

Physikalische Betrachtungen zum Abkühlen von Backwaren und mögliche Konsequenzen für deren Haltbarkeit

Dipl. Ing. F. Zehle, Bäckereitechniker R. Hoppenstedt

Vorbemerkung

Es ist allgemein bekannt, dass der Backprozess eine Verarbeitungsstufe darstellt, der einer Sterilisation bzw. Pasteurisation sehr nahe kommt (SPICHER, 1994). Die Ausnahme bilden fakultativ anaerobe oder streng anaerobe Sporenbildner (z.B. der Gattungen: Bacillus und Clostridien). Auch Staphylococcen können thermische Prozesse als Organismus überleben.

Dennoch ist das bedeutsamste Haltbarkeitsrisiko für Backwaren der Verderb durch Schimmelpilze. Folglich entscheidet die Art und Weise der Keimkontamination nach dem Backen die mikrobiologische Haltbarkeit von Backwaren maßgeblich.

Die IGV Institut für Getreideverarbeitung GmbH ist der Frage nachgegangen, welche physikalischen Phänomene die Kontamination von Backwaren nach dem Backprozess verursachen. Auf der Basis dieser Untersuchungen wurde ein Verfahren entwickelt (DE 197 08 752 C1), welches physikalische Phänomene in den Gebäckporen beim Abkühlen nutzt, um die mikrobiologische Haltbarkeit von Backwaren (verpackt) entscheidend zu verlängern.

Ausgangssituation

Keime bzw. die an Partikeln angelagerten Keime und Sporen kontaminieren abkühlende Backwaren und mindern die Haltbarkeit der Gebäcke.

Backwaren sind kapillarporöse Körper mit Poren bzw. Hohlräumen. Der luft- bzw. gasfreie Krumen- und Krustenanteil in abgekühlten Backwaren hat eine Dichte von ca. 1,2 g/cm³. Ein Weißbrot dagegen hat eine Dichte von etwa 0,240 g/cm³. Die Folge: Ein 500 g Weißbrot mit einem Volumen von 2080 cm³ hat:

- ein gasfreies Krumen- und Krustenvolumen von 416 cm³ ;
- ein Gas-(Luft-, Wasserdampf-, Fermentationsgas-)volumen von 1664 cm³.

Dieser hohe Gasanteil in Backwaren hat Konsequenzen auf das Verhalten beim Abkühlen nach dem Backprozess.

Im Backprozess werden die im gegarten Teigstück vorhandenen Gasbläschen, die überwiegend aus feuchter Luft und gasförmigen Fermentationsprodukten bestehen, durch die temperaturbedingte Ausdehnung (Gay-Lussacsches Gesetz) größer. Diese Volumenzunahme des Lockerungsgases beträgt 1/273 je Grad Temperaturerhöhung und dauert bis zur Fixierung der Krume durch Koagulations- und Verkleisterungsprozesse an. Sie ist jedoch nur wirksam, wenn sich noch keine feste Kruste gebildet hat.

Einen besonders großen Einfluss auf die Volumenänderungsarbeit hat das verdunstende Wasser, da der Partialdampfdruck des Wassers bei Erwärmung ansteigt, wodurch sich ein großer Partialdampfdruckunterschied zur Teigphase ergibt. Da gerade die Innenflächen der Poren eine hohe Feuchtigkeit aufweisen, ist ein verstärkter Phasenübergang von flüssig nach gasförmig zu beobachten. Wasserdampf entsteht und das Volumen nimmt deutlich zu. Auch das im Teigwasser gelöste Kohlendioxid, dessen Löslichkeitsverhalten stark temperatur- und noch stärker druckabhängig ist, beeinflusst in ähnlicher Weise diese Volumenzunahme nur in weitaus geringerer Intensität als der Wasserdampf. Insgesamt fasst man diese Vorgänge, die zur Volumenausdehnung während der Backphase führen, unter dem Begriff "Ofentrieb" zusammen.

