

FORSCHUNGSBERICHTE DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN

Nr. 1655

Herausgegeben

im Auftrage des Ministerpräsidenten Dr. Franz Meyers

vom Landesamt für Forschung, Düsseldorf

*Baudirektor Dipl.-Ing. Waldemar Gesell*

*Staatliche Ingenieurschule für Maschinenwesen, Bochum*

## Beitrag zur Untersuchung von Formsandmischern



**SPRINGER FACHMEDIEN WIESBADEN GMBH**

ISBN 978-3-663-06211-0 ISBN 978-3-663-07124-2 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-663-07124-2

Verlags-Nr. 011655

© 1966 by Springer Fachmedien Wiesbaden

Ursprünglich erschienen bei Westdeutscher Verlag, Köln und Opladen 1966

## Vorwort

### *Der Berichtler dankt*

dem Lande Nordrhein-Westfalen

für die zur Verfügung gestellten Mittel. Diese nur erlaubten es, die hier vorzulegenden Ergebnisse auf dem Gebiet des Mischens von Formsanden zu erarbeiten.

den Herren Gutachtern des Beratungsausschusses

für das erwiesene Vertrauen in den Erfolg der beabsichtigten Arbeit.

den Firmen

Westdeutsche Quarzwerke GmbH, Köln,

F. RASCHE, Duisburg,

Ullrich & Roser, Stuttgart-Bad Cannstatt

und einer größeren Anzahl weiterer Unternehmen der Gießerei-, Roh- und Hilfsstoff-Industrie für das Versuchsmaterial, das sie zum Teil kostenlos zur Verfügung stellten.

seinen vorgesetzten Behörden

für das Wohlwollen, das sie der Durchführung solcher Arbeiten entgegenbringen.

Nicht zuletzt aber gilt der Dank des Berichters seinen Mitarbeitern, den Herren Gießerei-Ingenieuren KIECKER, KINDERMANN und DIETRICH, die in eifriger und sorgfältiger Kleinarbeit für die Durchführung der Versuche verantwortlich waren. Die Auswertung erfolgte weitgehend durch Herrn KIECKER.

Ausgang der Untersuchungen war die Notwendigkeit, das Teilgebiet Mischen des Faches Gießereimaschinen in der Abteilung Gießereitechnik der Staatlichen Ingenieurschule Duisburg ingenieurmäßig zu unterrichten. Wie auf allen Gebieten des Gießereimaschinenwesens sind grundlegende theoretische Arbeiten nur in geringem Umfange vorhanden. Daher müssen die Erkenntnisse weitgehend in den Übungen dieses Faches mit erarbeitet werden. Das ingenieurmäßige Arbeiten im Rahmen der Ausbildung an den Ingenieurschulen des Landes Nordrhein-Westfalen bietet die Möglichkeit, Teilfragen zu ergründen und richtungweisende Einzeluntersuchungen durchzuführen. Somit baut die vorgelegte Arbeit in großem Umfange auf den Ergebnissen des ingenieurmäßigen Arbeitens in den Übungen zum Fach Gießereimaschinen mit auf.

WALDEMAR GESELL

# Inhalt

Vorwort .....	7
1. Das Mischen als verfahrenstechnische Aufgabe der Gießerei .....	9
1.1 Mischen, ein Grundarbeitsverfahren der Sandgießerei .....	9
1.2 Gießereipraxis und Theorie des Mischens .....	10
1.3 Theorie von A. RODEHÜSER über das Mischen von Formsanden ..	11
2. Das Mischen allgemein und die Bauausführung der Mischer .....	14
2.1 Erkenntnisse von C. H. FISCHER [8] .....	14
2.2 Prinzipien der einzelnen Mischmethoden .....	16
2.3 Abriß der Geschichte des Mischens von Formsanden .....	24
2.4 Beitrag zur Geschichte der Formsandmischer .....	32
3. Die bisherigen Versuchsergebnisse über das Mischen .....	54
3.1 Auswahl und Gliederung der Versuche .....	54
3.2 Ältere Mischversuche .....	56
3.3 Neuere Mischerversuche .....	67
3.3.1 Betriebsbeobachtungen und Untersuchungen von H. DERLON und C. RAUH [57] .....	67
3.3.2 Gleichverteilung und »Knetwirkung« und daraus abgeleitete polnische Mischerbeurteilungen .....	69
3.3.3 Mischverfahrenstechnik (Komponentenreihenfolge) und radio- aktiver Indikator beim Messen der Gleichverteilung .....	79
3.3.4 Maschinentechnische Einflüsse auf die Mischgüte und der Einfluß der Bindereigenschaften auf die maschinentechnischen Kennwerte der Mischer .....	82
3.3.5 Vergleichsversuche an jeweils zwei Mischern .....	88
3.3.6 »Aufbereitungshärte«, Aufbau der Tonhülle und »Zweistufen- aufbereitung« nach W. PATTERON und D. BOENISCH [74] .....	91
3.3.7 Sedimentationsversuche an Bentonit nach F. HOFMANN [85] ....	97
3.3.8 Wahrscheinlichkeitstheorie und Ähnlichkeitstransformation bei Mischern .....	98
3.3.9 Reibkräfte unter Kollerwalzen und Leistungsberechnung bei Wechselmischern mit Scharblechen und Walzen .....	100

4. Die eigenen Mischerversuche .....	104
4.1 Mischerversuche [59] zum 23. Internationalen Gießereikongreß 1956 .....	104
4.2 Vergleichsversuche .....	110
4.2.1 Parallelversuche an zwei Tellermischern .....	110
4.2.1.1 Versuchsprogramm und -Durchführung .....	110
4.2.1.2 Versuchsergebnisse an zwei Tellermischern .....	114
4.2.2 Mischerauswahl für CO <sub>2</sub> -Sande .....	121
4.2.2.1 Versuchsprogramm und -Durchführung .....	121
4.2.2.2 Versuchsergebnisse bei der Auswahl von CO <sub>2</sub> -Mischern .....	125
4.3 Beitrag zur Mischverfahrenstechnik .....	129
4.3.1 Reihenfolge der Komponentenaufgabe .....	129
4.3.2 Mischaufbereiten bei tonfreien Formsanden .....	132
4.4 Prüftechnik der Langzeitversuche .....	135
4.4.1 Versuchsprogramm .....	135
4.4.2 Vorbereitung der Versuche .....	137
4.4.3 Ergebnisse der Versuchsreihen .....	139
4.5 Vergleich von Bottichmischern unterschiedlicher Baugröße ....	142
4.6 Zusammenhänge zwischen Sand- und Mischkennwerten .....	149
4.6.1 Versuchsprogramm und -Durchführung .....	149
4.6.2 Versuchsergebnisse .....	155
4.6.2.1 Druckfestigkeit .....	155
4.6.2.2 Gleichverteilung .....	157
4.6.2.3 Leistungsaufnahme .....	157
4.6.2.4 Ummantelung .....	158
4.6.2.5 Gegenüberstellung der Meßwerte .....	159
4.6.2.6 Spezifische Mischarbeit .....	163
4.7 Versuche zur Analyse des Aufbereitungsvorganges .....	167
4.7.1 Versuchsdurchführung .....	167
4.7.2 Herstellen der Gleichverteilung .....	168
4.7.3 Herstellen der »Formfähigkeit« .....	169
5. Zum Entwurf eines Versuchskollerganges .....	174
6. Schlußbetrachtung .....	178
Literaturverzeichnis .....	181

