

IX Mischen

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Wiederholung wichtiger theoretischer Grundlagen	2
2.1	Beschreibung des Mischungszustandes	2
2.1.1	Gleichmäßige Zufallsmischung	2
2.1.2	Mischungszusammensetzung und Mischgüte	3
2.2	Zeitliche Veränderung des Mischungszustandes	5
3	Grundlagen beim Mischen	6
3.1	Feststoffmischen	6
3.2	Probennahme	7
3.3	Probenanalyse	8
4	Versuchsteil	9
4.1	Versuchsaufbau	9
4.1.1	Mischer	9
4.1.2	Probennahme	10
4.2	Versuchsplanung	11
4.3	Rücksprache vor Versuchsbeginn	12
4.4	Versuchsdurchführung und -auswertung	13
4.5	Bewertung der Versuche	14
5	Was war wichtig?	15
6	Formelzeichen	16
7	Literaturverzeichnis	17

IX Mischen

1 Einleitung

Das Mischen ist ein Grundverfahren der Mechanischen Verfahrenstechnik, mit dem der Mensch sich schon seit Jahrtausenden beschäftigt. Beispiele hierfür sind das Verkneten von Mehl, Wasser und anderen Brotzutaten zu einem Teig oder das Verrühren von Wasser und natürlichen Farbpigmenten (Erden, Eisenerze, Ruß) zu Farben.



Je nach Aggregatzustand der beteiligten Stoffe verwendet man für das Mischen unterschiedliche Bezeichnungen wie beispielsweise Kneten oder Rühren. Ziel des Vorganges ist es jedoch immer, mehrere Stoffe derart ineinander zu verteilen, daß an jeder Stelle der Mischung gleiche Anteile der einzelnen Stoffe sind. So muß beispielsweise in jeder Tablette eines Arzneimittels genau die gleiche Menge an Wirkstoff sein, wie auf der Packungsbeilage steht.

Das Vermischen mehrerer Stoffe oder Komponenten wird dadurch erreicht, daß im Mischgut Relativbewegungen zwischen den Teilmengen stattfinden. Dies kann durch unterschiedliche Methoden erfolgen (z.B. bewegte Einbauten oder bewegtes Mischgut).

Mischen ist entweder Voraussetzung zur Durchführung weiterer verfahrenstechnischer Schritte innerhalb eines Prozesses (z.B. vor chemischen Reaktionen) oder abschließender verfahrenstechnischer Schritt (z.B. Futtermittel).

Die Vorgänge im Mischer sind im allgemeinen theoretisch sehr schwierig zu beschreiben und lassen sich im voraus oft nicht genau berechnen.

Hingegen ist es erforderlich und möglich, einen Mischer nach einem Mischvorgang hinsichtlich der Qualität der Mischung zu beschreiben und zu beurteilen.

Entsprechend wird ein Mischer gekennzeichnet durch die Mischgüte, die erzielt werden kann, sowie die hierzu erforderliche Mischzeit. Eine weitere Kenngröße ist der benötigte Energiebedarf.

2 Wiederholung wichtiger theoretischer Grundlagen

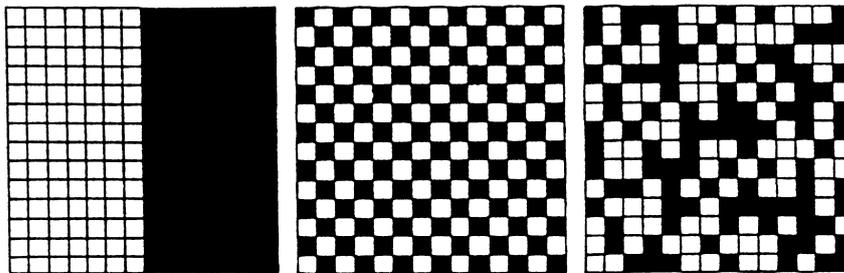
2.1 Beschreibung des Mischungszustandes

2.1.1 Gleichmäßige Zufallsmischung

Betrachten wir ein Zweikomponentengemisch d.h. ein Gemenge, das aus zwei verschiedenen Stoffen oder Komponenten besteht. Welchen Aggregatzustand diese Komponenten haben und wodurch sie sich unterscheiden, ist bei diesen Betrachtungen unwesentlich.

