschussdüsen bestückt ist. Durch den Einsatz von Einschussdüsen wird die Gesamthöhe der eingesetzten Produktionswerkzeuge erheblich reduziert. Zusätzlich wird die modifizierte Begasungshaube, durch das Energierückgewinnungsmodul im Aufbau, höher. Das bedeutet, dass eine Anzahl von Produktionskernkästen nicht eingesetzt werden konnten. Aufgrund dieser Situation und produktionstechnischer Gründe, wie bspw. der Auf- und Abbau des Energierückgewinnungsmoduls, wurde der weitere Einsatz eingestellt. Eine konzeptionelle Lösung dieses Problems liegt vor und kann in einem Anschlussprojekt umgesetzt werden.

Weiterhin muss konstatiert werden, dass die Versuchsreihe in der Anwendung der Aushärtetemperatur für anorganische Sandkerne nicht den Erwartungen gerecht wurde, wie die theoretischen Berechnungen, zur elektrischen Leistung der modifizierten Begasungshaube, zu erwarten ließen. In der durchgeführten Versuchsreihe wurde ausschließlich die maximale Ausgangstemperatur der modifizierten Begasungshaube gemessen. Es stellte sich heraus, dass für diese Anwendung die Aushärtetemperatur von 180°C nicht erreicht werden konnte. Die eingesetzte elektrische Leistung von 5 kW der modifizierten Begasungshaube erzeugte eine maximale Temperatur von 150°C. Aufgrund der Erkenntnisse dieser Versuchsreihe ist davon auszugehen, dass eine Leistungsaufnahme von 8 kW ausreicht, um eine Ausgangstemperatur des Trägergases von 180°C zu erreichen. Diese Aussage wird unterstützt durch die zusätzlichen technischen Maßnahmen wie dem Einsatz der Energierückgewinnung und der Modifikation des Hauptstromkanals in dem Hauptmodul.

Die Ergebnisse des Langzeitversuches konnten die bisherigen positiven Ergebnisse bestätigen. Die Darstellung der Einsparungen jeder einzelnen Sandkernproduktion würde den Rahmen dieses Berichtes sprengen. Daher wurde aus der Vielzahl der Sandkernproduktionen ein repräsentativer Querschnitt, in Form von statistischen Mittelwerten der nachfolgenden Produktionskennzahlen, gezogen. Als Grundlage der Berechnungen der Einsparungen wurden die Parameter der konventionellen Kernproduktionen herangezogen. Mit Hilfe der Produktionskennzahlen konnten die folgenden Einsparungen ermittelt werden.

- Im Mittel ist eine Taktzeitreduzierung/Kernschuss von 13,5 s zu verzeichnen. Das entspricht einer Taktzeitreduzierung von 21,1 % gegenüber der konventionellen Kernfertigung.
- Im Mittel ist eine Katalysatorreduzierung/Kernschuss von 7,04 ml zu beziffern. Das entspricht einer Reduzierung des Katalysators von 57,1 % gegenüber der konventionellen Kernfertigung.
- Durch die vorgestellte Taktzeitreduzierung ergibt sich eine Produktivitätssteigerung im Mittel von 25,3 % gegenüber der konventionellen Kernfertigung.
- Der Energieverbrauch der Heizelemente ist, durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube, um 68,75 % gegenüber der konventionellen Aufheizung des Trägergases gesunken.

Ein weiterer wichtiger Aspekt des vorliegenden Langzeitversuches war es die Praxistauglichkeit der eingesetzten Prototypen zu prüfen. Aufgrund der kompakten Bauweise des Prototyps der modifizierten Begasungshaube sind keine technischen Probleme aufgetreten.

Die Anwendung der Dosiertechnik machte gegen Ende des Langzeitversuches Probleme. Das Problem zeigte sich zunächst in der Form, dass die geforderte Katalysatormenge/Kernschuss nicht dosiert werden konnte. Dadurch kam es zu einer unzureichenden Aushärtung des Sandkerns. Das Auslitern der Durchflussmenge der Dosierpumpe bestätigte diese Aussage. Daraufhin wurde festgestellt, dass ein Kugelventil Ablagerungen im Ventilsitz aufzeigte. Diese Ablagerungen führten

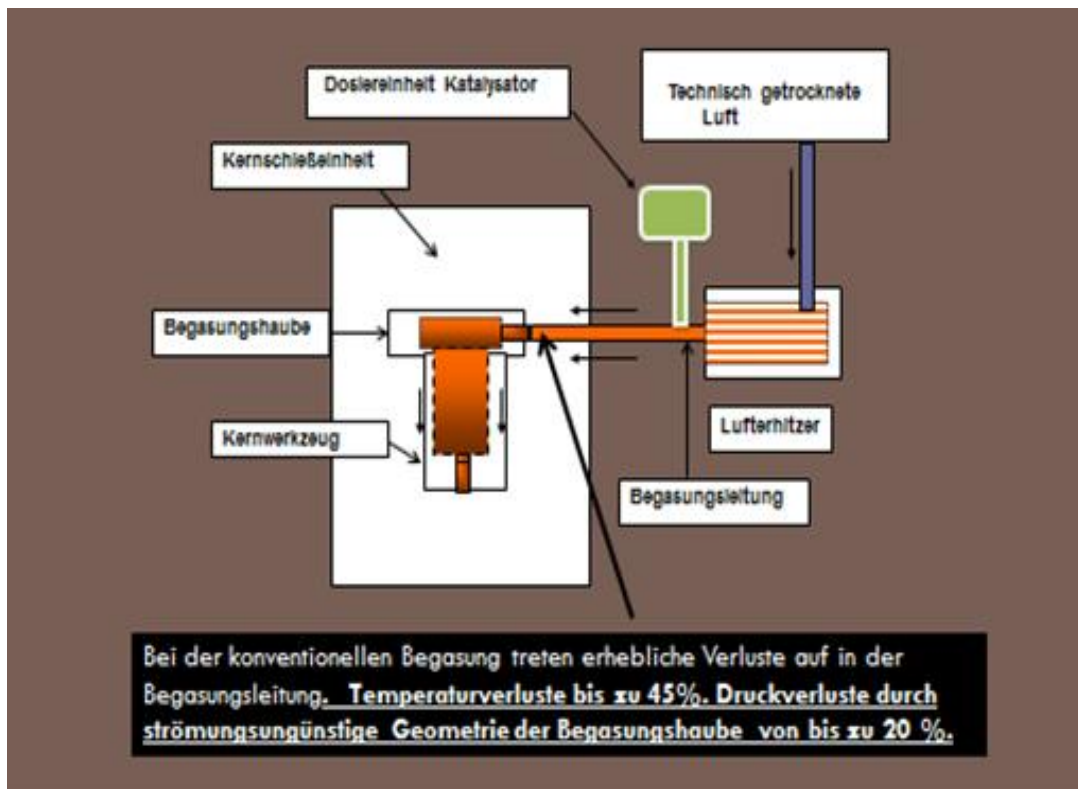
vermutlich zu der eingeschränkten Funktionalität der Pumpe. Nach dem Reinigen des Ventilsitzes konnte die Produktion wieder aufgenommen werden. Allerdings trat das Problem wiederholt auf, bis zum Totalausfall der Dosierpumpe. Ablagerungen konnten ausgeschlossen werden, da der Ventilsitz einen einwandfreien Zustand aufzeigte. Daraufhin wurde der gesamte Pumpenkopf gewechselt und die Produktion konnte fortgesetzt werden. Eine abschließende Analyse, wie es zu dem Totalausfall gekommen ist, liegt zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht vor. Nach Beendigung des Langzeitversuches wird eine Revision der Dosierpumpe vorgenommen. Damit ist auch die Frage verbunden, ob diese verwendete Pumpentechnologie für diese Applikation die richtige Wahl ist.

IV. Einleitung

In der Gießereiindustrie hat die Energieeinsparung aufgrund der stetig steigenden Energiekosten einen immer höheren Stellenwert bekommen. Der Gießereibetrieb ist geprägt durch energieintensive Prozesse. Diese Prozesse müssen kritisch betrachtet werden und in einem Gesamtenergiekonzept für den Gießereibetrieb umgesetzt 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 soll die Praxistauglichkeit der erstellten Prototypen der modifizierten Begasungshaube und der Dosiertechnik, im Einsatz in einer Kundengießerei, darstellen. Darüber hinaus sollen Verbesserungen des Wärmeübergangs, durch den Einsatz der dreidimensionalen Simulationstechnik, das Optimierungspotenzial des bestehenden Prototyps im Bereich des Hauptstromkanals der modifizierten Begasungshaube aufzuzeigen.

4.1 Ausgangssituation

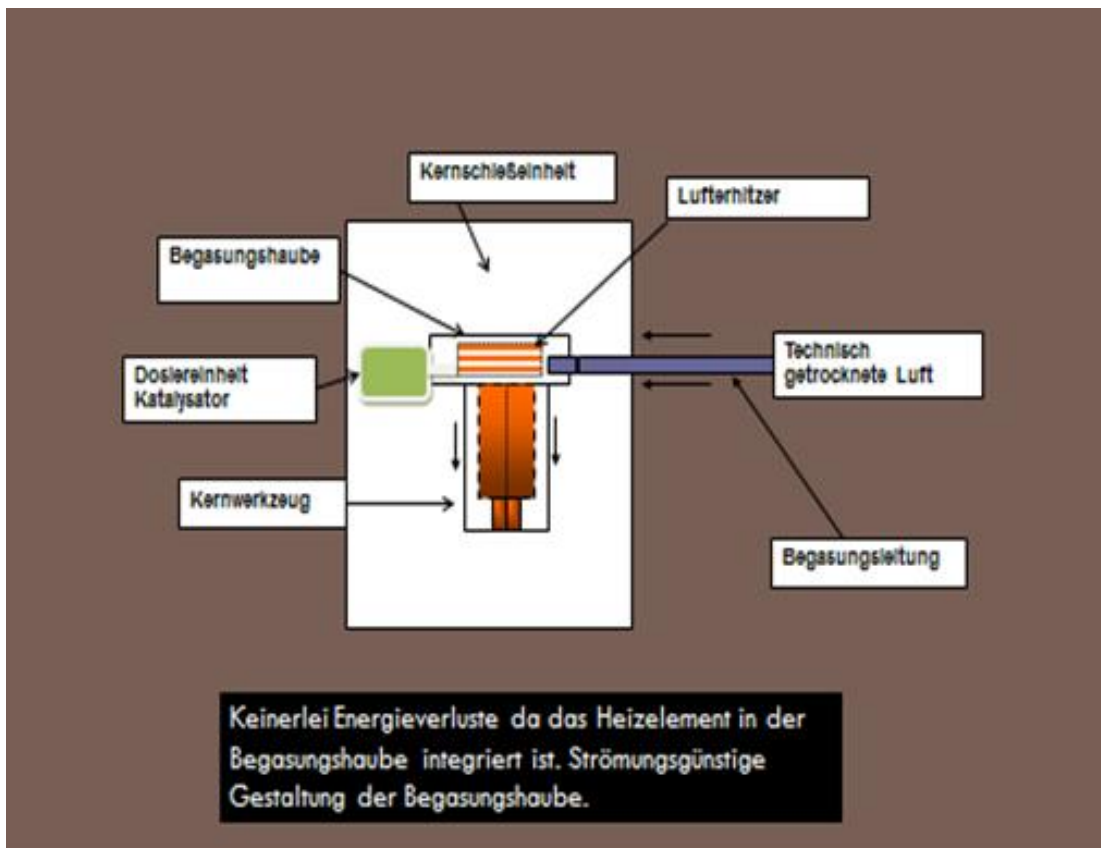
Nach der Formstoffaufbereitung wird der permeable Formstoff mittels der Kernschießeinrichtung in das Werkzeug überführt. Danach beginnt der Begasungsprozess. Die Begasungshaube wird druckdicht über das Werkzeug aufgesetzt, anschließend fließt das gasförmige Medium über die Begasungshaube in das Werkzeug, 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 Wege der Dosierung des Amins gegeben. Damit soll erreicht werden, dass Kondensationserscheinungen des Amins innerhalb der Zuleitung ausgeschlossen sind. 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 Entwicklung und Umsetzung eines Konzeptes zur Vorwärmung des Trägergases für den Katalysator **(Steigerung der Effizienz)**
- 4.2.2 Einfache Dosierung und Zuführung eines Katalysators unter sicherheitstechnischen Aspekten für den Einsatz explosionsfähiger Gemische **(Sicherheitstechnik)**
- 4.2.3 Modifizierung der eingesetzten Dosiertechnik zur Dosierung des Katalysators **(Optimierungsmaßnahmen des Begasungsprozesses, Steigerung der Effizienz)**
- 4.2.4 Langzeit-Test der eingesetzten Technik und Modifikationen der modifizierten Begasungshaube in der Anwendung in einer Gießerei **(Praxistauglichkeit)**
- 4.2.5 Versuche der modifizierten Begasungshaube im Bereich höherer Aushärtetemperaturen zur Aushärtung von anorganischen Bindemittel (180°C). **(Multifunktionaler Einsatz für alle gashärtenden Verfahren)**
- 4.2.6 Dreidimensionale numerische Strömungsuntersuchung der modifizierten Begasungshaube **(Einsparung von Ressourcen und Reduzierung der Begasungszykluszeiten, Steigerung der Effizienz)**

4.3 Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung des vorliegenden Projektes war zunächst, die bisher eingesetzten Dosierkomponenten in eine kompakte Einhausung, unter Berücksichtigung von sicherheitstechnischen- und produktionstechnischen Anforderungen, unterzubringen. Dazu wurde ein sicherheitstechnisches Konzept für den Bereich der eingesetzten Druckluft und des explosionsfähigen Katalysators entwickelt. Im Resultat entstand ein Prototyp in Form eines Dosierschranks, der zur Aufnahme der Dosierkomponenten (Dosierpumpe und Dosierventil) eingesetzt wird. Die Bevorratung des Katalysators wird außerhalb des Dosierschranks, mittels eines dafür ausgelegten Sicherheitsbehälters realisiert.

Das Konzept der Energierückgewinnung wurde in der gleichen modularen Bauweise umgesetzt wie der bestehende Prototyp der modifizierten Begasungshaube. Beide Module werden miteinander verbunden und stellen eine Einheit dar. Anschließend wurde der Prototyp der modifizierten Begasungshaube in einer Produktionskernschießmaschine verbaut und mit dem Prototyp Dosierschrank verbunden. Mit dem Einsatz der Prototypen wurde ein Langzeitversuch realisiert. Im Rahmen dieses Langzeitversuches wurde eine Vielzahl von Sandkernproduktionen durchgeführt. Damit soll der Beweis angetreten werden, dass die bisherigen sehr guten Einsparungsergebnisse in den Bereichen Energie und Ressourcen, bestätigt werden können. Darüber hinaus ist ein weiterer Aspekt des Langzeitversuches die Praxistauglichkeit der modifizierten Begasungshaube und der Dosiertechnik zu prüfen.

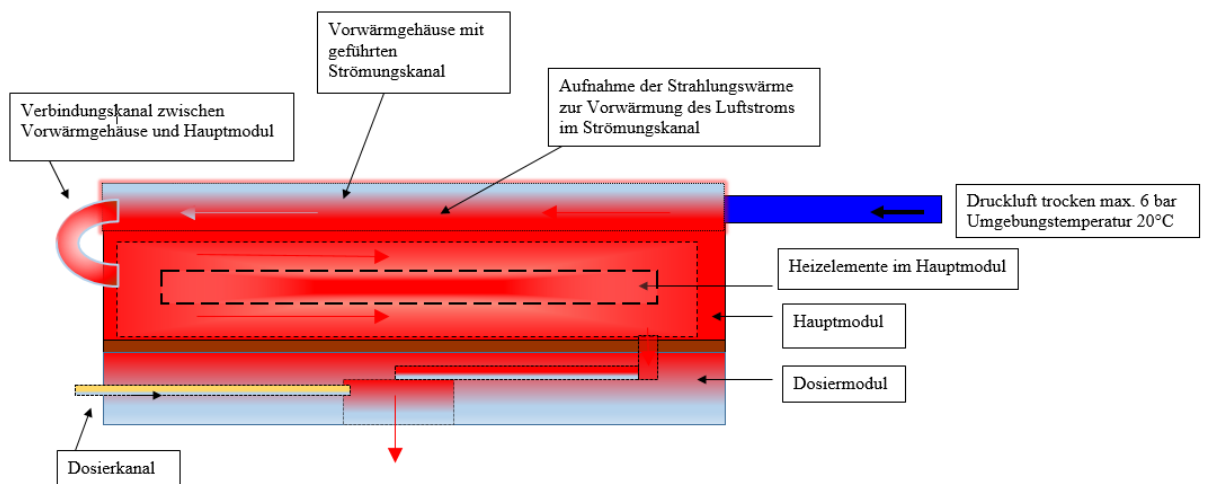
V. Hauptteil

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 4 sind wie folgt zu beschreiben.

5.1 Entwicklung und Umsetzung eines Konzeptes zur Vorwärmung des Trägergases für den Katalysator

Die Vorwärmung der Druckluft dient der Effizienzsteigerung der modifizierten Begasungshaube. Mit der Intention die Abwärme der modifizierten Begasungshaube (Hauptmodul) zu nutzen, um eine Vorwärmung der Druckluft zu erreichen. Das Konzept der Vorwärmung ist in dem Bild 3 dargestellt und lässt sich wie folgt beschreiben.



Konzept der Vorwärmung, Bild 3

Das Modul der Vorwärmung wird aufgrund der Strahlungswärme des Hauptmoduls aufgeheizt. Die aufgenommene Energie wird genutzt, um die Druckluft aufzuheizen. Damit dieser Prozess der Energierückgewinnung effektiv genutzt wird, wird die einströmende Druckluft über einen Innenaufbau geführt und anschließend in das Hauptmodul geleitet. Dadurch wird der Energiebetrag für die Aufwärmung genutzt, der sonst über die Abwärme des Hauptmoduls verloren geht.