# 1. Das Mischen als verfahrenstechnische Aufgabe der Gießerei

## 1.1 Mischen, ein Grundarbeitsverfahren der Sandgießerei

In der Regel steht die Formerei einer Sandgießerei vor den Augen der Diskutierenden, wenn allgemein über die Gießereitechnik gesprochen wird. Dies ist verständlich, denn sie ist die Abteilung, die in der Sandgießerei beim Arbeiten mit verlorenen (Sand)-Formen besonders hervortritt, zumal das Arbeiten mit Dauerformen, vornehmlich das Druck-, Kokillen- und Schleudergießen, nicht so umfassend bekannt ist. Somit sieht auch der Nicht-Gießereimann als eine der wichtigsten Aufgaben der Gießerei das Herstellen dieses Gebrauchssandes an, was mit »Sandaufbereiten« bezeichnet wird.

Noch deutlicher aber wird die Bedeutung des Sandaufbereitens, wenn man bedenkt, daß zum Herstellen einer Tonne guten Gußes im Mittel 15 Tonnen Formsand benötigt werden, wie es jüngste Ermittlungen [1] ausweisen. Die hier üblich genannte Menge beträgt 5 Tonnen je Tonne guten Gusses [2]. Jedoch wird die anfangs angeführte Zahl heute bei Planungen von Sandaufbereitungen für mittleren Guß zugrunde gelegt. Allein diese riesige Menge an Hilfsstoff führt bindend dazu, das einmal gebrauchte Hilfsmaterial wiederzuverwenden.

Durch das Abgießen aber hat der leicht feuchte Sand meist seine Bildsamkeit voll verloren, so daß er wenigstens neu mit Wasser gemischt werden muß, um den Altsand wiederverwenden zu können. In der Regel wird außerdem ein gewisser Kornanteil durch die Gießtemperatur zersprengt und Binder totgebrannt, so daß auch eine Zugabe neuer Sandanteile und Bindermengen nötig wird. Somit ergibt sich als Grundaufgabe, ohne genauer auf Einzelheiten des erforderlichen Aufbereitens einzugehen, dem Altsand Neusand, Binder und Wasser zuzumischen, um ihn wiederverwenden zu können.

Wenn man zwar den Beginn des Formens in grünem Sand recht genau festlegen kann [3], so geht doch an keiner Stelle hervor, wann wohl erstmalig nicht nur mit Neusand gearbeitet wurde, also die oben beschriebene Technik des Wiederaufbereitens eingeführt worden ist. Sie ist aber in der Mitte des vorigen Jahrhunderts schon üblich, so daß sie als Grundarbeitsweise der heutigen Aufbereitungstechnik anzusprechen ist. Das Mischen aber der verschiedenen Grundstoffe für einen Gebrauchssand wird schon von VACUCCIO BIRINGUCCIO [4] beschrieben, der wohl erstmalig auf das Arbeiten in grünem Sand verweist, als er um 1540 die Gießereitechnik seiner Zeit im italienischen Raum beschreibt. Eindeutig ist aus seinen Darstellungen die Parallele mit dem Teigkneten oder mit der Töpferarbeit abzuleiten, so daß sich für die hier aufzuzeigenden Probleme die Verbindung zur Teigwarenindustrie und zu der der Steine und Töpferwaren ergibt. Das Mischen also kann sicher für den Bereich der Sandgießerei mit als eine der Grundarbeitstechniken, nämlich dem Herstellen eines gebrauchsfähigen Formsandes, angesprochen werden.

## 1.2 Gießereipraxis und Theorie des Mischens

Erkennt man an, daß ein mit »Mischen« von der Praxis umschriebenes Arbeitsverfahren als Grundtechnik des Aufbereitens von Formsand zu betrachten ist, so wäre daraus auch zu folgern, daß für die Beurteilung des Aufbereitens auch Zusammenhänge zwischen der guten Mischwirkung einerseits und den erforderlichen technologischen Kennwerten eines Formsandes andererseits hergestellt wurden. Dies ist wohl bisher praktisch noch nie in Erwägung gezogen worden.

Der Betrieb interessiert sich bei der Abnahme von neuen Mixchern oder bei der laufenden Betriebskontrolle nur dafür, ob der erstellte Sand seinen Bedürfnissen entspricht. Vom Betriebswirtschaftlichen her sollen Energiebedarf und Mischdauer möglichst niedrig liegen. Somit werden zur Beurteilung von Mixchern, oder damit auch des Mischens, Sandkennlinien über die Mischdauer aufgenommen, wofür Abb. 1 ein Beispiel gibt. Dabei werden die »klassischen Sandkennwerte«, also Gründruckfestigkeit, Scherfestigkeit und Gasdurchlässigkeit, in der Regel ermittelt. Da der Betrieb beim Neueinsatz eines Mixchers meist seinen alten Sand im Betrieb beibehält, geben die ermittelten Kennwerte auf Grund der betrieblichen Erfahrung mit diesem Sand sicher einen Hinweis, wie gut der neue Mischer im Vergleich zur früheren Arbeitsweise ist.

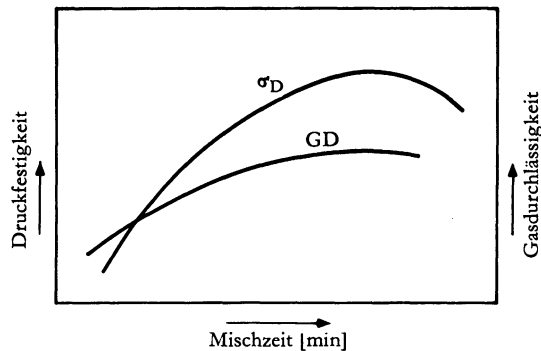


Abb. 1 Mischerkennlinien  
(Sandkennwerte als Funktion der Mischzeit)

Etwa der gleiche Weg wird beschritten, wenn aus der Vielzahl der Angebote ein neu zu beschaffender Mischer auszuwählen ist. Man stellt dann die Forderung, daß der zu beschaffende Mischer in einer betrieblich erforderlichen Zeit bei einem Sand vorgeschriebener Zusammensetzung bestimmte Werte für die Druck- und Scherfestigkeit überschreiten und einen festgelegten Wert der Gasdurchlässigkeit nicht unterschreiten soll. Zweckmäßig ist dann auch hier, den Probelauf nicht nur für die gewünschte Mischzeit abzustellen, sondern auch eine Sandcharakteristik über die Mischzeit aufzunehmen, weil dann die Diskussion über die Güte des zu beurteilenden Mixchers erfolgreicher verläuft.



