



Wie entsteht guter Kaffee ?

Biochemische Prozesse bei der Rohkaffeeaufbereitung und ihre Bedeutung für die Kaffeequalität

Prof. Dr. Dirk Selmar,
Institut für Pflanzenbiologie,
TU Braunschweig

Kaffee ist das beliebteste Getränk der Deutschen, doch unser Wissen über die Hintergründe der Rohkaffeeproduktion war sehr begrenzt. Nun ist es mithilfe neuer, pflanzenbiologischer Ansätze gelungen, Licht in dieses Dunkel zu bringen. Heute wissen wir, dass Kaffeebohnen im Zuge der Rohkaffeeaufbereitung keimen und auch Stress erleiden. Die dabei in den Kaffeebohnen ablaufenden Stoffwechselprozesse beeinflussen maßgeblich die Qualität des Rohkaffees.

Kaffee erfreut sich in Deutschland wie kein anderes Getränk größter Beliebtheit. Ob Espresso, Cappuccino, Latte macchiato oder ein traditioneller Filterkaffee – das Aroma und der unverwechselbare Geschmack zeichnen einen guten Kaffee aus. Für all diese Getränke wird Röstkaffee benötigt, der durch das Rösten von Rohkaffee entsteht. Die meisten Kaffeetrinker wissen, dass die Rösttemperatur und Röstdauer den Röstgrad und damit viele wichtige Eigenschaften der braunen Bohnen bestimmen und darüber hinaus ist den meisten bewusst, dass auch die Wahl der richtigen Rohkaffees wichtig ist. In diesem Zusammenhang hört man von Kaffeeliebhabern häufig Bezeichnungen wie „*washed Arabica*“, „*trocken aufbereitete Brazil*“ oder „*Robusta-Kaffees*“; doch damit erschöpft sich häufig schon das Wissen über die Herstellung von Kaffee. Deshalb werden im Folgenden zunächst die wichtigsten Kaffee-Nachernteverfahren kurz vorgestellt, bevor unsere neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse zur Beeinflussung der Rohkaffeequalität durch die unterschiedlichen Produktionsverfahren präsentiert werden. Im Zentrum hierbei steht die Erkenntnis, dass in den Kaffeebohnen während der Rohkaffeeproduktion komplexe Stoffwechselprozesse ablaufen, deren Ausprägung durch die verschiedenen Methoden der Nacherntebehandlung beeinflusst werden.

Von der Kaffeekirsche zur Kaffeebohne

Die Gattung der Kaffeegewächse, *Coffea*, umfasst etwa einhundert verschiedene Arten, doch nur zwei von ihnen, der Arabica-Kaffee (*Coffea arabica*) und der Robusta-Kaffee (*Coffea canephora*) haben weltweite Bedeutung für die Herstellung von Kaffegetränken. Arabica-Kaffees stellen mit etwa 70% der Welterzeugung den größten Anteil. Im Gegensatz zu Deutschland, wo der Robusta-Kaffee nur eine geringe Bedeutung hat, wird der typisch erdige und eher muffige Geschmack in Frankreich, Spanien und insbesondere in Osteuropa geschätzt. Beide Arten bringen dunkelrote, kirschenähnliche Steinfrüchte von 1–2cm Durchmesser hervor, die nach einer etwa 8–10-monatigen Reifezeit vom Kaffeestrauch geerntet werden. In diesen Kaffeekirschen befinden sich in der Regel zwei Samen, die so genannten Kaffeebohnen. Für die Her-

stellung des Rohkaffees ist es unabdingbar, das Fruchtfleisch zu entfernen und die Bohnen zu trocknen. Hierfür werden traditionell zwei unterschiedliche Verfahren der Nacherntebehandlung, die *trockene* und die *nasse* Aufbereitung, angewendet, wobei die *trockene*, die häufig auch als „natürliche Aufbereitung“ bezeichnet wird, die ältere und kostengünstigere Methode repräsentiert. Der größte Teil der Robusta-Welternte wird trocken aufbereitet und auch ein großer Teil der Arabica-Kaffees, vor allem dort, wo große Mengen an Kaffeefrüchten bei gleichzeitigem Wassermangel schnell verarbeitet werden müssen. Der so produzierte Arabica-Rohkaffee wird dann als *ungewaschener Arabica* bezeichnet und dem nass aufbereiteten Rohkaffee, dem *gewaschenen Arabica*, gegenübergestellt (Abb. 1).

Die trockene Aufbereitung

Die trockene Aufbereitung ist eine relativ einfache Methode: Die Kaffeekirschen werden direkt nach der Ernte auf Betonterrassen ausgebreitet und in der Sonne getrocknet. In den meisten Fällen erfolgt das Ernten durch Abstreifen aller Früchte eines Kaffeestrauches (*stripping*), sodass neben den reifen, roten Kaffeekirschen auch grüne, unreife und schwarze, überreife Früchte als Mischung vorliegen. Die Früchte werden mehrmals am Tag auf der Terrasse mit Schiebern umgeschichtet. Nach zwei bis drei Wochen sind die Kaffeekirschen trocken; die Restfeuchte der Samen beträgt dann etwa 11%. Nach dem Aussortieren von Fremdkörpern wie Steinen oder Holzstücken wird das gesamte getrocknete Fruchtfleisch mit mechanischen Schälma-