Das Konzept wurde in einer modularen Bauweise umgesetzt und kann somit in Kombination mit der modifizierten Begasungshaube eingesetzt werden. Das Modul der Vorwärmung ist in dem Bild 4 dargestellt. Das Modul weist im Innenaufbau weitere Details auf, die die Effizienz des Wärmeübergangs auf die Druckluft erhöht. Auf die Ausführung der Details wird nicht weiter eingegangen.

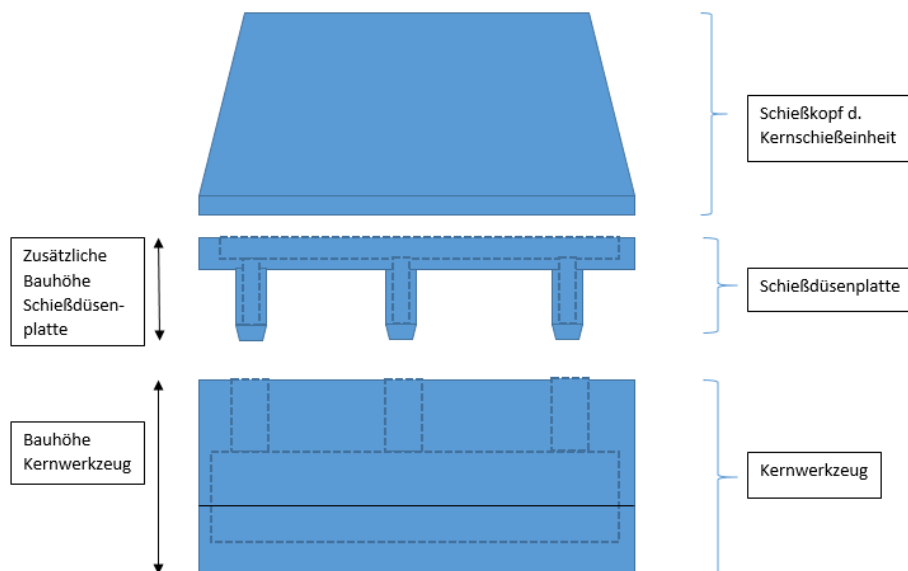


Modul der Vorwärmung, Bild 4

Ein weiterer Vorteil dieser Anwendung ist, eine „Isolierung“ zum sog. Schießkopf zu realisieren. Dazu die folgende Erläuterung.

Im Herstellungsprozess der Kerne wird der Formstoff (Formgrundstoff und Bindemittel) in einen sog. Schießkopf überführt, der die Bevorratung des Formstoffes in der Kernschießeinrichtung darstellt. Über Einschussöffnungen wird der Formstoff innerhalb des Schießkopfes mit Druckluft beaufschlagt und in das jeweilige Kernwerkzeug überführt. Anschließend wird der Aushärteprozess durch das druckdichte Aufsetzen der Begasungshaube auf das Kernwerkzeug eingeleitet. Während des Aushärteprozesses kommt es innerhalb der Kernschießeinrichtung

zum Kontakt zwischen dem Schießkopf und der modifizierten Begasungshaube. Durch die Abwärme der modifizierten Begasungshaube, kann es zu einer Reaktion (Aushärtung) des Formstoffes innerhalb der Einschussöffnungen im Schießkopf kommen. Dadurch ist eine Überführung des Formstoffes in das Kernwerkzeug nicht möglich. Die Einschussöffnungen müssen von dem ausgehärteten Formstoff befreit werden. Durch die Installation des Moduls der Vorwärmung wird eine Art „Isolierung“ in diesem Bereich zwischen Schießkopf und der modifizierten Begasungshaube realisiert. Dadurch ist eine Formstoffreaktion in den Schießkopfföffnungen nicht mehr möglich und Störungen dieser Art im Produktionsablauf nahezu ausgeschlossen. Kritisch ist allerdings anzumerken, dass aufgrund dieser modularen Bauweise die Gesamthöhe der modifizierten Begasungshaube erhöht wird. Das hat den Nachteil, dass die Bauhöhen der verwendeten Kernwerkzeuge begrenzt sind. Durch die zusätzliche Verwendung von Kernwerkzeugen mit Einschussdüsen, in Kombination mit der Verwendung der Module aus Vorwärmung und modifizierten Begasungshaube, wurde diese Problematik verschärft. Durch die Verwendung von Schießdüsenplatten geht zusätzliche Bauhöhe verloren. Das Bild 5 soll diese Problematik verdeutlichen.



Bauhöhe aus Kernwerkzeug und Schießdüsenplatte, Bild 5

Aufgrund der Tatsache, dass im Rahmen des Langzeitversuches eine Vielzahl von unterschiedlichen Kernproduktionen stattgefunden haben und dadurch bedingt unterschiedliche Kernwerkzeuge in der Bauhöhe verwendet wurden, ist der Entschluss gefasst worden die Verwendung des Moduls für die Vorwärmung der Druckluft nicht einzusetzen.

Begründung: Durch die Reduzierung der Bauhöhe konnte nur ein Teil der Produktionswerkzeuge für die Kernherstellung eingesetzt werden. Es bestand ausschließlich die Möglichkeit, das Modul der Vorwärmung in Abhängigkeit zur Werkzeughöhe, zu installieren bzw. zu deinstallieren. Der Produktionsablauf der Kernherstellung wurde dadurch erheblich gestört.

Einen weiteren Aspekt in der Fragestellung der Anwendung der vorgestellten Energierückgewinnung geben die Ergebnisse der durchgeführten Strömungssimulation des Hauptstromkanals der modifizierten Begasungshaube. Die Ergebnisse zeigen, dass die Effizienz der Anwendung der Energierückgewinnung in Abhängigkeit zu dem Niveau der Aushärtetemperatur steht, also im Einsatz organischer oder anorganischer Bindemittel. Je höher die Temperatur (Anwendung anorganischer Bindemittel), umso effizienter die Energierückgewinnung.

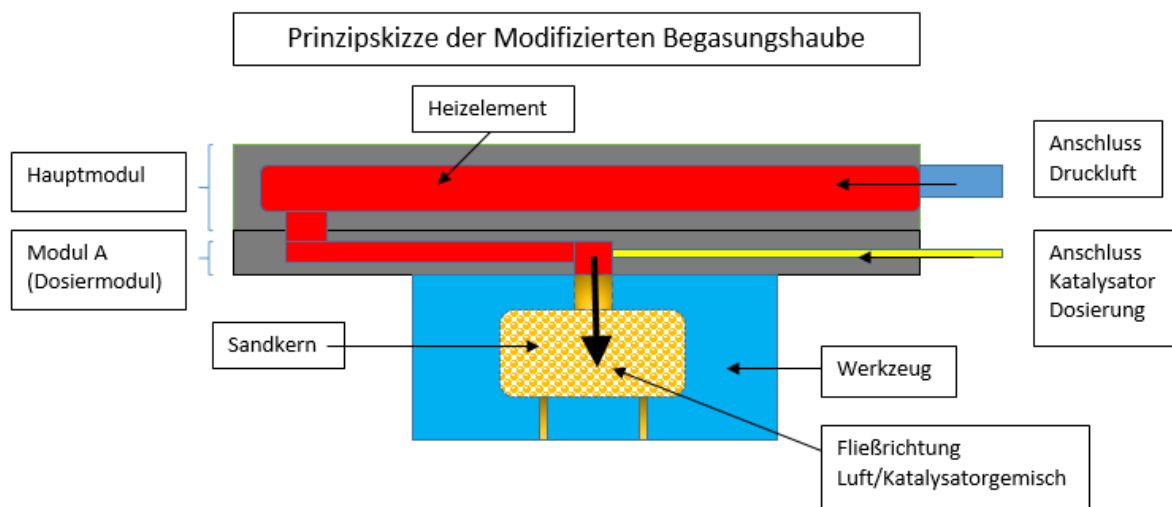
5.2 Einfache Dosierung und Zuführung eines Katalysators unter sicherheitstechnischen Aspekten für den Einsatz explosionsfähiger Gemische

Der wichtigste Vertreter in der Anwendung organischer Bindemittel ist das sogenannte Cold-Box Verfahren. Dieses Verfahren verwendet zur beschleunigten Aushärtung einen Katalysator. 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 und damit das gesamte System unter dem sogenannten Ex-Schutz stellt. Da die Begasungshaube einen 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.

Nach eingehender Analyse des Konzeptes der modifizierten Begasungshaube (Bild 6) wurde die folgende Sichtweise vertreten.



Grundlegendes Konzept zum Aufbau der modifizierten Begasungshaube, Bild 6

Hauptmodul

Das Hauptmodul lässt sich dadurch eindeutig kennzeichnen, dass in diesem Bereich **ausschließlich aufbereitete Druckluft vorhanden ist**, die auf die jeweilige Einsatztemperatur eingestellt 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 (Dosiermodul)

Das Modul A stellt die Einheit zum Dosieren des Katalysators dar. Durch den Überdruck der aufbereiteten Luft mit Temperatur fließt die Luft in Richtung Werkzeug, dargestellt durch den schwarzen Pfeil im Bild 6. Durch die Fließrichtung des aufbereiteten Luftstroms mit Temperatur wird der Katalysator zum Werkzeug bzw. Sandkern transportiert. In dem sog. Dosierungskanal (gelb gekennzeichnet, Bild 6) wird der Katalysator dem Luftstrom zugeführt. Es bildet sich 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 (UEG) und oberer Explosionsgrenze (OEG). Wenn die Konzentration des brennbaren Stoffes in der Luft innerhalb der Explosionsgrenzen liegt, wird das Gemisch als **explosionsfähige Atmosphäre** bezeichnet. Im Rahmen des Langzeitversuches wurde der Katalysator mit der Bezeichnung DMEA (Dimethylethylamin) eingesetzt. Laut dem Sicherheitsdatenblatt für DMEA sind die folgenden Angaben für die Untere- und Obere Explosionsgrenze relevant (Tabelle 1).

Explosionsgrenzen _(DMEA)	Konzentration (Vol.%)
Untere Explosionsgrenze (UEG)	1,2
Obere Explosionsgrenze (OEG)	8,5

Untere- und Obere Explosionsgrenze DMEA, Tabelle 1

Es ist daher von größter Bedeutung festzustellen, ob die in der Praxis dosierte Menge Katalysator/Zeiteinheit und die ermittelten Durchflussmenge Luft/Zeiteinheit in Abhängigkeit zum Begasungsdruck innerhalb oder außerhalb der genannten Explosionsgrenzen liegen.

Dazu die folgende Stellungnahme zu den Durchflussmengen der Druckluft und des Katalysators.

Die eingesetzte Dosierpumpe für den Katalysator hat eine Förderleistung von maximal 500 ml/min (abhängig vom eingesetzten Pumpenkopf).

Für die Anwendung der modifizierten Begasungshaube ist die Durchflussmenge Druckluft von 295 l/min als Mindestwert festgelegt. Wird dieser Wert unterschritten, schalten die Sicherheitseinheiten das gesamte Dosiersystem ab. Daraus ergeben sich die folgenden Durchflussraten für den eingesetzten Katalysator/Zeiteinheit und der Druckluft/Zeiteinheit

Die maximale Durchflussrate der eingesetzten Dosierpumpe für den Katalysator ist in der Tabelle 2 dargestellt.

Maximale Durchflussrate der Dosierpumpe (ml/min)	Maximale Durchflussrate der Dosierpumpe (ml/s)
500	8,33

Maximale Durchflussrate Katalysator, Tabelle 2

Die maximale Durchflussrate der Druckluft ist in der Tabelle 3 dargestellt.

Durchfluss Druckluft (l/min)	Durchfluss Druckluft (ml/s)
295	4920

Maximale Durchflussrate Druckluft, Tabelle 3

Aufgrund der Tatsache, dass die Explosionsgrenzen temperatur- und druckabhängig sind, wurde aus sicherheitstechnischen Erwägungen ein weiterer Sicherheitsfaktor installiert. **Die UEG wurde für diese Anwendung um 25 % reduziert**, um eine zusätzliche Sicherheitsstufe einzubauen.

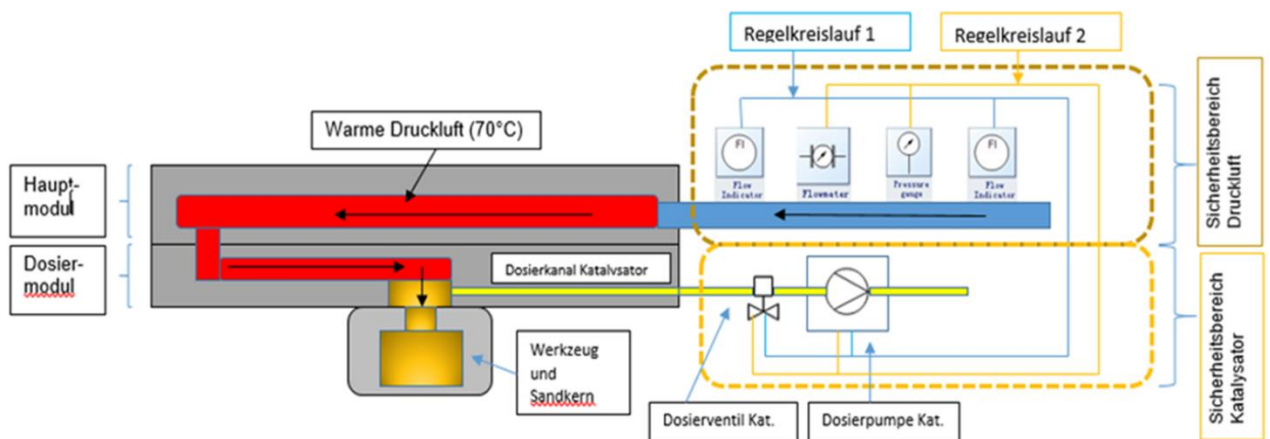
Damit liegt die **UEG bei 0,9 Vol.%**.

Daraus ergibt sich eine Konzentration von,

0,17 Vol. % Katalysatoranteil (UEG 0,9 Vol.%)

Damit ist erwiesen, dass unter den gegebenen Rahmenbedingungen der vorgestellten maximalen Durchflussraten (ml/s) für den Katalysator wie auch für die Druckluft, die UEG nicht erreicht werden kann.

Zur Absicherung des gesamten Systems bestehend aus der Dosierung des Katalysators und der modifizierten Begasungshaube wurde das folgende sicherheitstechnische Konzept entwickelt und umgesetzt. Dazu wurden zwei Sicherheitsbereiche (Druckluft und Katalysator) erstellt, die in dem Bild 7 aufgeführt sind.



Sicherheitstechnisches Konzept der modifizierten Begasungshaube, Bild 7

Die Sicherheitsbereiche werden wie folgt beschrieben.

Beschreibung des Sicherheitsbereiches Druckluft.

Bevor die Druckluft in das Hauptmodul einströmt und aufgeheizt wird, passiert die Druckluft die Sicherheitseinheiten die in dem Bild 7 (Sicherheitsbereich Druckluft) dargestellt sind. Die Sicherheitseinheiten haben im Einzelnen die folgende Funktion.

Der Flow Indicator (Strömungswächter) hat die Funktion den Luftstrom der Druckluft zu detektieren. Wird kein Luftstrom erkannt, wird über die Vernetzung der Sicherheitsbereiche Druckluft und Katalysator die Dosierpumpe und das Dosierventil ausgeschaltet. Dieser Sicherheitsregelkreislauf wird über einen zusätzlichen

Flow Indicator redundant gesichert. Die Absicherung ist mit dem Regelkreis 1 in dem Bild 7 dargestellt.

Das Flowmeter hat die Funktion die Luftmenge/Zeiteinheit (l/min) anzuzeigen und zu überwachen. Wie in dem o.g. Beispiel genannt, werden 295 l/min (Dosierdruck 0,8 bar) in der Dosierzeit des Katalysators gefordert. Wird dieser Wert unterschritten, werden über den Sicherheitsregelkreis, zwischen den Sicherheitsbereichen Druckluft und Katalysator, die Katalysatorpumpe und Ventil deaktiviert. Die Absicherung ist mit dem Regelkreis 2 in dem Bild 7 dargestellt.

Die pressure gauge-Einheit hat die Funktion den Druck der Druckluft anzuzeigen. Diese Einheit ist als redundante Größe zum Flowmeter zu sehen und ist im Regelkreislauf 2 implementiert.

Beschreibung des Sicherheitsbereiches Katalysator.

In dem Sicherheitsbereich Katalysator befinden sich das Dosierventil und die Dosierpumpe des Katalysators (Bild 7). Der Sicherheitsbereich Katalysator wird mit den folgenden Überwachungseinheiten bestückt.

1. Dosiereinheit Pumpe Katalysator
2. Drucküberwachung Pumpe
3. Durchflussmengenähler (optional)

Es handelt sich bei der Pumpentechnologie um eine Kolbenpumpe. Durch den Aufbau der Pumpe ist eine genaue Dosierung über den Kolbenweg möglich. Die Pumpe ist so konzipiert, dass über einen Kolben die Menge Katalysator dosiert und über einen weiteren Kolben die dosierte Menge dem System zugeführt wird.

Zusätzlich ist eine Überwachungseinheit, im Rahmen eines Durchflussmengenählers installiert, um die dosierte Menge Katalysator nach dem Austritt aus dem Dosierventil zu überwachen.

Die verwendete Dosierpumpe pumpt eine maximale Durchflussmenge von 500 ml/min des verwendeten Katalysators. Die maximale Durchflussmenge von 500 ml/min wird gewährleistet durch die Verwendung des entsprechenden

Pumpenkopfes der eingesetzten Pumpe. Die Betrachtung des Sicherheitsbereiches Katalysator bezieht sich auf die maximale Durchflussmenge von 500 ml/min der verwendeten Pumpe. Für den Arbeitsprozess der eingesetzten Pumpe sind zwei Sensoren innerhalb der Pumpe verbaut, die die einwandfreie Funktion der Pumpe überwachen.

