FHP: Welche Erkenntnisse aus laufenden Projekten sind für die Weiterentwicklung KI-gestützter Inspektionssysteme besonders wegweisend?

T. Bock: Im Mehrwegbereich zeigt sich ein klarer Trend: Individualflaschen verdrängen zunehmend klassische Poolflaschen, während die Produktvielfalt insgesamt wächst. Diese Dynamik verlangt nach flexiblen, schnell anpassbaren KI-Lösungen. Erste konkrete Anwendungen belegen bereits, dass Deep-Learning-Inspektionssysteme die Erkennungsgenauigkeit steigern und den Ausschuss senken: Weniger einwandfreie Flaschen werden fälschlich ausgesondert, vorgeschädigte Behälter werden frühzeitig erfasst. Die Fähigkeit zur raschen Anpassung an neue Flaschentypen und Fehlerbilder wird damit zu einem zentralen Qualitätsmerkmal zukünftiger Inspektionssysteme.

Thomas Bock

Head of Inspection and Monitoring Technology, Image Processing Corporate R&D
Krones AG

Thomas.Bock@krones.com

Vakuumtechnologie in Backwaren

Hygiene, Effizienz und Qualität im Takt

Von Zhanar Sadyk

Kurzgefasst: Frisch gebacken – und wenige Minuten später schnitt-, verpackungs- und versandbereit. Die Vakuumkühlung verkürzt den längsten Prozessschritt der Backproduktion auf ein Minimum und verändert damit den Takt moderner Bäckereien grundlegend. Warum immer mehr Betriebe auf diese Technologie setzen – und welches physikalische Prinzip hinter dem Effizienzgewinn steht.

Die Backwarenbranche steht unter massivem wirtschaftlichem und regulatorischem Druck: steigende Energie- und Rohstoffkosten, verschärfte Hygieneanforderungen, hohe Erwartungen an konstante Produktqualität sowie zunehmender Personalmangel. Gleichzeitig wachsen die Produktionsmengen, während verfügbare Flächen meist unverändert bleiben. Diese Rahmenbedingungen zwingen Bäckereien dazu, ihre Prozesse konsequent auf Effizienz, Stabilität und Wirtschaftlichkeit zu prüfen.

Ein oft unterschätzter, jedoch zeitlich dominanter Prozessschritt ist die Abkühlung frisch gebackener Ware. Zwischen Ofen und Verpackung entsteht ein kritisches Zeitfenster: Produkte müssen kontrolliert auf sichere Kern- und Oberflächentemperaturen gebracht werden. In vielen Betrieben bindet dieser Abschnitt erhebliche Fläche, verlängert Durchlaufzeiten und erhöht das Risiko mikrobiologischer Kontamination.

Die Reduktion der Kontaminationszeit, die Sicherung gleichbleibender Qualität, die Optimierung von Arbeitszeiten, steigende Produktmengen bei begrenzter Fläche sowie der Druck zur Energieeinsparung verlangen nach prozessintegrierten Lösungen. Genau hier setzt die Vakuumkühlung an – als technologischer Hebel innerhalb eines einzigen, klar definierten Prozessschritts.

Grenzen konventioneller Kühlverfahren

Der konventionelle Kühlprozess folgt einem einfachen Prinzip: Die Backwaren verlassen den Ofen und kühlen auf Stikkenwagen, Kühlbändern oder offenen Regalen bei Raumtemperatur beziehungsweise mit Umluft ab. Was technisch unkompliziert erscheint, erweist sich im Produktionsalltag jedoch als struktureller Engpass. Um eine Brotcharge von rund 95 °C auf unter 30 °C abzukühlen, vergehen – abhängig von Produktgrösse, Rezeptur und Raumklima – **zwischen 45 und 120 Minuten**. Diese Dauer definiert den Takt der gesamten Linie und begrenzt unmittelbar den Durchsatz eines Betriebs.