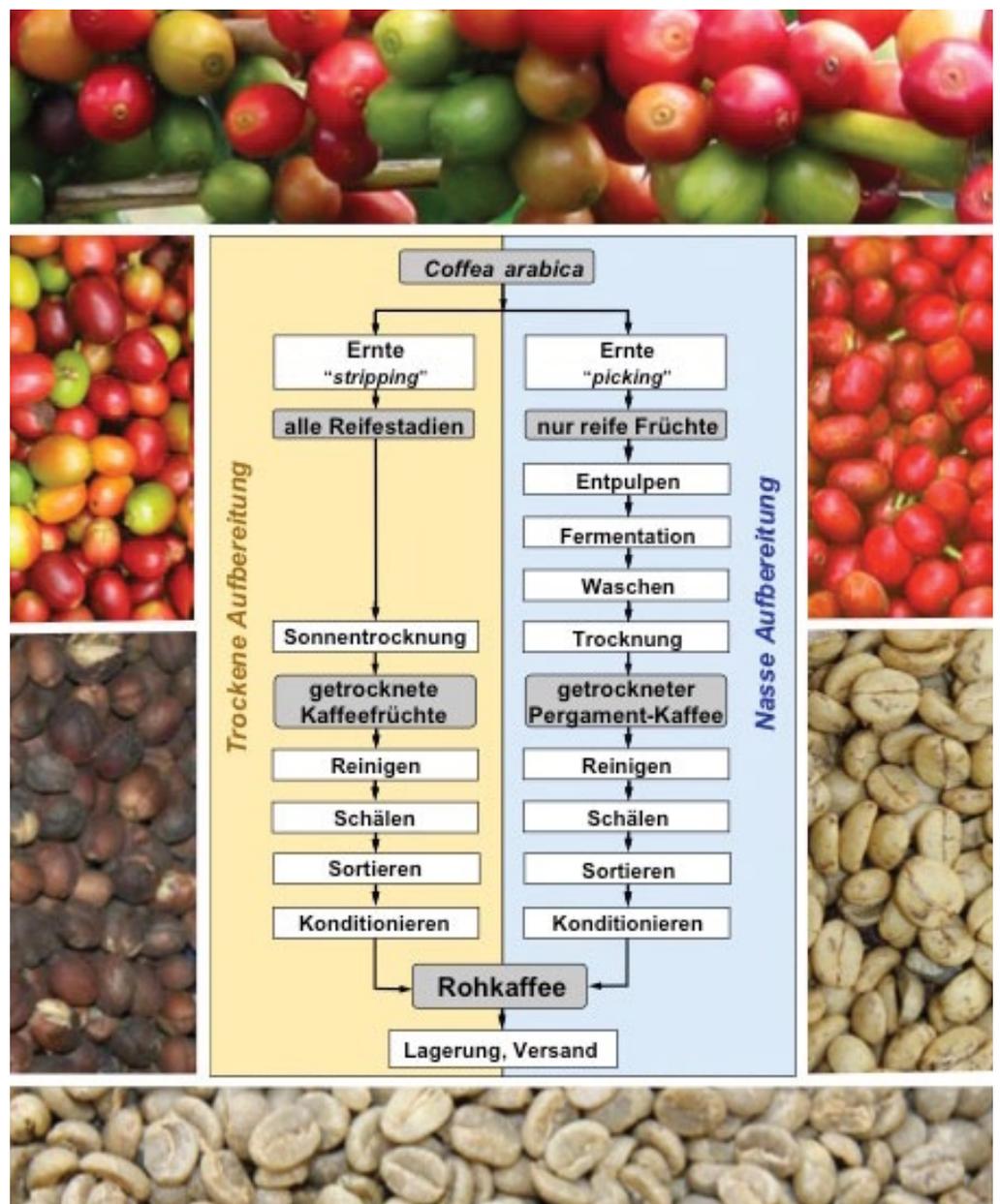


Abb. 1 Die beiden traditionellen Methoden der Rohkaffeeaufbereitung

1/4 Anz

schinen vollständig entfernt. Die wichtigsten Voraussetzungen für die trockene Aufbereitung sind eine verlässliche und intensive Sonneneinstrahlung und eine ausreichende Kapazität an Trocknungsflächen, entsprechend wird sie vor allem in Brasilien, Indonesien, Äthiopien und im Jemen angewandt. Da die trockene Aufbereitung alles in allem sehr einfach ist und da auch kein Sortieren nach Reifestadien der verwendeten Früchte erfolgt, gelten die auf diese Weise produzierten *ungewaschenen Arabicas* häufig als qualitativ minderwertig. Im Allgemeinen zeichnen sich die trocken aufbereiteten Kaffees vor allem durch eine angenehme Süße und ausgeprägte Vollmundigkeit aus.

