



DEUTSCHE
GESELLSCHAFT FÜR
ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG E.V.

ZfP-Sonderpreis der DGZfP beim Landeswettbewerb Jugend forscht

SACHSEN-ANHALT



Energiesparende Prüfmethodik für anorganische Sandkerne

Michael Bauermeister

Michael Lindecke

Schule:

Wolterstorff-Gymnasium

Bebelstraße 29

06493 Ballenstedt

Projektbeschreibung

Michael Bauermeister & Michael Lindecke

Energiesparende
Prüfmethodik für
anorganische Sandkerne

1. Einleitung
2. Technische Grundlagen zur Trocknung
3. Methode zur Ermittlung der Festigkeiten von Sandkernen
 - 3.1 Serienüberwachung der Formstoffe innerhalb der Firma Rautenbach
 - 3.2 Entwicklung einer mikrowellenbeständigen Form unter Beachtung der Normmaße
 - 3.3 Apparatur zur Bestimmung der Biegefestigkeit von Sandkernen
4. Ablauf der alternativen Prüfmethodik
5. Beweis der alternativen Prüfmethodik
 - 5.1 Anhand der Mittelwerte der Masse
 - 5.2 Anhand der Temperaturkurve
 - 5.3 Abhängigkeit der Masseabnahme von der Temperatur
6. Ökonomischer Vergleich von konventioneller und alternativer Prüfmethodik
 - 6.1 Vergleich anhand der Energie
 - 6.2 Vergleich anhand der Zeit
7. Praxiseinführung in der Firma Rautenbach
8. Anlagen- und Literaturverzeichnis

1. Einleitung

Im Rahmen praxisorientierten Lernens besuchten wir im Sommer 2003 die *Firma Rautenbach Guss Wernigerode GmbH, a Company of Nemak*. Im Anschluss an eine Werksbesichtigung war es uns möglich, eigenständig erste Erfahrungen in der anorganischen Kernfertigung zu sammeln. Uns stellte sich die Frage, wie solche Sandkerne überhaupt zusammenhalten. Die Beantwortung reizte uns so sehr, dass hierfür ein Technikkurs gegründet wurde, in welchem wir uns intensiv mit Festigkeitsuntersuchungen beschäftigen wollten. Genannte Sandkerne werden in der Gießereiindustrie benötigt, um etwaige Hohlräume (Bsp. Kolben im Zylinder) innerhalb des Gießprozesses realisieren zu können.

2. Technische Grundlagen zur Trocknung

Uns ist bekannt, dass die von uns zu untersuchende Verbindung aus der Hauptkomponente *Sand* und den Nebenkomponenten *wasserlöslicher Binder* und *Wasser* besteht. Durch Entzug von Wasser wird eine Härtung des Kerns erreicht. Diese Trocknung kann einerseits durch die konventionelle Methode (*Ofentrocknung*) und theoretisch über eine alternative Trocknung des Kerns durch eine Mikrowelle erfolgen.

Bei dieser Methode werden die Wassermoleküle durch die ausgesendeten Mikrowellen zum Schwingen angeregt. Die hierdurch erzeugte Wärmeenergie, die das Wasser innerhalb des Kerns auf annähernd 100°C erwärmt, lässt das Wasser verdampfen. Es erfolgt eine wesentlich schnellere Erwärmung als im Ofen. Ein weiterer positiver Effekt für die Trocknung entsteht, da das erwärmte Wasser von Innen nach Außen gedrückt wird.

Beide Methoden, per Mikrowelle und Ofen, sind in der Lage anorganische Kerne zu trocknen und gleiche Messergebnisse zu liefern.

3. Methode zur Ermittlung der Festigkeiten von Sandkernen

3.1 Serienüberwachung der Formstoffe innerhalb der Firma Rautenbach

Bei der Firma Rautenbach werden die in Serie befindlichen Ausgangsstoffe regelmäßig geprüft. Der Formstoff aus der Kernfertigung wird im Labor mittels einer Metallform nach bestimmten vorgegebenen Richtlinien verdichtet. Der so genannte Biegeriegel wird dann über genau definierte Prüfvorgaben im Ofen getrocknet, abgekühlt und gebrochen. Der Bruchwert ist ein Maß der Festigkeit, wobei zwischen Heißbiegefestigkeit und Kaltbiegefestigkeit bei den organischen Kernen unterschieden wird. (*↗ siehe 6. Vergleich konventionell - alternativ*)

3.2 Entwicklung einer mikrowellenbeständigen Form unter Beachtung der Normmaße

Bei anorganischen Formstoffen erfolgt die Verfestigung durch den Entzug von Wasser, weshalb wir uns für die Trocknung durch eine Mikrowelle entschieden. Wir sehen darin eine schnelle, kostengünstige und Platz sparende Möglichkeit zur Herstellung eines Biegeriegels. Für die spätere Formgebung der Kerne benötigten wir eine negative Form aus mikrowellenbeständigem Material mit definierten Maßen.