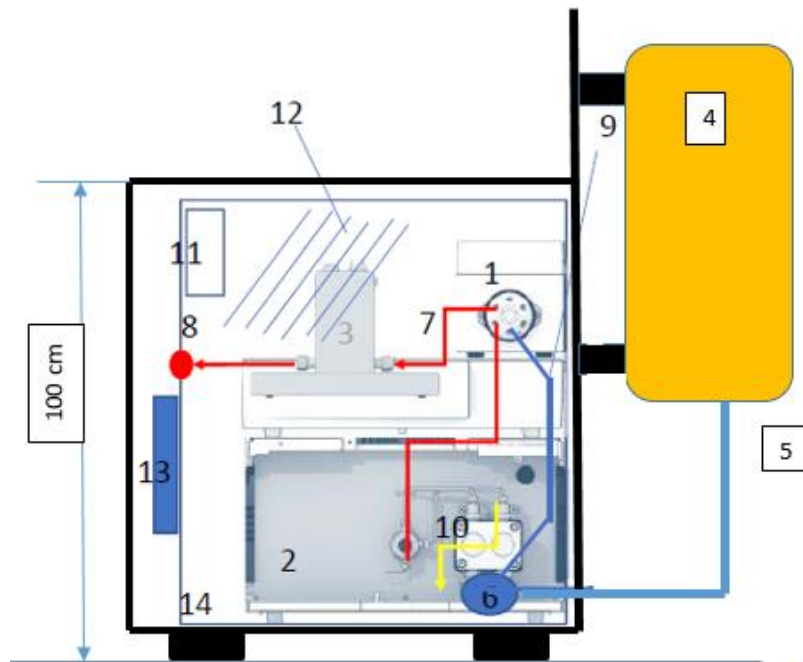
- Drucksensor
- Leckagesensor

Der Drucksensor überwacht den Dosierdruck des Katalysators. Über den Drucksensor wird für die Dosierung des Katalysators, ein Minimaler- und ein Maximaler Druck eingestellt. Das bedeutet, wird unterhalb des gewählten Minimal Dosierdruckes Katalysator dosiert, zeigt die Pumpe einen Fehler an und wird ausgeschaltet. Wird der maximale Dosierdruck des Katalysators überschritten, zeigt die Pumpe ebenfalls einen Fehler an und die Pumpe wird ausgeschaltet.

Der Leckagesensor überwacht das Pumpensystem mit der abgängigen Leitung zu der modifizierten Begasungshaube. Wird eine Leckage detektiert, bspw. durch eine Leckage in der Leitung, stoppt die Pumpe nach Auslösen des Leckagesensors (Druckabfall).

5.3 Modifizierung der eingesetzten Dosiertechnik zur Dosierung des Katalysators

In der Vorbereitung zu dem anstehenden Langzeitversuch war es notwendig ein Konzept zu entwickeln, dass unter sicherheitstechnischen Aspekten den produktionstechnischen Ansprüchen für die Dosierung und Bevorratung des Katalysators entspricht. Das Konzept und die damit verbundene Umsetzung in einem Prototyp stellt die eigentliche Modifizierung dar. Das beinhaltet die Aufnahme der Dosierkomponenten in einem sog. Dosierschrank wie auch die Bevorratung des Katalysators in einem sicherheitstechnischen Vorratsbehälter. Das Konzept ist in dem Bild 8 dargestellt.



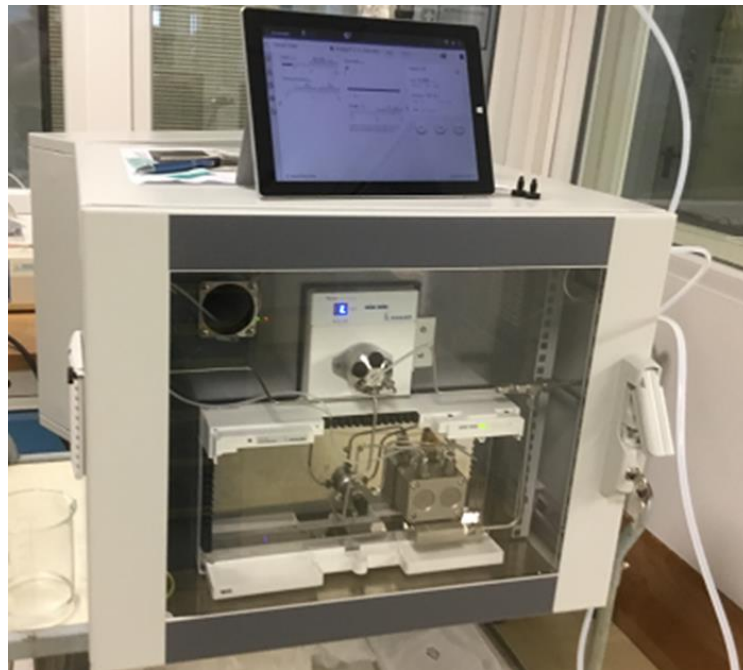
Gesamtkonzept Dosierschrank und Bevorratung Katalysator, Bild 8

Das Gesamtkonzept wird wie folgt beschrieben.

Im Rahmen von notwendigen sicherheitstechnischen Merkmalen, bedingt durch den Einsatz des explosionsfähigen Katalysators, wurde eine Einhausung in Form eines Dosierschranks gebaut. Dieser Dosierschrank (14) hat die Funktion die Dosierkomponenten aufzunehmen und den produktionstechnischen Anforderungen zu entsprechen. Der Katalysatorvorratsbehälter (4) entspricht den sicherheitstechnischen Bestimmungen zur Bevorratung des Katalysators und ist außerhalb des Dosierschranks angebracht. Der Vorratsbehälter ist mit der Dosierpumpe (10) verbunden. Die Pumpe fördert den Katalysator im Kreislauf. Im Programmablauf „Dosieren“ wird das Ventil (1) über die vorgegebene Dosierzeit geöffnet. Die zu dosierende Katalysatormenge wird optional über die Durchflussmesseinheit (3) detektiert und der modifizierten Begasungshaube über die Dosierleitung (8) zugeführt. Die sicherheitstechnischen Merkmale beziehen sich auf eine Zwangsbelüftung (13) und eine Temperaturüberwachung (11) im Inneren des

Dosierschranks. Zusätzlich ist eine Trennwand (12) verbaut, die den sog. Liquidbereich von dem elektrischen Bereich trennt.

Die Umsetzung des Konzeptes ist mit dem Bild 9 des Prototyps dargestellt.



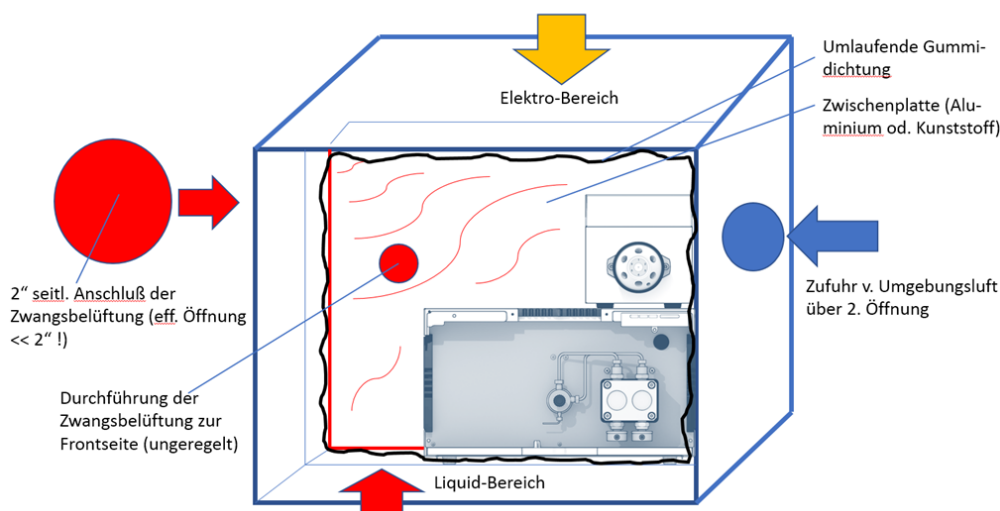
Prototyp Dosierschrank, Bild 9

Als Einhausung wurde ein Industriegehäuse eingesetzt (Bild 10).



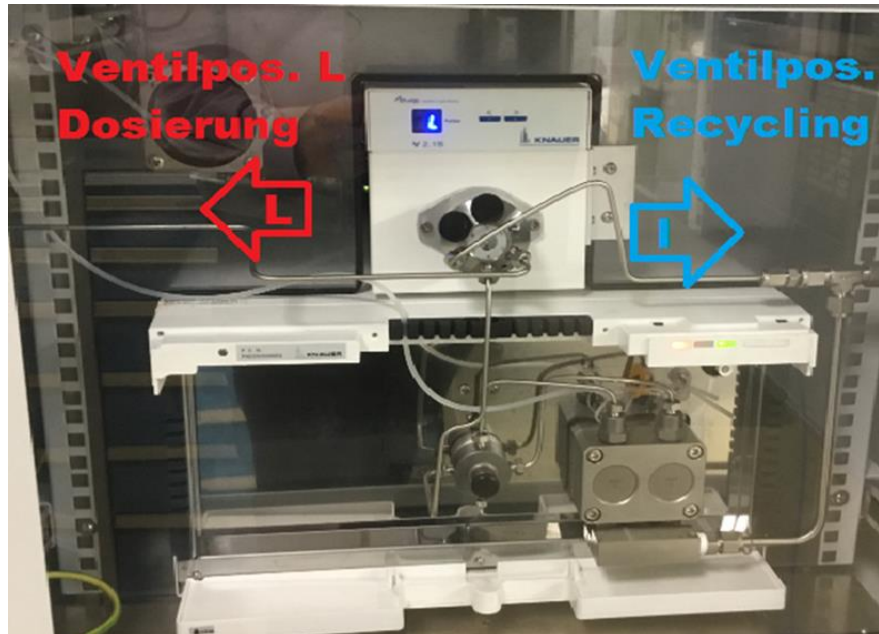
Außengehäuse Dosierschrank, Bild 10

Das Industriegehäuse hat keine Dichtigkeit nach Ex-Schutzrichtlinien, da die Zwangsbelüftung nach Schließen der Tür weiterhin Außenluft ansaugen muss. Der Dosierschrank ist 2-fach aufklappbar zum getrennten Zugang Elektro- und Liquidbereich. Ein Lüftungseintritt (links) ist zum Anschluss der Zwangsbelüftung, dass rechte zum Ansaugen der Außenluft über einen Luftfilter vorgesehen (Bild 11). Die Gerätefronten der Dosierkomponenten mit den Anzeigen für den Regelbetrieb sind hinter der Glastür aus Sicherheitsglas sichtbar. Die Elektronik wird, vereinfacht in dieser Prototypenanordnung durch eine Trennwand mit umlaufender Dichtung, gegen den Liquidbereich (Kreislauf des Katalysators und Abgabe der Dosiermenge über das Ventil) getrennt (Bild 11). Diese Vorgehensweise der Trennung der o.g. Bereiche ist notwendig, damit eine potentielle Zündquelle durch die verbauten elektrischen Geräte und eventuell austretenden Katalysator auszuschließen ist.



Konzept der Zwangsbelüftung und Trennung Liquid-/Elektro-Bereich, Bild 11

Mit dem Bild 12 ist die Umsetzung der Trennwand (Zwischenplatte) in dem Dosierschrank (Ansicht vorne) zu sehen.



Trennwand separiert den Liquid- vom Elektro-Raum, Bild 12

Der bereits sicherheitstechnisch ausgelegte Vorratsbehälter, für die Aufnahme des Katalysators, wird über einen Kugelhahn komplett abtrennbar von der Anordnung außerhalb der Einhausung angebracht (Bild 13).



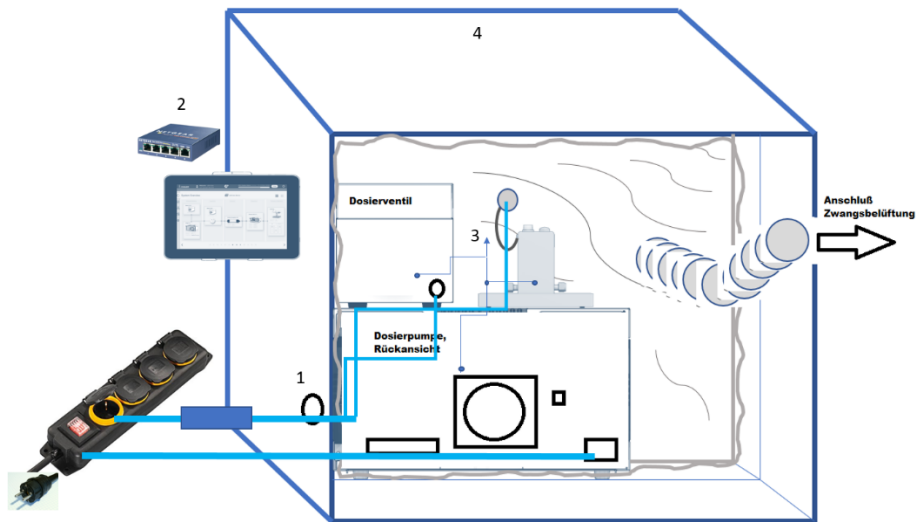
Vorratsbehälter Katalysator, Bild 13

Die Einhausung erhält zusätzlich eine Schaltschrank-Überwachung, die kontrolliert, dass sich im Innern keine Temperatur-/Druckparameter einstellen, die zu einer Gefährdung für Apparatur oder Bediener führen könnten. Der Ausgang der Überwachung wird auf den ERROR-Eingang der Dosierpumpe zwangsbeschaltet, d.h., im Auslösefall schaltet die Pumpe sofort ab. Das Katalysator-Rückführsystem führt den Katalysator im Standby-Betrieb im Kreis. Nach Verbrauch über die Dosierleitung wird über den Anschluss/Gehäuse-Einlass Katalysator aus dem Vorratsgefäß zugeführt. Gleichzeitig dienen das Vorratsgefäß und dessen Zuleitung als Ausgleichsgefäß für den Zuleitungsbereich.

Die Dosierpumpe verfügt über ein Differenz-Temperatur-gesteuertes, automatisches Überwachungs- und Abschaltprogramm (Leckagesystem) sowie über eine Über- und Unterdruck-Überwachung mittels eingebautem Drucksensor; beides kann über den Gerätetreiber softwareseitig konfiguriert werden.

Die Einstellungen sind so vorzunehmen, dass eine geringe Leckage bereits zur Abschaltung führt.

Die Geräte (Dosierpumpe und Dosierventil) werden mit Netzspannung (230V) und teilweise über (extern zu montierende) Netzteile mit 24 V versorgt. Das Bild 14 zeigt die konzeptionelle Rückansicht des Aufbaus. Steuer- und LAN-Kabel sind aus Gründen der Übersichtlichkeit weggelassen.



Konzeptionelle Rückansicht Dosierschrank, Bild 14

Die in dem Bild 14 dargestellten Nummerierungen werden wie folgt kommentiert.

- 1 Spannungsführende Leitungen werden OHNE interne Steckungen/Verzweigungen nach außen über eine Gummidurchführung geleitet (nicht notwendigerweise dicht, aber Abrieb-geschützt).
- 2 Router und Bediengerät werden AUSSEN angebracht.
- 3 ALLE installierten Geräte werden am Gehäuse fixiert und geerdet (Potential-Ausgleich).
- 4 An der Front befindet sich eine Glastür aus Sicherheitsglas, um die Geräte und vor allem die Anzeigen zu sehen.

Die Rückansicht des Prototyps ist mit dem Bild 15 dargestellt.



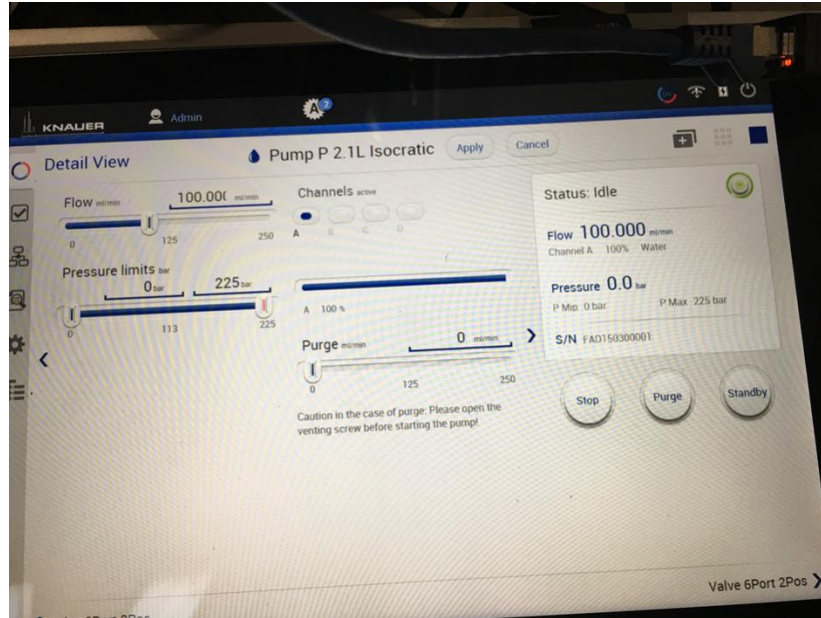
Rückansicht Dosierschrank Prototyp, Bild 15

Überwachung der Konditionen des Dosierpumpen Aufbaus (Dosierschrank Überwachung). Der wichtigste Parameter ist die Temperatur. Sie wird ansteigen, wenn die (Zwangs-)Belüftung ausfällt oder die Einrichtung aus anderen Gründen überhitzt. Die feine Auflösung von elektronischen Thermometern lässt eine Überwachung in engen Grenzen zu. Idealerweise wird das Steuergerät außen und der Messfühler innen angebracht. Die Überwachungseinheit ist in dem Bild 16 zu sehen.



Temperaturüberwachung im Dosierschrank, Bild 16

Über ein externes Tablet wird die Dosierpumpe aktiviert. Die Displaysoftware ist mit dem Bild 17 dargestellt. Über die Software wird die gewünschte Durchflussmenge/min. der Dosierpumpe eingegeben. Zusätzliche Eingaben wie bspw. minimaler- und maximaler Dosierdruck der Katalysatorzuführung sind möglich.



