

Auf dem Gipfel der Qualität

Beim „Vakuuum-Day“ am 21. Januar 2020 informierten die **VDB Landesgruppe Berlin/Brandenburg** und das **IGV in Bergholz-Rehbrücke** über die **physikalischen Hintergründe** und die **Anwendungsmöglichkeiten** der **Vakuuumkonditionierung**.

Stefan Schütter

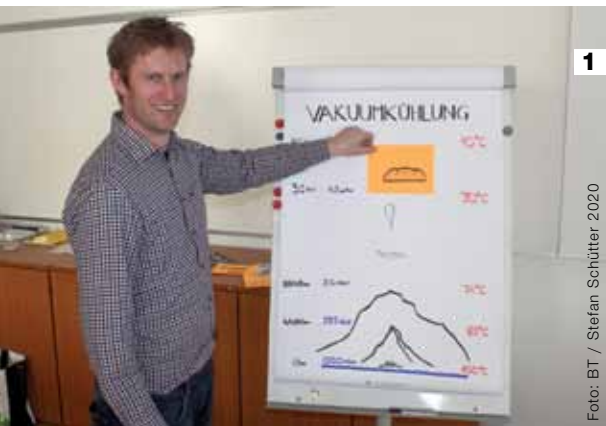


Foto: BT / Stefan Schütter 2020

1 Dipl.-Ing. Florian Bähler von der Glavatec AG erklärt mit dem Brotbild, dass er in der richtigen Geschwindigkeit auf die richtige Höhe aufsteigen und absinken lassen kann, die Verfahrenskurve der Vakuuumkonditionierung. **2** Dipl.-Ing. Frank Zehle von der IGV GmbH erläuterte die Technologie der Vakuuumkonditionierung und stellte dabei auch die Berechnung des Feuchtigkeitsverlustes vor. **3** Daniel Chwalczyk, Dipl.-Ing. und selbstständiger Berater der LP-Beratung, steuerte seine Erfahrungen aus dem Einsatz der Vakuuumkonditionierung in der Praxis bei.



Foto: BT / Stefan Schütter 2020

Vakuuumverfahren sind schon viel älter als man meinen mag. Sie fanden bereits im Mittelalter durch Heiler Anwendung beim Schröpfen, das die Durchblutung an bestimmten Stellen des Gewebes fördern sollte. Heute kommt das Vakuuumverfahren beim Kühlen und auch in Kombination mit dem Backen zum Einsatz. Das erste Patent auf eine Vakuuumkühlung wurde zwar bereits 1936 erteilt, zu dieser Zeit waren Vakuuumpumpen aber noch viel zu groß, zu schwer und zu teuer. Erste technische Anwendungen der Vakuuumkonditionierung gab es daher erst in den 1960-er Jahren. Dazu zählte etwa das schnelle Abkühlen von Toastbroten, um sie möglichst frisch schneiden und verpacken zu können. Eine erste Renaissance erlebte die Technologie dann in den 1990-er Jahren. Dabei ging es um Qualitätsverbesserungen diverser Gebäcke

in puncto Rösche, Volumen oder Lockerung, insbesondere bei laminierten Backwaren. Seit einigen Jahren ist nun die Vakuuumkühlung, ein lange unterschätztes Verfahren, wieder auf dem Vormarsch, wie es auch in der Seminarankündigung hieß. „Inzwischen wird richtig mit dieser Technologie umgegangen, sowohl von den Maschinenbauern als auch von den Bäckern“, sagte VDB Präsident Hartmut Grahn passend dazu bei der Begrüßung.

Das Wasser ist entscheidend

Zum Auftakt erläuterte Dipl.-Ing. Frank Zehle vom IGV ausführlich das Prinzip der Vakuuumkonditionierung aus wissenschaftlicher Sicht. Das Verfahren nutzt eine sehr intensive physikalische Triebkraft und arbeitet dabei nahezu ohne „zeitintensive“ Wärmeleitungsprozesse. Voraussetzung dafür sind jedoch die besonderen physikalischen Eigenschaften des Wassers. Denn durch eine Druckabsenkung kann das System die in den ofenheißen Backwaren enthaltene Wärmeenergie direkt als Verdampfungsenthalpie nutzen, also als die für den Aggregatzustandswechsel des Wassers von flüssig zu gasförmig erforderliche Energie. Die



Foto: BT / Stefan Schütter 2020

Berechnung Wasserentzug

Theoretisch lässt sich der Wasserentzug bei der Vakuumkonditionierung für jedes Gebäck auf Basis der Ausgangs- und Zielkerntemperatur genau berechnen. Allerdings sind bisher leider kaum Daten über die spezifische Wärmekapazität der verschiedenen Gebäcke verfügbar, die ebenfalls für die Berechnung benötigt wird.