Die nasse Aufbereitung

Im letzten Jahrhundert führte der steigende Kaffeekonsum zu einer immer größeren Nachfrage nach Rohkaffee. Um diesen Bedarf decken zu können, wurde Kaffee schon bald auch in Regionen mit eher unsicheren Sonnenverhältnissen angebaut. Allerdings führte die wechselhafte und feuchtere Witterung immer wieder zum Verderben der trocken aufbereiteten Früchte. Als Alternative wurde ein Aufbereitungsverfahren entwickelt, das mit sehr viel geringerer Trocknungszeit und geringerem Platzbedarf auskommt: die *nasse Aufbereitung*. Der entscheidende Unterschied zum trockenen Verfahren besteht darin, dass der Großteil des Fruchtfleisches (*Pulpa*) der frischen Kaffeekirschen durch eine so genannte *Entpulpung* entfernt wird. Dabei wird das Fruchtfleisch mithilfe mechanischer *Pulper* abgetrennt, entweder durch Quetschen der Früchte zwischen einer rotierenden Scheibe und einem Messer (Scheibenpulper) oder durch Pressen der Kaffeekirschen zwischen einer rotierenden Trommel und dem Rahmen (Zylinderpulper). Die Entpulpungsmaschinen können allerdings ausschließlich reife, rote Kaffeekirsche verarbeiten, sodass eine wichtige Voraussetzung für die nasse Aufbereitung eine sorgfältige Vorauswahl der Früchte ist. Diese erfolgt entweder direkt bei der Ernte durch das gezielte Pflücken von ausschließlich reifen Kaffeekirschen (*picking*) oder die reifen Kaffeekirschen werden vor der Bearbeitung durch geeignete Trennverfahren von unreifen und überreifen Früchten abgetrennt. Wie bei der Kirsche besteht der Kern aus dem Samen, der noch von der innersten Fruchtschale (Endokarp) umgeben ist; im Falle des Kaffees ist diese Schicht pergamentartig und wird deshalb Pergamentschicht oder Hornschale genannt. Nach der mechanischen Entpulpung haften allerdings noch erhebliche Reste des schleimigen Mesokarps (mittlere Schicht der Frucht) an der Pergamentschicht.

Da diese Pulpa-Rückstände sehr viel Zucker enthalten, können die frisch entpulperten Kaffeebohnen nicht direkt auf der Terrasse getrocknet werden, denn sie würden bei nicht ausreichender Sonneneinstrahlung ebenso verderben wie die nicht behandelten reifen Kaffeekirschen. Die an der Pergamentschicht anhaftenden Fruchtfleischreste werden im Zuge einer sich anschließenden Fermentation enzymatisch zersetzt und danach abgewaschen. Der bei Kaffeekennern weit verbreitete Ausdruck „*gewaschener Arabica*“ geht auf diesen abschließenden Waschvorgang zurück. Die Dauer dieser Fermentation ist stark von ihren Randbedingungen abhängig und variiert von 12 Stunden bis zu mehreren Tagen. Der aus der nassen Aufbereitung hervorgehende, so genannte Pergament- oder Hornschalenkaffee, lässt sich sehr viel schneller trocknen als die ganzen Kaffeefrüchte. Bis die gewünschte Endfeuchte von etwa 11% erreicht ist, dauert es je nach Sonneneinstrahlung lediglich ein paar Tage. In Kaffeeanbaugebieten mit unsicheren Sonnenverhältnissen wie z.B. Kolumbien und Mittelamerika werden häufig auch mechanische Ofentrockner eingesetzt; dadurch kann die Trocknungszeit auf etwa 48h reduziert werden. Nach der Trocknung muss lediglich noch mithilfe von Schälmaschinen die Hornschale entfernt werden. Charakteristisch für nass aufbereitete Rohkaffees sind eine ausgeprägte Säure und das feine Aroma.

Während der Aufbereitung laufen in den Kaffeebohnen Stoffwechselprozesse ab

In der Vergangenheit galt die Lehrmeinung, dass ein Rohkaffee bereits bei der Ernte die maximale Qualität aufweisen würde und dass alle nachfolgenden Prozesse der Rohkaffeeproduktion lediglich diese ursprüngliche Qualität senken könnten; etwaige positive Einflüsse der Aufbereitung wurden von vornherein ausgeschlossen. Die typischen Qualitätsunterschiede zwischen einem nass oder trocken aufbereiteten Rohkaffee wurden damit erklärt, dass bei der nassen Aufbereitung ausschließlich reife Kaffeekirschen verarbeitet werden und dass grundsätzlich viel sorgfältiger gearbeitet wird als bei der trockenen Aufbereitung und damit der Qualitätsverlust geringer ausfiele. Wir konnten diese inzwischen überholte Vorstellung mithilfe eines einfachen Versuches widerlegen. Dabei wurden frisch geerntete Kaffeekirschen aufwändig per Hand sortiert, um dann ausschließlich die roten reifen Kirschen in Parallelansätzen nass und trocken aufzuarbeiten. Obwohl völlig identisches Ausgangsmaterial verwendet wurde, zeigten die sen-



Prof. Dr. Dirk Selmar am Tag des Kaffees

Die wissenschaftlichen Arbeiten von Dirk Selmar (Institut für Pflanzenbiologie, TU Braunschweig) konzentrieren sich zum einen auf die Erforschung biochemischer und pflanzenphysiologischer Grundlagen von Akkumulation, Kompartimentierung und Transport pflanzlicher Naturstoffe und zum anderen auf aktuelle, angewandte Aspekte der modernen Pflanzenbiologie. In diesem Zusammenhang bearbeitet er die Grundlagen der Qualitätsausprägung von Kaffee und anderen Lebens- und Genussmitteln.

sensorischen Analysen der nass und trocken aufbereiteten Rohkaffees trotzdem die charakteristischen sensorischen Unterschiede. Da diese nicht auf Variationen im Ausgangsmaterial zurückzuführen sein konnten, musste geklärt werden, welche anderen Ursachen dafür verantwortlich sind.