Während dieser langen Abkühlphase verbleibt die Ware in einem sensiblen Temperaturbereich. Die sogenannte mikrobiologische Gefahrenzone zwischen 10 °C und 60 °C wird über einen erheblichen Zeitraum durchlaufen – ein Fenster, in dem sich Hefen, Schimmelpilze und Bakterien wie *Bacillus cereus* besonders schnell vermehren können. Offene Kühlparkflächen mit zirkulierender Warmluft begünstigen zusätzlich die Verteilung von Keimen und Mehlstaub im Raum und erhöhen damit das Risiko einer Rekontamination.

Neben hygienischen Aspekten sind auch qualitative Effekte zu beobachten. Eine langsame und nicht homogene Temperaturabsenkung kann zu Setzfalten führen, insbesondere bei feinen Gebäcken oder Sandwichbroten. Aufsteigende Feuchtigkeit kondensiert an der Kruste, sie verliert an Stabilität, das Volumen nimmt ab. Der Einsatz konventioneller Tiefkühlsysteme als Ausweichlösung verschiebt das Problem lediglich: Die starke thermische Belastung kann die Teigstruktur be-

Tab. 1 Unterschiede zwischen konventioneller Kühlung und der Vakuumkühlung von Glavatec

Konventionelle Kühlung	Glavatec Vakuumkühlung
45–120 min Abkühlzeit	**Abkühlzeit: wenige Minuten**
Große Kühlparkfläche nötig	**Bis zu 90 %* weniger Abkühlfläche**
Lange Exposition in der Gefahrenzone	**Minimierte Rekontaminationszeit**
Setzfalten, Volumenverlust möglich	**Kein Volumenverlust, keine Setzfalten**
Hoher Energieeinsatz (Kühlaggregate)	**Bis zu 50 %* weniger Energieverbrauch pro Abkühlzeit**
Kaum individuelle Steuerung	**Produktspezifische Kühlkurven**

* Richtwerte, anwendungsspezifisch konkretisierbar

einträchtigen und sich negativ auf Textur und sensorische Qualität auswirken. In der Tabelle 1 sind die Unterschiede zwischen konventioneller Kühlung und der Vakuumkühlung von Glavatec dargestellt.

Funktionsprinzip der Vakuumkühlung

Das physikalische Prinzip hinter der Vakuumkühlung ist so elegant wie wirkungsvoll: Der Siedepunkt von Wasser ist keine feste Größe – er hängt direkt vom Umgebungsluftdruck ab. In den Bergen siedet Wasser nicht bei 100 °C, sondern bereits bei rund 80 °C, weil der Luftdruck auf 8849 Metern nur noch etwa 500 mbar beträgt. Senkt man den Luftdruck weiter – etwa mit einer Vakuumpumpe – auf rund 1 mbar, dann siedet Wasser bereits unter 1 °C (siehe Abb. 1).

