

# Eiskalt backen

*mit*

# Stickstoff und Kohlendioxid



**Bessere  
Back-  
ergebnisse  
mit  
kryogenen  
Gasen**

Bäckereien bieten eine breite Palette von Backwaren aus den unterschiedlichsten Teigsorten (Abb. 1). In einem Backteig laufen komplexe Fermentationsprozesse ab. Um stets reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, muss daher für jede Teigsorte ein optimaler Temperaturbereich eingehalten und vor allem das Überschreiten kritischer Temperaturen vermieden werden. Probleme entstehen meist im Sommer: Zu hohe Teigtemperaturen im Kneten führen zu einem schlecht verarbeitbaren, klebrigen Teig und zu unerwünschten Vorabreaktionen des Backhilfsmittels. Gerade bei Weizenteigen ist eine kühle Temperaturführung üblich, da das so hergestellte Brot länger „frisch“ bleibt. Messer Griesheim hat verschiedene Verfahren entwickelt, um die Teigtemperatur wirksam zu kontrollieren: die Kühlung mit tiefkalt verflüssigten Gasen erfolgt entweder beim Kneten des Teigs (Variomix<sup>®</sup>-Verfahren) oder während der Förderung des Mehls zum Kneten (Spirox<sup>®</sup>-Verfahren). Diese In-Line-Mehlkühlung wird jetzt auch in Deutschland angeboten.

Abb. 1: Für eine stets reproduzierbare Qualität von Backwaren muss eine optimale Teigtemperatur eingehalten werden (95.80.102-a)

Es gibt grundsätzlich zwei Möglichkeiten, um bei der Teigbereitung ein Überschreiten kritischer Temperaturen zu vermeiden:

**1. die zu verarbeitenden Rohstoffe sind bereits so kalt oder werden vor der Zugabe soweit abgekühlt, dass keine Gefahr einer Temperaturüberschreitung besteht**

**2. die Kühlung erfolgt direkt beim Kneten.**

Für beide Alternativen ist es vorteilhaft, die tiefkalt verflüssigten (kryogenen) Gase Stickstoff-flüssig und Kohlendioxid-flüssig als Kältemedien zur Temperaturführung einzusetzen.

## Kryogene Kältemittel

### Stickstoff

Stickstoff ist ein inertes, reaktionshemmendes Gas. Es ist völlig geschmacksneutral, farb- und geruchlos und ungiftig. Mit 78,05 Vol.-% ist Stickstoff der Hauptbestandteil unserer Atemluft. Stickstoff wird durch Luftzerlegung aus der Umgebungsluft gewonnen und zum Teil schon aus logistischen Gründen verflüssigt. Flüssiger, molekularer Stickstoff siedet bei Atmosphärendruck bei einer Temperatur von 77,3 K (-196 °C) und benötigt eine Verdampfungswärme von ca. 200 kJ/kg, die er aus der Umgebungsluft aufnimmt. Das dabei verdampfende Stickstoffgas nimmt bei der Erwärmung von 77,3 bis auf Umgebungstemperatur (20 °C, 293 K) noch einmal die gleiche Wärmemenge auf. Pro kg Stickstoff-flüssig stehen also ca. 400 kJ für Kühlzwecke zur Verfügung (Abb. 2).

### Kohlendioxid

Kohlendioxid, in der Lebensmittelbranche besser bekannt als Kohlensäure, ist ein oxidationshemmendes Gas, farblos und neutral. Erst in Verbindung mit Wasser entsteht Kohlensäure (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Nur 0,1 % der im Wasser befindlichen CO<sub>2</sub>-Moleküle verbinden sich mit H<sub>2</sub>O zu H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Kohlendioxid-flüssig verhält sich etwas anders als Stickstoff-flüssig. Kohlensäure ist nur bei