Bis dato ist bei entsprechenden Überlegungen zur Rohkaffeequalität nicht berücksichtigt worden, dass Kaffeebohnen lebendige Organismen sind, in denen – auch während der Nacherntebehandlung – Stoffwechselprozesse ablaufen. Diese Prozesse beeinflussen zweifelsohne die stoffliche Zusammensetzung der Samen und werden dadurch auch das Aromapotenzial verändern. Es stellte sich also zwangsläufig die Frage, welche Stoffwechsel-

prozesse während der Aufbereitung ablaufen, und wie diese Prozesse von der Aufbereitungsmethode beeinflusst werden.

Keimungsprozesse

Im Gegensatz zu den Samen von Pflanzen aus gemäßigten Klimaten (= orthodoxe Samen) weisen die Samen der meisten tropischen Pflanzen keine Samenruhe auf (= rekalcitrante Samen). Während in Mitteleuropa diese Eigenschaft dafür verantwortlich ist, dass die reifen Samen nicht bereits im Herbst auskeimen und die empfindlichen Sämlinge im anschließenden Winter erfrieren, ist diese Ruheperiode in tropischen Regionen nicht erforderlich. Auch Kaffeesamen sind bereits in der reifen Frucht voll

1/2 Anz

kaffee&aufbereitu

keimfähig; lediglich das Vorhandensein des Fruchtfleisches bzw. der darin enthaltenen Keimungsinhibitoren unterdrücken eine Keimung. Wie oben dargestellt, werden bei der nassen Rohkaffeeaufbereitung eben dieses Fruchtfleisch und damit auch die aktiven Prinzipien einer Keimungsunterdrückung entfernt. So ist es aus pflanzenbiologischer Sicht klar, dass hierdurch Keimungsprozesse in den Kaffeesamen in Gang gesetzt werden. Im Gegensatz dazu sollte eine Keimung in trocken aufbereiteten Rohkaffees, bei denen ja das Fruchtfleisch und damit die aktiven Prinzipien während der Trocknung um den Samen verbleiben, nicht stattfinden oder sehr viel später auftreten. Diese, aus pflanzenbiologischer Sicht relativ einfache Arbeitshypothese, stellte die Basis für die Aufklärung der biologischen Geheimnisse der Rohkaffeeaufbereitung. An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass die Keimung im biologischen Sinne eine sehr kurze Entwicklungsphase eines Samens darstellt, die bereits abgeschlossen ist, wenn die Keimwurzel durch die Samenschale tritt (Abb. 2). Die nachfolgende Entwicklung, die sehr häufig missverständlich auch noch als Teil der Keimung angesehen wird, repräsentiert bereits die Sämlingsentwicklung. Das bedeutet: Das Einsetzen der Keimungsprozesse kann nur auf Stoffwechselebene diagnostiziert und mithilfe molekularer Marker zuverlässig bestimmt werden, so z.B. anhand des Auftretens charakteristischer, keimungsspezifischer Enzyme bzw. der Expression der entsprechenden Gene oder über die Wiederaufnahme der Zellteilungsaktivität.

Die Isocitratlyase (ICL) ist ein Schlüsselenzym der keimungsassoziierten Nutzung gespeicherter Fette und gilt als verlässlicher Keimungsmarker. Auf der Basis von ICL-Expressionsraten können also die Keimungsprozesse sicher erfasst und quantifiziert werden. Entsprechende Expressionsstudien können entweder mittels Northern-Blots erfolgen oder mithilfe der deutlich empfindlicheren RT-

PCR-Technik. Ein verlässlicher Nachweis, um die Wiederaufnahme der Zellteilungsaktivität zu dokumentieren, basiert auf der Quantifizierung von β -Tubulin mittels Western-Blot-Technik. Hierfür wurden Proteinextrakte von Embryos hergestellt, die aus den Kaffeesamen unterschiedlicher Stadien der Rohkaffeeaufbereitung isoliert worden sind. Die entsprechenden Studien [1] zeigten eindeutig, dass – wie erwartet – während der nassen Rohkaffeeaufbereitung Keimungsprozesse in den Kaffeesamen stattfinden (Abb. 3). Überraschend war allerdings der Befund, dass auch während der trockenen Aufbereitung Keimungsprozesse stattfinden, obwohl ja das gesamte Fruchtfleisch mit den potenziellen keimungsunterdrückenden Faktoren um die Samen verbleibt. Offensichtlich werden diese inhibitorischen Prinzipien im Zuge der Trocknung wirkungslos, allerdings sind die Keimungsprozesse dadurch bei der trockenen Aufbereitung im Vergleich zur nassen Aufbereitung deutlich verzögert. Während bei der nassen Aufbereitung das Maximum der Keimungsprozesse bereits nach zwei Tagen erreicht ist, finden sich die höchsten Keimungsaktivitäten bei trocken aufbereiteten Samen erst etwa eine Woche nach Beginn der Nacherntebehandlung. Diese Befunde belegen erstmalig, dass der Stoffwechselstatus der Kaffeesamen, die nass oder trocken aufbereitet werden, deutlich unterschiedlich ist. Da derartige Stoffwechselunterschiede stets auch Unterschiede in der stoff-

Abb. 2 Samenkeimung und Sämlingsentwicklung

Die Keimung stellt eine sehr kurze Entwicklungsphase dar, die bei orthodoxen Samen durch die Quellung ausgelöst wird. Sie gilt als abgeschlossen, wenn die Keimwurzel durch die Samenschale tritt. Für die molekularen Analysen zum Keimungsstatus wurden die Embryonen aus den Kaffeesamen mithilfe eines Skalpell vorsichtig präpariert.