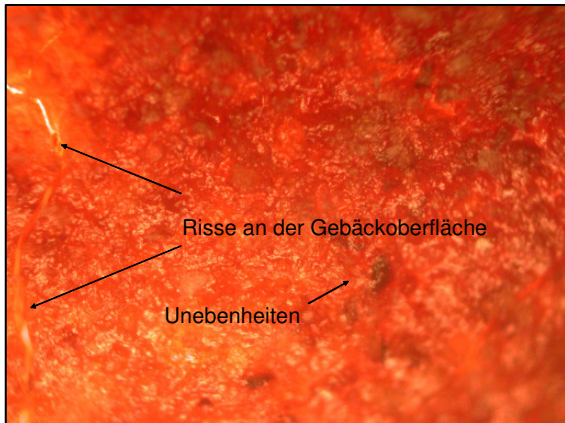
Am Ende des Backprozesses ist das CO₂, bedingt durch die Partialdampfdruckunterschiede, weitgehend aus den Krumporen verdrängt und die Gasphase in den Krumporen besteht ausschließlich aus Wasserdampf.

Was passiert beim Abkühlen ofenheißer Backwaren?

Wenn das Weißbrot den Backofen verlässt, sinkt dessen Temperatur, beginnend an der Oberfläche, sehr schnell ab. Diese Temperaturveränderung hat Konsequenzen für die Rekontamination mit Keimen:

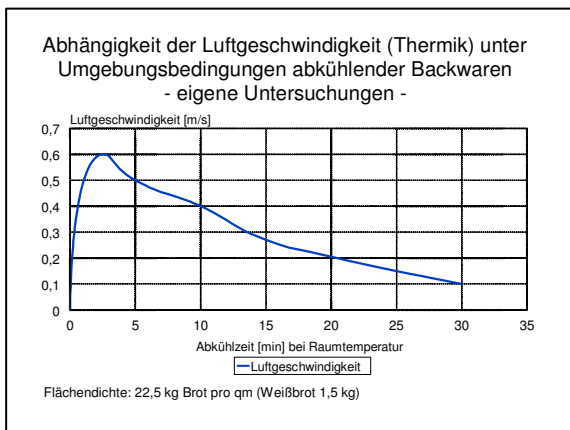
1. Reinfektion durch Sedimentation

Bei einer normalen Lagerung der Brote in ruhender Atmosphäre entsteht im Bereich der Brote durch die sich erwärmende Luft eine Thermik. Diese Thermik, die durch die großen Temperaturdifferenzen unmittelbar über der heißen Backware und der Umgebungsluft hervorgerufen wird, äußert sich in relativ hohen Luftgeschwindigkeiten, die eine Sedimentation von Keimen erschweren.

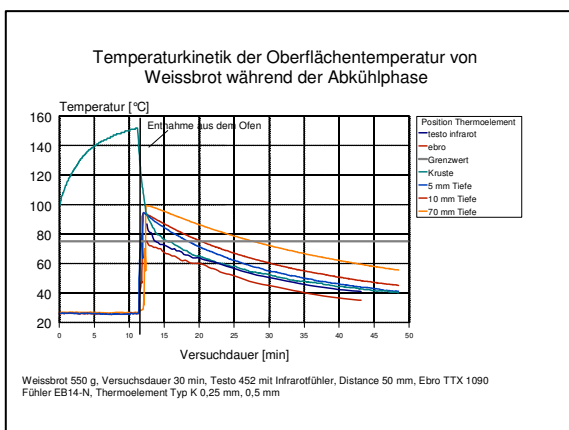


andererseits wird durch die Luftbewegung auch mit Keimen beladene Luft erzwungenermaßen an die Backware herangeführt, so dass das Absetzen von Keimen auf der Gebäckoberfläche nicht allein durch die Differenz aus Luftgeschwindigkeit und Absetzgeschwindigkeit bestimmt werden kann, sondern mindestens auch durch die Beschaffenheit der Oberflächenstruktur. Mikrofeine Oberflächenrisse und Unebenheiten bieten gute Voraussetzungen für das Anlagern von Keimen.