Zur Untersuchung wird meist eine Probemenge des betriebseigenen Sandes zu den verschiedenen Mischern gebracht, um dort die Mischerkennlinien für den vorgesehenen Sand aufzunehmen. Liegen die ermittelten Kennwerte bei der vorgesehenen Versuchszeit günstiger als die gewünschten Werte, so läßt sich aus der Kennlinie ablesen, welche Mischzeit eingespart werden kann, um die dem Betrieb vorschwebenden Werte trotzdem zu garantieren. Daraus ergibt sich dann also ein betriebswirtschaftlicher Vorteil zugunsten des untersuchten Mixers, was sich durch kürzere Satzzeiten bei Chargenmischern bemerkbar macht. Die grundsätzliche Entscheidung über die Eignung des Mixers war bereits dadurch gefallen, daß der Mixer in der gewünschten Zeit die Gruppe der Sandkennwerte mit Sicherheit liefert. Andererseits kann der Betriebsmann auf Grund seiner Erfahrung mit dem vorliegenden Sand abschätzen, welche Mengen Binder er z. B. einsparen könnte, um bei gleicher Mischzeit zu seinen niedriger liegenden Kennwerten zu kommen. Somit ist es wohl auch erklärlich, daß der Betrieb sich mit dieser Diskussion der Mischerwirkung zufriedengibt.

Die betrieblichen Erfahrungen wenigstens der letzten 40 Jahre haben gezeigt, daß ein Sandaufbereiten mit Maschinen, die allgemein als Mixer bezeichnet werden, zu einem besseren Formsand führt. Dabei ist besonders bei tonigen Formsanden die Güte größer, wenn dabei Maschinen eingesetzt werden, die in anderen Fertigungen knetende Aufgaben übernehmen. Die Formsandprüfung, die etwa im gleichen Zeitabschnitt sich einführt und ihre Berechtigung unter Beweis stellte, liefert Kennwerte, die die Gebrauchsfähigkeit des Sandes überwachen helfen. Somit setzt der Betriebsmann beim Aufbereiten von Formsand das »Mischen« als Tatsache voraus. Er weiß, daß bei fetteren (tonreicheren) Sanden die knetende Wirkung der Mixer die Güte des Sandes wesentlich steigert und spricht in gleicher Weise von der Notwendigkeit, das Quarzkorn des Formsandes gut mit dem Binder zu ummanteln. Hierfür wird eine verreibende Wirkung der Mixer überwiegend verantwortlich gemacht. Jedoch nimmt er als Kriterium der Wirkung nicht die eigentliche Mischgüte (oder Gleichverteilung) und die Ummantelung, sondern mißt die ihm dienlichen und vertrauten Werte der Formsandprüfung. Dabei aber bleibt ungeklärt, ob eben eine Parallelität zwischen den eigentlichen Kennwerten eines Mixers – also der Gleichverteilung – und den Sandkennwerten anzunehmen ist. Im Grunde untersucht der Gießereimann nicht Kennwerte der Mixer, sondern eine komplexe Größe »Güte des Formsandes«. Diese ist für den Betrieb erforderlich und darf auch bei allen Grundlagen-Überlegungen letztlich nicht aus dem Auge verloren werden.

### 1.3 Theorie von A. RODEHÜSER über das Mischen von Formsanden

Will man aber klären, in welcher Weise die »Güte eines Formsandes« zu verbessern ist, soll also die Wirkung der Aufbereitungsmaschinen auf die Güte des Formsandes untersucht werden, so muß man zu einer Analyse der Mischwirkung kommen. Für die Forschung auf dem Gebiete der Formsande selbst, aber eist

recht zur Maschinenbeurteilung und -entwicklung – also für den Gießereimaschinenmann –, wird es nötig zu wissen, welche Vorgänge dem Sand seine »Güte« verleihen, und welche Maschinenwirkungen diesen »Mechanismus der Güte« beeinflussen.

Somit ist es nicht verwunderlich, daß wiederum, wie bei anderen Problemen der Gießereimaschinenteknik, aus dem Hause der Badischen Maschinenfabrik und dabei gleichfalls aus der Feder von A. RODEHÜSER [5] die allgemein verbreitete Auffassung über die Vorgänge beim Mischen stammt. A. RODEHÜSER hat durch seine Forschungen um 1930 die Vorstellungen über das Arbeiten von Gießereimaschinen sehr stark beeinflußt [6]. So klingt in der Praxisauffassung auch die Ansicht von RODEHÜSER über den Mischvorgang stets an und ist auch in der Zusammenfassung im vorhergehenden Abschnitt mit enthalten.

RODEHÜSER unterscheidet zwei Aufgaben beim Formsandmischen, das Herstellen eines möglichst hohen Mischungsgrades (große Gleichverteilung der Komponenten) und das Erzeugen der eigentlichen Formfähigkeit durch Kneten und Verreiben.

Unter einer Verbesserung des Mischungsgrades soll danach verstanden werden, daß mit zunehmendem Aufbereiten die Probemenge immer kleiner wird, in der das Verhältnis der Soll-Aufgabemengen noch nachgewiesen werden kann.

Es ist einleuchtend und durchaus denkbar, daß ein loses Nebeneinanderliegen der einzelnen Sandkomponenten noch keinen gebrauchsfähigen Sand ergibt, zumal um 1932 noch weitgehend mit Natursand gearbeitet wurde. Auch RODEHÜSER denkt bei seinen Erörterungen überwiegend an Natursand. Somit muß er vornehmlich den Wasserverlust des Altsandes ersetzen und diesen Wasseranteil an alle trockenen Sandteilchen heranbringen. Wasser aber in trockenem Sand führt dazu, daß sich aus jedem Wassertröpfchen ein Kügelchen oder Knöllchen besonders der Feianteile bildet. Diese Knöllchen müssen zerteilt werden, was weitgehend nur durch Zerdrücken, Quetschen und besonders gut durch Zerreiben möglich ist. Somit erklärt sich, daß RODEHÜSER das Herstellen der Formfähigkeit mit einer knetenden und verreibenden Wirkung der Mischorgane verbindet, ohne aber über den Vorgang des »Aufschließens«, wie er es an anderer Stelle der angezogenen Quelle nennt, eine Beschreibung zu liefern. Jedoch stellt er ein *Idealgefüge* des Sandes heraus, bei dem

»auf jedes Quarzkorn – könnte man es für sich allein analysieren – die gleichen Ton-, Kohle- und Wassermengen entfallen, wie es das Mischungsverhältnis einer größeren Volumeneinheit angibt. Ton, Kohle und Wasser bilden eine homogene Paste, die das Quarzkorn mit einer gleichmäßigen Hülle überzieht.«

Hierzu führt er dann weiter aus, daß dieser Idealzustand bei Natursanden nur schwer, bei synthetischen, tongebundenen Sanden schon eher zu erreichen ist.

