



Wenn's schnell gehen muss

Im Schnellkochtopf garen Speisen unter Druck bei über 100 Grad Celsius. Dabei laufen mehrere thermodynamische Prozesse gleichzeitig ab.

Denise Müller-Dum und Jens Kube

Pellkartoffeln brauchen lange, bis sie gar sind. Doppelt bis dreimal so schnell geht es mit dem erhöhten Druck, den ein Schnellkochtopf zur Verfügung stellt: Bis zu 200 kPa – fast der doppelte Umgebungsdruck – sorgen für einen deutlich höheren Siedepunkt von Wasser. Die Kartoffeln kochen bei mehr als 100 °C und sind schneller gar. Das besagt eine Faustregel aus der Chemie von 1884: Nach dem Niederländer Jacobus Henricus van 't Hoff laufen chemische Reaktionen wie das Kochen bei einer um zehn Kelvin erhöhten Temperatur mehr als doppelt so schnell ab. Allgemeiner hat dies Svante Arrhenius in der nach

ihm benannten, empirisch gefundenen Gleichung 1889 formuliert.

Das Prinzip, mithilfe des Drucks die Siedetemperatur von Wasser kontrolliert zu erhöhen, hat der französische Mathematiker Denis Papin bereits im 17. Jahrhundert ausgenutzt. Weil der Behälter bei der Präsentation seines „Digestors“ explodierte, entwickelte er ein Sicherheitsventil, bei dem ein Gewicht für die rechtzeitige Entlüftung sorgte. Heute gilt sein Digestor als Vorläufer des modernen Schnellkochtopfs.

Ein solcher besitzt einen bajonettartigen Verschluss mit Dichtung, der den Deckel auch bei hohem Druck

auf dem Topf hält (**Abb. 1**). Im Deckel sorgen ein Regel- und ein Sicherheitsventil für den notwendigen Druckausgleich. Das Regelventil öffnet sich, sobald der festgelegte Druck erreicht ist: Dann steigt der Druck nicht weiter an, und die Temperatur im Topf bleibt stabil. Das Sicherheitsventil erlaubt einen Druckausgleich, falls das Regelventil blockiert, und beugt so dem Explodieren des Schnellkochtopfs vor. Zudem bewirkt es, dass sich der Deckel nur bei vollständigem Druckausgleich mit der Umgebung wieder öffnen lässt. Das verhindert, dass heißer Dampf mit hohem Druck beim Öffnen entweicht.

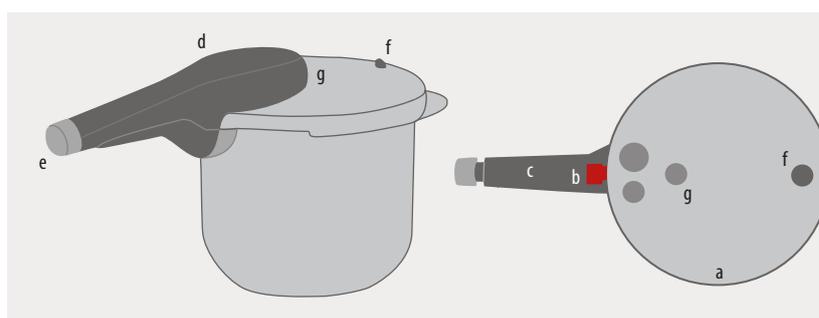


Abb. 1 Zu den wichtigsten Komponenten eines Schnellkochtopfs gehören Dichtungsring (a), Bajonettverschluss (b), Topfstiel (c), Deckelgriff (d), Drehschalter (e), Regelventil (f) und Sicherheitsventil (g).

Der Kochvorgang gliedert sich anhand des im Topf herrschenden Drucks in drei Phasen. Ein kontinuierlicher Druckanstieg kennzeichnet die erste Phase (**Abb. 2**). Anfangs befinden sich Wasser, Luft und die zu kochende Speise im geschlossenen Topf. Sobald die Herdplatte Wärme zuführt, steigt der Druck bei konstantem Volumen durch die Temperaturzunahme und das Verdunsten von Wassermolekülen an. Dabei erhöht der steigende Druck den Siedepunkt immer weiter, bis sich das Regelventil öffnet: Zum Beispiel führen 75 kPa Überdruck zu einer Siedetemperatur von 116 °C. Weil Wasserdampf zur Luft im Topf hinzukommt, erhöhen sich Temperatur und Teilchenzahl in der Gasphase, wodurch das Regelventil weiter öffnet.

Während der zweiten Phase bleibt der Druck nahezu konstant: Überschüssiger Dampf entweicht durch das Ventil aus dem Topf. Das hält die Kochtemperatur auf dem gewählten Niveau. Nach wenigen Minuten ist das Ende der Garzeit erreicht. In der dritten Phase stoppt die Wärmezufuhr. Jetzt muss der Topf so lange geschlossen abkühlen, bis der Druck im Inneren wieder dem Umgebungsdruck entspricht. Erst dann lässt sich der Deckel wieder sicher öffnen.

Physik im Topf

Während der drei Phasen kommt es im Topf zum Verdunsten und Sieden; Kondensation, Konvektion und Wärmeleitung treten auf. Das System befindet sich während des gesamten Vorgangs nicht im Gleichgewicht: Wärmeübergänge finden statt und beeinflussen das Garen des Kochguts.