Auf die Herleitung und die Formel, die Dipl.-Ing. Frank Zehle in seinem Vortrag genau erläuterte, sei an dieser Stelle verzichtet. Zur Veranschaulichung soll jedoch ein Weizenbrot als Beispiel dienen. Dabei wird davon ausgegangen, dass ein 1 kg-Brot in der Vakuumkammer von 95 °C Kerntemperatur auf 40 °C Kerntemperatur herunter zu kühlen ist.

Das Weißbrot verliert gemäss Berechnung beim Abkühlen von 95 °C auf 40 °C etwa 66 Gramm Wasser. Es verliert pro 10 °C Abkühlung dementsprechend etwa 1,1% seiner Masse. Um das Weißbrot auf 40 °C abzukühlen, ist ein Enddruck von ca. 75 mbar erforderlich.

(Quelle: IGV GmbH)

In Gastrobehältern mit einem Spezialdeckel lassen sich vorproduzierter Reis und andere Lebensmittel in einer Vakuumkammer in einem Schritt kühlen und vakuumieren.



Foto: BT / Stefan Schmitt, 2020

Verdampfungsenthalpie bei 100 Grad Celsius beträgt 2.258 kJ/kg. Diese Energie reicht aus, um ein Kilogramm 100 Grad Celsius heißes Wasser zu verdampfen. Für das vorherige Erwärmen des Wassers auf 100 Grad Celsius ist natürlich zusätzliche Energie erforderlich, um die Wassermoleküle ausreichend in

Schwingung zu versetzen. Die Vakuumkonditionierung ist dementsprechend umso weniger effizient, desto stärker das aus dem Ofen kommende Gebäck schon abgekühlt ist. Weil die freigewordene Wärmeenergie bei der Vakuumkonditionierung aber immer direkt verbraucht wird, kühlen die Backwaren sehr schnell ab. Das ist möglich, weil der Siedepunkt des Wassers bei fallendem Druck ebenfalls sinkt. Während das Wasser auf Meereshöhe, also bei 1.013 hPa Luftdruck, bekanntermaßen bei genau 100 Grad Celsius siedet, siedet es auf dem 4.807 Meter hohen Mont Blanc bei 554 hPa bereits bei 83 Grad Celsius und auf dem 8.848 m hohen Mount Everest bei 312 hPa schon bei 71 Grad Celsius. Bei einem entstan-

denen Vakuum und einem Druck von nur noch 0,001 hPa würde es sogar bereits bei -76 Grad Celsius siedend. Übertragen auf den Vakuumkühlprozess bedeutet das: Wenn beim Abkühlen eine bestimmte Ziel(kern)temperatur im Gebäck erreicht werden soll, muss der Druck in der Vakuumkammer reduziert werden. Dabei sind Druck in der Vakuumkammer und die Kerntemperatur physikalisch miteinander verknüpft. Das Kochen von Wasser bei niedrigerem Druck und niedrigeren Siedepunkten setzt aber auch die übertragene Energiemenge herab. Folglich kann man auf dem Mount Everest kein Ei mehr hart kochen, weil die Wärmeenergie nicht ausreicht, um das Eiweiß denaturieren zu lassen. Auch Nudeln werden beim Kochen auf einer Alphütte auf 3.000 Metern nicht mehr wirklich al dente. Die mit dem Kochen einhergehende Volumenzunahme des Wassers zeigt sich zudem auch im Alltag, etwa beim Überkochen eines Topfes mit Kartoffeln.