Es gibt drei Extremfälle (Abb.IX-1) [Stieß2], wie die Komponenten vorliegen können:

- a) unvermischt
- b) ideal vermischt
- c) stochastisch (zufallsabhängig) ideal vermischt



a) unvermischt b) ideal vermischt c) stochastisch ideal vermischt

Abb.IX-1: Mischungszustände

zu a) Der **unvermischte Zustand** kann beispielsweise zu Beginn eines Mischvorganges vorliegen.

zu b) Der Idealfall einer Mischung, der **ideal vermischte Zustand**, stellt eine absolut regelmäßige Ordnung dar, die in der Technik durch Mischen nicht erreichbar ist.

zu c) Der bestmögliche Mischungszustand, der erreicht werden kann, ist der **stochastisch ideal vermischte Zustand**, den man als **gleichmäßige Zufallsmischung** bezeichnet.

Betrachtet man hierbei mehrere kleine Volumen an Materie, so ist die Zusammensetzung der beiden Komponenten jeweils ungefähr gleich. Sie schwankt nur zufällig (stochastisch) und liegt innerhalb gewisser Grenzen.

Der Zustand **gleichmäßiger Zufallsmischung** ist beim Mischen anzustreben.

Ziel des Mischens ist es demnach, verschiedene Komponenten derart ineinander zu verteilen, daß sich Proben, die an unterschiedlichen Stellen der Gesamtmenge genommen werden, nur in gewissen, zufälligen Schwankungen in ihrer Zusammensetzung unterscheiden.

2.1.2 Mischungszusammensetzung und Mischgüte

Um den Mischungszustand eines Produktes zu untersuchen, werden mehrere Proben des Gemenges genommen. Jede Probe wird auf ihre Zusammensetzung hin untersucht und erhält als Kenngröße die Konzentration einer der Komponenten, hier z.B. als Komponente A bezeichnet:

x_i : Konzentration der Komponente A in der Probe Nr. i, Einheit: Prozent

Mischungszusammensetzung

Als **Mischungszusammensetzung** bezeichnet man [Stieß2] die **mittlere Konzentration P** der Komponente A **im gesamten Produkt**.

Die Mischungszusammensetzung eines Produktes ist nicht immer bekannt. In dem Falle berechnet man den arithmetischen (rechnerischen) Mittelwert aller **untersuchten Proben**. Dieser wird als **empirischer Mittelwert** bezeichnet. Er errechnet sich zu:

$$\bar{x} = \frac{1}{z} \cdot \sum_i^z x_i \quad (IX.1)$$

- \bar{x} : Empirischer Mittelwert in %
- z : Anzahl an Proben (ohne Einheit)
- x_i : Konzentration der Probe i in %

Der empirische Mittelwert \bar{x} kann sich von der Konzentration P der gesamten Mischung unterscheiden. Je größer die Anzahl an Proben wird, desto ähnlicher werden jedoch empirischer Mittelwert \bar{x} und Mischungszusammensetzung P.

Würde das gesamte Produkt untersucht, so wären \bar{x} und P gleich. Mathematisch formuliert bedeutet das:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \cdot \sum_i^n x_i = \lim_{n \rightarrow \infty} \bar{x} = P \quad (IX.2)$$

- x_i : Konzentration der Probe i in %
- n : Anzahl an Proben (ohne Einheit)
- \bar{x} : Empirischer Mittelwert in %
- P : Mischungszusammensetzung in %

Die **Mischungszusammensetzung** wird **durch** den **empirischen Mittelwert** der untersuchten Proben **bestimmt**.



Mischgüte

Die Konzentration der einzelnen Proben kann kleiner, größer oder gleich der mittleren Konzentration sein. Ein Maß [Stieß2] für die Mischgüte ist die Streuung der einzelnen Proben, d.h. die Abweichungen der Proben von der Zusammensetzung der Mischung. Dieses Maß heißt **empirische Varianz** oder **mittlere quadratische Abweichung** und ist wie folgt definiert:

$$s^2 = \frac{1}{n} \cdot \sum_i^n (x_i - P)^2 \quad (\text{IX.3})$$

- s^2 : Empirische Varianz = Mittlere quadratische Abweichung in %²
- n : Anzahl an Proben (ohne Einheit)
- x_i : Konzentration der Probe i in %
- P : Mischungszusammensetzung in %

Kleine Streuungen bedeuten geringe Abweichungen zwischen den einzelnen Proben, die an verschiedenen Stellen der Mischung gezogen wurden. In diesem Falle liegt also eine hohe Mischgüte vor, die durch eine geringe empirische Varianz gekennzeichnet wird.