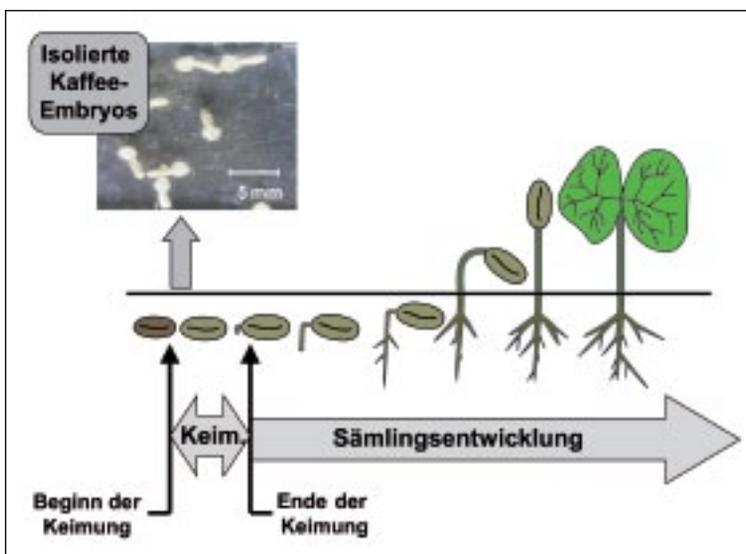


Foto: © namibla | istockphoto.com

lichen Zusammensetzung der jeweiligen Gewebe oder Organe hervorrufen, liefern diese Zusammenhänge erstmals eine fundierte Erklärung dafür, warum nass und trocken aufbereitete Rohkaffees unterschiedliche Aromapotentiale entwickeln bzw. aufweisen.

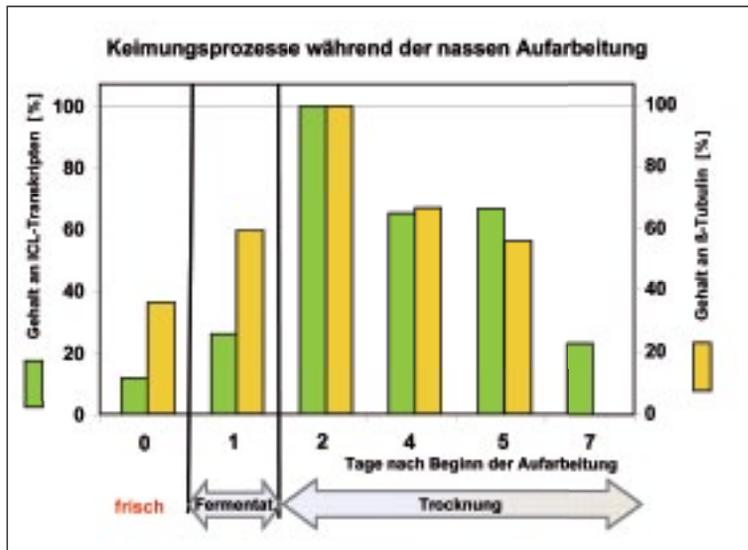


Abb. 3a Keimungsprozesse in nass aufbereiteten Rohkaffees

Während der nassen Aufbereitung setzen die Keimungsprozesse frühzeitig ein; die maximale Aktivität findet sich bereits zwei Tage nach Beginn der Nacherntebehandlung. Für die Expressionsanalysen wurde die RNA aus den Rohkaffees unterschiedlicher Aufbereitungsphasen extrahiert, mittels reverser Transkriptase in cDNA umgeschrieben und – unter Verwendung ICL-spezifischer Primer – mittels PCR amplifiziert. Die Quantifizierung erfolgt durch einen Vergleich mit den Expressionsraten eines zugesetzten internen Standards. Zur Quantifizierung des β-Tubulins wurden Embryonen aus den Kaffeesamen der unterschiedlichen Aufbereitungsphasen entnommen. Aus jeweils 10 Embryonen wurde ein Proteinextrakt erstellt. Nach elektrophoretischer Auftrennung und Transfer der Proteine auf eine Nitrocellulose-Membran (Western-Blot) wurde β-Tubulin mithilfe eines spezifischen Antikörpers nachgewiesen und quantifiziert.