Definierter Trocknungsprozess

Grundsätzlich ist eine Vakuumkonditionierung immer auch ein Trocknungsprozess. Thermodynamisch betrachtet ist der Backvorgang allerdings ebenfalls immer ein Trock-

Anwendungsbeispiele

Schnelles Abkühlen von halbgebakenen Brötchen

Vorteile im Prozess:

- Erste Backzeitverkürzung um 30%
- Verzicht auf Frosten
- Verpacken direkt nach dem Abkühlen
- Verbesserung der Verfügbarkeit von Waren (Logistik)

Verbesserungen bei den Gebäudeigenschaften:

- Keine Setzfalten
- Verbesserte Rösche und Krumeneigenschaften

Schnelles Abkühlen und Stabilisieren von Croissants

Vorteile im Prozess:

- Backzeitverkürzung um 18%
- Sofortige Weiterverarbeitung der Waren sowie Kommissionierung

Verbesserungen bei den Gebäudeigenschaften:

- Stabilisierung der Gebäcke
- Volumenzunahme
- Helle Krustenfarbe und weiche, luftige Krume
- Kurz im Biss

(Quelle: Dipl.-Ing. Daniel Chwalczyk)

nungsprozess. Wie beim Ofen sind daher auch bei der Vakuumkonditionierung die optimalen Parameter erforderlich, sonst kann sich die

Technologie negativ auf die Saftigkeit und den Geschmack der Gebäcke auswirken. „Die Kunst ist es aus einem Gebäck keinen Zwieback zu machen“, brachte es Zehle überspitzt auf den Punkt. Bei einer optimalen Vakuumkonditionierung und einer ganzheitlichen Prozessbetrachtung, also inklusive Teigherstellung, Gärprozess, Ofen, Verpackung und Lagerung, ist der Feuchteverlust allerdings nicht größer als bei einem herkömmlichen Backvorgang, der eine rösche Kruste erzeugt. Grundsätzlich ist die Vakuumkühlung ein physikalisch eindeutig beschreibbarer thermodynamischer Prozess.

Serienanlage der Glavatec AG. Die bei der IGV GmbH aufgestellte Vakuumkonditionierung dient Versuchszwecken, Kundenpräsentationen und Tests.



Foto: Glavatec AG

Über eine energetische Bilanzbetrachtung der physikalischen Vorgänge beim Abkühlen durch Vakuum ist der Wasserentzug des abzukühlenden Produktes in Abhängigkeit seiner Stoffeigenschaften und der gewünschten Abkühlung (Temperaturdifferenz) konkret berechenbar (Beispiel siehe Kasten). Dabei gilt beim Wasserverlust: Je größer die spezifische Wärmekapazität eines Gebäcks ist und je weiter es abgekühlt wird, desto größer ist die Wassermenge, die dabei verdampft und dem Gebäck entzogen wird. Die Abkühlung sollte also nur so weit wie nötig erfolgen, um die Gebäcke nicht unnötig auszutrocknen. Vergessen werden sollten bei der möglichen Kritik an der Austrocknung auch nicht die unvermeidlichen Feuchtigkeitsverluste, die bei der ambienten also der natürlichen Abkühlung der Backwaren ebenfalls auftreten. Dennoch ist die Vakuumkonditionierung besonders gut für wasserreiche Gebäcke geeignet. „Es macht dagegen keinen Sinn, einen Mürbeteigkeks mittels Vakuumtechnik abzu-

kühlen“, so Zehle. Zum Abschluss bemerkte er noch, dass heute nicht mehr von Vakuumkühlung, sondern lieber von Vakuumkonditionierung gesprochen werde. Das Ziel der Vakuumkühlung ist dabei das Erreichen von möglichst niedrigen Kerntemperaturen, während bei der Vakuumkonditionierung die Produkte nur soweit abgekühlt werden, wie es gewünscht ist. Verfahrenstechnisch läuft in beiden Fällen aber der identische Prozess ab. Vakuumkonditionierung klinge aber vermutlich einfach schicker.