Displaysoftware zur Aktivierung der Dosierpumpe und weiterer Parameter, Bild 17

5.4 Langzeittest der eingesetzten Technik und Modifikationen der modifizierten Begasungshaube in der Anwendung in einer Gießerei

Im Rahmen eines Langzeitversuches wurde die Praxistauglichkeit der modifizierten Begasungshaube und der dazugehörigen Dosiertechnik getestet. Der Langzeitversuch wurde in der Gießerei Grohmann GmbH & Co. KG durchgeführt.

Die bisherigen sehr guten Ergebnisse, die in den Bereichen der Katalysator Einsparung, Taktzeitreduzierung der Kernherstellung und Energie Einsparung der Trägergasaufbereitung verzeichnet werden konnten, sollen in dem Rahmen des Langzeitversuches bestätigt werden.

Verwendete Hardware

Eingesetzt wurden die Prototypen der modifizierten Begasungshaube und der Dosiertechnik. Der Prototyp der modifizierten Begasungshaube wurde in einer Produktionskernschießmaschine der Fa. Reißaus & Baumberg, mit einem Kernschießvolumen von 30 l, verbaut. Die Kernschießmaschine ist in dem Bild 18 mit der konventionellen Begasungshaube dargestellt.



Produktionskernschießmaschine, Bild 18

Die verwendete Dosiertechnik für die konventionelle Kernherstellung wird über ein Lüber Begasungsgerät realisiert. Das Begasungsgerät ist in dem Bild 19 dargestellt.



Konventionelles Begasungsgerät, Bild 19

Die konventionelle Begasungshaube, mit dem mobilen Begasungsschlitten, ist in dem Bild 20 dargestellt.



Begasungshaube

Konventionelle Begasungshaube, Bild 20

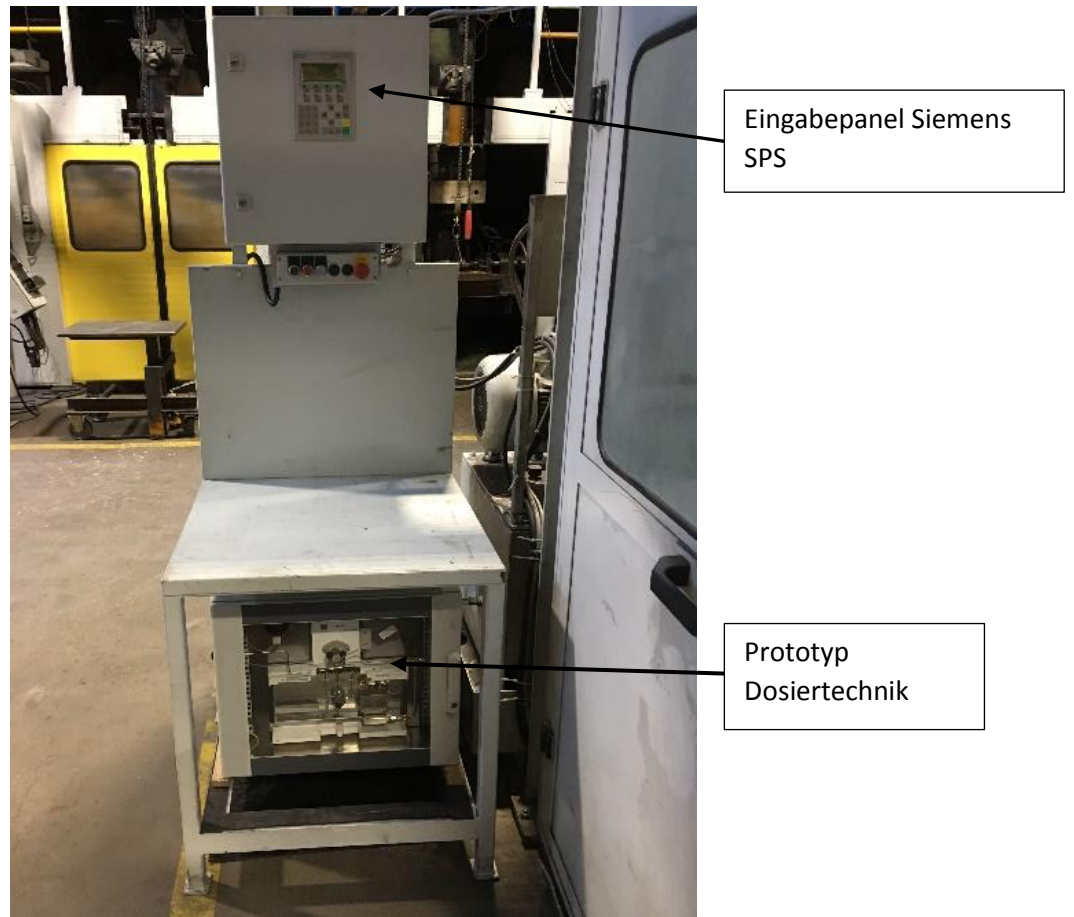
Das Bild 21 zeigt die Produktionskernschießmaschine mit dem verbauten Prototyp der modifizierten Begasungshaube.



Kernschießmaschine mit der modifizierten Begasungshaube, Bild 21

Die technischen Merkmale der modifizierten Begasungshaube sind, im Gegensatz zu der konventionellen Begasungshaube, dass innerhalb der Begasungshaube das Trägermedium (Druckluft) aufgeheizt und der Katalysator dosiert wird.

Der für den Langzeitversuch verwendete Prototyp für die Dosiertechnik und das Eingabepanel für die Begasungsparameter sind in dem Bild 22 dargestellt.

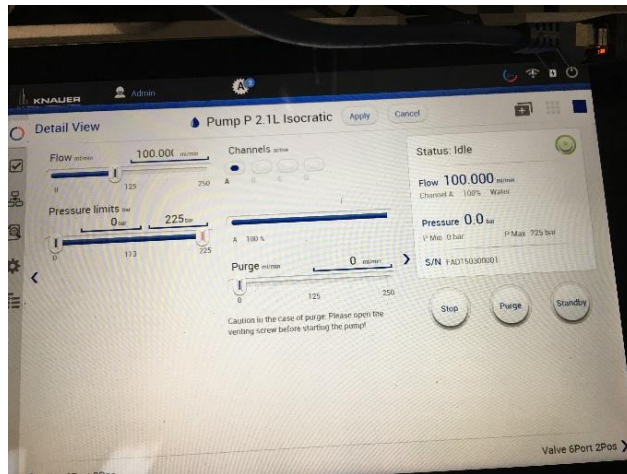


Prototyp Dosiertechnik der modifizierten Begasungshaube mit Eingabepanel, Bild 22

Die technischen Parameter der jeweiligen Kernherstellung werden über das Display der SPS-Steuerung (Bild 22) eingegeben. Über die SPS-Steuerung werden die folgenden Parameter bestimmt.

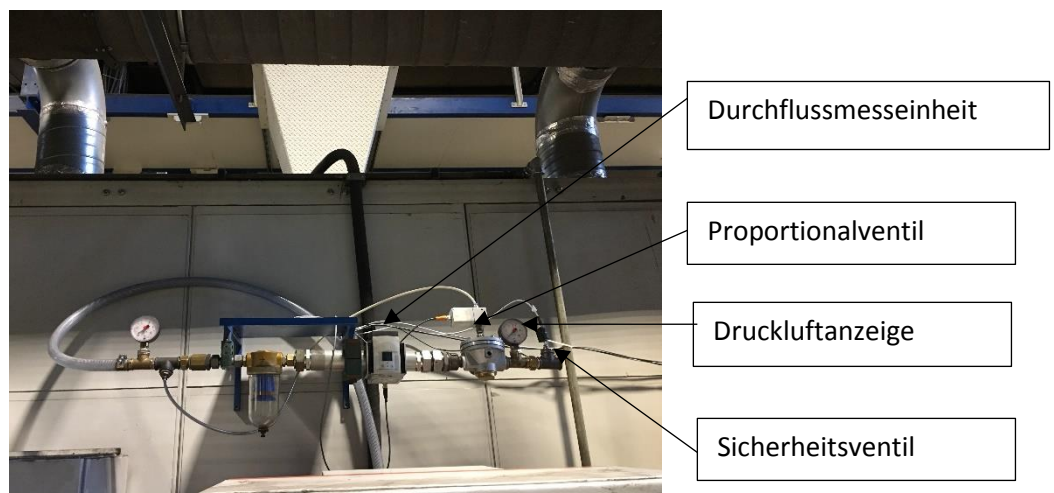
- Dosierzeit Katalysator
- Soll-Temperatur der Heizelemente
- Dosierdruck Katalysator
- Temperaturüberwachung der Heizelemente
- Begasungsdruck Vorhärtung
- Begasungsdruck Härtung
- Begasungszeit
- Spüldruck

Die Durchflussmenge (ml/min) der verwendeten Dosierpumpe für den Katalysator wird über ein externes Tablet eingestellt (Bild 23). Die Durchflussmenge für den Langzeitversuch wurde mit 100 ml/min festgelegt.



Tablet der Dosierpumpe, Bild 23

Zusätzlich zur Druckluftversorgung wurden eine Durchflussmessenheit und ein Sicherheitsventil verbaut. Für den Begasungsprozess wird ein Proportionalventil eingesetzt (Bild 24).



Überwachungseinheiten der Druckluft, Bild 24

Kernherstellung

Aufgrund der Tatsache, dass die Gießerei Grohmann GmbH & Co KG eine Kundengießerei darstellt, wurde eine Vielzahl von unterschiedlichen Kernproduktionen durchgeführt. Vorgehensweise bei allen Kernproduktionen war, die vorgegebenen Herstellungsparameter der Kernherstellung mit der konventionellen Begasungshaube und Dosiertechnik zu optimieren und damit das hohe Einsparungspotential der modifizierten Begasungshaube zu unterstreichen bzw. zu bestätigen.

Für die Formstoffaufbereitung wurde das folgende Cold-Box System eingesetzt.

Harz	0,43 Gew. %
Härter	0,48 Gew. %
Katalysator	(DMEA)

Der eingesetzte Formgrundstoff hat die Bezeichnung,

Formgrundstoff H 32

Kernproduktion

Grundsätzlich wurden die unterschiedlichen Sandkernproduktionen mit der modifizierten Begasungshaube und der Dosiertechnik zunächst mit den technischen Parametern der konventionellen Sandkernherstellung gefertigt.

Die anschließenden Optimierungsmaßnahmen bezogen sich auf die Bereiche Katalysatormenge/Kern und Begasungszeit/Kern. Die daraus resultierenden Produktivitätssteigerungen wurden zusätzlich ermittelt. Abschließend wurde das Einsparungspotential in %, gegenüber der konventionellen Kernfertigung, für die folgenden Parameter berechnet.

- Reduzierung der Dosiermenge Katalysator.
- Reduzierung des Begasungstaktes für die Kernherstellung.
- Produktivitätssteigerung der Kernherstellung.

Die maschinenbedingte Taktzeit beträgt ca. 25 s.

Anmerkung: Verschiedene Kernproduktionen konnten nicht in der Form optimiert werden, wie es möglich gewesen wäre. Gründe für diese Rahmenbedingungen waren teilweise Kernwerkzeuge die in einem schlechten Zustand waren und damit Undichtigkeiten aufwiesen. Teilweise zeigten die Gasplatten (Abdichtung zwischen dem Schießkopf der Kernschießeinheit und dem Kernwerkzeug) Undichtigkeiten.

Darüber hinaus würde die Darstellung der Vielzahl der Kernproduktionen diesen Rahmen des Berichtes sprengen. Daher soll an dieser Stelle ein repräsentativer Querschnitt (Tabelle 4) der gesamten Sandkernproduktion gezeigt werden.

Kernproduktion	Konventionelle Taktzeit (s)	Modifizierte Taktzeit (s)	Einsparung (s)	Einsparung %	Konventionelle Kat.-Menge (ml)	Modifizierte Kat.-Menge (ml)	Einsparung (ml)	Einsparung %	Produktivitätssteigerung %	Kerngew. g
1	54	42,8	11,2	21	11,76	4,66	7,09	60,4	25,4	6000
2	38,5	32,5	6	15,6	10,29	4,2	6,1	59,2	18,3	2800
3	58	41,3	16,7	28,8	8,82	2,17	6,63	75,3	40,3	2500
4	53	42,1	16,7	28,8	8,82	3,5	5,3	39,7	25	6300
5	75	58	17	22,3	14,71	5	9,71	65,9	29,2	8530
6	75	63,2	11,8	15,7	14,71	6,3	8,41	57,2	18,75	15300
7	75	55,5	19,5	26	14,71	4,17	10,54	71,65	33,3	5600
8	80	70	10	12,5	14,71	8,33	6,38	43,4	13,3	24340
9	68	53	15	22	8,82	5	3,82	43,3	28,3	1950
10	59	48,2	10,8	18,3	11,76	5,33	6,43	54,7	21,3	11680
	635,5	506,6	134,7	211	119,11	48,66	70,41	570,75	253,15	85000
Mittelwert	63,55	50,66	13,47	21,10	11,91	4,87	7,04	57,08	25,32	8500,00

Repräsentativer Querschnitt der Sandkernproduktion, Tabelle 4

Auswertung der Optimierungsmaßnahmen

Von den vorgestellten Kernproduktionen wurden insgesamt die **jeweiligen Mittelwerte** aus der Tabelle 4 für die folgenden Parameter errechnet.

- Taktzeit der konventionellen Kernproduktionen.
- Taktzeit der Kernproduktionen mit der modifizierten Begasungshaube.
- Die daraus resultierenden Einsparungen, dargestellt in (s) und prozentualen (%) Abweichungen
- Eingesetzte Katalysatormenge/Sandkern in (ml) der konventionellen Kernherstellung.
- Eingesetzte Katalysatormenge/Sandkern in (ml) der modifizierten Kernherstellung.

- Die daraus resultierenden Einsparungen, dargestellt in (ml) und prozentualen (%) Abweichungen.
- Die Produktivitätssteigerung hervorgerufen durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube in (%).

Daraus ergaben sich die folgenden Einsparungen, bezogen auf die errechneten Mittelwerte der Tabelle 4, durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube.

1. Im Mittel wird die Taktzeit/Sandkern um 13,5 s reduziert. Das entspricht gegenüber der konventionellen Kernproduktion eine Taktzeitreduzierung von **21,1 %**.
2. Im Mittel wird die Katalysatormenge/Sandkern um 7,04 ml reduziert. Das entspricht gegenüber der konventionellen Kernproduktion eine Reduzierung von **57,1 %**.
3. Durch die vorgestellte Taktzeitreduzierung ergibt sich im Mittel eine Produktivitätssteigerung von **25,3 %**.

5.4.1 Wirtschaftliche Betrachtung der Ergebnisse aus dem Langzeittest

Nachfolgend erfolgt eine wirtschaftliche Betrachtung der Einsparungen, die durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube erzielt wurden.

Im Rahmen einer Kalkulation wurden zunächst die Gesamtkosten €/Gussstück, auf der Grundlage der errechneten Mittelwerte aus der Tabelle 4, für die konventionelle Kernfertigung (Tabelle 5) und der Kernfertigung mit der modifizierten Begasungshaube (Tabelle 6) berechnet.

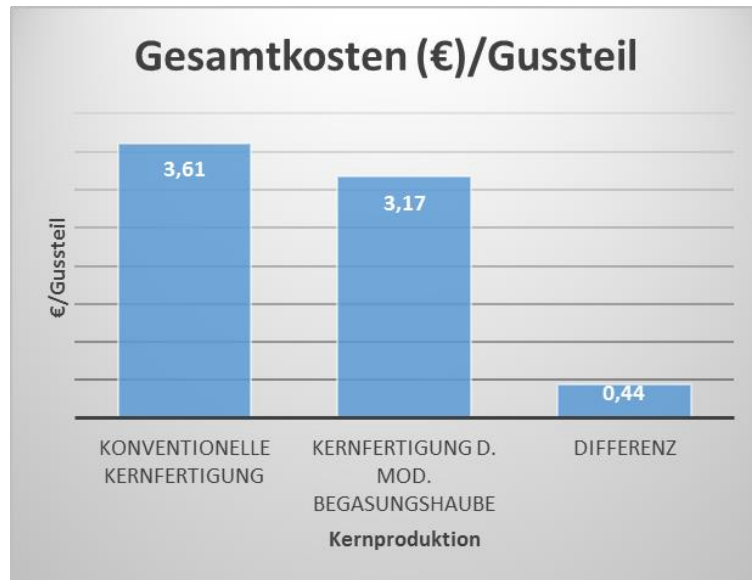
Summe aus Formstoffkosten + Kernfertigungskosten (1)	1,77
Kernausschuss 2 % (bezogen auf 1)	0,04
Einrichtungskosten	0,20
Kosten Absorber (Aminwäscher)	0,45
Kosten Energie	0,06
Kernstoffbedingte Entkern- und Strahlkosten	1,06
€/Gussstück	3,58
Ausschuss 1 % durch Entkernen bzw. zusätzl. Putzarbeit	0,04
Gesamtkosten €/Gussstück	3,61

Kalkulation der Gesamtkosten €/Gussstück (Konventionelle Kernfertigung), Tabelle 5

Summe aus Formstoffkosten + Kernfertigungskosten (1)	1,48
Kernausschuss 2 % (bezogen auf 1)	0,03
Einrichtungskosten	0,20
Kosten Absorber (Aminwäscher)	0,35
Kosten Energie	0,02
Kernstoffbedingte Entkern- und Strahlkosten	1,06
€/Gussstück	3,14
Ausschuss 1 % durch Entkernen bzw. zusätzl. Putzarbeit	0,03
Gesamtkosten €/Gussstück	3,17

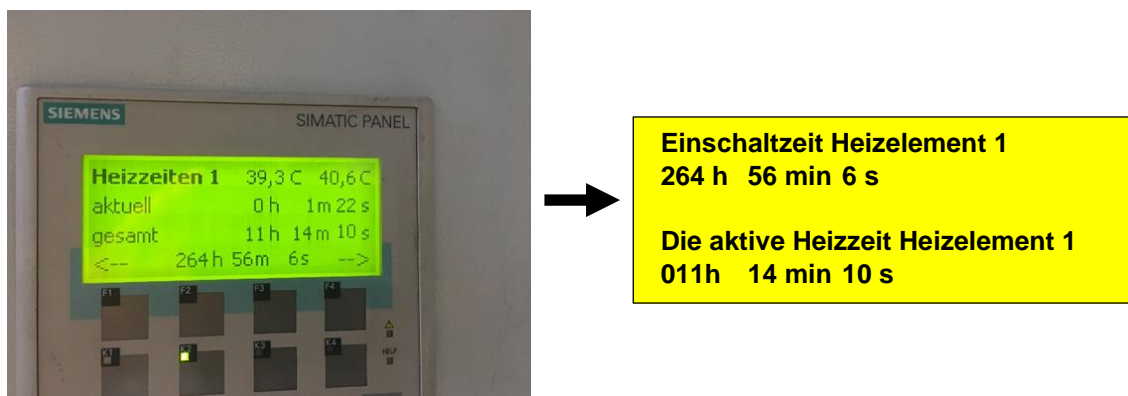
Kalkulation der Gesamtkosten €/Gussstück (Modifizierte Begasungshaube), Tabelle 6

Mit dem Bild 25 erfolgt die Gegenüberstellung der Kalkulationskosten (Gesamtkosten €/Gussstück) der konventionellen Kernfertigung und der Kernfertigung mit der modifizierten Begasungshaube.