Abschließend zur Frage eines guten Aufbereitens, auch wenn es nicht zum Mischen direkt gehört, weist er dann noch auf die Zweckmäßigkeit hin, tonige Sande vor dem Gebrauch aufzulockern, sie also zu schleudern [7]. Durch die knetende Bearbeitung des Sandes unter den Läufern des Kollerganges wird der

Formsand plattenartig zusammengequetscht. Dieser Zustand soll durch das Schleudern wieder aufgehoben werden, derart, daß

»jedes Quarzkorn, umhüllt von einer Tonschicht, für sich selbst besteht und nicht mehr fest mit dem Nachbarkorn verbunden ist. Ein derartig aufbereiteter Sand ist »luftig« und fühlt sich samtweich an. In der Hand läßt er sich zu einem überraschend kleinen Volumen zusammendrücken.«

Wohl aus diesen Erkenntnissen bildet sich die heute allgemein vertretene Ansicht, daß alle Formsande durch das Mischen eine hohe Gleichverteilung erhalten sollen. Bei tonigen Sanden muß danach als zweites dann das Ummanteln der Quarzkörner durchgeführt werden, was vornehmlich durch Kneten und Verreiben zu erreichen sei.

Jedoch konnte keine Methode in der Literatur ausgewiesen werden, mit der sich der »Mischungsgrad« obiger Definition beim Sandaufbereiten bestimmen läßt. Auch für den Nachweis des Fortschritts der Ummantelung in Verbindung mit dem Mischen waren Hinweise nicht zu finden. Für die auflockernde Wirkung des Schleuderns jedoch führt RODEHÜSER [7] an, daß das Raumgewicht als Maß der Wirkung (der Schleudern) angesetzt werden kann. Je niedriger das erreichte Raumgewicht, desto größer ist die auflockernde Wirkung dieser Schleuder im Vergleich zu einer anderen, bei der das erreichte Raumgewicht bei gleichem Sand höher liegt.

## 2. Das Mischen allgemein und die Bauausführung der Mischer

### 2.1 Erkenntnisse von H. FISCHER [8]

Die älteste, zusammenfassende Darstellung über das Mischen gibt H. C. HERMANN FISCHER in seinem Buch »Mischen, Rühren, Kneten und die dazu verwendeten Maschinen«. Die letzte Ausgabe dieses Buches stammt wohl aus dem Jahre 1923. Viele Grundsätze seiner Arbeit dienen auch für den vorliegenden Bericht als Grundlage. Sie gaben weitgehend Anregung zur Weiterentwicklung, zumal die Aufgabenstellung dieses Berichtes eigentlich weniger den Mischvorgang selbst analysieren wollte, sondern mehr ein Verfahren sucht, um Aussagen über die beim Mischen verwendeten Maschinen machen zu können. Für diese Problemstellung weisen die Erkenntnisse von H. C. H. FISCHER gleichfalls einen Weg. So analysiert er z. B. die einzelnen Bauelemente der Mischorgane und ihre Wirkung. Dabei ordnet er weitgehend ein bestimmtes Bauelement einem der drei Mischverfahren zu. Er stellt somit eine Lehre über die Maschinen-Elemente der Mischorgane auf. Diesen Weg weiter zu beschreiten, erscheint zweckmäßig, denn hierdurch lassen sich sicher wesentliche Erkenntnisse über den Bau und die Wirkung der Mischer erarbeiten. Das Aufzeigen der Maschinen-Elemente nämlich ist für eine forschende Untersuchung schon der erste Schritt zu einer Beurteilung von Einflußfaktoren, hier der baulichen Merkmale.

Grundlage seiner Ausführungen ist die Einteilung der Mischvorgänge in

*Rühren, Mischen, Kneten,*

ohne daß er einen übergeordneten Sammelbegriff findet oder selbst prägt. Somit spricht er vom Mischen (allgemein), wenn er alle drei Vorgänge meint, aber auch dann vom Mischen, wenn er die zweite Stufe allein kennzeichnen will. Es erscheint daher angebracht, als Oberbegriff vom

*Mischen*

zu sprechen, wenn die Gesamtverfahrenstechnik zu betrachten ist. Daher ist für die zweite Stufe ein spezielles Wort zu finden. Hierfür wird vorgeschlagen und nachfolgend weiter als speziellen Begriff

*Mengen*

verwendet, da er weitgehend für diese Art des Mischens gleichfalls gebräuchlich ist. Somit sollen mit den Definitionen von H. C. FISCHER die Begriffe

*Rühren, Mengen, Kneten*

zur Kennzeichnung der Teilverfahren des Mischens verwendet werden.

Das *Mischen* [9], als übergeordnete Kennzeichnung, hat die Aufgabe, aus verschiedenen Einzelstoffen ein Gemisch mit besonderen Eigenschaften zu erzeugen. Dabei soll eine möglichst weitgehende Gleichverteilung der Komponenten erreicht werden, so daß bei einem vollkommenen Gemisch auch in der kleinsten Raummenge die Anteile der einzelnen Komponenten im Aufgabeverhältnis vorliegen.

Aus dieser Definition ist abzuleiten, daß keine zusätzlichen Forderungen an das Gemisch gestellt werden. Somit kann man davon ausgehen, daß beim Mischen die einzelnen Komponenten nur in richtiger Verteilung nebeneinander zu liegen brauchen. Für das »Mischen von Formsanden« ist daraus zu entnehmen, daß die am Ende dieses Aufbereitungsvorganges gewünschten Eigenschaften des Sandes nicht allein durch den hier definierten Vorgang *Mischen* zu erreichen sind.

Das *Rühren* kennzeichnet das Mischen vorwiegend flüssiger Stoffe, auch wenn geringe Mengen fester Bestandteile beizumischen sind. Aber auch das Mischen der Phasenkombination flüssig-gasförmig zählt hierzu. Es soll dabei ein flüssiges Endprodukt entstehen, wie es in grobdispersen Mischungen, Suspensionen, Emulsionen, kolloidalen Lösungen u. ä. vorliegt. Dabei soll dieser Ausdruck sowohl das Durchziehen von Stäben pp. (Rührarmen) durch die Flüssigkeit kennzeichnen wie die oft mit Quirlen bezeichnete Verfahrenstechnik.

Für die Gießereitechnik tritt das Rühren nur beim Herstellen von Schwärzen und Schlichten auf, soweit es die Sandaufbereitung betrifft. Für das eigentliche Herstellen von Gebrauchssanden kommt es nicht zum Einsatz und soll daher bei den nachfolgenden Betrachtungen praktisch nicht mehr berührt werden.