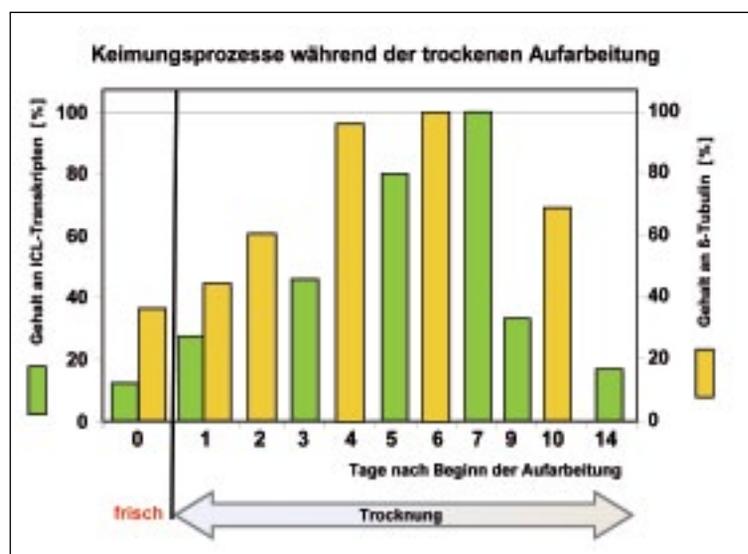


Abb. 3b Keimungsprozesse in trocken aufbereiteten Rohkaffees

Überraschend war der Befund, dass auch trocken aufbereitete Kaffeesamen Keimungsaktivität aufweisen. Allerdings tritt diese gegenüber der nassen Aufbereitung deutlich zeitverzögert auf; die maximale Aktivität findet sich etwa eine Woche nach Beginn der Nacherntebehandlung, obwohl zu diesem Zeitpunkt der Wassergehalt der Samen bereits stark reduziert ist.

1/2 Anz

kaffee&aufbereitu

Stressinduzierte Stoffwechselprozesse

Wie bereits beschrieben, müssen sowohl die nass als auch die trocken aufbereiteten Kaffeebohnen getrocknet werden. Da es sich bei diesen Kaffeesamen um stoffwechselaktive, lebendige Organismen handelt, lässt sich aus pflanzenbiologischer Sicht leicht ableiten, dass der mit der Trocknung einhergehende Wasserverlust drastische Konsequenzen für den Stoffwechsel der Kaffeesamen haben muss. Das bedeutet, dass neben den dargestellten Keimungsprozessen sicherlich noch weitere, vor allem durch die Austrocknung induzierte Stoffwechselvorgänge in den Kaffeesamen ablaufen müssen. In Pflanzen bzw. deren Geweben oder Organen werden bei Wasserverlust – quasi als Schutzmechanismen – zahlreiche charakteristische *Stressreaktionen* ausgelöst. So war es auch naheliegend zu analysieren, ob und in welchem Umfang derartige Stoffwechselprozesse in den Kaffeesamen während der Aufbereitung bzw. Trocknung stattfinden und vor allem, inwiefern sich deren Ausprägungen bei der trockenen und nassen Aufbereitung unterscheiden. Auch im Falle des Stressmetabolismus lassen sich diese Stoffwechselprozesse auf unterschiedlichen biochemischen Ebenen analysieren. Eine der häufigsten pflanzlichen Reaktionen auf Stress ist die Anhäufung spezieller Substanzen, die z.B. die Zellen bei Wasserverlust stabilisieren. In diesem Zusammenhang kommt der γ -Aminobuttersäure (GABA) eine besondere Bedeutung zu. GABA wird durch eine einfache Decarboxylierung aus Glutaminsäure gebildet (Abb. 4) und wird in pflanzlichen Zellen als Reaktion auf verschiedene Stresssituationen, wie z.B. Austrocknung, Überhitzung oder Sauerstoffmangel gebildet.

Unsere Analysen [2; 3] ergaben, dass – wie erwartet – während der trockenen Aufbereitung sehr hohe GABA-Konzentrationen vorliegen. Unerwartet war allerdings der Befund, dass sich in den nass aufbereiteten Bohnen lediglich sehr geringe Mengen dieser Substanz finden, obgleich ja auch diese Samen auf die gleiche Endfeuchte von etwa 11% getrocknet wurden. Wie bei der unterschiedlichen Ausprägung der Keimungsprozesse liegt auch hier der Schlüssel zum Verständnis in den unterschiedlichen Zeitfenstern für die entsprechenden Stoffwechselaktivitäten. Während die Trocknung der ganzen Früchte je nach Witterungsbedingungen bis zu drei Wochen dauern kann, ist dieser Prozess beim Trocknen des Hornschalenkaffees (*nasse Aufbereitung*) bereits nach wenigen Tagen abgeschlossen. Dies bedeutet, dass im Falle der trockenen Aufbereitung die relevanten Stressreaktionen und somit auch die Bildung von GABA nach deren Induktion mehrere Wochen ablaufen können. Im Gegensatz dazu kommen bei der nassen Aufbereitung aufgrund der schnelleren Trocknung alle Stoffwechselreaktionen in den trocknenden Bohnen bereits nach ein bis zwei Tagen zum Erliegen. Wir konnten diese Behauptung mithilfe eines einfachen Versuches bestätigen: Vergrößert man das Zeitfenster für diese Stressreaktionen durch eine künstliche Verlängerung der Trocknungszeiten, etwa durch ein Befeuchten der trocknenden Samen, so finden sich sowohl in den nass aufbereiteten als auch in den trocken aufbereiteten Rohkaffees deutlich höhere Konzentration des Stressmetaboliten als in den normal getrockneten Vergleichsproben. Weitergehende Untersuchungen haben allerdings gezeigt, dass auch die stressinduzierten Stoffwechselprozesse wesentlich komplexer sind als

zunächst vermutet. Unter Zuhilfenahme eines weiteren Markers für Trockenstress, der Expression von Dehydrinen, konnte gezeigt werden, dass in den trocknenden Kaffeesamen mehrere Phasen eines komplexen Stressmetabolismus zum Teil parallel laufen und zum Teil aufeinander folgen. In diesem Zusammenhang ist neben der bereits aufgeführten Austrocknung auch der Sauerstoffmangel, der im Zuge der Fermentation auftritt, als auslösender Mechanismus von Bedeutung. Diese Ergebnisse machen deutlich, dass in den trocknenden Rohkaffees zusätzlich zu den erwähnten Keimungsprozessen eine Reihe weiterer, stressinduzierter Stoffwechselreaktionen abläuft, deren Umfang und Geschwindigkeit ebenfalls massiv von den Randbedingungen der Nacherntebehandlungen beeinflusst werden.