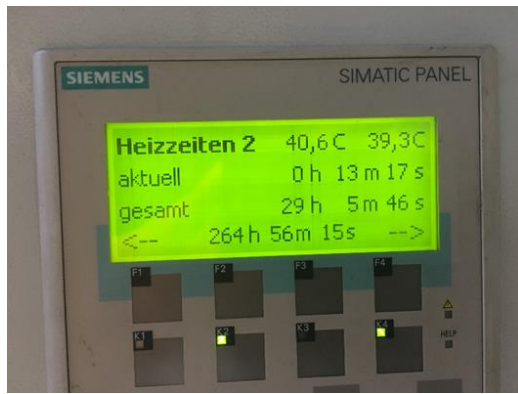


Gegenüberstellung der Gesamtkosten €/Gussstück, Bild 25

Die entstandenen Energiekosten, die im Zusammenhang des Einsatzes der modifizierten Begasungshaube entstanden sind, wurden wie folgt berechnet. Grundlage dieser Berechnung ist die aktive Heizzeit der eingesetzten zwei Heizelemente in der modifizierten Begasungshaube mit einer Gesamtleistung von 5 kW. Durch die Möglichkeit, dass die Einschaltdauer der Heizelemente und die aktive Heizzeit der Heizelemente über das Eingabe-Panel (Bild 22) gespeichert werden, konnte der tatsächliche Energieverbrauch der Heizelemente errechnet werden. In dem Bild 26 und 27 sind die jeweiligen Zeiten der Heizelemente dargestellt.



Darstellung der Einschaltdauer und der aktiven Heizzeit (Heizelement 1), Bild 26



Passive Einschaltzeit Heizelement 2
264 h 56 min 15 s.

Die aktive Heizzeit Heizelement 2
029 h 05 min 46 s

Darstellung der Einschaltdauer und der aktiven Heizzeit (Heizelement 2), Bild 27

Die gesamte aktive Einschaltzeit der Heizelemente 1 und 2 ist mit **40,6 h** zu beziffern. Bezogen auf eine passive Einschaltzeit von ca. 265 h. Das entspricht einem aktiven Heizanteil von 15,3 % bezogen auf die gesamte passive Einschaltzeit. Die Berechnung der Energiekosten von 1,24 €/h ist im Bild 28 dargestellt.

$$\begin{array}{rclcl}
 5 \text{ kW} * & 40,6 \text{ h} = & 203 \text{ kWh} * 0,2476 \text{ €/kWh} = & 50,26 \text{ €} & \\
 & 50,26 \text{ €} & / & 40,6 \text{ h} & = & 1,24 \text{ €/h}
 \end{array}$$

Energiekosten (€/h) der modifizierten Begasungshaube, Bild 28

Im Vergleich zu dem konventionellen Begasungsgerät, das eine elektrische Leistung von 16 kW aufweist, ergibt sich die folgende Relation der Energiekosten/h (Tabelle 7).

Begasungssystem	Elektr. Leistung (kW)	Preis/kWh	Energiekosten (€/h)
Konventionell	16	0,2476	3,96
Modifiziert	5	0,2476	1,24
Einsparung			2,72

Einsparung der Energiekosten (€/h) durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube, Tabelle 7

Daraus ergeben sich Energiekosten Einsparungen von 5.443,20 €/a (Tabelle 8).

Begasungs-system	Arbeits-Tage d/a	Arbeits-stunden h/d	Betriebs-stunden h/a	Energie-Kosten €/h	Energie-Kosten €/a
Konventionell	250	8	2.000	3,96	7.923,20
Modifiziert	250	8	2.000	1,24	2.480,00
Einsparung					5.443,20

Einsparung der Energiekosten (€/a) durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube, Tabelle 8

Zusätzlich werden die Einsparungen (€/a) in den Bereichen der Druckluft (Tabelle 9) und der Gussteilfertigung (Tabelle 10) vorgestellt.

Begasungs-system	Druckluft-Bedarf m ³ /h	Kosten Druckluft €/m ³	Betriebs-stunden h/a	Druckluft-bedarf m ³ /a	Energie-Kosten €/a
Konventionell	300	0,027	2.000	600.000	16.200
.Modifiziert	237	0,027	2.000	474.000	12.798
Einsparung					3.402

Einsparungen der Druckluftkosten (€/a) durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube, Tabelle 9

Zur Erläuterung:

Der in der Tabelle 9 angegebene Wert von 237 m³/h entspricht der Reduzierung der Taktzeit (Basis Mittelwert von 21,1 %, Tabelle 4), bedingt durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube.

Begasungs- system	Gussteile Stk/h	Betriebsstunden h/a	Gesamtkosten €/h	Gesamtkosten €/a
Konventionell	56	2.000	3,61	355.040
Modifiziert	56	2.000	3,17	404.320
Einsparung				49.280

Einsparungen der Gesamtkosten (€/a) durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube, Tabelle 10

Erläuterung:

Die 56 Kerne/h bzw. Gussteile/h ergeben sich aus dem Mittelwert der Taktzeit (Basis Mittelwert 63,55 s, Tabelle 4) der konventionellen Kernfertigung.

Aufgrund der Taktzeitreduzierung, hervorgerufen durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube, ist in der Tabelle 11 die dadurch bedingte Produktivitätssteigerung dargestellt und die damit verbundene Einsparung.

Begasungs- system	Betriebs- Stunden h/a	Produktivitäts- Steigerung Stk./h	Einsparung €/Stk.	Einsparung €/a
Modifiziert	2.000	15	0,44	13.200

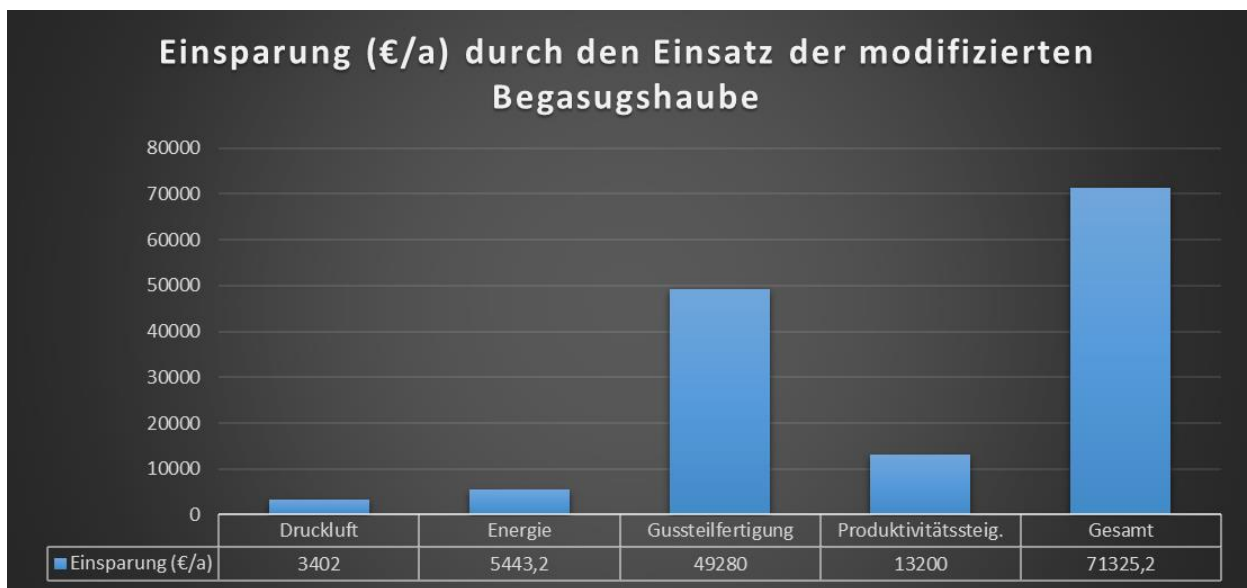
Einsparungen Produktivitätssteigerung (€/a) durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube, Tabelle 11

Erläuterung:

Die Produktivitätssteigerung von 15 Stk./h bzw. Kerne/h ergeben sich aus der Differenz der Mittelwerte Taktzeit der konventionellen Kernfertigung und der Kernfertigung mit der modifizierten Begasungshaube.

Abschließend konnten die bisherigen sehr guten Ergebnisse aus vorherigen Versuchen, durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube und der Dosiertechnik bestätigt werden. Mit den statistischen Mittelwerten aus der Tabelle 4,

der repräsentativen Kernproduktionen, wurden die Einsparungen berechnet. Insbesondere die Einsparung von 0,44 €/Gussteilfertigung sprechen für sich. Allein mit dieser Einsparung von 49.280 €/a lässt sich eine Amortisation der Investitionskosten von 0,51 (t) ausweisen. Zusätzlich werden Kosten im Bereich der Heizenergie von 5.443,20 €/a und Druckluftkosten von 3.402,00 €/a gespart. Die Effizienz der modifizierten Begasungshaube wird zusätzlich durch die Produktivitätssteigerung im Mittel von 21,1 % unterstrichen. Das entspricht einer Einsparung von 13.200,00 €/a. Mit dem Bild 29 sind die gesamten Einsparungen durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube dargestellt.



Gesamte Einsparungen (€/a) durch den Einsatz der modifizierten Begasungshaube, Bild 29

Anmerkung zu dem Langzeitversuch.

Kritisch anzumerken sind die z.T. undichten Werkzeuge, die im Rahmen dieses Langzeitversuches aus Produktionsgründen eingesetzt werden mussten. Die Kernproduktionen mit diesen Werkzeugen wurden in der Auswertung der Ergebnisse nicht berücksichtigt, da für diese Werkzeuge keine Optimierungsmaßnahmen zweckmäßig waren.

Der technische Produktionsablauf wurde zum Ende des Langzeitversuches durch Ausfälle der Dosierpumpe begleitet. Nach Inspektion der Dosierpumpe konnte

festgestellt werden, dass ein Kugelventil nicht einwandfrei gearbeitet hat und somit die geforderte Durchflussmenge nicht gefördert werden konnte. Das Ventil wurde gereinigt und die Kernproduktion wieder aufgenommen. Leider muss konstatiert werden, dass das beschriebene Phänomen der unzureichenden Durchflussmenge wiederholt aufgetreten ist. Ein kompletter Wechsel des Pumpenkopfes konnte bis auf weiteres Abhilfe schaffen. Die Ursache wird durch eine genaue Analyse, in Form einer kompletten Revision der Dosierpumpe, untersucht.

5.5 Versuche der modifizierten Begasungshaube im Bereich höherer Aushärtetemperaturen zur Aushärtung anorganischer Bindemittel (180°C)

Das Hauptanliegen dieses Projektes ist die Kernfertigung im Cold-Box Bereich. Diese Anwendung benötigt eine Trägertemperatur von bis zu 80°C für die katalytische Aushärtung der Sandkerne. Die modifizierte Begasungshaube ist jedoch nicht nur für organische Bindemittel (Cold-Box-Fertigung) konzipiert worden, sondern auch für die Anwendung zur Aushärtung von anorganischen Bindemitteln. Ziel war es, mit der gegebenen elektrischen Leistung von 5 KW eine Temperatur des Trärgases (Druckluft) von 180°C zu erreichen. Diese Temperatur ist notwendig, um eine Aushärtung anorganischer Sandkerne zu erreichen.

Im Rahmen einer Versuchsreihe konnte, unter den gegebenen Rahmenbedingungen, eine maximale Temperatur von ca. 150°C erreicht werden. Das bedeutet, dass die elektrische Leistung von 5 KW für diese technischen Rahmenbedingungen nicht ausreicht. Damit sind längere Begasungszeiten für die Kernherstellung verbunden. Das bedeutet höhere Kosten in der Kernherstellung und geringere Produktivität gegenüber der konventionellen Begasung. Aufgrund dieser Tatsache, wurde in diesem Projekt von weiteren Versuchsreihen abgesehen. Im Hinblick darauf, dass weitere Versuchsreihen im Bereich der anorganischen Kernfertigung in einem Folgeprojekt realisiert werden sollen, ist die elektrische Leistung der modifizierten Begasungshaube für diese Anwendung auf 8 KW anzupassen. Diese Anpassung steht in der direkten Anwendung der

Energierückgewinnung durch das Vorwärmmodul und der Modifikation des Hauptmoduls. Der nachfolgende Abschnitt der dreidimensionalen numerischen Strömungssimulation zeigt u.a., dass die Nutzung der Abwärme des Hauptmoduls zur Vorwärmung des Trägergases für diese Anwendung am effektivsten ist. Damit wird ein hoher Energie-Einsparungsbeitrag für die Aushärtung anorganischer Bindemittel erreicht. An dieser Stelle soll betont werden, dass für die konventionelle Begasung eine entschieden höhere elektrische Leistung von bis zu 32 kW eingesetzt wird.

5.6 Dreidimensionale numerische Strömungsuntersuchung der modifizierten Begasungshaube

Numerische Strömungsmodellierungen bieten viele Vorteile, sie ermöglichen beispielsweise relativ schnell und kostengünstig umfassende Informationen der Strömungsverhältnisse und damit ein besseres Verständnis für mögliche Wechselwirkungen und Optimierungspotentiale. Im Rahmen der Weiterentwicklung der modifizierten Begasungshaube können so neben Kostenreduzierungen auch die Entwicklungszeiten verkürzt werden, da mit relativ geringem Aufwand Parameterstudien möglich sind und kosten- und zeitintensive Experimente und Prototypen deutlich reduziert werden können.

Im Teilprojekt IV des Entwicklungsvorhabens sollte daher unter anderem die Effizienz der modifizierten Begasungshaube mit Hilfe der Simulationstechnik weiter optimiert werden. Im Rahmen numerischer Strömungsuntersuchungen sollten zunächst die komplexen Strömungsvorgänge im Hauptmodul sichtbar gemacht und über eine optimierte Strömungsführung der Wirkungsgrad der modifizierten Begasungshaube verbessert werden. Da ein möglichst guter Wärmeübergang von den Heizelementen auf die aufzuheizende Luft eine entscheidende Rolle spielt, sollten damit im Detail Erkenntnisse zur optimalen Auslegung und Anordnung sowie der optimalen An- und Umströmung der Heizelemente gewonnen werden (Energetische Optimierung).

Ein weiterer wichtiger Bestandteil der Weiterentwicklung der modifizierten Begasungshaube in diesem Teilprojekt war der Einsatz eines Energierückführungssystems. Die Ergebnisse aus dem Teilprojekt II haben gezeigt, dass ein Teil der erzeugten Abwärme, die von der Oberfläche der modifizierten Begasungshaube emittiert wird, zur Vorwärmung der einströmenden Druckluft genutzt werden kann. Damit kann die Effektivität der modifizierten Begasungshaube optimiert werden.

Zunächst war die Untersuchung der Strömungsverhältnisse des im bisherigen Entwicklungsvorhaben entwickelten Prototyps als Istzustand erforderlich. Aus den Berechnungsergebnissen und den daraus gewonnenen Erkenntnissen, wurde anschließend eine Optimierungsvariante entwickelt. Die bisher ermittelten Ergebnisse aus vielfältigen Wärmeübergangsberechnungen und vorangegangenen Messungen, stellen die Basis für die Simulationen dar. Die Strömungsuntersuchungen gliedern sich in folgende Arbeitsschritte:

- Festlegung der Ausgangsgeometrie für die erste Berechnung (hier der Istzustand, dient später als Referenz),
- Erstellung der strömungsrelevanten Geometrie als Volumenmodell,
- Vernetzung (Auffüllen des Strömungsraumes mit Volumenelementen unterschiedlicher, der örtlichen Geometrie und Strömung angepassten Größe),
- Definition der Fluideigenschaften (z.B. Viskosität und Dichte),
- Definition der Randbedingungen (z.B. Drücke, Geschwindigkeiten, Volumen- oder Massenströme, Temperaturen),
- Durchführung der Berechnungen, einschließlich Kalibrierung des Modells anhand von Messdaten (soweit vorhanden),
- Auswertung, Darstellung und Interpretation der Ergebnisse,
- Entwicklung einer Optimierungsvariante,
- Modellumbau für die Optimierungsvariante,
- weitere Vorgehensweise, wie oben beschrieben (aus Gründen der Vergleichbarkeit, sollten auch die Randbedingungen identisch sein).