Als *Mengen* wird das Mischen von festen, vorwiegend trockenen und rieselfähigen Stoffen bezeichnet, gelegentlich auch mit geringem Feuchtigkeitsgehalt oder bei Zugabe geringer Mengen von Flüssigkeiten. Beim Aufbereiten der Formsande tritt das Mengen beim Herstellen von Croningsanden auf, wobei z. B. trockene Kunstharze mit Quarzsand gemischt werden.

Das *Kneten* ist nach den Definitionen von H. C. H. FISCHER das Mischen zäher, sämiger Stoffe. Das Fließvermögen des herzustellenden Endproduktes ist sehr gering, in der Regel auch das der Einzelkomponenten. Im Sinne der Grunddefinition aber will das Mischen in der Form des Knetens auch nur die Gleichverteilung der Komponenten erreichen. Auch hier sind weitere Forderungen an das geknetete Gut nicht zu stellen. Somit kann die Auffassung von RODEHÜSER über das »Aufbereiten von Formsand durch Kneten« nicht mit der hier durch H. C. H. FISCHER gegebenen Definition des Knetens gleichgesetzt werden. Diese Unterschiede in der Auffassung erscheinen sehr wichtig, da von der Darstellung von RODEHÜSER sich gewisse Anschauungen der Praxis ableiten. Sie haben die Erkenntnisse über das Aufbereiten vielleicht in eine bestimmte Richtung gelenkt, die nur schwer neue Wege für das Aufbereiten von Formsand zulassen.

Nach den Definitionen von H. C. H. FISCHER liegt das Aufbereiten von Formsanden – speziell dabei aber das der tongebundenen Sande – von der Beschaffenheit der zu mischenden Stoffe her zwischen dem Mengen und dem Kneten. Von der notwendigen Wirkung her aber wird das Aufbereiten wohl bei der überwiegenden Zahl der Sandarten nicht allein durch das Mischen zu erzielen sein. Denn es

ist nochmals festzustellen, daß alle Arten des Mischens die Gleichverteilung der Komponenten erzielen sollen. Aber das Erreichen einer weitgehenden Gleichverteilung ist nicht allein Aufgabe des Aufbereitens eines Formsandes. Ob diese weiteren Aufgaben mit »Ummanteln« abschließend beschrieben werden können, läßt sich bisher noch nicht endgültig festlegen.

## 2.2 Prinzipien der einzelnen Mischmethoden

Aus den im vorigen Abschnitt wiedergegebenen Definitionen der einzelnen Verfahren des Mischens lassen sich Grundsätze ableiten, aus denen Aussagen über den Ablauf des jeweiligen Mischvorganges abzulesen sind.

Jedes Mischen erreicht die erwünschte Gleichverteilung der Komponenten durch einen möglichst häufigen Ortswechsel der Teilchen. Dabei sollte dieser in allen drei Dimensionen vorgenommen werden können. Somit dienen zum Mischen alle Verfahren und Einrichtungen, die einen Ortswechsel des in dem Gerät vorhandenen Gutes bewirken. Dieser Ortswechsel setzt stets einen gewissen Zwang voraus, da Lagenänderungen schon nach den Gesetzen der Mechanik nur durch eine Kraftwirkung verursacht werden können. Diese Krafteinwirkung wird um so stärker sein müssen, je größer der Zusammenhalt der Teilchen einer Komponente oder der Komponenten untereinander ist. Somit ergibt sich auch auf Grund dieser Kennzeichnung die Möglichkeit, die drei verschiedenen Methoden des Mischens zu charakterisieren.

Beim *Rühren* wird das Umlagern der Teilchen, also der Ortswechsel, so vorgenommen, daß der Zusammenhalt der Gesamtmasse praktisch nie unterbrochen wird. Die Einzelteilchen legen dabei nur einen kleineren Weg gegeneinander zurück. Die Geschwindigkeit der Ortsänderung ist relativ hoch. Der Widerstand gegen das Verschieben ist klein, was durch die geringe Zähigkeit der Stoffe bedingt ist, also durch die geringe Haftung aneinander. Der Energieaufwand ist bei dieser Art des Mischens am niedrigsten.

Beim *Mengen* wird im Gegensatz dazu der Zusammenhalt der Gesamtmasse meist unterbrochen. Die Teilchen legen einen wesentlich größeren Weg beim Ortswechsel zurück oder könnten dies bei geeigneter Ausbildung der Mischorgane tun. Die Geschwindigkeit des Ortswechsels ist nicht sehr entscheidend, liegt meist jedoch in einem höheren Bereich, da jeweils kleine Wurfbewegungen zu erzeugen sind. Durch diese Art den Ortswechsel zu erzeugen und durch die höhere Reibung der Teilchen aneinander, ist ein größerer Energieaufwand als beim Rühren erforderlich. Das Mengen kann leicht in ein Rühren übergehen, wenn die zu mischenden Stoffe sehr trocken, die Korngrößen jeweils klein sind, und sich in den einzelnen Komponenten nicht sehr unterscheiden. Besonders deutlich wird diese Überlappung, wenn pulverförmige Stoffe zu mischen sind.

Beim *Kneten* wird gleichfalls der Zusammenhang der Gesamtmasse nicht unterbrochen. Die Geschwindigkeit des Ortswechsels ist klein wie auch der jeweils zurückgelegte Weg der Teilchen. Der innere Widerstand der Masse, ob in den Einzelkomponenten oder später auch nur bei der Gesamtmasse, ist am größten.

Der erforderliche Energieaufwand liegt am höchsten. Praktisch tritt der Mischvorgang nur unter oder in unmittelbarer Nähe eines zwangsläufig bewegten und eine Druckkraft ausübenden Mischorgans auf. Die Verbindung zum Rühren ist dadurch gegeben, daß z. B. anfangs dünnflüssige und andererseits rieselnde Komponenten aufgegeben werden, die erst beim Zusammentreffen im Endzustand eine zähe Masse ergeben. In der Teigwaren-Industrie wird z. B. einerseits Teig, echt im Sinne dieser Darstellung, zu kneten sein. Jedoch kann der Teig – z. B. bei bestimmten Kuchensorten – recht flüssig bleiben oder werden, so daß hier von einem Rühren zu sprechen ist. Ähnlich sieht die Überschneidung mit dem Mengen aus. Durch unterschiedliche Feuchtigkeits- oder Flüssigkeitszugabe in ursprünglich rieselfähige Massen muß aus dem Mengen schließlich ein Kneten werden. Die Überlappung wird gleichfalls dadurch sichtbar, daß Namensgebung und Einsatzgebiete verschiedener Mischertypen sich überschneiden. Sie werden für mehrere Aufgaben eingesetzt.