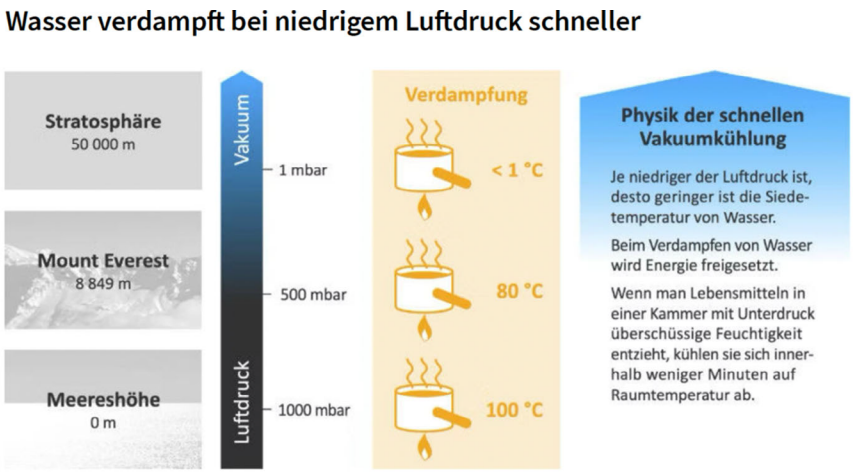

Abb. 1 ***Physikalisches Prinzip der Vakuumkühlung:*** *Mit sinkendem Luftdruck reduziert sich die Siedetemperatur von Wasser deutlich – auf Meereshöhe (1000 mbar) bei 100 °C, in 500 mbar Umgebung (z. B. in großer Höhe) bei rund 80 °C und in der Vakuumkammer (~1 mbar) bereits unter 1 °C. Durch die spontane Verdampfung gibt die Backware Wärme ab und kühlt innerhalb weniger Minuten auf Raumtemperatur ab. (Quelle: Glavatec AG)*

Genau dieses Phänomen nutzt die Vakuumkühlung: Die heiße Backware mit einer Kerntemperatur von bis zu 95 °C wird in eine druckdichte Kammer geschoben. Der Luftdruck wird kontrolliert und stufenweise abgesenkt. Sobald der Dampfdruck des im Backgut enthaltenen Wassers den Umgebungsdruck übersteigt, beginnt das Wasser – auch im Inneren des Produkts, durch die poröse Krumenstruktur hindurch – zu verdampfen. Jedes verdampfte Gramm Wasser entzieht dem Produkt dabei die sogenannte latente Verdampfungswärme von rund 2260 Joule – ohne dass Kälteenergie von außen zugeführt werden müsste.

Die Hitzeenergie, die dem Backgut im Ofen zugeführt wurde, wird in der Vakuumkammer auf natürliche Weise in Kälte umgewandelt. Das Backgut kühlt sich gewissermaßen selbst ab. Dieser physikalische Selbstkühlungseffekt ist der entscheidende Unterschied zu jeder anderen Kühltechnologie: Es wird keine externe Kältemechanik benötigt. Die Kühlung wirkt volumetrisch – also gleichzeitig an Kruste und Krume – und nicht nur von außen nach innen wie bei Luft- oder Kontaktkühlung.

Vorteile der Vakuumkühlung für Bäckereien

Der unmittelbarste Vorteil der Vakuumkühlung liegt in der drastischen **Verkürzung** der **Abkühlzeit**. Während konventionelle Umgebungskühlung je nach Backwarenart bis zu 120 Minuten beansprucht, dauert der Prozess mit einer Glavatec-Anlage lediglich wenige Minuten. Die Backwaren verlassen die Vakuumkammer damit in einem Zustand, der eine sofortige Weiterverarbeitung, Portionierung, Verpackung oder Auslieferung ermöglicht. Dieser Zeitgewinn erhöht unmittelbar den Produktionsdurchsatz: Betriebe, die bislang durch lange Kühlphasen limitiert waren, können mit gleicher Ofenkapazität mehr Chargen pro Schicht realisieren. Der Produktionsfluss wird entkoppelt, Wartezeiten und Engpässe entfallen. Gerade für Filialbäckereien, Zulieferer oder mehrschichtig produzierende Betriebe ist dies ein entscheidender Faktor, um das tägliche Volumen zuverlässig zu bewältigen.

Neben der Geschwindigkeit verbessert die Vakuumkühlung zugleich die **Produktqualität**. Die kontrollierte und schonende Abkühlung erhält Volumen, lockere Porung und Biss; typische Setzfalten bei Sandwich- oder Toastbrot treten nicht auf. Durch die gezielte Verdunstung an der Oberfläche wird die Krustenstruktur gefestigt, ohne dass Kondenswasser entsteht oder die Kruste aufweicht. Auch die Krume profitiert: Die schnelle, gleichmäßige Temperaturabsenkung verlangsamt stärkephysikalische Alterungsprozesse, stabilisiert die Struktur und reduziert die Anfälligkeit für frühzeitiges Altbackenwerden. Besonders bei glutenfreien Produkten zeigt sich dieser Effekt deutlich. Entscheidend ist die volumetrische Wirkungsweise der Kühlung. Anders als bei Luftkühlung, bei der die Oberfläche rasch abkühlt und der Kern lange warm bleibt, sinken Kern- und Oberflächentemperatur nahezu synchron. Temperaturgradienten, Spannungen und ungleichmäßige Feuchteverteilungen werden dadurch minimiert. Die verkürzte Verweildauer im mikrobiologisch kritischen Bereich reduziert zudem die Keimbelastung und verlängert die Haltbarkeit. Produkte können unmittelbar verpackt und ausgeliefert werden, ohne zusätzliche Tief-