Da die hier zu untersuchenden Strömungsvorgänge dreidimensional sind, erfordern sie auch den Einsatz eines dreidimensionalen Modells. Dieses kann u.a. berücksichtigen:

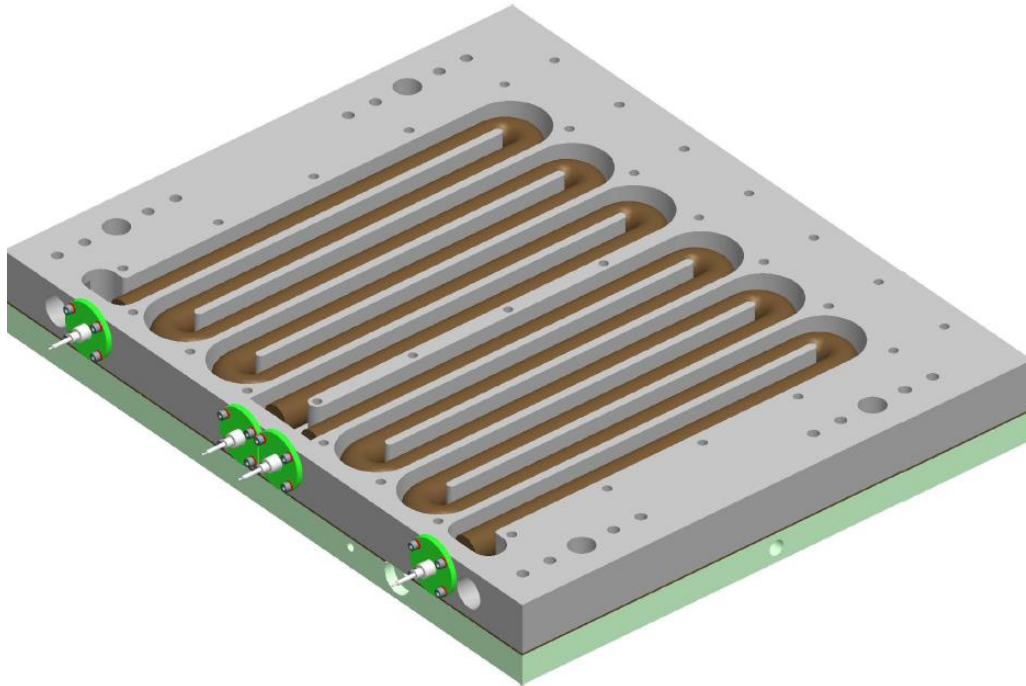
- die allgemein gültigen Wandreibungsgesetze,
- die Fluideigenschaften (z.B. Viskosität und Dichte),
- die Turbulenz der Strömung (durch entsprechende Turbulenzmodelle),
- die thermischen Verhältnisse im Strömungsgebiet,
- die zeitliche Varianz (nur bei instationären Berechnungen).

Eingesetzt wurde die Software OpenFOAM, die bereits sehr lange erfolgreich in Forschungsvorhaben an Universitäten und anderen Forschungseinrichtungen, sowie für praktische Fragestellungen in der gewerblichen Wirtschaft eingesetzt wird. Aufgrund der weiten Verbreitung und Anwendung in unterschiedlichsten Bereichen, ist OpenFOAM ausgiebig validiert worden und gilt daher als zuverlässig und ausgereift. Die Darstellung und Auswertung der Berechnungsergebnisse erfolgte mit der Software ParaView.

Die Modellgrundlagen, Methoden und Berechnungsergebnisse sind in den nachfolgenden Abschnitten beschrieben.

5.6.1 Datengrundlagen

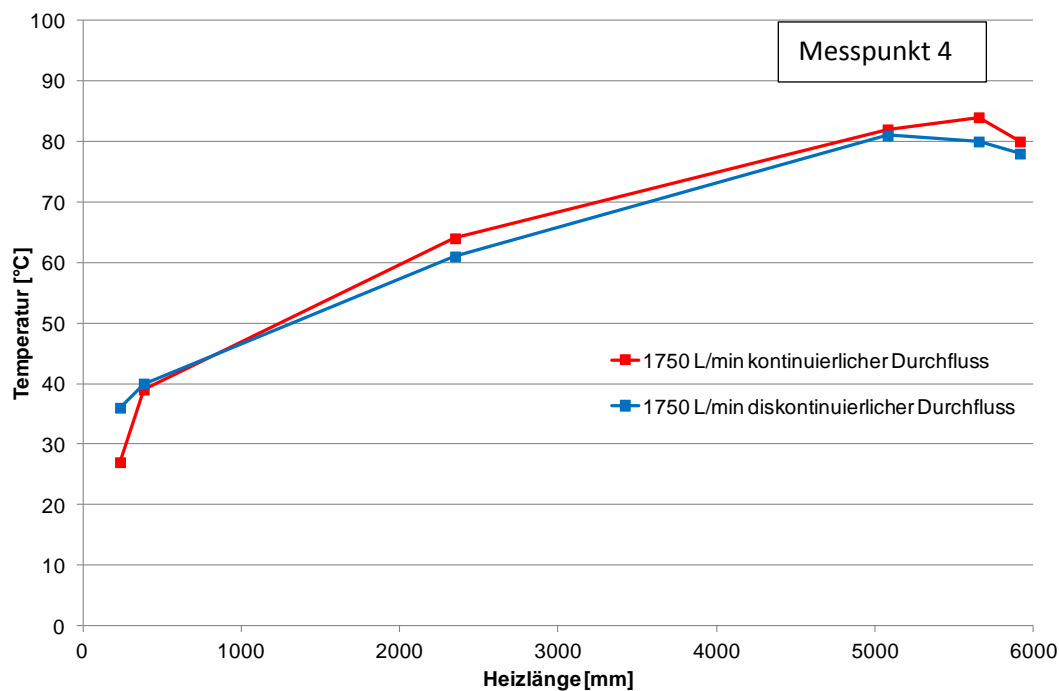
Die geometrischen Daten wurden in Form von Zeichnungen vom Ingenieurbüro Hänsel zur Verfügung gestellt. Das Bild 30 zeigt das Hauptmodul mit installierten Heizelementen.



3D-Darstellung des Hauptmoduls mit Heizelementen, Bild 30

Das Ingenieurbüro Hänsel stellte auch Versuchsberichte zur Verfügung, in denen die Aufheizung verschiedener Durchflussmengen (250 bis 1750 l/min) gemessen und ausgewertet wurden. Nach Vorgabe des Büros Hänsel sollte der größtmögliche Durchfluss betrachtet werden, also 1750 l/min. Als Zieltemperatur für die aufzuheizende Luft sind 80°C (für das Cold-Box-Verfahren) und 180°C (für anorganische Binder) von Interesse.

Mit dem Bild 31 sind exemplarisch 2 gemessene Temperaturverläufe an 6 Messpunkten über die Heizlänge dargestellt. Demnach unterscheiden sich die Werte nicht wesentlich, obwohl es sich um kontinuierlichen und diskontinuierlichen Durchfluss von 1750 l/min handelt. Lediglich der erste Wert ist im kontinuierlichen Betrieb erwartungsgemäß niedriger. Auffällig ist, dass die Temperatur im hinteren Bereich wieder abfällt. Aus den genannten Unterlagen geht auch hervor, dass die Oberflächentemperatur des Gehäuseblocks allgemein zwischen etwa 70°C und überwiegend rund 80°C lag, vermutlich kühlt der massive Gehäuseblock den Luftstrom im hinteren Teil wieder etwas ab.



Gemessene Temperaturverläufe über die Heizlänge, Bild 31

Aufgrund des enormen erforderlichen Aufwandes, wurde nicht der gesamte fast 6 m lange Heizkanal des Hauptmoduls betrachtet, sondern ein Ausschnitt davon. Erste Testrechnungen hatten gezeigt, dass sich bereits sehr schnell gleichmäßige und naturkonforme Strömungszustände einstellen und ein Abschnitt von 100 mm ausreichte, um die gemessenen Temperaturen aus den vorangegangenen Untersuchungen abbilden zu können. Längere Modelle führten nur zu vernachlässigbar geringen Unterschieden. Als Teilmodell wurde daher ein 100 mm langer gerader Ausschnitt des Heizkanals festgelegt.

Der interessanteste Bereich im Bild 31 liegt bei Messpunkt 4, da im kontinuierlichen Betrieb die Temperatur danach noch leicht zunimmt, im diskontinuierlichen jedoch schon fällt. Es wurde daher dieser Bereich betrachtet.

Die zur Luftaufheizung erforderliche Energie ist theoretisch (also ohne Verluste) das Produkt aus Masse, spezifischer Wärmekapazität und Temperaturdifferenz:

$$\text{Masse [kg]} \cdot \text{spez. Wärmekapazität [J/kg K]} \cdot \text{Temp.-Diff. [K]} = \text{Energie [J]}$$

Da es sich hier um einen Massenstrom handelt, ergibt sich folgende Leistung:

$$\text{Massenstrom [kg/s]} \cdot \text{spez. Wärmekapazität [J/kg K]} \cdot \text{Temp.-Diff. [K]} = \text{Leistung [J/s]}$$

Für einen Volumenstrom von 1750 l/min ergibt sich bei einer Dichte von 1,204 kg/m³ (trockene Luft bei 20°C) ein Massenstrom von 0,03511667 kg/s. Mit steigender Temperatur nimmt die Dichte der Luft ab und die Drücke ändern sich beim Durchströmen der Heizkanäle, allerdings ändert sich die Masse nicht. Es wurde in den Berechnungen daher immer der Massenstrom bei 20°C verwendet.

Die spez. Wärmekapazität von Luft ändert sich mit der Temperatur, für 20°C werden 1007 J/kg K angegeben, für 80°C 1010 J/kg K und für 180°C sind es 1023 J/kg K. Wird zunächst vereinfacht mit konstanten 1007 J/kg K gerechnet, ergeben sich damit für den Volumenstrom von 1750 l/min für die Aufheizung von 20 auf 80°C folgende Werte:

$$\mathbf{0,03511667 \text{ kg/s} \cdot 1007 \text{ J/kg K} \cdot 60 \text{ K} = 2121,75 \text{ J/s bzw. } 2121,75 \text{ W}}$$

Das ist theoretisch die minimale Leistung, allerdings nimmt die spez. Wärmekapazität mit der Temperatur zu (siehe oben), es wurde daher auch mit gemittelten Werten für min. und max. Temperaturen (ergeben die mittlere Leistung) und denen für die jeweils höchste Temperatur gerechnet (ergeben die maximale Leistung). In Tabelle 12 sind die Ergebnisse für beide relevanten Endtemperaturen zusammengefasst.

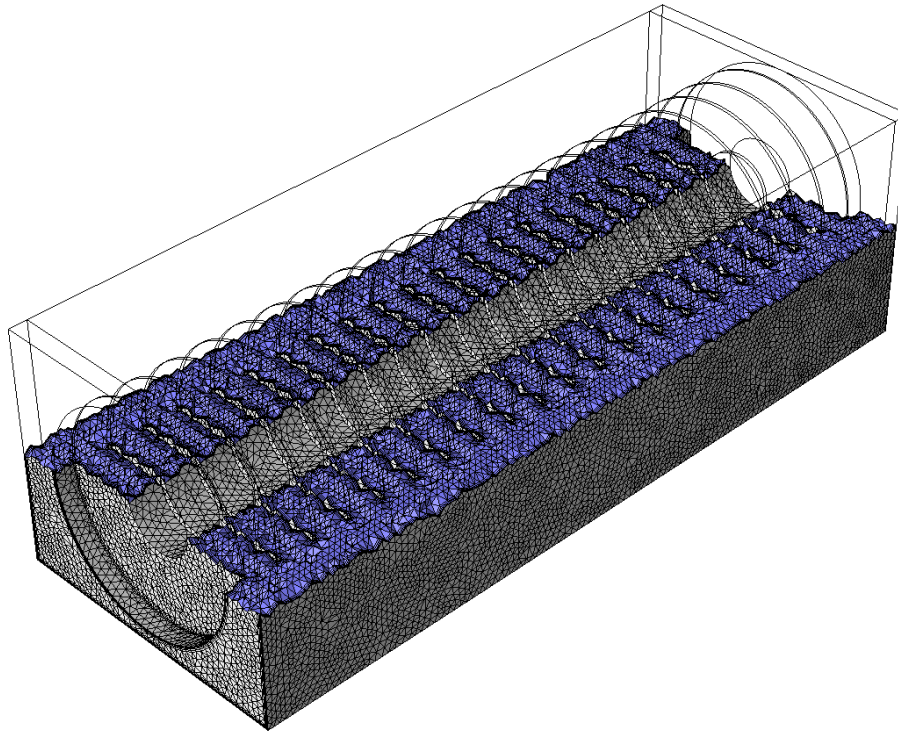
Durchfluss (l/min)	Anfangs- temp. (°C)	Endtemp. (°C)	Leistung min (W)	Leistung Mittel (W)	Leistung Max (W)
1750	20	80	2121,75	2124,91	2128,07
1750	20	180	5658,00	5702,95	5747,90

Da für die Berechnungen die spez. Wärmekapazität vorgegeben werden muss, wurde der Wert für die mittlere Temperatur gewählt. Der Einfluss der Luftfeuchte wurde vernachlässigt.

5.6.2 Berechnung des Ist-Zustandes

Die Grundidee der numerischen Strömungsmodellierung liegt in der Lösung strömungsmechanischer Grundgleichungen für das Berechnungsgebiet. Damit dieses meist komplexe Gebiet überhaupt berechenbar ist, muss es in viele geometrisch einfache Einzelbereiche zerlegt werden. Für die so entstandenen Teilgebiete (einzelne Zellen des Berechnungsnetzes) werden dann jeweils die genannten Gleichungen gelöst.

Die Erstellung des dreidimensionalen Modells erfolgte durch die genannten Datengrundlagen. Abweichend davon, wurde die Geometrie der Heizwendel nicht als in sich gewellte Spirale im Modell abgebildet, sondern vereinfacht als parallel angeordnete Scheiben. Das Bild 32 zeigt die Gesamtansicht des aufgeschnittenen Berechnungsnetzes.

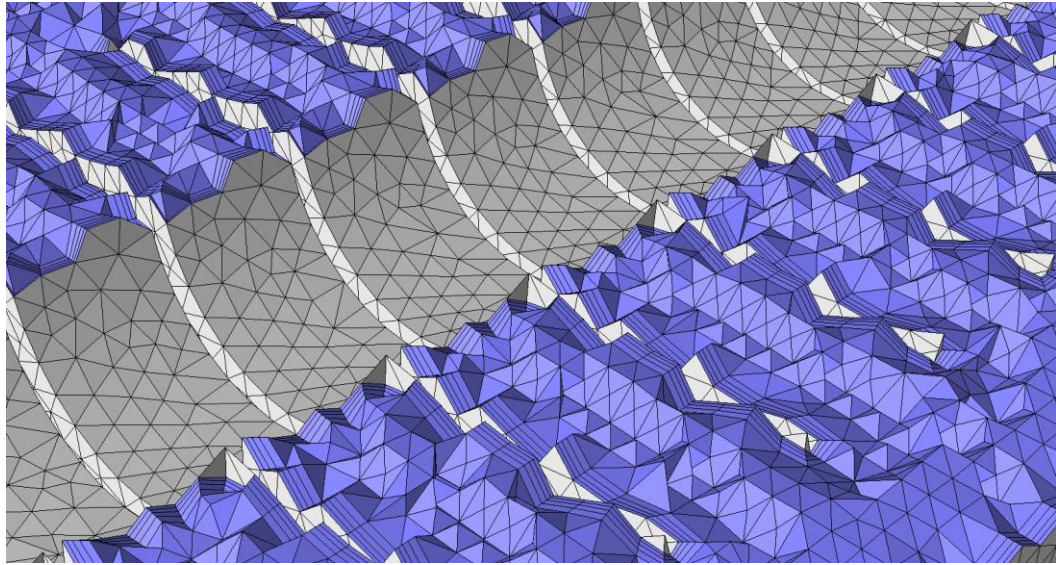


Berechnungsnetz des Modells für den Istzustand, Bild 32

Die Zellen des Berechnungsnetzes sind an den Wänden mit 0,1 mm sehr fein vernetzt, damit der Wärmeübergang realitätsnah abgebildet werden kann, die restlichen Zellen sind bis zu 1 mm groß (siehe Bild 33).

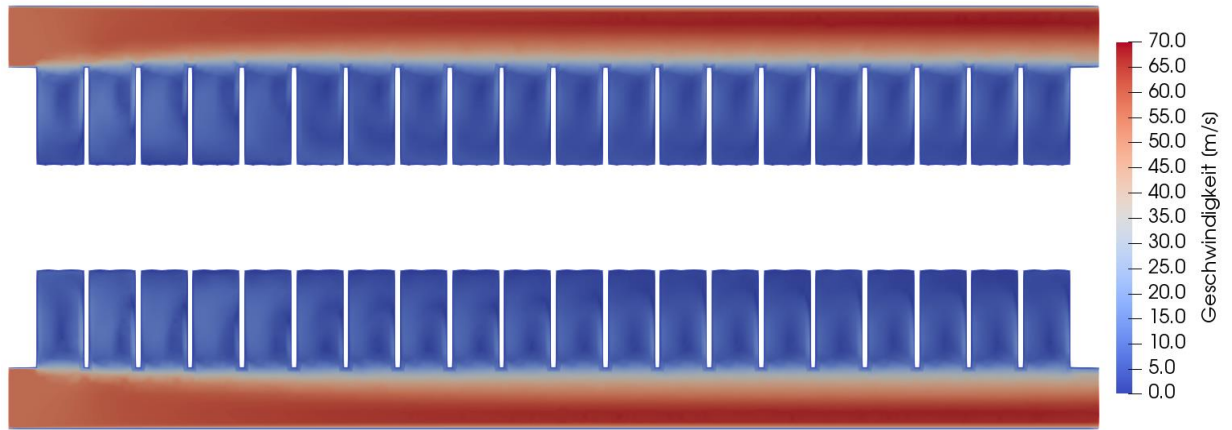
Da ein Modell immer nur einen Ausschnitt aus der Realität darstellt, müssen an seinen Grenzen sogenannte Randbedingungen definiert werden. Dazu zählen Ein- und Auslass, durch die die Luft in das Modell hinein und wieder herausströmt. Der Einlass wurde als Geschwindigkeitseinlass definiert, dabei wird über eine vorgegebene Geschwindigkeit in Verbindung mit der Querschnittsfläche der Durchfluss festgelegt. Am Auslass wird der Druck der Normatmosphäre vorgegeben (Druckauslass), die Geschwindigkeiten ergeben sich dann durch die Berechnung. Weiterhin zählen dazu auch die festen Wände, in diesem Fall die Heizwendel und die Oberfläche des Gehäuses (Aluminium-Block) für die eine feste Temperatur oder ein Wärmefluss vorgegeben wird. Dazu wurde die maximale Wärmeleistung des Heizelementes anteilig auf den Modellausschnitt von 100 mm Länge umgerechnet

und beträgt damit 92,5 W. Dadurch ergibt sich beim Durchfluss von 1750 l/min eine mittlere Oberflächentemperatur der Heizelemente von etwa 110°C.