Im Schnellkochtopf findet Wärmeleitung zwischen Herdplatte und Topfboden beziehungsweise bei Induktionsherden im Topfboden statt. Sie tritt auch in den Topfwänden sowie an der Oberfläche und im Inneren des Kochguts auf. Konvektion sorgt hingegen dafür, dass die Wärme sich im Wasser und schließlich auch in der Luft im Topf verteilt. Wasser und Luft tauschen Teilchen aus: zunächst durch Verdunsten, nach Erreichen der Siedetemperatur durch Verdampfen. Dadurch steigt der

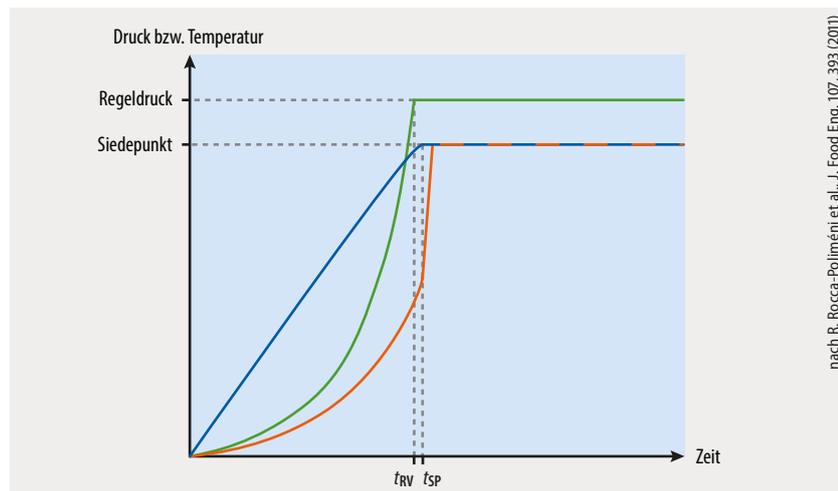


Abb. 2 Während der Aufheizphase steigt die Wassertemperatur (dunkelblau) fast linear an, Druck (grün) und Gastemperatur (orange) wachsen ungefähr exponentiell. Sobald das Regelventil bei t_{RV} öffnet, bleibt der Druck konstant. Die Gastemperatur steigt sprunghaft an, wenn bei t_{SP} der Siedepunkt erreicht ist und große Mengen Wasserdampf entstehen.

Wassergehalt der Luft und beeinflusst, wann Wasser an den kühleren Wänden und dem Essen kondensiert: Je mehr Wasser sich in der Luft befindet, desto eher kondensiert es.

Die frei werdende Kondensationswärme überträgt sich auf die Oberflächen und erhitzt diese. Im Kochgut gelangt die Wärme abhängig von seinen Eigenschaften in das Innere. Ein Maß, wie schnell dies vonstatten geht, ist die sogenannte Biot-Zahl $Bi = \alpha L / \lambda_K$ mit dem Wärmeübergangskoeffizient α an der Oberfläche des Kochguts, seiner charakteristischen Länge L – also seiner typischen Dicke – und seiner Wärmeleitfähigkeit λ_K . Die Zahl gibt das Verhältnis von Wärmeleit- und Wärmeübertragungswiderstand bzw. von innerem und äußerem thermischen Widerstand an. Ist Bi sehr klein, gleichen sich Kern- und Umgebungstemperatur abhängig vom Temperaturgradienten schnell an. Bei sehr großem Bi begrenzt die Wärmeleitung im Innern des Kochguts den Kochvorgang.

Doppelter Vorteil

Aus der Definition der Biot-Zahl leitet sich ab, dass sich bei kleineren Lebensmitteln die Kerntemperatur schneller erhöht. Der Schnellkochtopf reduziert die Dauer des Kochvorgangs demnach gleich zweifach: Erstens steigt die Kerntemperatur durch die höhere Kochtemperatur schneller

an, sodass die chemischen Reaktionen des Garens früher einsetzen. Zweitens laufen diese während des Garvorgangs aufgrund der höheren Temperatur schneller ab.

Neben der Zeitersparnis braucht das Garen mit dem Schnellkochtopf auch weniger Energie: Während der kürzeren Kochzeit geht weniger Wärme durch entweichenden Wasserdampf verloren. Einige Firmen versprechen eine Einsparung von bis zu 50 Prozent; die Stiftung Warentest gibt beim Kochen von Kartoffeln eine Energieersparnis von 30 Prozent an. Wissenschaftliche Studien mit Reis ergaben rund 44 Prozent: Den Energiebedarf beeinflusste auch, ob der Herd bis zum Ende der Garzeit heizte und ob der Reis vor dem Kochen eingeweicht wurde.

Am Ende der kurzen Garzeit heißt es warten, bis im Topf wieder Umgebungsdruck herrscht. Eilige schrecken ihn mit kaltem Wasser ab oder lassen den überschüssigen Dampf schnell durch das Ventil ab. Dabei können Pellkartoffeln aber aufplatzen. Für ein perfektes Ergebnis braucht es also auch beim Kochen mit dem Schnellkochtopf ein wenig Geduld.

Die Autor:innen

Dr. Denise Müller-Dum und **Dr. Jens Kube**, awk/jk – Agentur für Wissenschaftskommunikation, awkjk.de