Von der Grundlagenforschung zur Anwendung

Unsere Erkenntnisse über das Auftreten von Stoffwechselprozessen in den Kaffeesamen haben zu einem Umdenken nicht nur in der Kaffeeforschung sondern auch in der Kaffeeproduktion geführt. Während der Rohkaffee in der Vergangenheit lediglich als „totes Handelsgut“ angesehen wurde, wird er nun als lebendiger Rohstoff verstanden, dessen Stoffwechselkapazitäten – besonders im Zuge der Aufbereitung – genutzt werden können, um die Qualität zu modulieren [4]. Dieser Verständniswandel lässt sich besonders am Beispiel einer aktuellen Verbesserung verdeutlichen, deren Umsetzung letztendlich auf unsere Erkenntnisse zum Keimungsstoffwechsel der Kaffeesamen zurückzuführen ist:

In jüngster Zeit werden Rohkaffees in zunehmendem Maße über neue, so genannte progressive Verfahren produziert. Neben dem stetig steigenden Preisdruck aufgrund höherer Personalkosten in den Kaffeeanbauländern sind es vor allem ökologische Überlegungen, die immer mehr zur Ablösung der beiden dargestellten klassischen Aufbereitungsmethoden führen. Bei der nassen Aufbereitung fallen große Mengen an Abwasser an, die durch die Fermentationsrückstände stark mit organischem Material belastet sind und dadurch vielerorts ein Problem für die Flüsse darstellen. Als Alternative gilt die so genannte mechanische Entschleimung. Dabei wer-

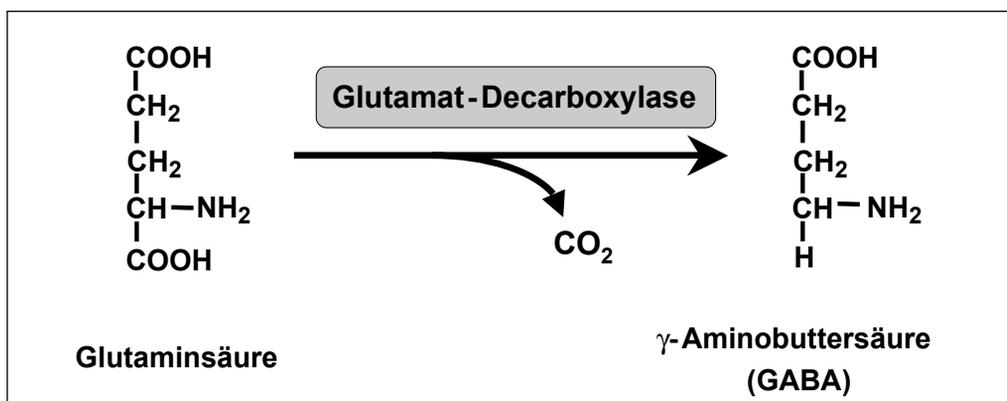


Abb. 4 Bildung von GABA

γ -Aminobuttersäure (GABA)

In Pflanzen ist diese nichtproteinogene Aminosäure ein weit verbreiteter Stressmetabolit, der bei ganz unterschiedlichen Stress-Situationen durch einfache Decarboxylierung von Glutamat gebildet wird. Die entsprechende Glutamat-Decarboxylase wird bei einer stressinduzierten Ausschüttung von Ca^{2+} -Ionen über das Calmodulin-System aktiviert. Während man die Bedeutung von GABA im Tierreich als wichtiger Neurotransmitter lange kennt, ist die genaue Funktion von GABA in gestressten Pflanzenzellen nicht bekannt. Es wird vermutet, dass sie einen stabilisierenden Einfluss auf die Zelle hat und so zur Aufrechterhaltung der zellulären Integrität bei Stress beiträgt.

Isocitratlyase

Dieses Enzym ist das Schlüsselenzym des Glyoxylat-Zyklus, über den die in Samen gespeicherten Fette in Zucker umgewandelt werden. Die aus der β -Oxidation von Fettsäuren stammenden Acetyl-CoA-Einheiten werden in Succinat eingebaut, zu Oxalacetat oxidiert und via Gluconeogenese in Hexosen umgewandelt.

orthodox / rekalzitrant

In Regionen mit ausgeprägten Jahreszeiten gehen die Samen nach einer so genannten Reifetrocknung in die Samenruhe über und können so relativ lange überdauern. Bevor derartige „orthodoxe Samen“ durch Quellung erneut Wasser aufnehmen und keimen können, muss die Samenruhe gebrochen werden. Auf diese Weise wird die Keimung unter ungünstigen Bedingungen, z.B. im Herbst, unterbunden. Da eine derartige Verzögerung in den Tropen nicht erforderlich ist, fehlt dieses Merkmal bei vielen tropischen Samen – sie werden als „rekalzitrant“ bezeichnet. Sie sind bereits in der reifen Frucht voll keimfähig, allerdings ist die Lagerungsfähigkeit stark begrenzt. Kaffeesamen werden als intermediär eingestuft, da sie – wie typische rekalzitrante Samen – keine Samenruhe aufweisen, aber – wie orthodoxe Samen – getrocknet werden können, ohne abzusterben.