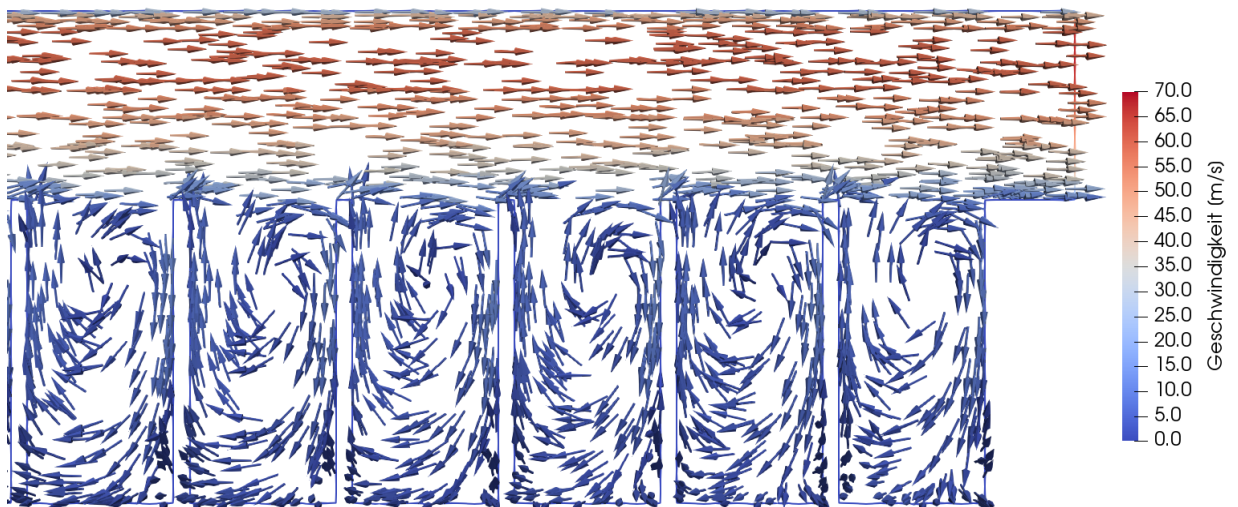
Detail des Berechnungsnetzes (Istzustand), Bild 33

Die berechneten Geschwindigkeiten in einem Schnitt in Mitte des Heizkanals sind in den Bildern 34 und 35 dargestellt. Während die Geschwindigkeiten im Bereich der Heizwendel sehr stark gebremst werden und meist bei unter 10 m/s liegen, erreichen sie im freien Bereich zwischen Heizwendelkante und Gehäuse bis zu über 60 m/s.



Geschwindigkeitskonturen bei einem Durchfluss von 1750 l/min im Istzustand, Bild 34

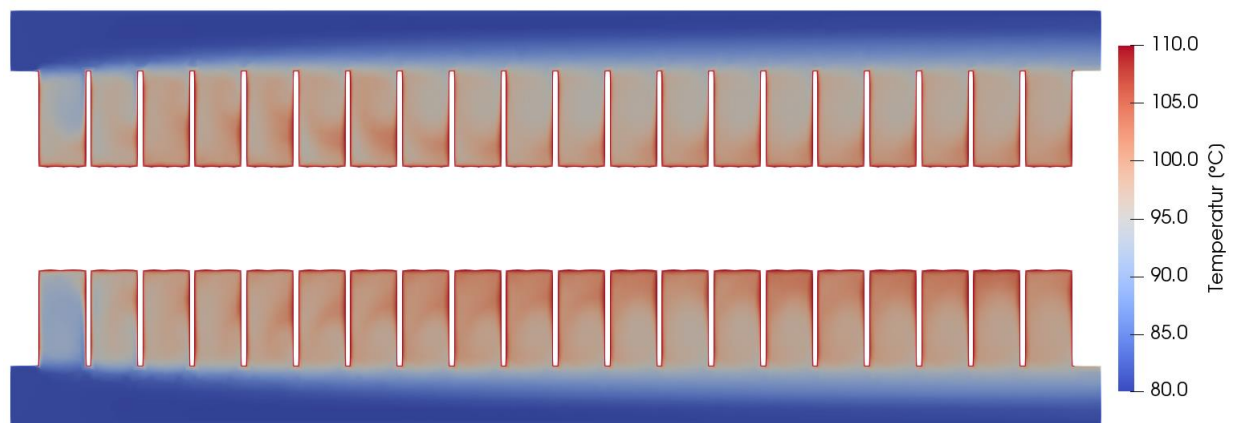
Aus Bild 35 wird ersichtlich, wie die Luft in Form eines erzwungenen Wirbels durch die einzelnen Zwischenräume der Heizwendel strömt und nur mit vergleichsweise geringen Geschwindigkeiten die Wärme von der Oberfläche des Heizelements aufnehmen kann.



Geschwindigkeitsvektoren beim Durchfluss von 1750 l/min im Istzustand (Detail im Modellausschnitt vor dem Auslass), Bild 35

Aus beiden Bildern 34 und 35 wird deutlich, dass nur ein Teilstrom am Wärmeübergang von der Heizwendel beteiligt ist. Die Luft strömt in dem geraden Kanalstück zu einem großen Teil ungenutzt vorbei. Das zeigen auch die Temperaturverläufe im Bild 36; die zuströmende kalte Luft wird nur langsam und teilweise aufgeheizt. Am Rand des Kanals erwärmt sie sich nur sehr zögerlich, da auch die Durchmischung nur langsam einsetzt.

Die Berechnungen erfolgten zunächst ohne thermische Berücksichtigung der Gehäusewandungen, als Strömungsberandung sind sie selbstverständlich vorhanden. Allerdings können sie weder Wärme ab- noch zuführen, so wurde nur der Wärmeübergang zwischen Heizelement (Temperaturvorgabe von 110°C, siehe oben) und Luft betrachtet.



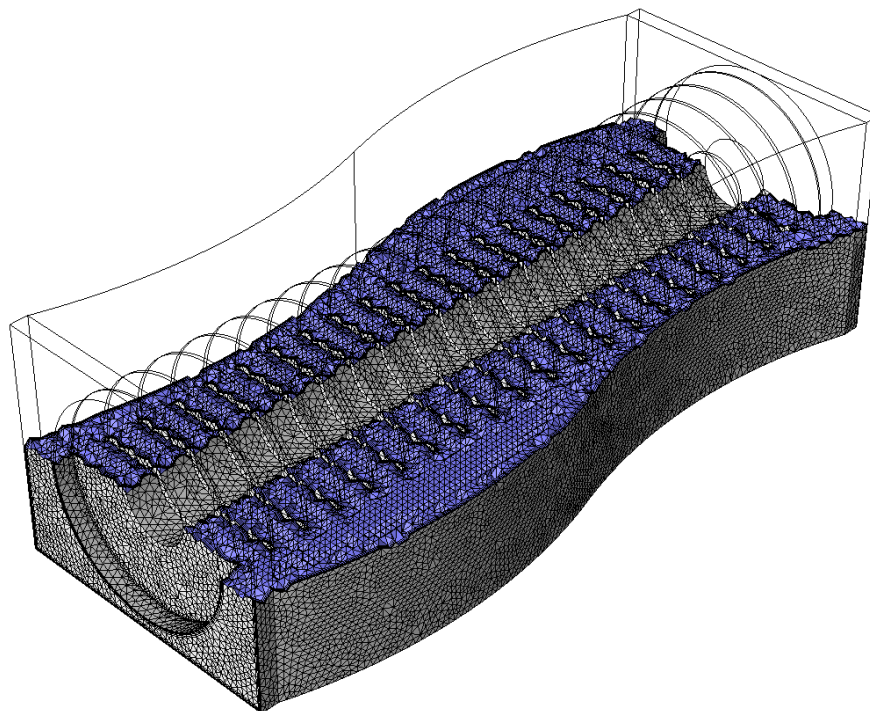
Temperaturverlauf beim Durchfluss von 1750 l/min im Istzustand, Bild 36

5.6.3 Berechnung der Optimierungsvariante

Die Berechnungsergebnisse des Istzustandes haben gezeigt, dass die Aufheizung durch eine geänderte Strömungsführung verbessert werden kann. Weil die Heizelemente aus Kostengründen nicht geändert werden sollen, muss also die Form des Strömungskanals angepasst werden. Da die Kanäle aus dem vollen Material gefräst werden, muss der Verlauf nicht zwingend gerade sein, er kann beispielsweise auch eine Wellenform haben, damit die Strömung am Rand des Kanals immer

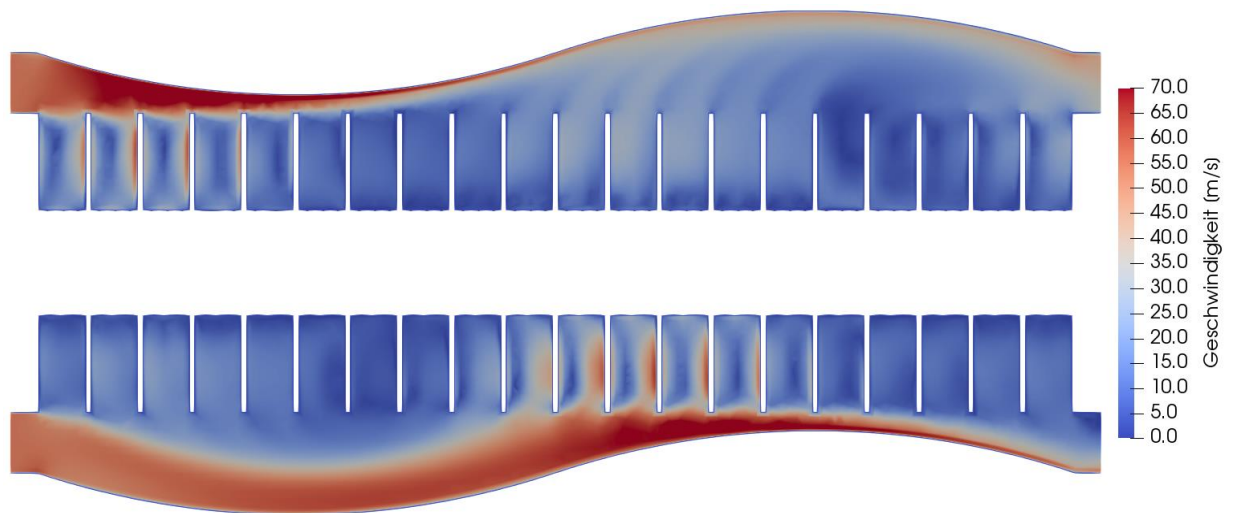
wieder unterbrochen und stärker durch den Einflussbereich des Heizelementes gezwungen wird.

Es wurde daher eine Optimierungsvariante entwickelt, bei der der Kanal in einer Wellenform ausgeführt ist. Der Modellbereich ist aus Gründen der Vergleichbarkeit unverändert 100 mm lang, die Auslenkung und Wellenlänge wurden so gewählt, dass auf der Modelllänge von 100 mm 2 Wellen betrachtet werden konnten (Bild 37). Die Zellengrößen des Berechnungsnetzes blieben ebenso unverändert, wie die Randbedingungen des Modells (siehe oben).

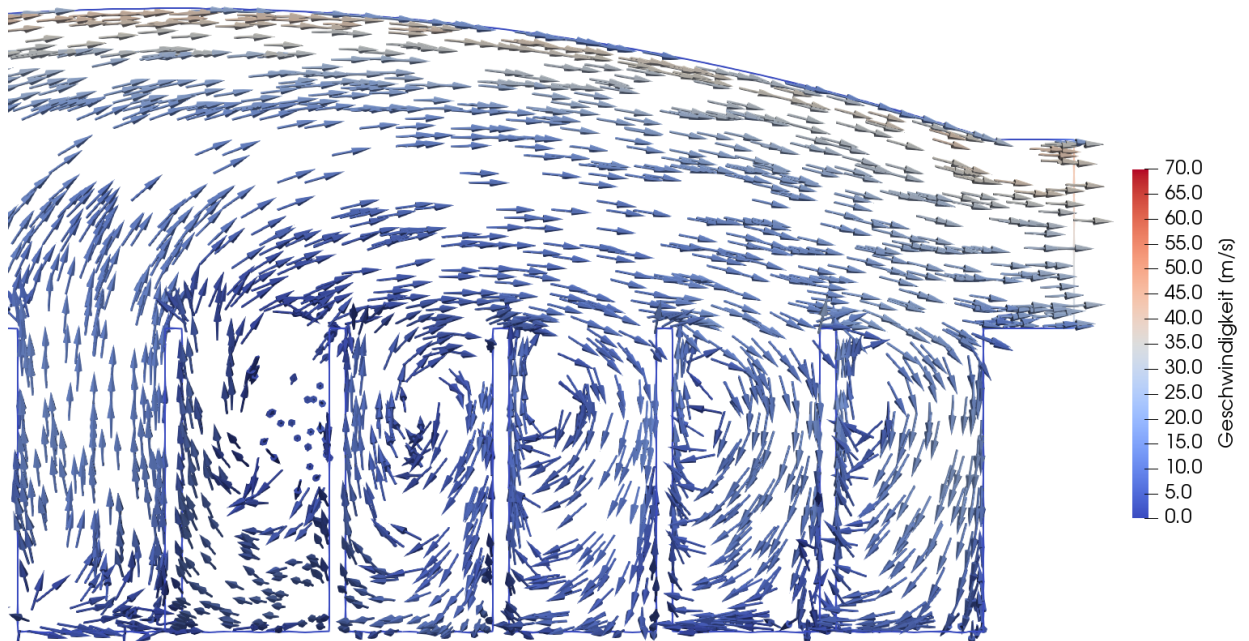


Optimierungsvariante mit wellenförmigem Kanal, Bild 37

Die Bilder 38 und 39 zeigen analog zum Istzustand die Änderungen des Geschwindigkeitsfeldes in einem Schnitt in der Mitte des Heizkanals. Die Strömung am Rand des Kanals wird durch die Wellenform erwartungsgemäß unterbrochen und in Form einer Querströmung stärker durch den Einflussbereich des Heizelementes geführt.



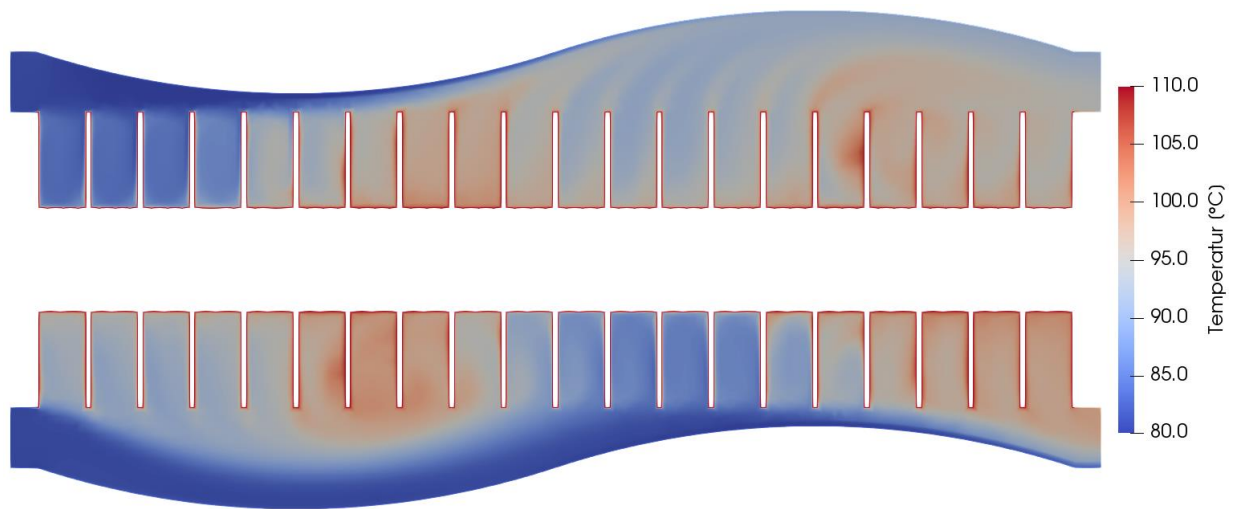
Geschwindigkeitskonturen bei einem Durchfluss von 1750 l/min in der Variante, Bild 38



Geschwindigkeitsvektoren beim Durchfluss von 1750 l/min in der Variante (Detail im Modellausschnitt vor dem Auslass), Bild 39

Das Bild 40 zeigt bereits den veränderten und deutlich gleichmäßigeren Temperaturverlauf. Während die Luft im Istzustand um 2,15°C aufgeheizt wurde, sind es nun 3,09°C. Auch hier erfolgten die Berechnungen aus Gründen der Vergleichbarkeit ohne thermische Berücksichtigung der Gehäusewandungen. Für die

Oberflächentemperatur der Heizwendel wurden ebenfalls 110°C vorgegeben, die Leistungsabgabe an die Luft steigt damit rechnerisch von 92,5 W auf 151,4 W, also um mehr als 60 %.