Produktspezifische Konditionierungskurven

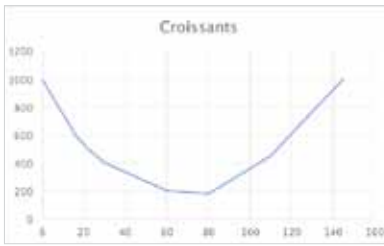
Ein ausgebackenes Produkt in die Vakuumkammer zu schieben, führt immer zu einem zusätzlichen vermeidbaren Wasserentzug. Daher ist es unerlässlich, den vorgeschalteten Backprozess entsprechend anzupassen und die Backzeit zu reduzieren, so dass die Gebäcke eine Wasserreserve enthalten, die sich für die Vakuumkonditionierung nutzen lässt. Weil es dabei immer einen Feuchteunterschied zwischen der trockeneren Kruste und der feuchteren Krume gibt, ist es ganz wichtig für jedes Gebäck eine produktspezifische Konditionierungskurve zu fahren. Standardkurven für einzelne Gebäcksorten gibt es allerdings nicht. Die Kurven müssen individuell auf jeden Betrieb abgestimmt werden und hängen unter anderem von der Mehlqualität, dem Ofensystem und weiteren Parametern ab. Dabei sollte der Druck nicht weiter abgesenkt werden als unbedingt nötig. Lediglich bei halbgebackenen-Brötchen kann eine tiefere Abkühlung sinnvoll sein, damit diese besonders lange stabil bleiben. Eine zu schnelle Druckabsenkung ist aber in

jeden Fall zu vermeiden. Gebäcke mit dehnbarer Kruste, wie etwa Croissants oder Plunder, sind dabei zwar toleranter als Brote mit festerer Kruste und instabilerer Krume (z.B. bei Roggen- und Roggenmischbroten), aber generell gilt: Je mehr Wasser im Gebäck enthalten ist, desto mehr Zeit ist auch für ihre Konditionierung erforderlich. Sonst würde ein Zuviel an austretendem Dampf die Gebäcke zerreißen. Ein Käsekuchen würde bei einem zu schnellen Druckabfall sogar regelrecht auseinanderfallen. Am Ende der Konditionierung muss das Vakuum dann gebrochen werden, sonst lässt sich die Kammertür nicht öffnen. Dazu muss wieder Luft in die Kammer einströmen, idealerweise durch einen Sterilluftfilter. Die keimarme Luft strömt dabei bis tief in die Backwaren hinein. Ebenso erzeugen auch ambient, also ohne irgendein Kühlverfahren, abkühlende Gebäcke in ihrem Inneren einen Unterdruck. Dieses Wirkprinzip wird bei verschiedenen Reinraumkonzepten ausgenutzt, wo beispielsweise ofenheiße Backwaren unter sterilen bzw. keimreduzierten Bedingungen abgekühlt und anschließend verpackt werden. Der Druckausgleich in der Vakuumkammer darf allerdings auch nicht zu abrupt erfolgen. Als Extrembeispiel sind dazu beim Baumkuchen etwa 10 Minuten nötig, damit dieser nicht zusammenfällt. In Zukunft lassen sich vielleicht sogar Aromen, die bei der Vakuumkonditionierung verloren gegangen sind, beim Druckausgleich wieder hineinbringen. Schon heute ist es zudem möglich Aromaverluste oft durch eine Minimierung der Vorbackzeiten oder den Einsatz von Vorstufen wieder zu kompensieren.

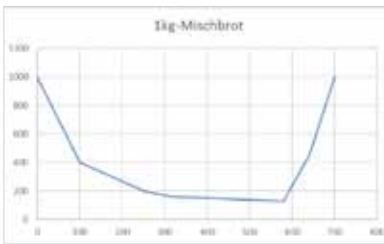
Foto: BT /Stefan Schütter 2020



Im Praxisteil des Seminars wurden verschiedene Gebäcke klassisch gebacken und vakuumkonditioniert. Das Ziel war zu zeigen, dass die Backwaren die über Vakuum abgekühlt wurden nicht automatisch „anders“ sein müssen (Konsolidierung der vorhandenen Qualität). Hier steht im Vordergrund die Optimierung der Produktionsprozesse (z.B. schnelles Abkühlen).



Die Kurve zeigt, dass bei Croissants der Druck in der Vakuumkammer in etwa anderthalb Minuten auf 180 mbar abgesenkt wird und die Croissants dabei auf etwa 61 °C abkühlen.