Wenn die Mischungszusammensetzung P des Gemenges nicht bekannt ist, läßt die empirische Varianz s^2 sich auch mit dem empirischen Mittelwert \bar{x} berechnen:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_i^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (\text{IX.4})$$

- P : Mischungszusammensetzung in %
- s^2 : Empirische Varianz = Mittlere quadratische Abweichung in %²
- n : Anzahl an Proben (ohne Einheit)
- x_i : Konzentration der Probe i in %
- \bar{x} : Empirischer Mittelwert in %

Anmerkung: Da der empirische Mittelwert \bar{x} sich aus einer Anzahl n an Proben errechnet, darf zur Berechnung der Varianz nur noch durch $n-1$ dividiert werden.

Am häufigsten wird die **Standardabweichung** σ als Mischgüte verwendet. Diese errechnet [*Hemming*] sich aus der quadratischen Wurzel der empirischen Varianz:

$$\sigma = \sqrt{s^2} \quad (IX.5)$$

σ : Standardabweichung in %

s^2 : Empirische Varianz in %²

Die **Mischgüte** wird beispielsweise **durch** die **Standardabweichung** oder die **empirische Varianz gekennzeichnet**.

Daneben gibt es noch weitere Maße für die Mischgüte. Diese berechnen sich meistens aus der empirischen Varianz und weiteren Größen, wie z.B. der empirischen Varianz zu Versuchsbeginn oder der Mischungszusammensetzung.

2.2 Zeitliche Veränderung des Mischungszustandes

Während eines Mischvorganges verändert sich grundsätzlich die Mischgüte. Normalerweise befinden sich die Produkte zu Mischbeginn unvermischt oder ungenügend vermischt im Apparat.

Am Ende des Mischvorganges sollte die Mischung stochastisch ideal vermischt sein oder eine Mischgüte haben, die den Qualitätsanforderungen an das Produkt entspricht.

Die Zeit, die ein Apparat eingeschaltet sein muß, um ein bestimmte Mischgüte herzustellen, bezeichnet man als Mischzeit. Diese hängt natürlich grundsätzlich von der Mischgüte zu Beginn und der geforderten Mischgüte am Ende ab.

In diesem Zusammenhang muß darauf hingewiesen werden, daß sehr lange Mischzeiten oft zu schlechterem Mischen führen. Man spricht von Entmischungerscheinungen. Dies ist leicht vorstellbar, denkt man nur an ein Kartenspiel, bei dem abwechselnd die Farben schwarz und rot aufeinander liegen. Durch das Vermischen der Karten wird diese regelmäßige, ideal vermischte Ordnung zerstört.

Die Mischzeit, um die erforderte Mischgüte in einem Mischer zu erzielen, hängt zunächst von der Bauart des Mixers ab. Die benötigte Mischzeit ist ein Kriterium zur Beurteilung eines Mixers. Da der Faktor Zeit bei der verfahrenstechnischen Herstellung von Gütern eine wesentliche Rolle spielt, entscheidet die Mischzeit oft über den Einsatz dieses oder jenes Apparatetypes.

Betrachtet man Mischer für Feststoffe (Schüttgüter), so beeinflussen bei einer bestimmten Mischerbauart folgende Größen [*Scheuber*] die Mischzeit:

- Das Volumen des Mixers
- Der Füllungsgrad des Mixers
- Die Drehzahl der Mischwerkzeuge
- Die Teilchengröße und Teilchenform der Schüttgüter

Beim Mischen von Flüssigkeiten sind daneben die Viskositäten und Oberflächenspannungen der Flüssigkeiten von Bedeutung.

Neben der Mischzeit als Beurteilungskriterium eines Mixers spielt der spezifische Energieverbrauch ebenfalls eine Rolle. Der Energieverbrauch pro Mischervolumen ist nicht nur ein Kostenfaktor. Ein Teil dieser Energie wird in Bewegungsenergie umgesetzt, der Rest führt zu einer Erwärmung der Produkte.

Bei temperaturempfindlichen Stoffen (beispielsweise Lebensmittel oder Pharmazeutika) kann auch der spezifische Energieverbrauch über die Einsatzmöglichkeiten eines Mixers entscheiden.