Ältere Quellen beurteilen diese Gefahr in den ersten 15 Minuten nach Verlassen des Ofens jedoch eher unkritisch [Kunz, 1994]. Dies galt insbesondere für Brote auf dichten Backgutträgern. Liegen die Brote dagegen auf konvektionsfreudigen Gliederbändern, können Keime durch diese Luftströmung an den Brotseiten verstärkt mit der Brotoberfläche in Kontakt treten. Durch den Unterdruck im Gebäck, insbesondere an den hellen und dünnen Brotseiten, können sich die Keime fest ansetzen. Dies sind die ersten Stellen, an denen sehr oft das Schimmelwachstum beginnt.

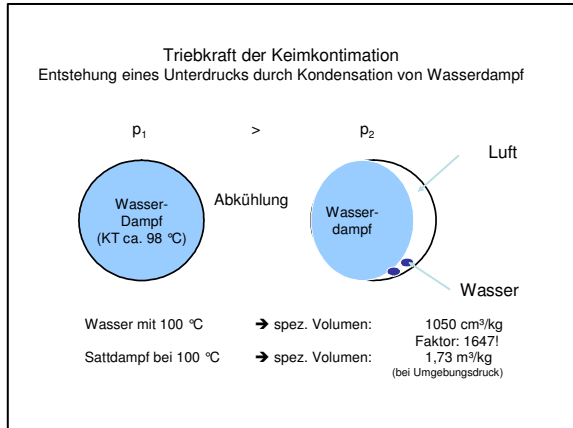


Eigene Untersuchungen zeigen jedoch, dass die Luftgeschwindigkeit über ofenheißem Broten (auf einer geschlossenen Holzunterlage) bei einer Belegungsdichte von 22,5 kg/m³ deutlich schneller abnimmt als erwartet. Auch in späteren wissenschaftlichen Arbeiten wurde herausgestellt, dass "...bis zu einer Oberflächentemperatur von 75 °C der Brotkruste, die erst nach 17 Minuten freien Abkühlens erreicht wird, praktisch keine Kontamination der Brotoberfläche durch Sedimentation von Schimmelsporen erfolgt" [MEUSER, 1998]. Eigene Untersuchungen zeigten jedoch, dass die Gebäckoberflächen in der Regel sehr viel schneller abkühlen, als in der Literatur häufig angegeben. Bei 1 kg-Broten betrug die Oberflächentemperatur bereits nach ca. 3 Minuten 75 °C.

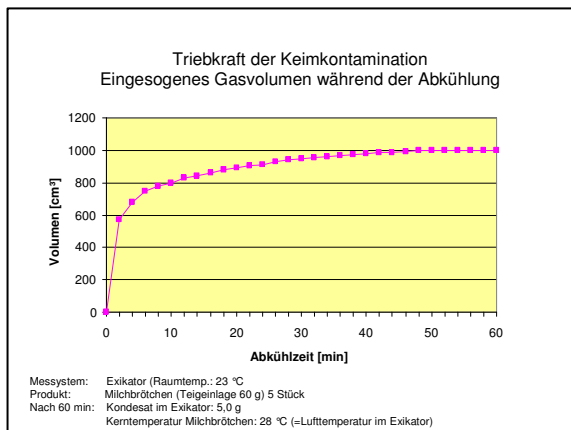


2. Reinfektion durch Unterdruckbildung

Sofort nach Verlassen des Ofens beginnt sich das Gebäck abzukühlen. Die "<100°C-Zone" wandert nach etwa 30 sec. in das Gebäckinnere. Der Wasserdampf im Gebäck kondensiert. Da sich die Volumina von Wasserdampf und Wasser bei vergleichbaren Zuständen etwa um den Faktor 1650 unterscheiden, entsteht im abkühlenden Backwerk ein Unterdruck.