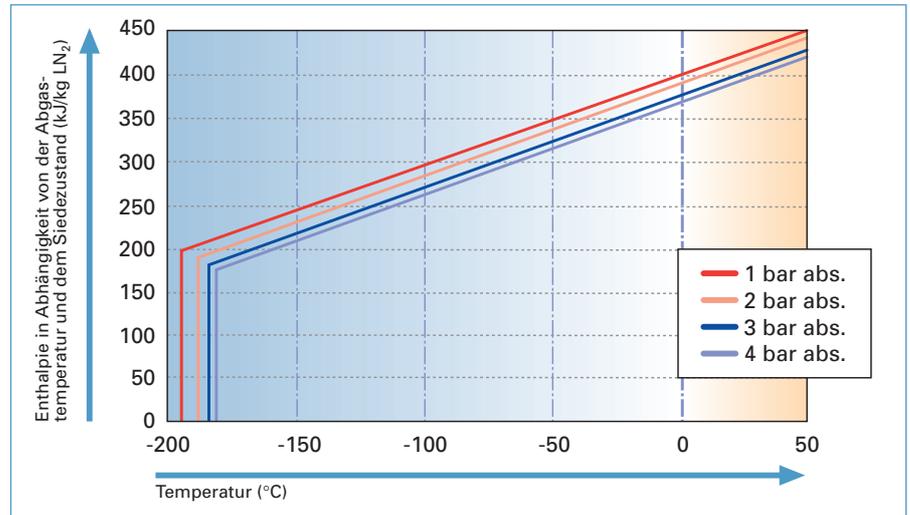


Abb. 2: Enthalpie von Stickstoff (H+P 2001 - 207)

Drücken über 5,2 bar und Temperaturen zwischen -56,6 und +31 °C flüssig. CO<sub>2</sub> liegt bei der Entspannung auf Atmosphärendruck in fester Form als Kohlendioxid-Trockeneis (Trockeneis) oder gasförmig vor. Aus einem Kilogramm flüssigem Kohlendioxid entstehen bei der Entspannung auf Atmosphärendruck ca. 0,5 kg Trockeneis mit einem Kälteinhalt von 586 kJ/kg und 0,5 kg CO<sub>2</sub>-Gas mit einem Kälteinhalt von ca. 63 kJ/kg. Kohlensäure kommt aus natürlichen Quellen oder wird aus industriellen Prozessen gewonnen.

Das Wärmeaufnahmevermögen von Kohlendioxid ist abhängig von der Lager-

temperatur (Abb. 3), wie die folgenden Beispiele verdeutlichen:

1. Lagertemperatur von LCO<sub>2</sub>: +25 °C (64,3 bar)  
Gesamtes Wärmeaufnahmevermögen = 210 kJ/kg LCO<sub>2</sub> bei Erwärmung des Abgases auf 0 °C
2. Lagertemperatur von LCO<sub>2</sub>: -25 °C (16,8 bar)  
Gesamtes Wärmeaufnahmevermögen = 345 kJ/kg LCO<sub>2</sub> bei Erwärmung des Abgases auf 0 °C

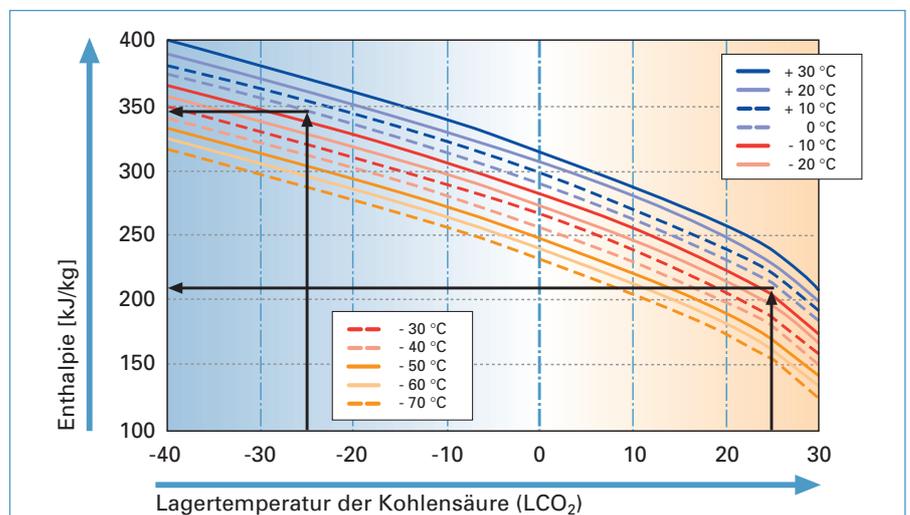


Abb. 3: Wärmeaufnahmevermögen von Kohlendioxid-flüssig (H+P 2001 - 208)