Unsere Auswahl fiel auf einen Kunststoff (Teflon). Bei Teflon handelt es sich um einen fluorhaltigen Kunststoff, welcher extrem widerstandsfähig gegen mechanische Einwirkungen und Hitze (bis zu 250°C) ist und dabei noch exzellente Antihafteigenschaften besitzt.

Bei der Größe der zu produzierenden Sandkerne orientierten wir uns an den Normmaßen, vorgegeben durch den VDG (*Verband deutscher Gießer*), welche bereits in der konventionellen Methode Anwendung finden.

Weitergehende Überlegungen sahen eine Luftspülung der Kerne im Anschluss an die Mikrowellenbehandlung vor. Da wir nicht wussten, wie die optimalste Luftströmung aussieht, wurden zwei Kernformen mit unterschiedlichen Entlüftungsmöglichkeiten installiert. So konnte einerseits die Möglichkeit der Luftströmung, mit deren Auswirkung auf den

Trocknungsprozess, getestet und andererseits aus zwei zeitgleich getrockneten Kernen der Mittelwert aus den Bruchergebnissen errechnet werden.

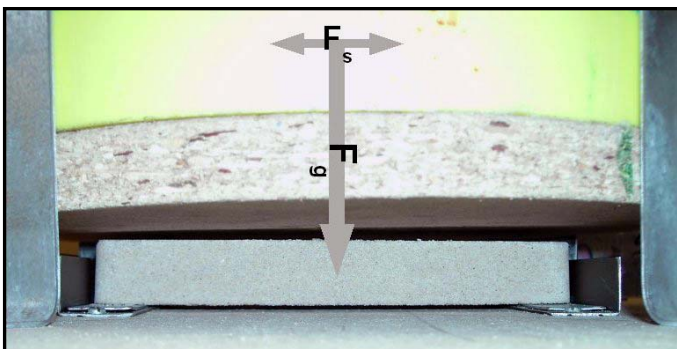
Für die Umsetzung einer aktiven Luftspülung der Kerne benötigten wir einen Aufsatz für die Mikrowellenform sowie eine Druckluftvorrichtung. Hier entschieden wir uns für einen kostengünstigeren Kunststoff als Teflon, da dieser nicht mikrowellenbeständig sein musste. Zur besseren Untersuchung der Strömung der Luft im Kern wurden an verschiedenen Positionen Luftanschlüsse vorgesehen.

In Folge empirischer sowie messbarer Erkenntnisse wurden zahlreiche Veränderungen an der Form vorgenommen. Dazu gehörten die Vereinheitlichung der Entlüftungsdüsen in der Kernform (*3 große Düsen auf beiden Seiten*) und die Festlegung der mittig anzubringenden Luftzufuhr. Die Veränderungen waren notwendig geworden, da der anfallende Wasserdampf Wege zum Heraustreten suchte und bei zu hohem Widerstand im Kern blieb und dort feuchte Stellen bildete.

3.3 Apparatur zur Bestimmung der Biegefestigkeit von Sandkernen

Die Bruchanlage dient der qualitativen Einordnung des Kernes und der zu Grunde liegenden Formmischung. Variable Kraftbelastungen wurden bis zu einem Bruch der Kerne durchgeführt. Für die Entwicklung der Prüfmethodik wurden drei Ideen verfolgt und entwickelt:

- Die erste Apparatur sah den Bruch des Korns mit Hilfe eines darunter hängenden Wassereimers vor. Dabei lag der Kern mit kleiner Auflagefläche rechts und links zwischen zwei Tischen. Das Gewicht des Eimers wirkte über ein Holzstück direkt auf den Kern und war durch das Hineinfüllen von Wasser variabel. Somit konnte leicht die ausgehaltene Kraft je cm^2 bestimmt werden. Die Auflagefläche des Holzstückes erwies sich jedoch als zu groß, was eine Verteilung der Kraft und damit eine Verfälschung der Werte nach sich zog.
- Bei der folgenden Testvorrichtung handelte es sich um einen Eimer, welcher durch Versteifungen an den Seiten nicht kippen konnte und mit Sand befüllt wurde. Die Kraft wirkte nun nahezu komplett nach unten, auf eine kleinere Fläche. Diese sehr praktische Art des Kernbruchs hatte lange Bestand.