Wenn man diese Überlegungen auf das Sandaufbereiten überträgt, so muß man zuerst die beiden speziellen Aufgaben hierbei, das Aufschließen und Ummanteln ausschließen und nur das Erzeugen der Gleichverteilung betrachten. Dann aber stellt das Mischen, wie bereits dargestellt, eine Zwischenstufe zwischen dem Mengen und Kneten dar, wenn man die Konsistenz der Komponenten sowie das Endprodukt hierbei als Maßstab zugrunde legt. Somit wird je nach Sandart das Mischen stärker zum Kneten oder auch entsprechend zum Mengen hinneigen. Sehr fette Sande bei tonigen Bindern, die also einen hohen Tongehalt besitzen, werden daher überwiegend knetend zu bearbeiten sein. Bei den üblichen bentonitgebundenen Sanden, die im Sprachgebrauch meist als synthetische Sande bezeichnet werden, kann danach stärker mengend aufbereitet werden. Schließlich läßt sich nun entgegen bisheriger Auffassung folgern, daß somit auch tonfreie Sande mit sehr zähen Bindern mit gutem Erfolg durch Kneten zu mischen sind. Dies deckt sich zum Teil mit der praktischen Durchführung, denn schon seit Jahrzehnten werden für diese Aufgaben Wellenmischer eingesetzt (Kennzeichnung der Mischer vgl. Abschnitt 2.4. S. 33), für die vielfach auch die Bezeichnung Knetmaschinen gebraucht werden. Jedoch wurde stets die Ansicht vertreten, daß für diese Sande kaum Walzenmischer verwendet werden können. Nun aber konnte bei Betriebsbesichtigungen an einigen Stellen in Übereinstimmung mit der angeführten Schlußfolgerung festgestellt werden, daß für zähe, tonfreie Sande an Stelle von Bottichmischern mit gekrümmten Armen Walzenmischer mit besserem Erfolg zum Einsatz kamen.

Maschinentechnisch kann für das Sandaufbereiten aus seiner Zwischenlage zwischen dem Mengen und Kneten gefolgert werden, daß nun auch das Aufbereiten in eine Stufe des Mengens und in eine parallelgeschaltete des Knetens aufgeteilt werden kann. Ob es zu einem Hintereinanderkoppeln von zwei getrennten Mischern kommen kann oder muß, wird nicht generell zu beantworten sein. Jedoch wird dieser Überlegung manchmal schon unbewußt Rechnung getragen. So traten in früheren Jahren Verfahren auf, die zuerst die trockenen Komponenten ausgiebig mischten, ehe die flüssigen Bestandteile zugegeben wurden. Auch die Aufbereitungstechnik, die zuerst eine Paste aus den pulvrigen

Bestandteilen und Wasser herstellt, um diese dann unterzumischen, benutzt im Grunde auch diese Idee. Viel häufiger jedoch ist der parallele Einbau von mengenden und knetenden Organen in den gleichen Mischer. Dabei sind die knetenden Organe meist Walzen. Die betont mengende Aufgabe wird dann von einem schleuderartig wirkendem Bauelement übernommen. Die erste Maschine, die wohl diese Kombination sichtbar benutzte, war der Hammers-Planet (Abb. 2), der 1925 in die Praxis eingeführt wurde. Gerade die GIFA 1962 zeigte nun, daß die jüngeren Entwicklungen der Sandaufbereitungsmaschinen, soweit sie zu den Walzenmischern zu zählen sind, in überwiegendem Maße diese Kombination von Walzen als Knetorgane und von schleuderartigen Bauelementen als verstreuernd wirkende Mengwerkzeuge zur Anwendung bringen.

Die beim Mischen angewendeten Einzelprinzipien sind in der Tab. 1 aufgeführt und auf die einzelnen Teilverfahren aufgeteilt. Diese Darstellung lehnt sich sehr eng an die Ausführungen von H.C.H. FISCHER an und ergänzt sie zum Teil. Wiederum ist darauf zu verweisen, daß ein strenges Abgrenzen der drei Verfahren untereinander nicht möglich ist. Schon daraus könnte abgeleitet werden, daß der Nachweis eines speziellen Meng- oder Kneteffektes nicht möglich ist, sondern nur der Nachweis der Güte der jeweils erreichten Gleichverteilung. Die Konsistenz der Komponenten oder des Endproduktes bestimmt, welche der Mischwerkzeuge in Kombination für den jeweiligen Zweck sinnvoll eingesetzt werden können.

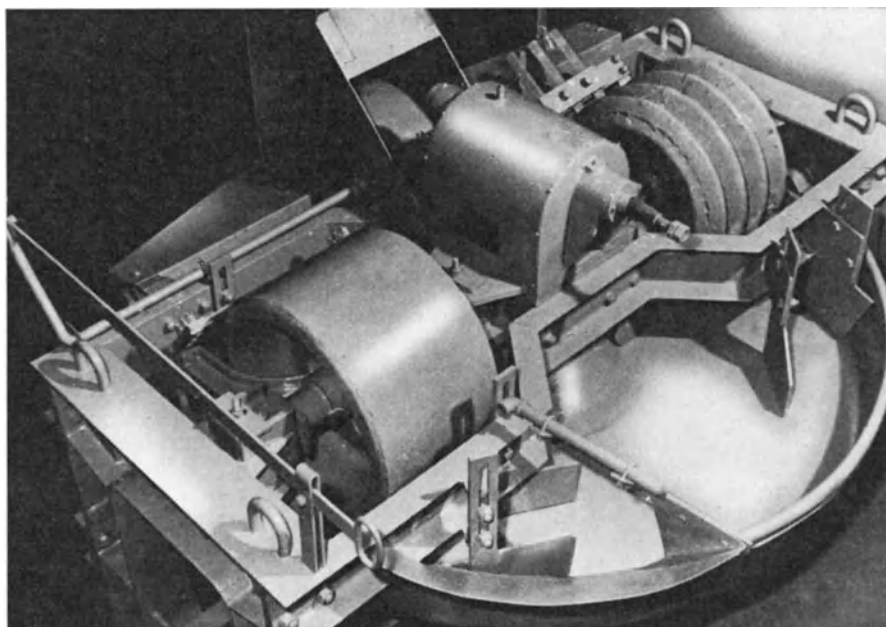


Abb. 2 Tellermischer mit eingebauter Schleuder  
(Hammersplanet um 1962)  
Werkfoto: P. HAMMERS, Karlsruhe



Tab. 1 Grundverfahren des Mischens

<i>Rühren</i> (Mischgut flüssig)	<i>Mengen</i> (Mischgut rieselfähig)	<i>Kneten</i> (Mischgut zäh)
<i>Prinzip :</i> Erzeugen von Turbulenz	<i>Prinzip :</i> Aufteilen und Umlagern	<i>Prinzip :</i> Ausweichen unter Druck
<i>Einzelvorgänge</i> Umschütten Schütteln Umwirbeln Durchwirbeln	<i>Einzelvorgänge</i> Umwerfen Umschaufeln Umlenken Zerteilen Verstreuen	<i>Einzelvorgänge</i> Verschieben Verdrängen Verreiben Durchpressen Auswalzen

Die in Tab. 1 aufgenommenen Hinweise über den Zustand des Mischgutes geben nur einen allgemeinen Anhalt. Auch die unter »Prinzip« angeführte kurze Beschreibung soll etwa eine zusammengefaßte Vorstellung aller Einzelvorgänge vermitteln. Sie soll die Systematik besser veranschaulichen, die zum Aufstellen dieser Tabelle führte.