## Vergleich der Kältemittel

### Vorteile LN<sub>2</sub>

- Größere Gefriereschwindigkeit, da der Wärmeübergang von siedenden Flüssigkeiten größer ist als der von sublimierenden Feststoffen (CO<sub>2</sub>-Schnee)
- Wärme-Inhalt (Enthalpie) um ca. 13 % größer
- keine Fremdenergie für die Kältemittelbevorratung
- kein MAK-Wert (für CO<sub>2</sub> 0,5 Vol.-%)
- neutrales Verhalten des Stickstoffs gegenüber dem Lebensmittel aufgrund seiner inerten Eigenschaft

### Vorteile LCO<sub>2</sub>

- Langzeitbevorratung durch verlustfreie Lagerung
- exakte Verbrauchsmessung über eine Wägeeinrichtung, auf welcher der Speichertank montiert ist

Da Kohlensäure in Kilogramm und Stickstoff in Kubikmetern gehandelt wird, muss man für einen Kostenvergleich mit derselben Einheit rechnen. Bei gasförmigen Anwendungen ist der CO<sub>2</sub>-Preis pro Kilogramm mit 1,85 zu multiplizieren (Abb. 4), um ihn mit dem Kubikmeterpreis von Stickstoff vergleichen zu können. Bei Kälteanwendungen muss der Kubikmeterpreis von Stickstoff mit 0,8547 multipliziert werden, um den Kilogrammpreis für Stickstoff zu erhalten.

Ob nun Stickstoff oder Kohlendioxid zum Einsatz kommt, richtet sich u. a. nach folgenden Kriterien:

- mögliche negative Beeinflussung des Produkts (z. B. durch in Lösung gehendes CO<sub>2</sub>)
- Einsatz eines der Gase beim Anwender schon für andere Verfahren (üblicherweise wird in der Backwarenindustrie CO<sub>2</sub> schon zum Verpacken eingesetzt)
- Entfernung zur nächsten Lieferstelle (der Gaspreis enthält auch die Transportkosten)
- Sicherheitsaspekte (im Gegensatz zu Stickstoff gibt es für CO<sub>2</sub> einen MAK-Wert, der bei 0,5 Vol.-% liegt)

## Mehl kühlen – aber wie?

Eine Möglichkeit zur Vermeidung von zu hohen Produkttemperaturen im Knetter ist das vorherige Abkühlen der Zutaten. Insbesondere im Sommer tritt häufig das Problem zu hoher Mehltemperaturen auf. Ursache hierfür ist die Lagerung des Mehls in nicht isolierten Silozellen, die der direkten Sonnenbestrahlung ausgesetzt sind. Um dieses Problem in den Griff zu bekommen, gibt es zwei Möglichkeiten:

- Kühlen des Mehls im Silo durch den Einsatz kryogener Kältemittel oder konventioneller Kältetechnik
- Kühlen des Mehls während der Förderung zum Knetter

Das erste Verfahren ist jedoch mit erheblichen Nachteilen verbunden. Um die eingebrachte Kälte nicht nutzlos zu verschwenden, ist auf jeden Fall eine Isolation des Silos erforderlich, die aber mit hohen Investitionskosten verbunden ist. Ein Wärmeeinfall lässt sich trotzdem nicht verhindern, was zu erhöhtem Kältemittelverbrauch führt. Außerdem hat Mehl eine sehr geringe Wärmeleitfähigkeit. Eine Mehlschüttung von zwei Metern Durchmesser und 5 Metern Höhe kann daher praktisch nicht gekühlt werden.