Dabei gilt :

$$F_G = m * g \quad (m = m_{\text{Eimer}} + m_{\text{Sand}})$$

$$F_G = (m_{\text{Eimer}} + m_{\text{Sand}}) * g$$

- Weiterführende Ideen sahen den Kernbruch beruhend auf dem Hebelprinzip vor, fanden jedoch in unseren Forschungen keine praktische Anwendung. Grundlage hierfür ist in dem Schema (*Bild 2*) zu erkennen.

$$F_1 * s_1 = F_2 * s_2 \quad (F_2 = F_{\text{Hebel}} + F_{\text{Gewicht}})$$

$$F_1 * s_1 = (F_{\text{Hebel}} + F_{\text{Gewicht}}) * s_2$$



F_{Gewicht} ist variabel - durch den türkisen Aufbau gekennzeichnet. Auf den Kern wirkt mittig die Kraft F_1 .

4. Ablauf der alternativen Prüfmethdik

I. Festlegen der zu prüfenden Mischung und deren prozentualen Anteile an Sand, Binder und Wasser

- a Abwiegen der Komponenten
- b Mischen der Komponenten unter Beachtung der Reihenfolge (*Binder - Wasser — Sand*)
- c Bestimmung der Temperatur der Mischung
(↗ siehe Temp.mittelwerte – Messpunkt 1)



Abb. 3 - Anfertigung der Mischung

II. Mischung in Biegeriegelform einfüllen

- a Einfüllen der Mischung in Formkasten
- b Verdichten der Mischung mit definierter Kraft
- c Überschüssigen Sand abziehen
- d Masse bestimmen

III. Form mit Kernrohlingen in Mikrowelle 3 Minuten erwärmen

- a Temperaturbestimmung direkt nach Mikrowelle
- b Masse bestimmen



Abb. 4 - Mikrowellentrocknung

IV. Kerne werden 1,5min in Spülluftapparaturspült

- a Temperaturbestimmung direkt nach Luftspülung
- b Masse bestimmen



Abb. 5 - Kernspülung mit Druckluft

V. Kerne jeweils für 10min (Kern 1) bzw. 20min (Kern 2) abkühlen lassen

- a Temperaturbestimmung nach dem Abkühlen
- b Massebestimmung
- c Bruchtest



Abb. 6 - Kernbruch mit Eimer

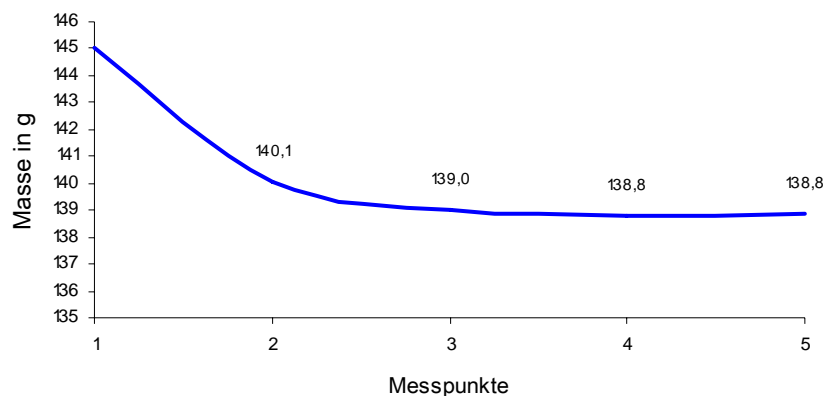
5. Beweis der alternativen Prüfmethodik

Die Diagramme über Temperatur- und Masseverläufe zeigen eine Messreihe auf. Diese ist repräsentativ für alle Messreihen (*bitte Anlagen Tabelle 1 und 2 beachten*) Die angegebenen Messpunkte unter der Massenmittelwertkurve gelten für alle Diagramme, in denen Messpunkte angegeben sind.