In den Abb. 3–5 wird versucht, für jeden Einzelvorgang ein Schemabild zu entwickeln, um auch (etwa) zu veranschaulichen, welche konstruktive Grundidee jedem Einzelvorgang zugeordnet werden kann. Gerade für ein analysierendes Beschreiben von Mischern hat sich die Aufgliederung in Einzelvorgänge und das Herausstellen der dabei angewendeten Konstruktionselemente bereits bewährt. Dabei soll diese Aufstellung ein Versuch sein, ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

Beim *Umschütten* (Abb. 3b) wird das Verfahren im chemischen Labor mechanisiert, bei dem ein Reagenzglas durch Kippen zum Mischen benutzt wird. Das Glas wird dabei in bekannter Weise mit dem Daumen verschlossen und so gewendet, daß abwechselnd Boden oder Decke oben zu liegen kommen. Somit wird als erste Ausführung ein längliches Gefäß, das allseitig verschlossen wird, um eine Achse bewegt, die senkrecht zu seiner längsten Achse liegt. Dabei ist eine pendelnde Bewegung seltener. Die volle Drehbewegung des Behälters herrscht somit vor. Das Verfahren aber kommt auch in allen umlaufenden Gefäßen und Trommeln zum Tragen. Aber auch bei jeder einfachen Kippbewegung ist es mit wirksam.

Beim *Schütteln* (Abb. 3a) wird gleichfalls ein weiteres Mischverfahren der Labortechnik maschinell genutzt. Besonders bei angewärmten Reagenzgläsern faßt man diese kurz unterhalb der Öffnung an und schwenkt das Glas um diesen Punkt (etwa) als Festpunkt hin und her. Daraus abgeleitet stellt das Schütteln den Vorgang dar, bei dem ein auch offenes Gefäß um einen Punkt seiner Achse eine pendelnde oder drehende Bewegung ausführt. Dabei kann dieser Punkt selbst feststehen oder gleichfalls noch selbst bewegt werden. Wird ein Gefäß, wie beim Umschütten beschrieben, nicht um eine Achse senkrecht zu seiner Längsachse gedreht, sondern bildet diese Achse einen anderen als einen rechten Winkel zur Längsachse, dann tritt neben dem Umschütten noch das Schütteln auf. Wie an dem Dargestellten ersichtlich, läßt sich manchmal kein ausgesprochenes Beispiel nennen, bei dem der Einzelvorgang in einem Gerät tatsächlich allein zur Wirkung kommt.

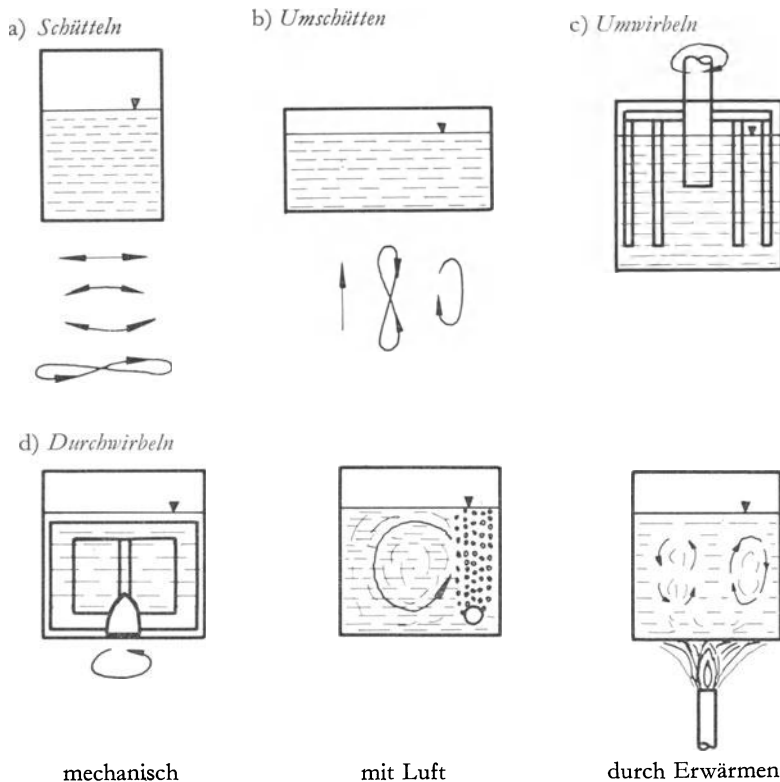


Abb. 3 Einzelvorgänge des Rührens

- a) Schütteln
- b) Umschütten
- c) Umwirbeln
- d) Durchwirbeln

Diese beiden Verfahren sind speziell dadurch gekennzeichnet, daß bei ihnen das Mischgefäß bewegt werden muß. Sie sind damit die Hauptverfahren, die bei allen Wurftrummelmischern auftreten, in Verbindung mit den Methoden des Mengens.

Beim *Umwirbeln* (Abb. 3c) wird das Mischgut so in Zirkulation versetzt, daß vorwiegend Strömungen entstehen, die sich in einer Ebene bewegen. Als bekanntestes Bauelement wäre hierfür der Quirl zu nennen. Wirbler mit Armen, die um ihre Antriebswelle umlaufen, erzeugen die für diesen Vorgang nötige Zirkulation.

Beim *Durchwirbeln* (Abb. 3d) werden gleichfalls im Mischgefäß bewegte Organe benutzt, die durch ihre Bewegung selbst oder durch die Form der Organe eine Bewegung des Mischgutes in allen Koordinaten des Raumes bewirken. Eine Möglichkeit besteht zum Beispiel darin, daß die Arme auf dem Wirbler unterschiedlich ausgebildet werden, so daß jeder sich bildende Strom im Mischgut bereits durch den nachfolgenden Arm zerstört oder aufgelöst wird.