Bei der zweiten Möglichkeit werden in die vorhandene Pneumatik- oder Saugförderstrecke Injektoren für flüssigen Stickstoff oder Kohlensäure eingebaut. Das größte Problem hierbei ist die Kondensation der in der Förderluft enthaltenen Feuchtigkeit.

Mit der Spirox®-In-Line-Mehlkühlung hat Messer Belgien zusammen mit dem belgischen Anlagenhersteller Spiromatic eine Alternative entwickelt. Hierbei wird das Mehl in die Aufnahmestation der Spirox®-Kühleinheit gefördert und anschließend beim Transport zum Wägebunker mit CO<sub>2</sub>-Schnee gekühlt (Abb. 5). Das Verfahren ist

in Belgien und Frankreich bereits erfolgreich im Einsatz.

Die Spirox®-Kühleinheit besteht aus einer Förderspirale (Abb. 6) mit einem im Verhältnis zum Durchsatz großen Durchmesser. Der CO<sub>2</sub>-Schnee gelangt über eingebaute Injektoren in die Förderspirale, in der er mit dem Mehl verwirbelt wird. Durch das Verdampfen des CO<sub>2</sub>-Schnees (Sublimation) kühlt das Mehl ab. Durch den niedrigen Füllgrad (ca. 25 %) und die hohe Drehzahl der Spirale mischen sich Mehl und CO<sub>2</sub>-Schnee sehr intensiv, was zu einem sehr schnellen Wärmeaustausch führt. Das entstandene CO<sub>2</sub>-Gas strömt durch das aufgewirbelte Mehl zum Auslass der Spirale. So sind auch noch die letzten Kältereserven des kalten Gases nutzbar, bis die Gastemperatur ungefähr der Mehltemperatur entspricht. Damit lässt sich das Kältemittel mit einem Wirkungsgrad nahe 100 % nutzen.

Eine Kontrolleinheit regelt die erforderliche CO<sub>2</sub>-Menge, indem sie die Injektoren

Umrechnungsfaktoren			
kg Kohlensäure (CO <sub>2</sub> )	←	→	m <sup>3</sup> Stickstoff (N <sub>2</sub> )
kg Stickstoff (N <sub>2</sub> )	←	→	m <sup>3</sup> Kohlensäure (CO <sub>2</sub> )
Bei Inertisierungsvorgängen ist die Berechnungsgrundlage und damit die Bezugsgröße für Gase immer m <sup>3</sup> .			
1 kg CO <sub>2</sub> ≙ 0,54 m <sup>3</sup> CO <sub>2</sub>			1 m <sup>3</sup> N <sub>2</sub> ≙ 1,17 kg N <sub>2</sub>
1,85 kg CO <sub>2</sub> ≙ 1 m <sup>3</sup> CO <sub>2</sub>			0,8547 m <sup>3</sup> N <sub>2</sub> ≙ 1 kg N <sub>2</sub>
<small>m<sup>3</sup>-Angaben bezogen auf 1 bar und + 15 °C</small>			

Abb. 4: Umrechnungsfaktoren von kg in m<sup>3</sup> und umgekehrt (H+P 2001 - 209)

auf Basis der gemessenen Anfangs- und der gewünschten Endtemperatur ansteuert. Ein programmierter Regel-Algorithmus öffnet und schließt die Ventile so, dass das Mehl gleichmäßig gekühlt wird. Mit einer Spirallänge von vier Metern lassen sich stündlich etwa 1,5 Tonnen Mehl fördern. Für eine Kühlung von 20 auf 5 °C ergibt sich ein spezifischer Verbrauch von etwa 0,15 kg flüssigem CO<sub>2</sub> pro kg Mehl. Das Spirox®-Verfahren ist für folgende Backwaren geeignet:

- Tiefkühlblätterteig
- tiefgefrorener Brotteig
- tiefgefrorener, gegangener und vorge-