5.1 Anhand der Mittelwerte der Masse

Zur Veränderung der Masse kommt es durch das Verdampfen des im Kern vorhandenen Wassers, welches durch die Mikrowellenstrahlung (*↗siehe Grundlagen*) erwärmt wird. Wie viel Wasser verdunstet, ist an der Änderung der Masse zu erkennen. Die Verdunstung ist abhängig von der Sandsorte, dem Binderanteil, der Menge an Wasser sowie der Verdichtung des Kerns. Für qualitative Aussagen über die Beschaffenheit der Formstoffmischungen müssen diese Werte konstant gehalten werden. Die größte Veränderung der Masse ist während der Mikrowellenphase zu verzeichnen, da das Wasser hier auf etwa 100°C erwärmt wird und somit genügend Energie zum Verdampfen besitzt.

Massenmittelwerte



- 1 – Temperatur des Formstoffes / bzw. Startgewicht des Kerns
- 2 – Gewichts - Temp.bestimmung nach Mikrowellenbehandlung
- 3 – Gewichts - Temp.bestimmung direkt nach Spülvorgang mit Druckluft
- 4 – Gewichts - Temp.bestimmung von Kern 1 10min nach Spülen
- 5 – Gewichts - Temp.bestimmung von Kern 2 20min nach Spülen

Ein geringer Teil des Wassers wird im Anschluss durch den „Luftspülvorgang“ aus dem Kern getrieben, was die geringfügige Veränderung der Masse zeigt (↗ siehe Temperatur-/massemittelwerte).

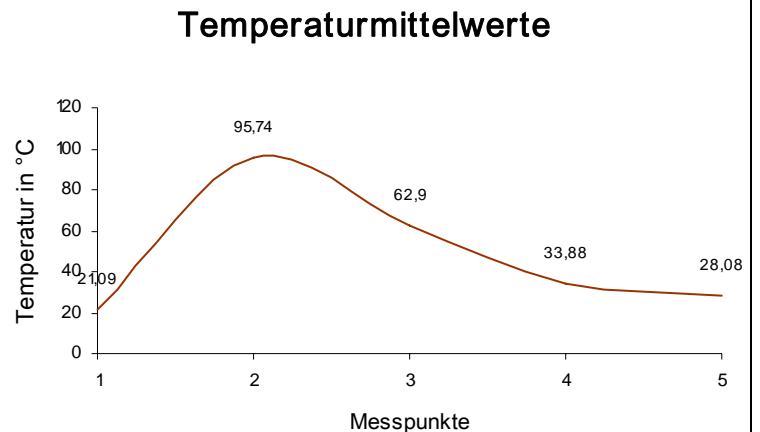
Der Kern befindet sich nach dem Luftspülvorgang in einer Abkühlphase, in der er Wärmeenergie abgibt, jedoch kein Gewicht verliert.

5.2 Anhand der Mittelwerte der Temperatur

Während der Mikrowellenphase wird dem Kern und der Kernform Wärmeenergie zugeführt. Dies führt zu einem Temperaturanstieg (Messpunkte 1-2). Stoppt man die Energiezufuhr durch die Mikrowelle nach 3 min (↗ siehe Ablauf anorganische Prüfmethodik), kühlt sich der Kern, nach dem „Nullten Satz“, der Thermodynamik, ab.

Dieser Vorgang wird durch das „Luftspülen“ beschleunigt. Dadurch erfolgt in dieser Phase ein starker Temperaturabfall von durchschnittlich ca. 33°C (Messpunkt 2-3).

Anschließend kühlt der Kern bis zum Bruchtest jeweils 10 bzw. 20 Minuten an der Luft ab. Diese Abkühlung vollzieht sich wesentlich langsamer.



5.3 Abhängigkeit der Masseabnahme von der Temperatur

Der Vergleich von Temperaturkurve und Massekurve macht deutlich, dass in der Mikrowellenphase (1-2), dem Kern und dem darin enthaltenen Wasser die meiste Energie zur Verfügung steht, um das Wasser verdampfen zu lassen.