Temperaturverlauf beim Durchfluss von 1750 l/min in der Variante, Bild 40

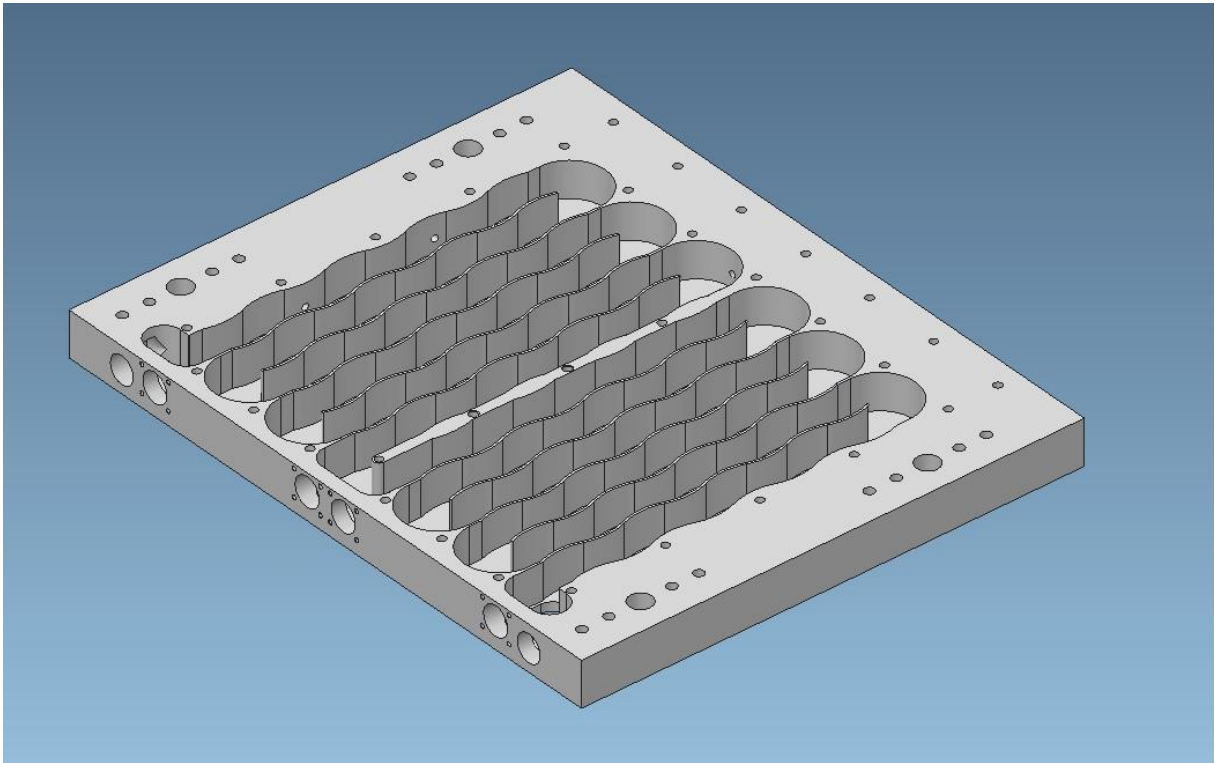
In dem Abschnitt 5.7.1 wurde jedoch bereits auf den thermischen Einfluss des Gehäuses hingewiesen. Leider kann durch die Wellenform auch der Wärmeübergang von der erwärmten Luft auf das Gehäuse des Hauptmoduls zunehmen.

In den genannten Versuchsberichten wurden Oberflächentemperaturen des Hauptmoduls von vorwiegend etwa 80°C genannt. Damit die Betrachtungen auf der sicheren Seite liegen, wurden Vergleichsrechnungen mit einer Oberflächentemperatur am Heizkanal von 75°C durchgeführt. Dabei nahm beim Istzustand die Lufttemperatur am Modellauslass um 0,467°C ab und bei der Variante in Wellenform um 0,478°C. Es bleibt also dennoch ein deutlicher Vorteil von etwa 55 % für den wellenförmigen Kanal.

Allerdings kann für die realen Rahmenbedingungen nicht von einer derart hohen Verbesserung für das gesamte Hauptmodul ausgegangen werden, denn hier wurde nur ein kleiner gerader Ausschnitt betrachtet, der im Istzustand eine ungünstige Anströmung besitzt. Die mehrfach wiederkehrenden 180°-Umlenkungen im realen

Modul haben einen sehr ähnlichen Effekt auf die Strömungsführung wie die Wellen der Variante und wurden hier nicht betrachtet. Dadurch wird sich der Vorteil in der Praxis etwas relativieren. Außerdem müssen die Heizelemente entsprechend hohe Leistungen und Temperaturen auch bereitstellen können.

Das Bild 41 stellt die finale Ausführung der optimierten Variante in der Umsetzung in das Hauptmodul der modifizierten Begasungshaube dar.



3D-Darstellung der optimierten Variante des Hauptmoduls, Bild 41

5.6.4 Zusammenfassung und Empfehlungen

Im Rahmen der Effizienzsteigerung der modifizierten Begasungshaube, wurde in diesem Teilprojekt auch im Detail die Aufheizung der Luft untersucht. Da ein möglichst guter Wärmeübergang von den Heizelementen auf die Luft wichtig ist, wurden mithilfe numerischer Strömungsuntersuchungen die komplexen Strömungsvorgänge im Hauptmodul untersucht. Zunächst mussten Erkenntnisse über die An- und Umströmung der Heizelemente gewonnen werden, um darauf

aufbauend über eine optimierte Strömungsführung den Wirkungsgrad der Begasungshaube verbessern zu können.

Aus vorangegangenen Untersuchungen des Ingenieurbüros Hänsel existieren Auswertungen zur Aufheizung verschiedener Durchflussmengen (250 bis 1750 l/min). Nach Vorgabe des Büros Hänsel sollte der größtmögliche Durchfluss betrachtet werden, also 1750 l/min. Als Zieltemperatur für die aufzuheizende Luft sind 80°C (für das Cold-Box-Verfahren) und 180°C (für anorganische Binder) von Bedeutung.

Zur Strömungssimulation des Hauptmoduls im Istzustand wurden zunächst verschieden lange Abschnitte des rechteckigen Heizkanals aufgebaut und berechnet. Erwartungsgemäß zeigte sich, dass bereits sehr schnell gleichmäßige und naturkonforme Strömungszustände eintreten und ein Abschnitt von 100 mm ausreichte, um die gemessenen Temperaturen aus den vorangegangenen Untersuchungen abbilden zu können. Längere Modelle führten zu nahezu gleichen Ergebnissen, die Unterschiede waren vernachlässigbar gering.

Dafür war jedoch ein sehr feines Berechnungsnetz mit Zellengrößen zwischen 0,1 und max. etwa 1 mm erforderlich. Auch zur Zellengröße sind vergleichende Berechnungen durchgeführt worden. Sie haben gezeigt, dass selbst noch feinere Berechnungsnetze zu praktisch identischen Ergebnissen führen.

Die Ergebnisse zeigten schnell, dass die Luft in dem geraden Hauptkanalstück zu einem großen Teil außen (in Nähe der Gehäusewandung) an den Heizelementen vorbei strömt und damit am Wärmeübergang von der Heizwendel nur gering beteiligt ist. Das bestätigte auch der Temperaturverlauf.

Da offensichtlich die Anströmung der Heizelemente und damit auch der Wärmeübergang noch verbessert werden kann, wurde eine querschnittsgleiche Heizkanalgeometrie in Wellenform entwickelt, die die Strömung am Rand des Kanals immer wieder unterbricht und stärker durch den Einflussbereich des Heizelementes führt.

Die Ergebnisse bestätigten einen deutlich besseren Wärmeübergang von mehr als 50 % bei gleicher Oberflächentemperatur der Heizwendel. Das setzt allerdings voraus, dass die Heizelemente die erforderlichen Temperaturen bzw. Leistungen auch bereitstellen können. Außerdem gelten diese Werte nur für den im Istzustand ungünstigen geraden Heizkanalbereich. Da die 180°-Umlenkungen im realen Modul denselben Effekt haben und im Modell nicht betrachtet wurden, wird der Vorteil in der Praxis geringer ausfallen. Dennoch scheint ein Bereich von 20 % realistisch.

Für die Zieltemperatur von 80°C für das Cold-Box-Verfahren ist damit voraussichtlich eine bessere Isolierung anstelle der anfangs genannten Wärmerückgewinnung sinnvoller, sowohl finanziell, als auch von der geringeren Bauhöhe. Für den Einsatz mit anorganischen Bindern bei 180°C gelten grundsätzlich dieselben Vorteile des wellenförmigen Heizkanals und die Luftvorwärmung bzw. Wärmerückgewinnung ist wegen der längeren Heizstrecke zusätzlich von Vorteil.

VI. Fazit

Im Vordergrund dieses Teilprojektes stand der Langzeitversuch der modifizierten Begasungshaube und der Dosiertechnik. Dieser Langzeitversuch sollte dazu dienen, eventuelle Schwachstellen im Umgang mit den eingesetzten Prototypen der modifizierten Begasungshaube und der Dosiertechnik, unter produktionstechnischen Rahmenbedingungen, aufzuzeigen.

Zu dem bestehenden Prototyp der modifizierten Begasungshaube wurde im Vorfeld zu diesem Langzeitversuch ein Prototyp für den Einsatz der Dosiertechnik gebaut. Der Prototyp der modifizierten Begasungshaube wurde in einer Produktionskernschießmaschine verbaut. Der Prototyp der Dosiertechnik und die Bevorratung des Katalysators wurden extern der Produktionskernschießmaschine aufgestellt. Für den Einsatz der Prototypen wurde ein sicherheitstechnisches Konzept umgesetzt, um die Verwendung der Druckluft und des Katalysators zu überwachen.

Der praktische Einsatz der Prototypen erfolgte in einer mittelständischen Kundengießerei. Dadurch bedingt wurden umfangreiche unterschiedliche Kernproduktionen, im Rahmen von Kleinserien durchgeführt. Die Auswertung der Produktionsergebnisse wurde anhand einer repräsentativen Auswahl unterschiedlicher Kernproduktionen vorgenommen. Die daraus resultierenden mittleren statistischen Produktionskennzahlen wurden für die weiteren Berechnungen der Einsparungen verwendet. Diese Vorgehensweise musste gewählt werden, da eine Anzahl von Werkzeugen Undichtigkeiten aufwies, die für die Kernproduktion eingesetzt wurden. Die Optimierungsmaßnahmen konnten somit für einen Teil der Kernproduktionen nicht durchgeführt werden.

Insgesamt fällt das Fazit des praktischen Einsatzes, im Rahmen des Langzeitversuches, vorwiegend positiv aus. Die Ergebnisse der vorliegenden Einsparungen bestätigen diese Aussage. Aus produktionstechnischer Sicht besteht Entwicklungsbedarf im Bereich der Dosierung des Katalysators. An dieser Stelle sind vorrangig die Ausfälle der Dosierpumpe zu nennen. Im Bereich der Verifizierung der eingesetzten Prototypen im Produktionsablauf muss konstatiert werden, dass die eingesetzte Dosierpumpe zum Ende des Langzeitversuches die geforderte Durchflussmenge nicht mehr erreichte und Produktionsausfälle verursachte. Zum Ende der Projektlaufzeit musste ein Totalausfall der Pumpe verzeichnet werden. Ein Auswechseln des Pumpenkopfes konnte Abhilfe schaffen. Nach der Demontage des Dosierschranks von der Produktionskernschießmaschine soll, durch eine komplette Revision der Dosierpumpe, die Ursache der Ausfälle untersucht werden. Nach eingehender Analyse muss die zentrale Frage gestellt werden, ob die Dosiertechnologie für diese Anwendung grundsätzlich geeignet ist. Im Kontext dieser zentralen Fragestellung besteht eine hohe Notwendigkeit Alternativen zu erarbeiten.

Der eigens für diesen Langzeitversuch entwickelte und eingesetzte Prototyp, zur Aufnahme der Dosierkomponenten, ist in Fragen der ATEX-Richtlinien neu zu bewerten. In diesem Kontext stehen bspw. Fragen, ob die eingesetzte technische Lösung zur Trennung des Liquidbereiches von dem Elektrobereich der eingesetzten

Dosierkomponenten nach den ATEX-Richtlinien zulässig ist? Oder müssen grundsätzlich die Dosierkomponenten den ATEX-Richtlinien entsprechen?

Im Kontext zu dem Langzeitversuch, wurde ein Modul erstellt für die Vorwärmung der Druckluft. Damit sollte die Effizienz der modifizierten Begasungshaube optimiert werden. Als Grundlage diente ein Konzept der Energierückgewinnung, dass die Abwärme des Hauptmoduls der modifizierten Begasungshaube nutzt. Das Modul der Vorwärmung stellt im verbauten Zustand eine Einheit mit der modifizierten Begasungshaube dar. Durch die Verwendung des Moduls der Vorwärmung wird der gesamte Aufbau der modifizierten Begasungshaube erhöht. Damit wird die maximale Einsatzhöhe der verwendeten Werkzeuge zur Kernherstellung reduziert. Das führte dazu, dass bestimmte Werkzeuge aufgrund der Höhe nicht eingesetzt werden konnten. Diese Problematik wurde zusätzlich verschärft, durch den Einsatz von Einschussdüsen. Das bedeutet für den praktischen Einsatz, dass eine Anzahl von Werkzeugen für die Kernherstellung nicht eingesetzt werden konnten. Aufgrund dieser Tatsache wurde das Modul der Vorwärmung nicht verwendet, da ein Auf- und Abbau des Moduls den produktionstechnischen Ablauf erheblich einschränkte. Aufgrund dieser Tatsache wurde ein Konzept entwickelt, das die Problematik der eingeschränkten Werkzeughöhe kompensiert. Ein überarbeitetes Konzept zur Energierückgewinnung liegt vor und soll in einem Folgeprojekt umgesetzt werden. Das Konzept basiert auf die Entkopplung der Einheit bestehend aus dem Hauptmodul und Vorwärmmodul von dem Dosiermodul. Damit wird erreicht, dass die Bauhöhe der modifizierten Begasungshaube erheblich reduziert wird. Die beschriebenen produktionstechnischen Einschränkungen werden damit beseitigt.

Eine weitere Maßnahme zu Optimierung der modifizierten Begasungshaube, ist der Einsatz der 3D-Simulationstechnik. Im Fokus dieser Untersuchung steht die Optimierung des Wärmeübergangs von der Oberfläche der Heizelemente auf das strömende Medium im Hauptstromkanal. Dazu wurden umfangreiche Simulationsrechnungen durchgeführt mit dem Ergebnis der wellenförmigen Auslegung des Hauptstromkanals. Berücksichtigt wurden in dieser Untersuchung die unterschiedlichen Anwendungstemperaturen von 80°C für das Cold-Box-Verfahren

und 180°C für die Anwendung von anorganischen Verfahren. Die Berechnungen zeigten, dass durch diese Modifizierung des Hauptstromkanals der Wärmeübergang verbessert wird und damit 20 % der eingesetzten Energie eingespart werden können. Zusätzlich zeigte die Untersuchung, dass die Anwendung der Wärmerückgewinnung im Kontext der anorganischen Kernherstellung, aufgrund der hohen Temperatur von 180°C, am effektivsten eingesetzt werden kann. Für den Bereich der Cold-Box Anwendung ist eine Isolierung der modifizierten Begasungshaube eine günstige kostentechnische Alternative, um die Abwärme des Hauptmoduls zu speichern und für die Kernherstellung zu nutzen.

Das wellenförmige modifizierte neue Hauptmodul wird erstellt und soll in einem Folgeprojekt unter produktionstechnischen Bedingungen eingesetzt werden.

Ein weiteres Ziel in diesem Teilprojekt ist die Anwendung des Prototyps der modifizierten Begasungshaube für die anorganische Kernherstellung. Der Temperaturbereich dieser Anwendung liegt bei ca. 180°C. Diese Versuchsreihe sollte den Beweis erbringen, ob mit der elektrischen Leistung von 5 kW die geforderten 180°C erreicht werden können. Die Versuchsergebnisse zeigten, dass eine maximal gemessene Temperatur von 150°C, am Ausgang der modifizierten Begasungshaube, erreicht werden konnten. Die geforderten 180°C somit nicht erreicht werden konnten. Im Kontext der vorgestellten Simulationsrechnungen, kann davon ausgegangen werden, dass die geforderten 180°C mit der Anwendung des Vorwärmmoduls und einer elektrischen Leistung von 8 kW sicher erreicht werden kann. An dieser Stelle sollte betont werden, dass die konventionelle Anwendung für die anorganische Kernherstellung bis zu 32 kW elektrische Leistung einsetzt.

Die vorliegenden Ergebnisse lassen die folgenden Schlussfolgerungen zu.

1. Die bestätigten und sehr guten Einsparungsergebnisse aus dem Langzeitversuch zeigen, dass grundsätzlich das Konzept der modifizierten Begasungshaube ein hohes Einsparungspotential aufweist.
2. Weiterhin zeigen die Erkenntnisse aus dem Langzeitversuch, dass weitere Einsparungspotentiale im Bereich der Energie vorhanden sind.

3. Der Einsatz des Energierückgewinnungssystems konnte in diesem Langzeitversuch nicht umfänglich eingesetzt werden. Allerdings kann die Aussage gemacht werden, dass zumindest ein kurzer Einsatz des Vorwärmmoduls einen positiven Einfluss auf die eingesetzte Heizenergie im Hauptmodul der modifizierten Begasungshaube hatte. Dieser positive Einfluss wird explizit in der Anwendung hoher Temperaturen zur Aushärtung anorganischer Bindemittel verstärkt und damit im Bereich der Energieeinsparung von Bedeutung sein. Daher sollte das Konzept der Energierückgewinnung in der beschriebenen Form in einem Folgeprojekt umgesetzt werden.
4. Die durchgeführten Simulationsrechnungen zeigen, dass die vorgestellte Optimierungsvariante des Hauptstromkanals in der aktuellen Ausführung des Hauptmoduls ebenfalls ein hohes Energie Einsparungspotential von ca. 20 % aufweist. Auch diese Ausführung sollte in Kombination mit der Energierückgewinnung in einem Folgeprojekt eingesetzt werden, um die Einsparungspotentiale unter praktischen Rahmenbedingungen quantifizieren zu können.
5. Allgemein kann zu dem Langzeitversuch die Aussage gemacht werden, dass dichte Produktionswerkzeuge eine wichtige Prämisse sind, um Optimierungen im Einsatz der modifizierten Begasungshaube durchzuführen. Unter diesen erschwerten Rahmenbedingungen sind die erreichten Einsparungsergebnisse nochmals zu unterstreichen.
6. Die eingesetzte Dosierpumpe konnte nicht den Erwartungen entsprechen. Es ist daher von Bedeutung die eingesetzte Dosiertechnik zu hinterfragen. Zum jetzigen Zeitpunkt liegen noch keine eindeutigen Aussagen vor, wie es zu den beschriebenen Ausfällen gekommen ist. Alternativen im Bereich der Dosierung sollten erarbeitet werden und in einem Folgeprojekt eingesetzt werden.