3 Grundlagen beim Mischen

3.1 Feststoffmischen

Es gibt eine sehr große Anzahl an Mischertypen, bei denen durch Mischwerkzeuge mechanische Energie eingetragen wird. Man kann die unterschiedlichen Bauarten in vier Gruppen (Abb.IX-2) [*Kraft*] unterteilen:

- Knetmischer
- Schubmischer
- Wurfmischer
- Intensivmischer

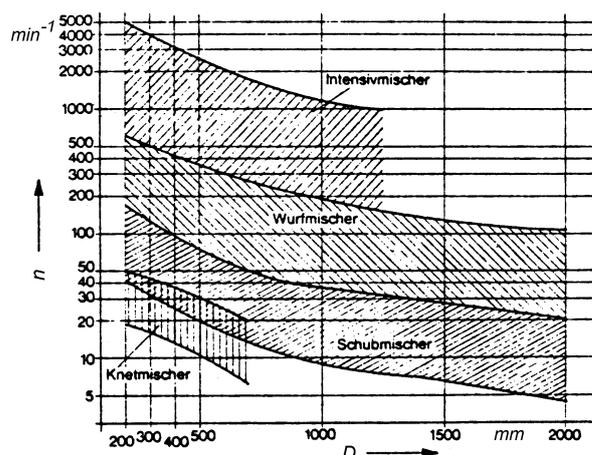


Abb.IX-2: Bauarten an Feststoffmischern

Die Mischertypen unterscheiden sich zunächst einmal durch die Drehzahlen, die in der angeschriebenen Reihenfolge von oben nach unten steigen. Zudem hängt die Drehzahl vom Durchmesser des Mixers ab. Mit

zunehmendem Durchmesser werden die Drehzahlen kleiner, weil die Umfangsgeschwindigkeiten mit dem Durchmesser steigen.

Knetmischer werden bei pastösen Produkten verwendet, Intensivmischer bei Flüssigkeiten.

Für Schüttgüter eignen sich dementsprechend Schubmischer und Wurfmischer [*Scheuber*]. Beide Bauarten sind universell einsetzbar. Sie haben eine Welle (in einzelnen Fällen zwei), die praktisch immer horizontal angeordnet ist. Auf dieser Welle sind die Mischwerkzeuge fixiert. Dies können Pflugscharen, Schaufeln, Flügel oder Paddeln sein. Die Bezeichnungen beschreiben dabei die Form der Mischwerkzeuge.

Schubmischer arbeiten bei kleinen Durchmessern (ca. 200 mm) mit Drehzahlen von 40 bis 170 Umdrehungen pro Minute.

Dem gegenüber drehen Wurfmischer gleicher Größe mit ca. 170 bis 670 Umdrehungen pro Minute.

Bedingt durch die höheren Drehzahlen wird bei den Wurfmischern erreicht, daß die Partikel des Schüttgutes regelrecht durch den Mischerraum geworfen werden. Die Formgebung der Mischwerkzeuge legt dabei fest, wie bzw. wohin die Partikel verteilt werden.

3.2 Probennahme

Um von einem Produkt die Mischungszusammensetzung und die Mischgüte festzustellen, müssen mehrere Proben aus dem Produkt entnommen und untersucht werden. Man sagt, daß man eine **Stichprobe zieht** oder nimmt.

Eine Stichprobe besteht somit aus einer Anzahl von mehreren Proben.

Die Größe der einzelnen Proben d.h. die Anzahl an Partikel, die entnommen werden, beeinflusst die Mischgüte. Die kleinstmögliche Probengröße wäre ein Partikel, womit sicher keine Mischungszusammensetzung festgestellt werden kann: im Beispiel eines Zweistoffgemisches würde das Partikel entweder zu der einen oder der anderen Komponente gehören.

Die größtmögliche Probe bestünde aus der gesamten Produktmenge, was in der Praxis meistens nicht möglich bzw. nicht sinnvoll wäre.

Die Probengröße muß daher so gewählt werden, daß sie zum einen groß genug ist, um für den Bereich, aus dem sie gezogen wurde, einen repräsentativen Wert für das Produkt zu geben.

Bedenkt man, daß das Produkt stark entmischt vorliegen kann, so muß die Probengröße zum anderen im Vergleich zur Gesamtanzahl der Partikel so klein bleiben, daß mehrere Proben gezogen werden können, ohne die Mischungszusammensetzung des Produktes zu verändern.