Wiederum ist für diese Grundverfahren ein gemeinsames Kriterium vorhanden, nämlich das in dem Mischgefäß bewegte Mischorgan. Das *Umwerfen* (Abb. 4a) ist das Prinzip des Flugschars. Dabei soll eine von der Gesamtheit des Mischgutes abzuschneidende Schicht möglichst um 180° ge-

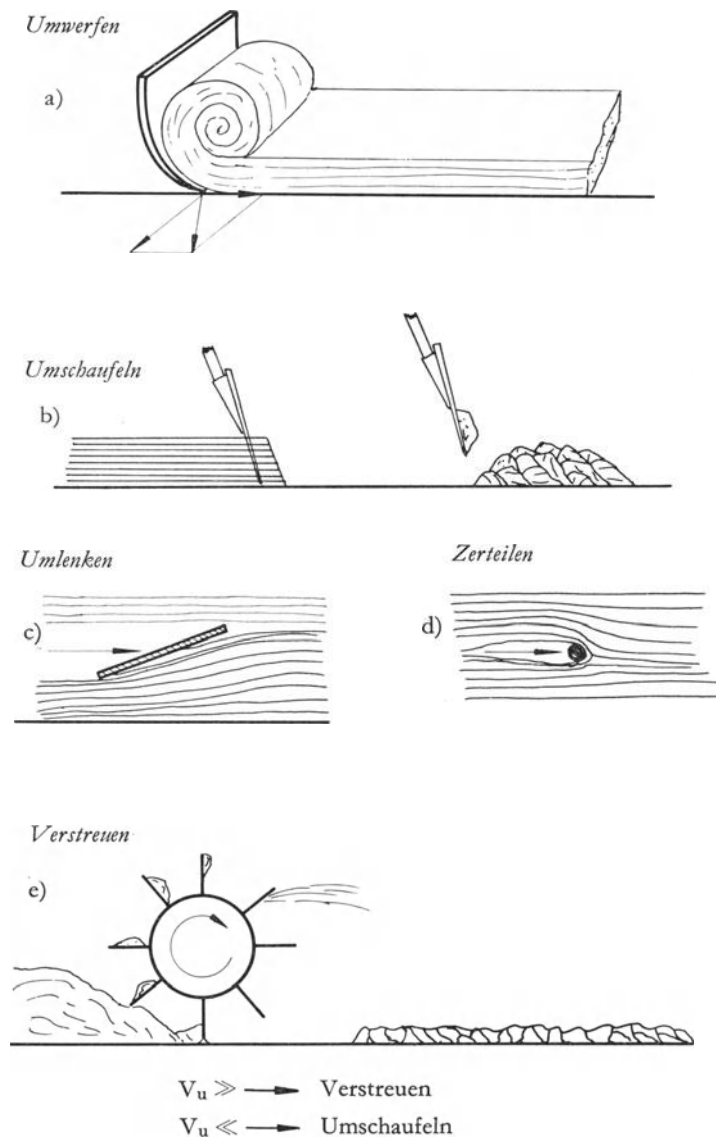


Abb. 4 Einzelvorgänge des Mischens

- a) Umwerfen
- b) Umschaufeln

- c) Umlenken
- d) Zerteilen
- e) Verstreuen

wendet werden. Das Gut fällt als loser Ballen auf die gleiche oder eine benachbarte Stelle, ohne eine Verdichtung zu erfahren.

Das *Umschaufeln* (Abb. 4b) wird im Grundsatz beim Umsetzen eines Komposthaufens angewendet, denn auch dort soll durch diesen Vorgang ein Mischen erreicht werden. Die Mischorgane, hier also sinnvoll dann auch als Schaufeln zu bezeichnen, entnehmen aus der Gesamtheit des Mischgutes eine Teilmenge, um sie an einer anderen, weiter entfernten Stelle in der Regel abzuwerfen, nicht abzusetzen. Im Sinne einer strengen Begrenzung der dargestellten Prinzipien müßte beim Umschaufeln verlangt werden, daß die Teilmenge nicht auseinandergestreut wird und daher auch abgesetzt und nicht abgeworfen wird. Schon das Abwerfen bewirkt ein Auseinanderstreuen, so daß dadurch ein Überschneiden mehrerer Meng-Vorgänge sich ergibt.

Das *Umlenken* (Abb. 4c) verwendet das gleiche Prinzip wie das Umwerfen. Nur wird beim Umwerfen die abgetrennte Schicht des Mischgutes in die Höhe bewegt und gewendet, wohingegen beim Umlenken dieses Umdrehen in der Horizontalen erfolgt. Somit trennt das Umlenken eine Schicht vom Mischgut ab und leitet sie an eine andere Stelle der Horizontalebene. Durch diese Umstände bedingt, ist ein Umwerfen nur unvollkommen zu erwarten. Es schieben sich die abgelenkten Schichten eher nur über die bereits vorhandenen Schichten der neuen Stelle. Eine gewisse Verdichtung ist zu erwarten, so daß ein Überschneiden mit dem »Verschieben dünner Schichten« aus den Einzelvorgängen beim Kneten eintritt.

Das *Zerteilen* (Abb. 4d) stellt das Verfahren des primitiven alten Hakenpfluges dar. Durch ihn wird in eine Fläche harten Bodens eine Rille gezogen, so daß die Gesamtfläche in Schollen aufbricht oder insgesamt in der Nähe der Rille aufgelockert wird. Somit teilt das Mischorgan vorwiegend auch nur einen Streifen von Mischgut ab, lockert ihn auf, ohne jedoch weitere stärkere Wirkung auszuüben.

Das *Verstreuen* (Abb. 4e) mechanisiert die Idee des Verteilens von Streugut über größere Flächen, wie es z. B. beim Kunstdüngerstreuen sichtbar wird. Es wird also so geworfen, daß das bisher dicht zusammenliegende Gut während des Wurfes sich zerteilt und in kleinsten Anteilen über eine möglichst weite Fläche verstreut wird. Da dies wahllos geschieht, so wird dadurch eine weitgehende Mischwirkung erzielt bei gleichzeitiger Auflockerung des Mischgutes.

Beim *Verschieben* (Abb. 5a), das zu den knetend wirkenden Prinzipien zu zählen ist, wird eine Stauwand in den Strom des Mischgutes gestellt, so daß sich das Mischgut davor aufstauen muß. Je nach Höhe des Stauorgans wird das Mischgut danach über die Wand fließen oder sich zum Teil vor ihr überschlagen.

Bei der knetenden Bearbeitung soll erkennbar eine Kraftereinwirkung durch das Mischorgan auf das Mischgut ausgeübt werden. Dies tritt beim Verschieben dünner Schichten über einem festen Boden dadurch ein, daß ein Staubdruck erzeugt wird. Zusätzlich wird, wie bereits dargelegt, meist ein Umwerfen mit dieser Art des Mischens verbunden sein. Auch ist die knetende Einwirkung sicher nicht sehr erheblich.

Beim *Verdrängen* (Abb. 5b) wird ein stempelartiges Mischorgan so in das Mischgut gedrückt, daß die unter dem Stempel befindliche Masse ausweichen muß. Dies tritt ein, wenn bei weniger zähen Massen der Stempel in gewissem Abstand gegen