Das Gebäck „saugt“ aus der Umgebung Luft an. Dies mit einer Dynamik, die, wenn man es unterbindet, das Gebäck deformiert. Vergrößert wird dieser Unterdruck beim Abkühlen durch die temperaturbedingte Volumenkontraktion des Gases im Brot. Brötchen „saugen“ beispielsweise bis zu 90 % (!) ihres Gebäckvolumens an Gas aus der Umgebung innerhalb der Abkühlungszeit ein; drei Viertel der Menge bereits in den ersten 10 Minuten.

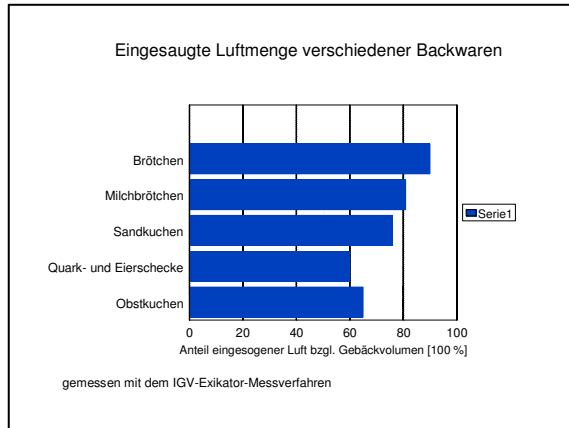


Weitere Untersuchungen der IGV GmbH zeigten, dass Backwaren, die den Ofen verlassen, bereits nach 1-3, spätestens jedoch nach etwa 5 Minuten, insbesondere durch den sich bildenden Unterdruck beim Abkühlen in den Gebäckporen, mit Keimen aus der Umgebungsluft kontaminiert werden, die zum Verderb der Backwaren führen. Die häufig diskutierte „Thermik-Wirkung“ ofenheißer Backware als „Gegenkraft“ zur Keim-sedimentation hat eine wesentlich geringere Bedeutung als angenommen.

Das Ansaugen von kontaminierter Luft überlagert also den „Thermikeffekt“, insbesondere wenn die Backware noch hohe Kerntemperaturen aufweist. Da die Abkühlung der Oberfläche ohnehin schneller abläuft als die der Krume, ist dies ein weiteres Indiz für die Wichtung der Triebkräfte im Hinblick auf die Keimsedimentation. Somit können sich trotz höheren, durch die Thermik hervorgerufenen Luftgeschwindigkeiten, Keime an besondere Problemstellen (Oberflächenrisse, Gebäckunebenheit, dünne Krustenbereiche) anlagern und diese kontaminieren.

Die Menge und Kinetik der eingesaugten Luft ist für die Beurteilung der Vorgänge ein wichtiges Kriterium. Sie ist im Grunde nur von zwei Faktoren abhängig. Erstens: Die Gebäckporen müssen Wasserdampf beinhalten. Je „mehr“ Wasserdampf in den Poren vorliegt, desto mehr kondensiert bei der Abkühlung und je größer wird der Unterdruck. Folglich hat auch die Backzeit einen gewissen Einfluss, da sie in Abhängigkeit von Gebäckgröße und Backverhalten des Gebäcks, Einfluss auf die Krumenkerntemperatur nach Ende des Backprozesses hat.

Zum zweiten besteht ein nahezu linearer Zusammenhang zwischen eingesaugter Luftmenge und der Gebäckdichte. Je geringer die Gebäckdichte, je größer das Porenvolumen. Folglich ist der Effekt der Keimsedimentation durch das „Ansaugen“ bei Weißware deutlich größer, als beispielsweise bei Kastenschrotbrot. Man kann grundsätzlich bei allen porigen Backwaren (Dichte < 0,40g/ml) davon ausgehen, dass zwischen 75 und 95 % des Gebäckvolumens beim Abkühlen an umgebener Luft eingesaugt wird.