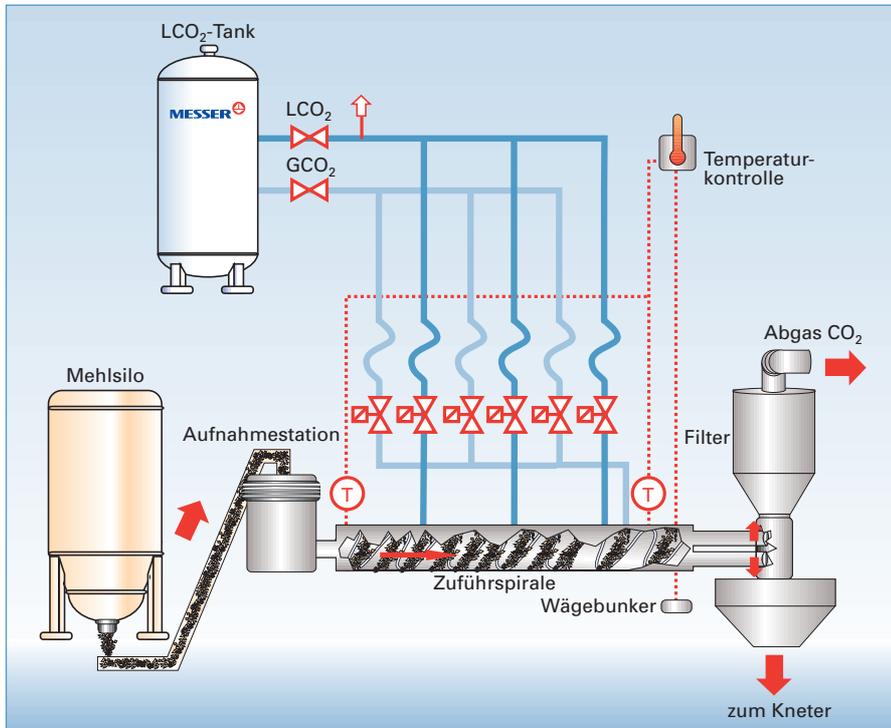


Abb. 5: Schematische Darstellung der In-Line-Mehlkühlung Spirox® (H+P 2001 - 210)

**Vorteile von Spirox® auf einen Blick**

- die gewünschte Mehltemperatur wird programmgesteuert eingestellt
- der Teig ist leichter verarbeitbar
- optimale Ausnutzung der CO<sub>2</sub>-Kälte
- niedrige Handling-Kosten: weniger manuelle, zeitraubende Arbeiten wie z. B. das Hinzufügen von Wasser-Eis
- in alle bestehenden pneumatischen und mechanischen Transportsysteme integrierbar

gleichmäßige Temperaturverhältnisse. Die beim Kneten entstehende Reibungswärme lässt sich schnell abführen, unterschiedliche Eingangstemperaturen der Zutaten werden ausgeglichen, die Teigtemperatur wird weitgehend standardisiert. Der Kältemittelverbrauch hängt von Parametern wie dem Wassergehalt des Produkts und dem Ausmaß der erforderlichen Temperaturabsenkung ab. In der Praxis haben sich Verbrauchswerte zwischen 0,1 und 0,5 kg Stickstoff je kg Produkt beim Kühlen als ausreichend erwiesen.

- backener Blätter- und Brotteig
- alle „gelben“ Teige (z. B. Weißbrot-/Brötchenteig) und Teige mit wenig Wassergehalt
  - Keks- und Spekulatius-Teig
  - Produkte, die niedrige Teigtemperaturen (< 20 °C) erfordern

Gründe für den Einsatz von Spirox®:

- kontinuierliche und gleichmäßige Produktion
- kein Verformen des Teigs beim Portionieren
- keine zu schnelle Gärung nach dem Portionieren
- kein klebriger, schlecht zu verarbeitender Teig
- bessere Wasseraufnahme des Teigs
- keine Schichtentrennung bei Blätterteig

**Variomix® – Kälte für Mischer und Kneten**

Variomix® ist ein Verfahren zum Kühlen und Frosten von Lebensmitteln in Mixern und Knetern mit Stickstoff-flüssig oder Kohlendioxid-flüssig. Es hat sich insbesondere

in der Fleischverarbeitung, bei der industriellen Herstellung von Backwaren und beim Anmischen von schüttfähigen Lebensmitteln bewährt. Bei der Teigbereitung in Knetern sorgt die Beimischung von Stickstoff-flüssig oder Kohlendioxid-flüssig für

