

Der perfekte Braten

Physiker ermitteln beste Garzeit und Temperatur für Schweinefilet

Das Garen bei Niedrigtemperaturen ist en vogue, nicht nur in der Profi-Gastronomie, auch Hobbyköche sind begeisterte Anhänger der Methode. Dabei wird Fleisch, Fisch oder Gemüse gemächlich um die 80 Grad Celsius im Ofen geschmort. Noch radikaler ist das sogenannte Vakuum- oder Sous-vide-Garen. Dabei wird das Kochgut zuerst per Vakuumiergerät im Plastikbeutel eingeschweißt und dann im präzise temperierten Wasserbad, im Ofen (weniger genau) oder wahlweise in der Spülmaschine (soll tatsächlich funktionieren) gegart.

Der Vorteil dieser wenig traditionell anmutenden Technik ist in der Tat erstaunlich: Die Aromen zugegebener Kräuter und Gewürze werden regelrecht vom Fisch oder Fleisch aufgesogen. Bei welcher Temperatur und in welcher Zeit das Fleischgut schmoren sollte, um ein optimales Ergebnis zu erhalten, kann man zum Beispiel dem Kochbuch „Modernist Cuisine“ entnehmen, an dem der Physiker und ehemalige Technik-Chef von Microsoft Nathan Myhrvold mitgearbeitet hat.

Das Warmhalten bei mehr als 45 Grad macht jedes Fleisch zäh und trocken

Weitere Erkenntnisse kommen nun aus einem deutschen Forschungslabor. Das Team um Thomas Vilgis vom Max-Planck-Institut für Polymerforschung in Mainz hat herausgefunden, welche Temperaturen und welche Garzeit ein perfektes Schweinefilet im Vakuumgaren erzeugen: Es sind 20 Minuten bei 55 Grad. Nach dieser Behandlung ist das Muskelweiß Myosin denaturiert, während ein anderes, das Aktin, noch seine ursprüngliche Form innehat – so bildet sich ein locker verwobenes Proteinnetzwerk, was das Filet zart und mürbe macht. Wasser, das bei der teilweisen Denaturierung der Enzyme austritt, bleibt in der locker geknüpften Proteinstruktur gefangen und wird zudem von Kollagen, dem Baustoff des Bindegewebes, gebunden. Das Kollagen ist bei dieser Temperatur teilweise gelöst. Das in diesem Zustand gebundene Wasser – Fleisch besteht zu immerhin 75 Prozent aus Wasser – sorgt für die Saftigkeit des Filets.

Die Mainzer Forscher hatten für ihre Studie Schweinefilet bei Temperaturen zwischen 10 Minuten und 48 Stunden sowie zwischen 45 und 74 Grad Celsius in verschiedenen Kombinationen mithilfe der sogenannten Differenzkalorimetrie untersucht. So konnten die Forscher verfolgen, wie das Myosin bereits bei 48 Grad Celsius die Struktur veränderte. Bei einer Temperatur von exakt 71 Grad war die Denaturierung aller Proteine abgeschlossen. In diesem Zustand war das Fleisch maximal vernetzt, die Fasern geschrumpft und damit zäh und trocken. Der Großteil des Fleischsafts war ausgetreten und schwamm im Plastikbeutel. Die neue Studie widerlegt zudem das Mantra, wonach die Garzeit bei Temperaturen zwischen 60 und 80 Grad beliebig lang sein kann.

Praktische Schlussfolgerungen ergeben sich auch für den traditionellen Sonntagsbraten. Vilgis entlarvt nämlich mit seiner Studie den Volksglauben, wonach man Braten nach dem Garen ohne Qualitätsverluste warm halten könne und dies besser sei, als das Fleisch zu einem späteren Zeitpunkt erneut aufzuwärmen. Das wurde so physikalisch begründet: Auf Basis der Thermodynamik nahm man an, dass sich die Molekülstruktur bei gleichbleibender Temperatur nicht verändere. „Unsere Studie ist jedoch der experimentelle Beweis, dass die Denaturierung auch unter konstanter Temperatur weitergeht“, sagt Vilgis. Warm halten bei Temperaturen oberhalb 45 Grad Celsius ist daher von Nachteil – der Braten wird zäh und trocken. „Das Verhalten ist physikalisch praktisch universell, es gilt also auch für andere Fleischarten und Fisch“ so der Mainzer Forscher. „Dort sind lediglich die Temperaturen etwas verschieden.“