Die Anzahl der Proben innerhalb einer Stichprobe beeinflusst ebenfalls die Mischgüte. Je größer die Anzahl der Proben, desto wahrscheinlicher [*Wilke*] geben die gemessenen Ergebnisse die wirklichen Werte wieder.

Grundsätzlich sollten die einzelnen Proben alle gleich groß sein.

Desweiteren sollten die Proben rein zufällig aus dem Produkt gezogen werden. Werden zu verschiedenen Zeiten eines Mischvorganges Stichproben gezogen, sind die Proben jeweils in gleicher Weise an den gleichen Stellen zu entnehmen, um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten.

Bei der Probennahme sollte das Schüttgut möglichst nicht bewegt werden, damit sich der Mischungszustand nicht verändert.

3.3 Probenanalyse

Um einen Mischversuch sinnvoll auszuwerten, müssen die gezogenen Proben analysiert und ausgewertet werden.

Dies kann mit unterschiedlichen Verfahren erfolgen. Beispielsweise seien hier nur Zähl- und Wägeverfahren (bei denen die beiden Komponenten jeweils erst getrennt werden müssen) und optische Verfahren erwähnt.

Die Wahl des Meßverfahrens richtet sich nach dem Aufwand und der erforderlichen Genauigkeit der Ergebnisse.

4 Versuchsteil

4.1 Versuchsaufbau

4.1.1 Mischer

Bei dem Mischer (Abb.IX-3) handelt es sich um eine Einwellenmaschine mit horizontaler Mischerwelle und Schaufeln als Mischwerkzeugen.

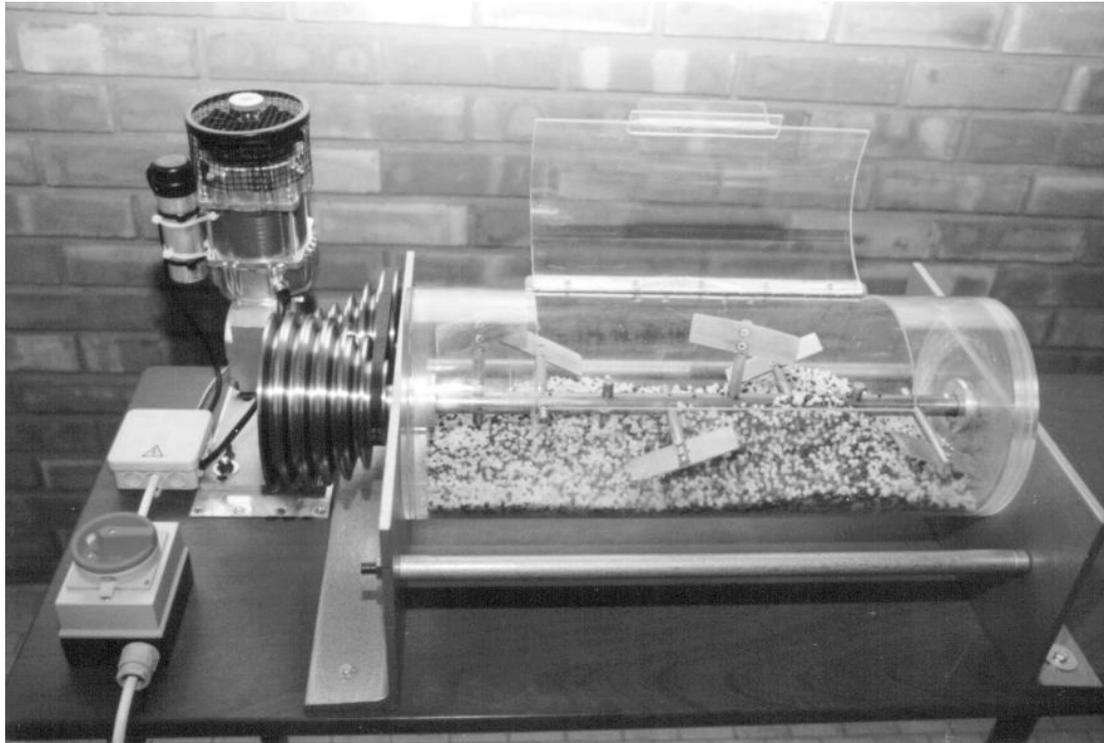


Abb.IX-3: Mischer

Er ist geeignet zum Mischen von Schüttgütern. Für die Versuche werden weiße und schwarze Kunststoffgranulate (Polyethen) verwendet.