**Als Beispiel hier die Herstellung eines Teigs mit folgenden Ausgangsparametern:**

<b>Trockensubstanz (Mehl, Backmittel, ...):</b>	<b>100 kg, +22 °C</b>
<b>Wasser:</b>	<b>50 kg, +18 °C</b>
<b>Soll-Temperatur des Teigs:</b>	<b>+15 °C</b>
<b>Anschlussleistung Kneten und Knetzeit:</b>	<b>2,2 kW, 2 Minuten Knetzeit</b>
	<b>8,5 kW, 8 Minuten Knetzeit</b>

**Etwa 50 % der Anschlussleistung des Kneters gehen als Wärme in das Produkt über. Bei einer Erwärmung des Abgases auf ca. -50 °C ergibt sich hierbei ein Flüssigstickstoff-Bedarf von 11,15 kg pro Charge bzw. 0,07 kg Stickstoff-flüssig pro kg Teig. Auf Grund von systembedingten Verlusten liegt der Praxisverbrauch etwas höher. Hier die einzelnen Schritte der Kalkulation:**

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$Q_{TS} = 100 \text{ kg} \cdot 1,47 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} (22-15)\text{K} = 1029 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{Wasser}} = 50 \text{ kg} \cdot 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} (18-15)\text{K} = 628,5 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{Mischen}} = 2,2 \text{ kW} \cdot 0,5 \cdot 120 \text{ s} = 132 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{Kneten}} = 8,5 \text{ kW} \cdot 0,5 \cdot 480 \text{ s} = 2040 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{Ges}} = 1029 \text{ kJ} + 628,5 \text{ kJ} + 132 \text{ kJ} + 2040 \text{ kJ} = 3829,5 \text{ kJ}$$

**Benötigte Stickstoffmenge pro Charge =  $\frac{3829,5 \text{ kJ}}{343,6 \text{ kJ/kg LIN}} = 11,15 \text{ kg LIN}$**

Darin sind: Q = Wärmemenge, m = Teigmasse, c = spezifische Wärmekapazität, ΔT= Temperaturdifferenz (T<sub>2</sub>-T<sub>1</sub>), TS = Trockensubstanz, LIN = Liquid Nitrogen = Stickstoff-flüssig.



Abb. 6: Geöffnete Spirox®-Einheit (95.80.102-b)

Beim Variomix®-Verfahren wird über die Beschickungsöffnung des Kneters eine schwenk- oder verfahrbare Haube installiert (Abb. 7). Stickstoff-flüssig oder Kohlendioxid-flüssig werden durch ein Sprüh-system großflächig auf das Produkt ver-

Kühlprozess. Dies führt zu einem erhöhten Gasanteil in den Rohrleitungen. Insbesondere beim Einsatz von Stickstoff-flüssig ist ein zu hoher Gasanteil bei reproduzierbarer und genauer Dosierung nicht akzeptabel. Man schaltet daher vor die Verbrauchsstelle einen Phasentrenner, in dem sich immer eine ausreichenden

Menge Stickstoff-flüssig befindet. Das dort entstehende Abgas wird ins Freie geleitet.

Das Grundprinzip der Kühlung im Knetter ist relativ einfach, aber die Ausführung erfordert einigen Aufwand. Dieser hängt vom jeweiligen Anwendungsfall sowie den Wünschen des Anwenders ab. Ein zu klärender Punkt ist u. a. der Zeitpunkt der

#### Vorteile von Variomix® auf einen Blick

- extrem schnelle Abkühlung von Mischungen durch direktes Einleiten des Kältemittels in den Mischer
- optimale Ausnutzung des Kältemittels durch direkte Produktkühlung (große Wärmeaustauschfläche)
- Einstellung reproduzierbarer Bedingungen
- einfacher Aufbau der Kältemittelversorgung
- verringerte Agglomerat-Bildung
- Umrüstung fast aller Mischer möglich
- gleichzeitige Inertisierung des Mixers