Abb. 2 Glavatec Vakuumkühlanlage, zweitürig

kühlstufen, was Logistik und Energieaufwand reduziert.

Die Technologie eignet sich für nahezu alle Backwarengruppen – von Brot und Brötchen über Baguettes, Laugen- und Plundergebäck bis hin zu Toast- und glutenfreien Spezialitäten. Produktspezifische Kühlkurven ermöglichen eine präzise Anpassung an unterschiedliche Rezepturen. Ein zusätzlicher wirtschaftlicher Effekt ergibt sich daraus, dass stabilere und volumenreichere Produkte mit geringerem Einsatz von Additiven auskommen können.

Auch **energetisch** bietet das Verfahren strukturelle Vorteile. Die Abkühlung erfolgt ohne externe Kälteerzeugung; die im Produkt enthaltene Feuchtigkeit verdampft im Vakuum und entzieht dem Backgut die Wärme. Kühlaggregate und deren Betriebskosten entfallen. Da Restfeuchte im Vakuum abgeführt wird, kann – abhängig vom Produkt – zudem die Backzeit verkürzt werden, was die Ofenkapazität erhöht und den Energieeinsatz pro Kilogramm Backware senkt. Gleichzeitig reduziert der Wegfall großer Kühlparkflächen den Flächenbedarf und schafft zusätzlichen Raum für produktive Nutzung.

Abb. 3 Koni Gabriel, Inhaber der Gabriel-Bäckerei vor der Glavatec-Vakuumkühlanlage in der Produktion (Quelle: Jacques Gabriel AG)

Praxisfeedback: zwei Bäckereien, eine Erfahrung

Die Jacques Gabriel AG in Glarus ist ein gewachsener Familienbetrieb in siebter Generation mit heute rund 120 Mitarbeitenden und acht Filialen. Produziert wird zentral – und genau dort ist die Vakuumkühlung fester Bestandteil des täglichen Ablaufs. Der Entscheid für das System fiel nicht theoretisch, sondern nach einem Praxistest: Zunächst wurde ein Prototyp unter realen Produktionsbedingungen erprobt, erst danach folgte die maßgeschneiderte Installation.

Für Inhaber Koni Gabriel ist der Nutzen klar messbar: „Wir kühlen alle unsere Produkte mit dem Vakuumkühlsystem und wären ohne dieses System nicht in der Lage, unser Volumen pünktlich zu produzieren."

Besonders überzeugt ihn das rein physikalische Prinzip: „Die Vakuumkühlung ist ein natürlicher Vorgang – ohne Einmischung von Zutaten oder Mitteln." Die Kühlung erfolgt ausschließlich über die Druckdifferenz, ohne chemische Hilfsstoffe oder zusätzliche Kältemechanik.

Im Betriebsalltag ist der Prozess vollständig integriert. Frisch gebackene Ware wird direkt nach dem Ofenabgang in die Anlage gefahren und ist wenige Minuten später kühl, trocken und verpackungsbereit. Kondenswasser entsteht nicht, Umlagerungen entfallen. Neben

Wirtschaftliche Aspekte

Die Investition in eine Vakuumkühlanlage ist vor allem eine betriebswirtschaftliche Entscheidung. Praxiserfahrungen zeigen: Wird der Kühlengpass beseitigt, steigt der Durchsatz bei gleicher Ofenkapazität – und damit das Umsatzpotenzial. Gleichzeitig wirken geringerer Energieverbrauch, optimierter Rohstoffeinsatz und effizientere Personaleinteilung kostensenkend.