KATHRIN BURGER



FOTO: AP

Frühstück im Atlantik

Dominikaner-Möwen setzten Wale im südlichen Atlantik massiv zu. Die Vögel reißen Kälbern der Südkaper-Wale und deren Müttern Haut-, Fleisch- und Fettstücke aus dem Rücken – und das bei lebendigem Leib. Die aggressiven Vögel attackieren offenbar bevorzugt weibliche Wale und deren Nachwuchs, berichten Wissenschaftler um Carina Marón von der University of Utah im Fachmagazin *Plos One*. Auf Luftbildern aus der Gegend um die Valdés-Halbinsel in Argentinien aus den Jahren von 1974 bis 2011 beobachtete das Team einen Trend: In den 1970er-Jahren hatten lediglich zwei Prozent der Wale Narben von Möwenattacken. In den 2000er-Jahren wiesen bereits 99 Prozent der beobachteten Wale die von den Vögeln beigebrachten Verletzungen auf. Zudem verstärkten die hungrigen Möwen ihre Angriffe auf die Jungtiere, so wie auf diesem Bild zu sehen ist. Bis in die 1990er-Jahre waren Bissspuren an Müttern und Kälbern ähnlich häufig. Doch seit der Jahrhundertwende setzen die Möwen die Jungtiere sehr viel stärker zu. Marón und ihre Kollegen glauben, der Stress durch die Möwenangriffe könne dazu beitragen, dass die Glatzwale an Land stranden und dort verenden. Etwa 600 Südkaper starben zwischen 2003 und 2014 an der Küste der Valdés-Halbinsel. Durch die ständigen Angriffe der Möwen bleibt Müttern und ihren Jungtieren weniger Ruhezeit. Auch das Pflegeverhalten der Muttertiere leide, so die Forscher. Weshalb die Möwenangriffe so zugenommen haben, ist noch rätselhaft.

SEHE

Kampf um Prozente

Sie galten bereits als überholt, doch bis heute können sich Solarzellen aus Silizium gegen Konkurrenten aus anderen Materialien behaupten. Ingenieure entlocken dem Material mit technischen Kniffen immer höhere Effizienz

VON BENJAMIN VON BRACKEL

Ausgerechnet am Ufer des Buffalo Rivers im Westen des Bundesstaats New York, wo einst Schwerindustrie den Fluss verseucht hat, soll das grüne Zeitalter der USA beginnen. Mindestens wenn es nach Elon Musk geht, dem Gründer des Elektroautobauers Tesla. Mit seinen Fahrzeugen will er Benzinfräser verdrängen. Dem Klimaschutz hilft das aber nur, wenn der Strom für die Autos nicht aus Kohlekraftwerken kommt, sondern aus Ökoenergie-Anlagen.

Deshalb ist Musk im Begriff, groß in die Solarbranche einzusteigen. In einer ehemaligen Stahlfabrik am Buffalo River soll ein Werk von Frühjahr 2016 an bis zu 10.000 Solarmodule am Tag produzieren – so viele wie keine andere Solarfabrik in der westlichen Hemisphäre. Das kündigte das Unternehmen Solarcity, dessen größter Anteilseigner Musk ist, im Oktober an. Um sich als echter Energiepionier zu präsentieren, bedurfte es aber noch der Vermeldung eines Weltrekords: Solarcity hat nach eigenen Angaben die effizientesten fabrikreifen Solarmodule der Welt gebaut. 22,04 Prozent des Sonnenlichts sollen sie in elektrische Leistung umwandeln. Vier Tage später war der Coup aber bereits verloren. Die japanische Elektronikfirma Panasonic meldete einen Wirkungsgrad von 22,5 Prozent.

Standard-Solarmodule, wie sie auf deutschen Dächern montiert sind, erreichen unter optimaler Ausnutzung gerade mal 16 bis 18 Prozent. Die Effizienzrekorde sind Folge eines Wettlaufs zwischen Wissenschaftlern und Solarfirmen. Sie wollen die Jahrzehnte alte Silizium-Solarzelle noch besser machen – und sie vor Konkurrenz bewahren.

Keine Energietechnik wächst derzeit so

schnell wie die Photovoltaik. Um sich im Markt zu behaupten, müssen die Solarfirmen die Kosten drücken. Und jeder zusätzliche Prozentpunkt im Wirkungsgrad senkt die Kosten einer Solarzelle um sieben Prozent – so die Faustformel. Denn während die Leistung steigt, bleiben die Montage- und Produktionskosten gleich. Besonders dort, wo Photovoltaik-Flächen knapp sind, lohnen sich effizientere Solarmodule, etwa in Städten. Von der ersten modernen Solarzelle aus dem Jahr 1954 bis zu den heute installierten Anlagen hat sich der Wirkungsgrad verdreifacht. Anfangs wandelten die Vorrichtungen gerade einmal sechs Prozent der Energie des einfallenden Lichtes in Strom um.