Beim größeren 1kg-Mischbrot erfolgt eine etwas stärkere Druckabsenkung auf 130 mbar in knapp neun Minuten. Die Brote kühlen dabei ebenfalls auf etwa 60 °C ab.

Regelungsdaten Croissants:

Sek	mbar
0	1000
8	800
12	700
16	600
22	500
30	400
45	300
60	200
80	180
110	450
145	1000

Regelungsdaten 1kg-Mischbrot:

Sek	mbar
0	1000
100	400
160	320
250	200
320	160
400	150
480	140
580	130
640	450
700	1000
145	1000

Tipps für Gebäcke

Ofen und Vakuumzelle sollten möglichst nah nebeneinanderstehen, denn die Gebäcke sollten möglichst schnell aus dem Ofen in die Vakuumzelle kommen. Dabei ist der zeitliche Spielraum bei kg-Brot natürlich größer als bei Kleingebäck. Die Kerntemperatur sollte 80 Grad Celsius nicht unterschreiten, wird aber immer deutlich unter 100 Grad Celsius liegen. Bei einer Kerntemperatur von 100 Grad Celsius wäre das Brot auch bereits staubtrocken, denn 100 Grad Celsius Kerntemperatur werden erst dann erreicht, wenn das enthaltene Wasser vollständig verdunstet ist. Zu beachten ist zudem, dass bei der Vakuumkonditionierung nur die Gebäcke abkühlen, der Stikkenwagen jedoch heiß bleibt, weil aus ihm kein Wasser verdunstet. Der Konditionierungsprozess selbst bleibt immer gleich, egal ob bei einer vollen oder einer Teil-Belegung. Die Abkühlung erfolgt auch gleichmäßig über die gesamte Fläche. Weil überall der gleiche Druck herrscht, ist auch die Temperatur überall gleich. Die Vakuumzelle kann jedoch das Nadelöhr der Produktion sein, wenn ihre Kapazität nicht genau auf die Ofenkapazität und die Ofenbelegung abgestimmt ist. Wenn die Gebäcke nach dem Aus-

backen zu lange stehen, bevor sie in die Vakuuumzelle kommen, verringert sich allerdings nicht nur der Abkühlleffekt. Aufgrund der verkürzten Backzeit können die Gebäcke auch zusammenfallen. Durch eine fachgerechte Vakuuumkonditionierung entstehen bei Toastbroten dagegen keine Setzfalten mehr und sie bekommen ein größeres Volumen, so dass in einem Anwendungsfall die Teig einwaage reduziert werden konnte. Damit der Toast schnittfähig ist, sollte er eine Kerntemperatur von 40-45 Grad Celsius haben. Die Praxis hat aber gezeigt, dass es ausreicht die Laibe in der Vakuuumkammer auf 50 Grad Celsius herunter zu kühlen. Die Zeit, bis die Brote in der Schneidemaschine ankommen, genügt dann in der Regel, damit die Kerntemperatur die noch fehlenden 5 Grad Celsius fällt. Den Toast im Vakuuum stärker zu kühlen, ist also nicht erforderlich. Schließlich wäre es schade um die dabei unnötig entzogene Feuchtigkeit aus der Krume. Auch bei glutenfreien Kastenbroten bringt eine Vakuuum-

konditionierung deutliche Verbesserungen. Sie werden stabiler und aufgrund der verkürzten Backzeit ist die Krume saftiger. Die Rösche bei vakuuumkonditionierten Brötchen gleicht sich aufgrund des gesenkten aw-Werts zudem erst nach sechs bis sieben Stunden an die von herkömmlich gebackenen Brötchen an. Für die meisten Bäckereien ist das eine spürbare Verbesserung. Bei einem klassisch hergestell-