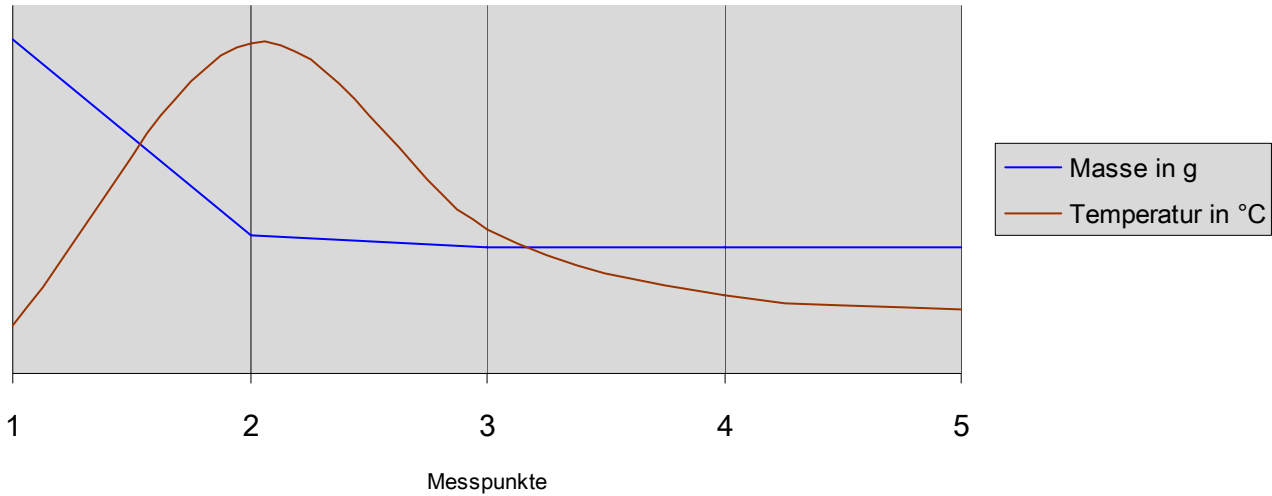
Die Masse sinkt stark ab – Wasser entweicht aus dem Kern.

Mit dem Sinken der Temperatur flacht auch die Kurve der Masse ab – nur noch ein kleiner Teil der Masse und damit der Feuchtigkeit wird an die Umgebung (2-5) abgegeben. Der Kern kühlt langsam, durch die Spülluft und die Umgebungstemperatur, ab und nähert sich der Umgebungstemperatur an, bis diese erreicht ist.

Hält man die Verdichtung des Kerns, mittels festgelegter Schläge und konstantem Druck über die gesamte Produktionslinie konstant, so können mittels des Bruchwertes Aussagen über die Mischung und deren Eignung getroffen werden.

Damit kann vorhergesagt werden, ob die Sandkerne den Gussvorgang überstehen und Gussteile mit hoher Qualität garantieren.

Abhängigkeit der Masse von der Temperatur (Werte idealisiert)



6. Ökonomischer Vergleich von konventioneller und alternativen Prüfmethodik

Konventionelle Methode (per Ofen Mikrowelle)

1. Anlagen / Geräte

Rammgerät Typ LU, Trockenofen WST – H3010, Gerät zur Prüfung von Festigkeitseigenschaften von Formmischungen LRu 1

2. Durchführung

- 2.1 Formstoffmischungen unter Beachtung der vorgegebenen Mischungsverhältnisse anfertigen
- 2.2 Formstoffmischung in Biegestab-Rambbüchse füllen bis Form komplett voll – Stempelaufsatz aufsetzen und mit 9 Rammschlägen verdichten
- 2.3 Formoberteil abnehmen und überschüssigen Sand abstreifen (bündig zur Oberkante)

Dauer Intervall 1: ca. 5min

- 2.4 Biegestab zusammen mit Formunterteilmitteln von der Grundplatte auf Backblech legen und vorsichtig Formunterteile entfernen
- 2.5 Trockenofen auf 250°C ($+3^{\circ}\text{C}$) aufheizen; nachdem Temp. erreicht ist, Biegestäbe in den Trockenofen stellen und 10min ($\pm 0,5\text{min}$) backen lassen

Dauer Intervall 2: ca. 22min (+120min Ofen aufheizen)

- 2.6 Biegestäbe an Luft bis Raumtemperatur auskühlen lassen (20min)
- 2.7 Skaleneinteilung Rg am Prüfgerät LRu 1 einstellen, Biegestab entnehmen und sofort bis zum Bruch belasten; Prüfung am 2. Biegestab wiederholen
- 2.8 Mittelwert aus beiden Prüfungen bilden und gemäß Prüfanweisung auswerten

Dauer Intervall 3: ca. 25min

Aktuelle Methode (per

1. Anlagen / Geräte

Genormte Kernform, Verdichtungsvorrichtung, Mikrowelle, Spülluftanlage mit Druckluftflasche, Bruchtestanlage

2. Durchführung

- 2.1 Formstoffmischungen unter Beachtung der vorgegebenen Mischungsverhältnisse anfertigen
- 2.2 Formmischung wird in Form gefüllt und mit definierter Kraft verdichtet
- 2.3 Überschüssigen Sand bündig zur Oberkante abstreifen