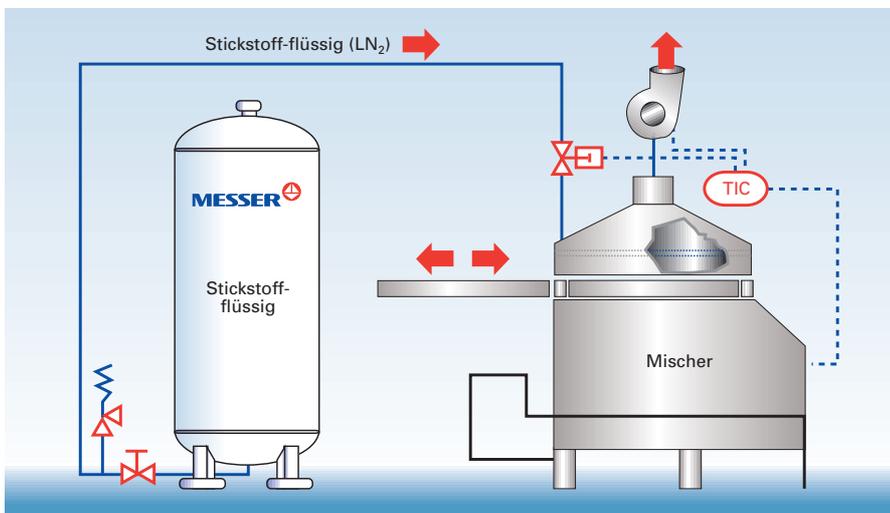


Abb. 7: Schematische Darstellung des Variomix®-Verfahrens (H+P 2001 - 211)

düst. Die Regelung der Anlagentemperatur erfolgt durch Temperaturmessung im Kopf-raum des Kneters. Das angewärmte Gas gelangt über einen Absaugventilator nach außen.

Die meisten offenen Mischer lassen sich nachträglich mit Variomix® ausrüsten. Die Kosten für die Umrüstung eines Mixers können dabei nicht pauschal angegeben werden, da sie vom Verfahrensablauf und der Anlagengröße abhängen.

In den meisten Fällen entstehen durch den Chargenbetrieb Pausenzeiten beim

Kältemittelzugabe. Es ist z. B. nicht sinnvoll, das Kältemittel erst am Ende des Knetprozesses zuzudosieren, da sich dann schon ein sehr kompakter Teig gebildet hat. Andererseits sollte aber im Teig schon eine gewisse Bindung der trockenen Bestandteile mit dem Wasser erfolgt sein, um unnötige Staubaufwirbelungen bei der Kältemittelzugabe zu vermeiden.

Des weiteren ist zu klären, wie exakt die Ausgangstemperatur sein muss. Wenn eine Abkühlung mit größeren Toleranzen möglich ist, kann man ggf. auf den Pha-

sentrenner verzichten. Entscheidend für das Verfahren sind folgende Anwendungskriterien:

- Kältemittelbedarf
- Zeitpunkt und Dauer der Kältemittelzugabe
- Genauigkeit der Temperaturführung
- Kälteverträglichkeit der Produktkomponenten
- Kälteverträglichkeit der Anlagenbauteile
- ausreichende Austrittsquerschnitte für das Abgas
- Auswahl des Kältemittels

Dipl.-Ing. Stefan Kosock

Dipl.-Ing. Wolfgang Hoffmanns

Dipl.-Oecotroph. (FH) Rolf Block

#### Literatur:

Messer Griesheim GmbH (Hrsg.); Gase-Handbuch, 3. Auflage; 1989

Büskens, H.; „Die Backschule“; Band 1; 10. Auflage; Verlag W. Girardet, Essen; 1983

Krinninger, Klaus-D.; „Kohlendioxid – Kohlensäure – CO<sub>2</sub>“; Verlag Moderne Industrie, Landsberg/Lech 1996  
Interne Schulungsunterlagen der Messer Griesheim GmbH