ten Biskuit kann die Vakuuumkonditionierung sogar den klassischen Ei-Geschmack etwas abschwächen. Das mag Bäckern als Nachteil erscheinen, es kann aber sein, dass junge Kunden, die an Biskuit aus Convenience-Produkten gewöhnt sind, einen weniger deutlichen Ei-Geschmack bevorzugen. Es ist auch möglich selbst gekochten Vanillepudding in nur vier Minuten von 95 Grad Celsius auf nur noch 3 Grad Celsius abzukühlen und so per Vakuuumkonditionierung den für eine Rekontamination kritischen Temperaturbereich schnell zu überwinden. Frank Forster, von der schweizerischen Food66 GmbH, ermöglichte den Bäckern dann noch einen Blick über den Tellerrand und stellte eine neue Verpackungstechnologie für den Einsatz in der Gastronomie zur Kühlung und gleichzeitigem Vakuuumieren von Lebensmitteln vor. Damit können zum Beispiel große Mengen Reis, Polenta, Kartoffelbrei oder andere kompakte Lebensmittel vorproduziert und dann, ohne das bisher übliche Ausstreichen in 2 Zentimeter hohe Schichten, in 4-5 Minuten sicher und gleichmäßig auf 2-3 Grad Celsius abgekühlt werden. In den Spezialbehältern mit passenden, vakuuumstabilen Deckeln sind die Produkte durch das, wie in einer Konserve, innen anliegende Vakuuum, gekühlt, mehrere Wochen haltbar.

Details der Vakuuum-Technik

Die Vakuuumkammer muss entweder mit einer großen Vakuumpumpe oder einer Dampfkondensation ausgestattet sein. Der Hersteller Glavatec AG aus der Schweiz arbeitet mit

einer patentierten innenliegenden Dampfkondensation, bei welchem der Boden der Vakuuumkammer trocken und sauber bleibt, weil dort kein Wasser kondensiert. Die gesamte Technik wie auch die Dampfkondensation und Luftreinigung ist bei Glavatec AG im Gehäuse der Vakuuumkammer integriert, externe Module gibt es nicht. Da so der Weg von der Pumpe zur Vakuuumkammer sehr kurz ist, arbeitet diese hocheffizient. Zur Effizienz trägt auch eine patentierte Dichtung der Vakuuumkammer bei. Denn je dichter die Kammer ist, desto weniger Leistung benötigt die Pumpe. Ergänzend läuft die Pumpe immer mit einer Minimum-Drehzahl, damit sie eine Mindesttemperatur von 35 Grad Celsius hält und dort somit keine Kondensation stattfinden kann. Da die Lebensdauer einer Pumpe dann am längsten ist, wenn sie mit möglichst tiefer Drehzahl läuft, wird sie bei Glavatec über eine Klappe und über einen Frequenz-Umrichter gesteuert. Nur im ersten Moment der Konditionierung benötigt die Vakuumpumpe ihre volle Leistung, danach ist kontinuierlich weniger Leistung erforderlich. Um allgemein hohe Standzeiten und Wartungsfreiheit zu gewährleisten, sind die Lager der Anlage zudem mit Stickstoff geflutet. Auch ist das Bodensystem rein mechanisch konstruiert und sehr robust. Die Zelle wird automatisch gereinigt. Dabei wird gleichzeitig auch die Pumpe bei niedriger Rotation gewaschen und trocken gefahren. Die erste Serienanlage des Unternehmens steht schon seit 2016 bei der Bäckerei Jacques Gabriel AG im schweizerischen Glarus. Geschäftsführer Koni Gabriel zeigte sich im Seminar sehr zufrieden damit.



Foto: BT /Stefan Schütter 2020



Foto: BT /Stefan Schütter 2020



Foto: BT /Stefan Schütter 2020



Foto: BT /Stefan Schütter 2020

4 Die Krume beim vakuuumkonditionierten Toast rechts ist wattiger als die des konventionell gebackenen Toasts links. Dieser hat zudem eine unerwünschte Taille. **5** Im direkten Vergleich ist auch das wie erwartet etwas größere Volumen des vakuuumkonditionierten Toasts rechts deutlich sichtbar. **6** Die stärkere Lockerung und das größere Volumen des vakuuumkonditionierten Croissants rechts sind hier ebenfalls erkennbar, aber nicht bis zum Maximum ausgereizt. **7** Durch die verkürzte Backzeit ist die Kruste des vakuuumkonditionierten Mischbrotrechts etwas heller: Zudem ist sein Volumen ein wenig größer. Dieses Beispiel veranschaulicht, dass das Abkühlen von größeren Brotleiben kein Problem für die Qualität darstellt sondern erheblich zum starken Verkürzen von Prozessketten in der Produktion führt.