Dauer Intervall 1: ca. 5min

- 2.4 Biegeriegel zusammen mit Form in die Mikrowelle stellen und für 3min backen lassen
- 2.5 Form mit Biegeriegel aus Mikrowelle entnehmen und $1,5\text{min}$ mit Spülluft spülen

Dauer Intervall 2: ca. 4,5min

- 2.6 Biegeriegel vorsichtig aus der Form entfernen
- 2.7 In der Reihenfolge **1** (nach 10min nach Entfernen) und **2** (20Minuten nach Entfernen) bis zum Bruch belasten
- 2.8 Mittelwert aus beiden Prüfungen bilden und gemäß Prüfanweisung auswerten

Dauer Intervall 3: ca. 25min

6.2 Bilanzierung anhand der Energie

Beim Energieverbrauch unterscheiden wir zwischen Eingangs- und Nutzleistung. Ofen, wie auch Mikrowelle besitzen eine Eingangsleistung von $1200W$ und eine Ausgangs- / Nutzleistung von $800W$.

Konventionelle Methode mit Ofen

Für das Aufheizen bis zu einer Temperatur von $250^{\circ}C$ benötigt der **Ofen** eine Zeit von $120min$ – die Backzeit nimmt dann noch einmal $20min$ in Anspruch. Der Ofen verbraucht also über $140min$ eine Energie von $1200W$. Daraus ergibt sich folgende Rechnung:

$$\begin{aligned}W &= P * t \\W &= 1,2kW * 14/6h \\W &= \underline{2,8kWh}\end{aligned}$$

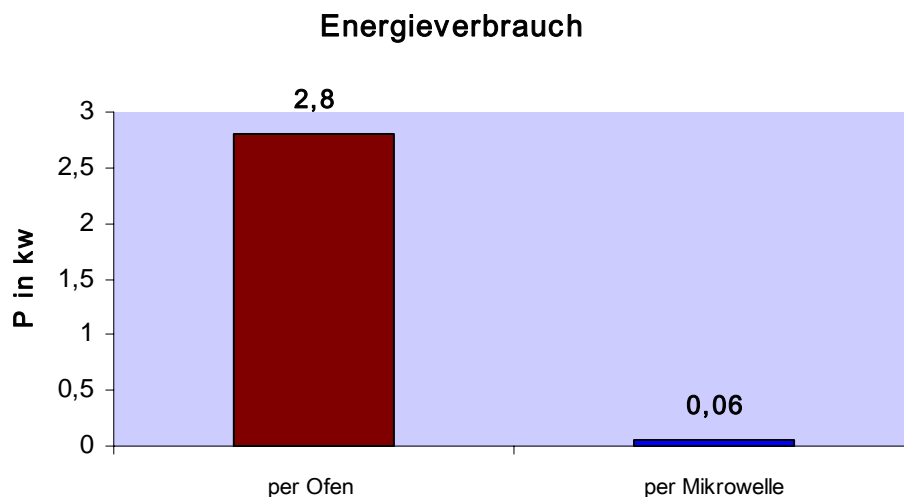
Damit ergibt sich ein Gesamtenergieverbrauch von $2,8 kW * h$. Die effektiv verbrauchte Energie beim Backvorgang ($20min$) beträgt $\approx 0,4 kW * h$.

Alternative Methode mit Mikrowelle

Die Mikrowelle besitzt eine Eingangsleistung von $1200W$ welche nur beim tatsächlichen Backvorgang ($3min$) benötigt werden. Mit einem Wirkungsgrad von 67% (Ausgangsleistung $800W$) ergibt sich also folgende Rechnung:

$$\begin{aligned}W &= P * t \\W &= 1,2kW * 0,05h \\W &= \underline{0,06kWh}\end{aligned}$$

Die effektiv verbrauchte Energie entspricht bei Benutzung der Mikrowelle der tatsächlich verbrauchten Energie. Damit ergibt sich ein Verbrauch von $0,06kW * h$, also einem *dreiundvierzigstel* der bei der konventionellen Methode verbrauchten Energie.