Flavia Bäbler CEO der Glavatec AG

Flavia Bäbler, CEO der Glavatec AG, formuliert es so: „Eine Vakuumkühlanlage ist kein Kostenblock, sondern ein Produktivitätshebel. Mehr Durchsatz und geringere Betriebskosten machen die Investition messbar wirtschaftlich."

Zusätzlich entstehen qualitative Effekte wie weniger Ausschuss und längere Haltbarkeit sowie ein Flächengewinn durch reduzierte Kühlzonen. Bei der Planung werden Produktmix und Infrastruktur berücksichtigt; mögliche Förderprogramme für energieeffiziente Maßnahmen können die Investition weiter entlasten.

Wirtschaftliche Hebel im Überblick:

1. Produktionssteigerung: Mehr Durchsatz bei gleicher Backkapazität durch Wegfall des Kühlengpasses
2. Energieeinsparung: Bis zu 50 % kürzere Backzeit + keine externen Kühlaggregate
3. Qualitätsprämie: Differenziertere Produkte, längere Haltbarkeit, weniger Ausschuss
4. Raumgewinn: Bis zu 90 % weniger Abkühlfläche – nutzbar für Ofenkapazität oder Verpackung

Die Vakuumkühlung hat sich als praxiserprobte Technologie in der modernen Bäckereiproduktion etabliert. Sie verkürzt die Kühlphase drastisch und verbindet Zeitgewinn mit höherer Prozessstabilität, reproduzierbarer Qualität und verbesserter Energieeffizienz. Aus einem klassischen Engpass wird ein steuerbarer Produktionsschritt.

Welche Wirkung das im Alltag entfalten kann, zeigt die Bäckerei Gabriel in Glarus. „Wir könnten nicht mehr ohne die Vakuumkühlanlage arbeiten", sagt Inhaber Koni Gabriel. Ein Statement, das die betriebliche Relevanz der Vakuumkühlung deutlich macht.

der deutlich verkürzten Kühlzeit hebt Gabriel vor allem die Qualitätsstabilität hervor: kein Volumenverlust, verbesserte Frischhaltung um zwei bis drei Tage und eine spürbar erleichterte Produktionsplanung.

Mit der Reduktion des Kühlprozesses von rund einer Stunde auf wenige Minuten verändert sich der gesamte Takt der Backstube. Chargen lassen sich enger planen, Personal- und Ofeneinsatz effizienter steuern, Lieferzeiten zuverlässiger einhalten. Was früher ein unvermeidlicher Puffer war, ist heute ein kontrollierter und kalkulierbarer Prozessschritt.

Dass diese Erfahrungen kein Einzelfall sind, zeigt das Beispiel der Steiner-Beck AG in Wetzikon. Das 1936 gegründete Familienunternehmen zählt heute rund 750 Mitarbeitende und beliefert 29 Filialen im Zürcher Oberland und der Agglomeration sowie eine Filiale in Arosa – produziert wird zentral am Hauptsitz in Wetzikon. Geschäftsführer Bernhard Steiner setzt die Glavatec-Anlage auch im Bereich der Tiefkühlprodukte ein und ist von der Technologie sowie den Serviceleistungen von Glavatec überzeugt.

„Uns überzeugte die bessere Qualität, kein Volumenverlust, die schnelle Abkühlung und die verbesserte Frischhaltung um zwei bis drei Tage. Besonders bei unseren Tiefkühlprodukten konnten wir die Absplitterung der Krusten stark reduzieren“, erklärt Bernhard Steiner, Geschäftsführer der Steiner-Beck AG.

Weitere Informationen:
Glavatec AG

T +41 55 610 44 00
info@glavatec.ch
www.glavatec.ch

((ca. 3 Seiten sind leer))