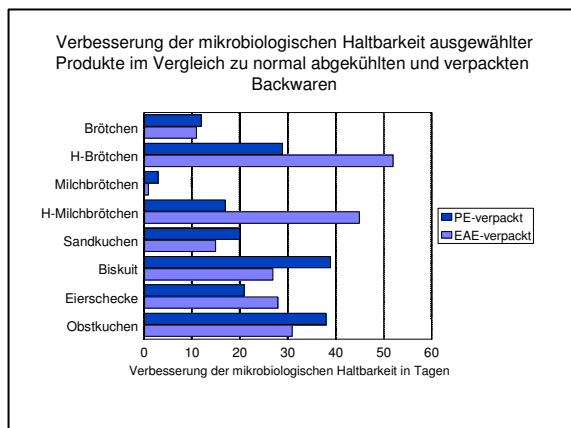


Es ist anzunehmen, dass bei Gebäcken mit höheren Gebäckdichten (Kastenschrotbrot) der thermische Effekt ofenheißer Gebäckoberflächen hinsichtlich Verzögerung der Keimsedimentation stärker ist als bei Weißware. Letztlich entscheidet jedoch die Umgebungssituation (Feuchte, Substrat, Umgebungsluft) auf Gebäckoberflächen sedimentierter Keime über das Auskeimen. Prinzipiell genügt eine einzige auskeimende Spore aus, die Backware zu verderben.

Ausnutzung der physikalischen Gesetzmäßigkeiten zur „Haltbarmachung“

Durch die Ausnutzung des sich beim Abkühlen in den Backwaren bildenden Unterdrucks in einer Schutzgas- oder Reinluftatmosphäre gelingt es in fast allen Fällen, eine mikrobiologische Haltbarkeit der verpackten Backwaren zu gewährleisten, die weit über der sensorisch vertretbaren Verzehrbarkeit der Produkte liegt.

Dabei ist es zweckmäßig und im Grunde sogar notwendig, bereits im Auslaufbereich des Ofens diese Atmosphäre zu schaffen, um in die Gefahr einer Rekontamination zu kommen, da erfahrungsgemäß die Luft- und damit Keimbewegungen in diesem Bereich bedingt durch die erheblichen Temperaturdifferenzen sehr groß sind. Praxistests zeigten dabei, dass es bei vielen Anwendungen ausreichend ist, mit Sterilluft zu arbeiten.



Der Vorteil einer Abkühlung unter Schutzgas gegenüber der herkömmlichen Schutzgasverpackung besteht darin, dass nur auf diese Weise ein kompletter Gasaustausch möglich ist. Folglich gibt es kein Konzentrationsgefälle mehr zwischen Umgebung und Gebäck innerhalb der Verpackung. So können auch ohne weitere haltbarkeitsverlängernde Maßnahmen (z.B. a_w -Reduzierung), die nicht selten mit sensorischen oder vermarktungstechnischen Nachteilen verbunden sind, vermieden werden.

Unter kleintechnischen Versuchsbedingungen wurden für nasse Blechkuchen mikrobiologischen Haltbarkeiten von 50-90 Tagen erreicht.

Literatur

- Spicher, G.: Handbuch Sauerteig, Behr's Verlag, Hamburg, 1994
 Kunz, B.: Fortschrittberichte Lebensmitteltechnologie, 1994
 Meuser, F. et. al.: Haltbarmachung von Schnittbrot durch Reinraumtechnik, Verpackungs-Rundschau, 11/1998
 Zehle, G.; Hoppenstedt, R.: Länger frisch, Brot und Backwaren, 11/03
 Zehle, F.; Hoppenstedt, R.: Physikalische Betrachtungen zum Abkühlen von Backwaren und mögliche Konsequenzen für deren mikrobiologische Haltbarkeit, Vortrag zur 57. Tagung für Bäckereitechnologie, Detmold, 2005