6.3 Bilanzierung anhand der Zeit

Konventionelle Methode mit Ofen

Besonders bemerkbar macht sich hier die enorm lange Aufheizzeit des Ofens, welche bereits *120min* in Anspruch nimmt – Zeit, in der noch kein Kern geprüft werden kann und die damit verloren geht. Weiterhin wird pro Trocknungsphase nur ein Kern produziert. Für einen Mittelwert aus zwei Kernen muss der Trocknungsprozess wiederholt werden. Folgende Abläufe benötigen dabei folgende Zeiten:

Intervall 1: 5 min

Intervall 2: 22min (+120min Aufheizzeit des Ofens)

Intervall 3: 25min

52min (effektiv) / 172min tatsächlich

Alternative Methode mit Mikrowelle

Bei Verwendung unserer energiesparenden Prüfmethodik wird konsequent effektiv und zeitsparend gearbeitet. Die Geräte (Mikrowelle, Spülluftanlage, Bruchtestanlage) benötigen keine Anlaufzeiten und sind sofort einsetzbar. Einzig die Verzögerung des jeweils zehn- (*Kern 1*) bzw. zwanzigminütigen (*Kern 2*) Lagerns der zwei Kerne nach dem Lösen aus der Form stellt einen Zeitraum dar, in dem keine effektive Arbeit erfüllt wird.

Zur Verkürzung der Abkühlphase setzten wir eine Spülluftanlage ein, welche den Kernen zusätzlich Feuchtigkeit entzieht und gleichzeitig die Temperatur senkt.

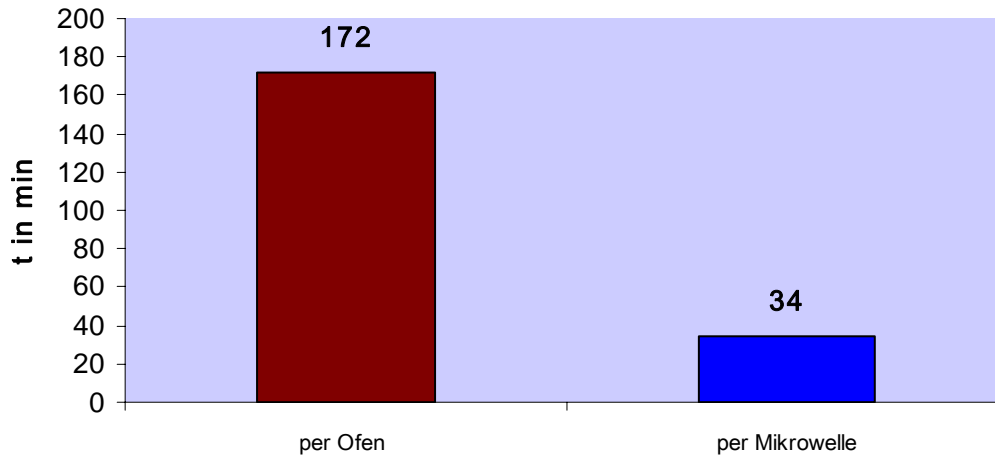
Intervall 1: 5 min

Intervall 2: 4 min

Intervall 3: 25min

34min (effektiv)

Zeitaufwand



Bilanzierung – Gegenüberstellung

Wir stellen also fest, dass es sich bei der anorganischen Prüfmethode um eine zeit- und energiesparende Alternative zur konventionellen Methode handelt. Zum Vergleich der beiden Vorgehensweisen:

	Konventionelle Methode(Ofen) (Mikrowelle)		Alternative Methode
Zeit	172min	⇔	34 min
Energie	2,6 kW	⇔	0,06kw

Bei der von uns entwickelten Methode erreicht man eine ca. 80%ige Zeitersparnis und verbraucht nur knapp 98% der bei der konventionellen Methode benötigten Energie.

Damit ist die von uns entwickelte Methode in der Lage, konstante und gleiche Werte (bei gleich bleibender Mischung und Umgebung), mit einem Bruchteil der zuvor benötigten Energie und Zeit, zu liefern. Hiermit wurde eine reelle Alternative zur konventionellen Prüfung von in Serie befindlichen Formstoffen geschaffen.