RT-PCR

Bei dieser Technik handelt es sich um eine Kombination aus zwei molekularbiologischen Methoden zur Analyse der Genexpression. Zunächst wird die relevante RNA mithilfe der reversen Transkriptase in cDNA umgeschrieben, die dann im Zuge einer klassischen Polymerase-Ketten-Reaktion (PCR) stark vervielfacht (amplifiziert) wird. Der Einsatz spezifischer Primer sowohl für die RT-Reaktion als auch für die PCR gewährleistet die notwendige Selektivität. Für eine verlässliche Quantifizierung wird ein interner Standard zugesetzt, der mit der zu analysierenden RNA konkurriert (kompetitive RT-PCR).

 β -Tubulin

Eine wesentliche Voraussetzung für Zellteilungen ist die Teilung der Zellkerne. Hierfür werden Mikrotubuli ausgebildet. Mikrotubuli entstehen durch geordnete Aggregation der Spindelfaserproteine α - und β -Tubulin zu einem Hohlzylinder helikaler Struktur.

Western-Blot-Technik

Beim Western-Blot werden die Proteine nach elektrophoretischer Auftrennung auf eine Trägermembran übertragen (Blotten) und anschließend analysiert, meist werden die Proteine mit spezifischen Antikörpern detektiert.

den die reifen Kaffeekirschen zunächst – genau wie bei der traditionellen Nassaufbereitung – entpulpt; doch an Stelle der normalerweise folgenden Fermentation werden die schleimigen Rückstände des Fruchtfleisches durch Reibung an bewegten Teilen entfernt (Friktion). So können der Wasserverbrauch und die Erzeugung großer Mengen belasteter Abwässer drastisch gesenkt werden. Leider ist die Qualität des so produzierten Kaffees nicht dieselbe wie die der hochwertigen, traditionell gewaschenen Arabicas. Da das Zeitfenster für die Stoffwechselprozesse bei progressiv aufbereiteten Rohkaffees deutlich verkürzt ist, war es naheliegend,

diese „eingesparte“ Zeit durch eine Zwischenlagerung von etwa einem Tag zu kompensieren. Also haben wir entsprechende Versuche direkt auf den Plantagen durchgeführt. Die sensorischen Analysen der entsprechenden Rohkaffees haben bestätigt, dass eine derartige Zwischenlagerung tatsächlich die Tassenqualität der mechanisch entschleimten Rohkaffees erhöht und so fast die gleiche Qualitätsausprägung wie bei den traditionell gewaschenen Arabicas erreicht wird. Heute werden vor allem in Ostafrika mechanisch entschleimte Kaffeebohnen standardmäßig einen Tag zwischengelagert, um auf diese Weise progressiv aufbereitete Rohkaffees zu erzeugen, die nahezu die gleiche Qualität aufweisen wie die traditionell gewaschenen Arabicas. Dieses aktuelle Beispiel demonstriert anschaulich, wie grundlagenwissenschaftliche Erkenntnisse über die Biologie des Kaffeesamens zur Optimierung von Nachernteprozessen genutzt werden können.

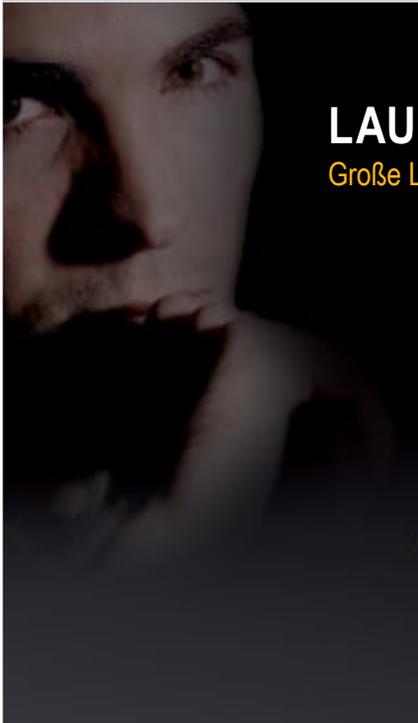
→ d.selmar@tu-bs.de

Literatur

- (1) Bytof et al., (2007) *Annals of Botany* 100: 61-66.
- (2) Bytof et al., (2005) *European Food Research and Technology* 220: 245-250.
- (3) Kramer, et al., (2010) *Cell & Plant Physiology* 51(4): 546-553.
- (4) Selmar, D. & Bytof, G. (2007): *Proceedings of ASIC*.

LAUDA

Weltweit die richtige Temperatur



LAUDA Alpha.

Große Leistung für kleine Budgets.

Für das preiswerte Temperieren im Labor von -25 bis 85 °C.

Modernes Design, hohe Qualität und funktionelle Technik kombiniert mit einer intelligenten Kompressorautomatik machen die LAUDA Alpha zu einem perfekten System für Routineanwendungen im Labor. Und das mit dem besten Preis-Leistungs-Verhältnis in dieser Klasse.

www.lauda.de

LAUDA DR. R. WOBSEY GMBH & CO. KG · Postfach 12 51 · 97912 Lauda-Königshofen
 Deutschland · Tel.: +49 (0) 9343 503-0 · Fax: +49 (0) 9343 503-222 · E-Mail: info@lauda.de