Antriebsmotor und Mischer sind über ein einstufiges, verstellbares Keilriemengetriebe miteinander verbunden. Die Drehzahl der Mischerwelle wird mit Hilfe eines Satzes Keilriemenscheiben verstellt.

Die Wirkdurchmesser der einzelnen Keilriemenscheiben sind in der Tabelle (Abb.IX-4) eingetragen.

Antriebswelle: d_{w1} in mm	Mischerwelle: d_{w2} in mm
141,5	70,8
112,3	112,3
87,9	131,9
70,7	141,4
58,7	146,8
50,0	150,0

Abb.IX-4: Wirkdurchmesser der Keilriemenscheiben

4.1.2 Probennahme

Die Probennahme erfolgt mit Hilfe eines Probennehmers (Abb.IX-5). Dieser besteht aus einer äußeren Hülle und einem Innenteil mit dem Probenvolumen und einem Griff.

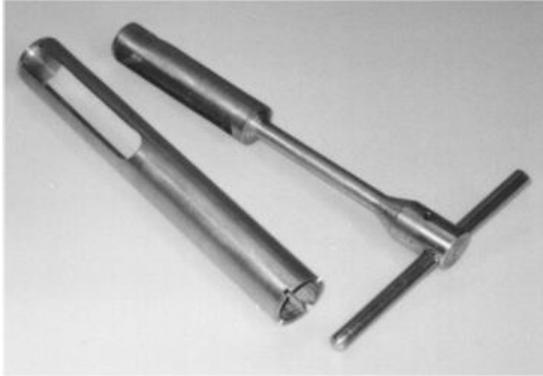


Abb.IX-5: Probennehmer

Der Probennehmer wird im zunächst verschlossenen Zustand in das Produkt eingestochen. Dann wird das Innenteil (Abb.IX-6) am Griff um 90° verdreht, so daß das Probenvolumen im Produkt geöffnet wird und eine definierte Menge an Schüttgut in den Probenstecher gelangt.

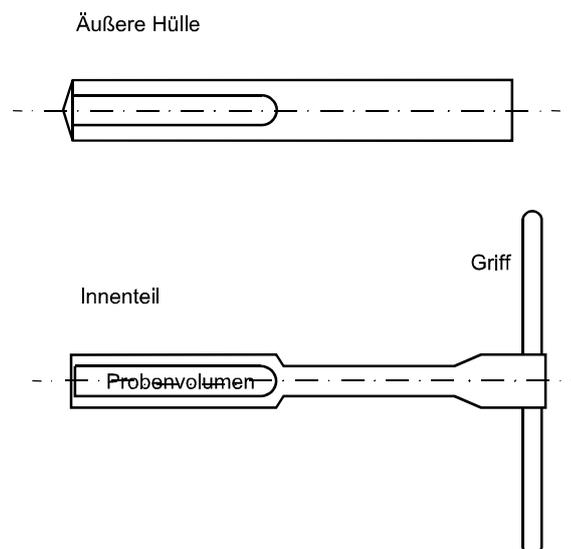


Abb.IX-6: Probennehmer

Anschließend wird der Griff wiederum um 90° gedreht, das Probenvolumen wird verschlossen und die Probe kann nicht mehr herausfallen.

Abschließend wird der Probennehmer aus dem Produkt herausgezogen.

4.2 Versuchsplanung

Bei einem Versuch soll die erreichte Mischgüte ermittelt werden. Die Versuche der einzelnen Gruppen sollen dabei mit unterschiedlichen Einstellungen durchgeführt werden.

- Welche Einflußgrößen lassen sich mit der vorhandenen Mischapparatur und den vorhandenen Granulaten verändern?

Besprecht Euren Versuch mit den anderen Gruppen. Die verschiedenen Versuche sollen sich durch Veränderung einer Einflußgröße unterscheiden. Legt Eure Parameter zur Durchführung des Versuches fest.

- Berechnet alle erforderlichen Größen, die Ihr zur Versuchsdurchführung braucht. Schreibt die Ergebnisse deutlich nieder.
- Überlegt Euch genau, wie Ihr bei der Versuchsdurchführung vorgehen werdet. Notiert die wichtigsten Schritte in kurzen Sätzen.
- Denkt bereits darüber nach, wie Ihr später den Versuch bewerten wollt.
- Bereitet Tabellen vor, in die Ihr während der Versuchsdurchführung die Meßwerte eintragt.
- Was braucht Ihr alles zur Versuchsdurchführung?