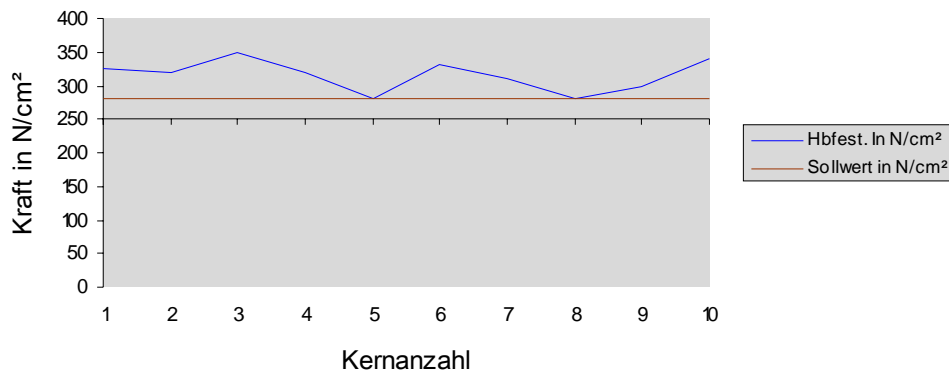
7. Praxiseinführung in der Firma Rautenbach

Unsere alternative Prüfmethode findet in der Firma Rautenbach bei der Qualitätsüberwachung der Formstoffmischungen bereits ihre Anwendung. Hierfür wurde

bereits eine Arbeitsanweisung verfasst, welche den genauen zeitlichen Rahmen der Prüfung vorgibt.

Als Beweis der Funktionstüchtigkeit unserer Prüfmethodik führten wir bei der Firma Rautenbach Serientests der Prüfmethodik durch. Hierbei wurde ersichtlich, dass die vom Binderhersteller vorgegebenen Sollwerte von unserer Art der Mischungsprüfung bestätigt wurden.

Festigkeitstest bei Rautenbach



8. Anlagen- und Literaturverzeichnis

Massenwerte

Datum	1-M	2-M	3-M	4-M	5-M
16.06.2005	145	140,9	139	138,8	
16.06.2005	145	137,8	137,5	137,3	137,2
16.06.2005	145	139,6	139	138,8	
16.06.2005	145	141,1	139,9	139,8	139,8
17.06.2005	145	140,1	139,1	138,9	
17.06.2005	145	139,9	139	138,7	138,7
17.06.2005	145	139,7	138,9	138,6	
17.06.2005	145	141	139,6	139,4	139,3
17.06.2005	145	139,6	138,7	138,5	
17.06.2005	145	141	139,4	139,3	139,2
Mittelwerte:	145	140,1	139	138,8	138,8

Komponente	Sorte	Masse in g	Masse in % vom Sand
Sand:	H33	300	100
Binder:	B3	9,6	3,2
Wasser:		12	4

Kerntemperaturwerte

Datum	1-K	2-K	3-K	4-K	5-K
16.06.2005	20,4	97,4	53,9	33,1	
16.06.2005	20,5	95,3	67,5	34,5	27,9
16.06.2005	20,6	94,7	56,2	32,2	
16.06.2005	21,1	96,6	69,8	32,9	27,7
17.06.2005	20,6	93,1	65,6	33,9	
17.06.2005	20,7	80,9	56,8	34,2	27,8
17.06.2005	21,4	101,2	69,2	35,6	
17.06.2005	21	96	60,4	35,8	28,8
17.06.2005	22,1	103	59,1	33,7	
17.06.2005	22,5	99,2	70,5	32,9	28,2
Mittelwerte:	21,1	95,7	62,9	33,9	28,1

Komponente	Sorte	Masse in g	Masse in % vom Sand
Sand:	H33	300	100
Binder:	B3	9,6	3,2
Wasser:		12	4

Literaturverzeichnis

- „Einführung in die Fertigungstechnik“ (Prof. Dr. Ing. F. Blume) S. 34 – 35
- http://de.wikipedia.org/wiki/Thermodynamik#Nullter_Hauptsatz_.28manchmal_auch_4._Hauptsatz_genannt.29
- Microsoft Encarta 2006 Enzyklopädie – Stichwort Mikrowelle
- Brockhaus Multimedia 2005
- „Untersuchung des Einflusses der Feuchtigkeit von verlorenen Kernen mit anorganischen Bindersystemen für den Aluminium-Kokillenguss“ – von Normann Schulz (Januar 2004)

Danksagung

Ein großes „Dankeschön“ geht an Frau Dipl. Ing. Sabine Gebhardt, Entwicklungsingenieurin bei der Firma Rautenbach, welche uns dieses Projekt ermöglichte und über die vergangenen zwei Jahre fachkundig betreute sowie der Firma Rautenbach Guss für die Genehmigung dieses Projektes. Weiterer Dank gilt Frau Weber, Stellv. Schulleiterin des Wolterstorff Gymnasiums, die uns bei Fragen mit Rat und Tat zur Seite stand und uns Räume für unsere Experimente zur Verfügung stellte.