Solarzellen verwandeln generell nur einen kleinen Teil des Lichts in Strom

Die Funktionsweise ist noch immer die gleiche: Treffen Sonnenstrahlen auf eine dünne Siliziumzelle, schlagen die Lichtteilchen Elektronen aus den Hüllen der Atome. Um die geladenen Elektronen abzusaugen, greifen Ingenieure auf einen Trick zurück. Sie bauen Solarzellen aus zwei Schichten. Eine enthält Bor-Atome, bei denen ein Elektron in der Atomhülle fehlt. Der anderen werden Phosphor-Atome hinzugefügt, die jeweils einen Ladungsträger zu viel haben. Zwischen den Schichten entsteht somit ein elektrisches Feld, das aus dem Silizium gelöste Elektronen zu einer Elektrode transportiert. Dadurch fließt ein Strom.

Dabei gelingt es nicht, sämtliches Sonnenlicht in Strom zu verwandeln. Siliziumzellen können nur einen Teil der Wellenlängen der elektromagnetischen Strahlung verwerten. Viele der eintreffenden Lichtteilchen werden von der Zelloberfläche

reflektiert. Andere durchdringen das Silizium, ohne ein Elektron zu treffen. Und selbst, wenn die Solarzelle das Licht schluckt, finden nicht alle im Silizium angestoßenen Elektronen ihren Weg zur Elektrode. Oft gesellen sie sich einfach zu einem der Bor-Atome, das Elektronen sucht. Die Ladungsträger sind dann für die Stromgewinnung verloren.

Als Hoffnungsträger galten lange Materialien, die mehr Licht einfangen können als Siliziumkristalle: Dünnschichtzellen aus der chemischen Verbindung Cadmium-Tellurid oder dem Mineral Chalkopyrit. Um Zellen aus diesen Stoffen herzustellen, genügen relativ niedrige Temperaturen. Und weil die Zellen so dünn sind, kostet das Material nur wenig. Gegen die Siliziumzellen konnten sie sich trotzdem nicht durchsetzen.

Auch die Zukunft von Solarzellen aus Perowskit, die seit einigen Jahren als Alternative gehandelt werden, ist aus Sicht von Experten unsicher. In Laborversuchen können die neuartigen Zellen zwar mittlerweile einen Wirkungsgrad von bis zu 20 Prozent erreichen. Sie sind aber fragiler als ihre Vettern aus Silizium. Außerdem enthalten sie giftiges Blei.

Silizium hat diese Probleme nicht. Es lässt sich aus Sand gewinnen, den man an jedem Strand findet. Außerdem hat die weltweite Standardisierung und Massenerstellung dem Klassiker einen enormen Preisvorteil verschafft. „Es wird schwer, an Silizium vorbeizukommen“, sagt Martin Hermle vom Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg. Das gilt auch deshalb, weil die Siliziumzellen immer besser werden – und von der Dünnschicht-Technologie lernen.

Derzeit stellt die Mehrzahl der Solarfirmen in aller Welt ihre Produktion um: Nach über zwei Jahrzehnten Forschung

haben es die sogenannten Perc-Solarzellen (Passivated Emitter Rear Cell) in die Massenfertigung geschafft. Sie verlieren weniger freigeschlagene Elektronen in ihrem Inneren, was an einer gerade mal einen Zehntausendstel Millimeter dünnen Schicht aus Aluminiumoxid und Siliziumnitrid liegt, die zwischen dem Silizium und der Elektrode aufgedampft wird. Außerdem dient eine zweite Schicht an der Zelloberfläche dazu, das Licht, das ungenutzt durch die Zelle rauscht, zurück in den Halbleiter zu reflektieren. Das Unternehmen Solarworld konnte damit den Wirkungsgrad auf 21,7 Prozent steigern. Der Nachteil: Der elektrische Widerstand der Zelle erhöht sich – man muss also eine höhere Spannung anlegen, um die Zelle zu betreiben.

Theoretisch ist ein Wirkungsgrad von 29 Prozent möglich. Firmen kommen dem immer näher

Martin Hermle hat drei Jahre lang an einer Alternative geforscht, die dieses Problem nicht haben soll. Mitte September präsentierte sein Institut das Ergebnis: Eine Silizium-Zelle, in die Ingenieure eine noch viel dünnere Schicht zwischen Silizium und Elektrode ziehen. Sie ist gerade mal zwei Millionstel Millimeter dünn. Ladungsträger können dank eines quantenmechanischen Effekts ungehindert durch sie hindurch „tunneln“. Das ermöglicht einen noch höheren Wirkungsgrad: Die sogenannten Topcon-Solarzellen (Tunnel Oxide Passivated Contact) können mehr als 25 Prozent des einfallenden Sonnenlichts in Strom umwandeln – allerdings bisher nur im Labor. Das Beispiel entspricht einem generellen Trend: Mit kleinen technischen Verbesserungen wird der Wirkungsgrad peu à peu verbessert. „Man braucht

nicht immer revolutionäre Schritte, um die Kosten zu senken“, sagt Hermle.