4.3 Rücksprache vor Versuchsbeginn

Besprecht den Versuch mit dem Lehrer.

Zeigt ihm die Ergebnisse Eurer Berechnungen und die geplante Vorgehensweise zur Versuchsdurchführung.

4.4 Versuchsdurchführung und -auswertung

Befüllung des Mixers

Der Mixer sollte so befüllt werden, daß die schwarzen und weißen Partikel in Längsachse des Apparates vollständig getrennt sind.

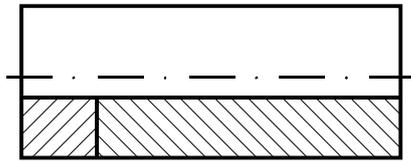


Abb.IX-7: Befüllung des Mixers

Dabei sollten, vor dem Mixer stehend von links aus betrachtet, zunächst (Abb.IX-7) die schwarzen Partikel im Mixer liegen, und dann die weißen.

Das Schüttvolumen der schwarzen Partikel beträgt 20 % des gesamten Schüttvolumens.

Beobachtungen

Beobachtet während der Versuchsdurchführung aufmerksam das Geschehen im Mixer.

- Wie bewegen sich die Partikel?
- Wie verändert sich die Mischgüte?
- Fallen Euch weitere Sachverhalte auf?

Notiert Euch, was Ihr seht. Die Beobachtung können bei der Bewertung des Versuches nützlich sein.

Auswerten der Proben

Das Schüttvolumen der Proben, die untersucht werden sollen, sollte immer gleich sein.

Die Proben werden mit dem gewählten Messverfahren analysiert.

4.5 Bewertung der Versuche

Seid Ihr mit dem Ergebnis Eurer Arbeit zufrieden?

Beantwortet die folgenden Fragen schriftlich:

- Wie könnt Ihr die Qualität des Mischvorganges beurteilen?
Was ergibt diese Beurteilung für Eure Messungen?
- Welche Faktoren konnten zu falschen Ergebnissen führen?
- Versuchskritik und Verbesserungsvorschläge!



5 Was war wichtig?

- Wie groß ist die Mischgüte bei einem ideal vermischten Zwei-Komponenten-Gemisch?
- Wie verändert sich die Mischgüte bei höheren Füllgraden bzw. bei höheren Drehzahlen?
- Wie kann man den Energiebedarf des Mixers beeinflussen und welche Folgen hat das?

6 Formelzeichen

Symbol	Bezeichnung	Einheit
D	Durchmesser	m
d_w	Wirkdurchmesser einer Keilriemenscheibe	m
E	Energie	J
L	Länge	m
n	Anzahl an Proben	-
N	Drehzahl	1/min
m_{SG}	Masse an Schüttgut	kg
P	Mischungszusammensetzung	%
P_{el}	Elektrische Leistung	W
s^2	Empirische Varianz = Mittlere quadratische Abweichung	% ²
t	Zeit	s
V	Volumen	m ³
$V_{s,SG}$	Schüttvolumen	m ³
\bar{x}	Empirischer Mittelwert	%
x_i	Konzentration der Probe I	%
z	Anzahl an Proben	%
φ	Füllungsgrad	-
σ	Standardabweichung	%

7 Literaturverzeichnis

- [*Hemming*] Hemming, Werner:
Verfahrenstechnik
Komprath-Reihe
Vogel Fachbuch
ISBN 3-8023-0084-X
- [*Kraft*] Kraft, H.:
Feststoffmischer
Verfahrenstechnik
Heft 3 (1969) Seiten 8 und 9
- [*Scheuber*] Scheuber, G.:
Wurfmischer
Technische Mitteilungen
77. Jahrgang. Heft 12. Dezember 1984
- [*Stieß2*] Stieß, Matthias:
Mechanische Verfahrenstechnik 2
Springer-Verlag
ISBN 3-540-55852-7
- [*TPLab*] Praktikumsversuch II:
Laborkugelmühle
- [*TPSieb*] Praktikumsversuch IV:
Siebanalyse
- [*Wilke*] Wilke, Hans-Peter; Buhse, Ralf und Groß, Klaus:
Mischer
Vulkan-Verlag. Essen - 1991
ISBN 3-8027-2160-8