Wer neue Solarzellen mit höherer Effizienz auch auf den Markt bringen will, muss wie Elon Musk investieren und neue Herstellungsanlagen aufbauen. In der Fabrik am Buffalo Lake will Solarcity sogenannte Hetero-Solarzellen produzieren, genau wie der Konkurrent Panasonic. Das Herzstück dieser Technologie: Ingenieure dampfen auf den Siliziumkristall auf der Vorder- und Rückseite eine ultradünne Siliziumschicht auf. Auch dieser wenige Millimeter dicke Film verhindert, dass Elektronen auf dem Weg zur Elektrode verloren gehen.

Um die empfindlichen, extrem dünnen Schichten herzustellen, nutzt das Unternehmen von Elon Musk ein besonderes Verfahren: Das Silizium wird nicht wie sonst üblich in bis zu 1000 Grad heißen Öfen aufgedampft. Stattdessen stammt das Silizium aus einem weniger als 250 Grad warmen gasförmigen Gemisch geladener Atomkerne. Atom für Atom bleibt das Silizium so auf der Solarzelle hängen.

Dem von Solarcity zwischenzeitlich aufgestellten Effizienzrekord könnten daher weitere folgen, glauben Experten. „Diese Technologie ist in der Lage, sehr nah an den maximalen Wirkungsgrad von Siliziumzellen heranzukommen“, sagt Lars Korthe vom Silizium-Photovoltaik-Institut am Helmholtz-Zentrum Berlin. Der liegt bei 29 Prozent. Wer darüber hinaus will, muss Silizium mit anderen Materialien kombinieren. Also zum Beispiel Zellen aus Silizium und Perowskit aufeinander stapeln. Letztere können grünes und blaues Licht verwerten, während Silizium vor allem rote und infrarote Wellenlängen nutzt. Theoretisch lässt sich mit der Sandwich-Technik der Wirkungsgrad auf bis zu 40 Prozent anheben.

Namibia, Botswana, Simbabwe – Afrikas wilde Natur

Seine abwechslungsreiche Natur und ereignisreiche Geschichte machen Namibia zu einem der spannendsten Länder Afrikas. Nahezu überall finden sich perfekte Motive für Fotografen. Vor allem in den einzigartigen Nationalparks Etosha, Bwabwata und Mudumu, in denen die meisten der für Afrika so typischen Tiere – wie u. a. Giraffen, Nashörner und Zebras – leben. Neben den Wildbeobachtungen versprechen auch die Abstecher nach Botswana und Simbabwe sowie die Übernachtungen in mondänen Lodges unvergessliche Momente.

Reisehöhepunkte

Windhoek: Kolonialbauten und moderne Bürohäuser reihen sich in der Stadt aneinander.
Okahandja: Die Stadt ist das Zentrum des einst in Namibia mächtigen Herero-Volkes.
Etosha-Nationalpark: Zum Park gehört auch das Areal eines ausgetrockneten Salzsees.
Mahango-Wildpark: Wälder, Sümpfe und Affenbrotbäume prägen das Schutzgebiet.
Mudumu-Nationalpark: In der Buschsavanne leben u. a. Rote Moorantilopen.
Victoria-Fälle: Die Wassermassen des Sambesi stürzen hier in eine 110 Meter tiefe Schlucht.
Lodges: Übernachtet wird teils in Chalets, teils in luxuriösen Zelten. Alle Unterkünfte eint der Komfort und ihre außergewöhnliche Lage inmitten faszinierender Landschaften.

Eingeschlossene Leistungen

- Rail & Fly von Ihrem deutschen Heimatbahnhof nach/von Frankfurt Flughafen
- Flüge: Frankfurt – Windhoek und Victoria Falls – Windhoek – Frankfurt
- 15 Übernachtungen in Hotels und Lodges laut Programm inklusive Frühstück
- Alle Transfers, Ausflüge, Besichtigungen, Pirschfahrten, Eintrittsgelder und Mahlzeiten laut Programm
- Deutsch sprechende Reiseleitung vor Ort (der Fahrer ist gleichzeitig der Guide)

Reisetermine: 27. April bis 13. Mai und 09. bis 25. Oktober 2016

Reisepreis pro Person

im Doppelzimmer	ab 5.690 €
im Einzelzimmer	ab 6.690 €

Veranstalter: TUI Leisure Travel Special Tours GmbH, Wachtstraße 17 – 24, 28195 Bremen



Foto: Dmity Pichugin