

Frühstückscerealien

neue und bekannte Getreideprodukte

Herstellung
Qualitätsveränderungen
Bio-Angebot



Inhalt

1. Einführung	3
2. Herstellungsverfahren	4
a) Grundsätzliches.....	4
b) Herstellen von Flakes.....	4
c) Puffen.....	6
d) Extrudieren.....	7
e) geschredderte Produkte.....	10
f) Herstellung von Bio-Frühstückscerealien.....	11
3. chemische Umwandlungen der Nährstoffe	12
a) Grundsätzliches zur Veränderung durch Erhitzung.....	12
b) Einfluss der Extrusion auf die Stärke.....	13
c) Einfluss von Hitze und Extrusion auf die Proteine und Aminosäuren.....	14
d) Stabilität von B-Vitaminen bei verschiedenen Herstellungsverfahren.....	17
e) Inaktivierung getreideeigener Enzyme	20
f) Bildung von freien Radikalen bei Extrusion.....	20
g) Bildung von Acrylamid.....	21
4. Zusätze zu Cerealien	
a) Grundsätzliches.....	22
b) Zusetzen von Zucker	23
c) Zusetzen von Aroma-, Farb- und Geschmacksstoffen.....	23
d) Anreichern von Vitaminen und Mineralstoffen.....	24
e) Zusetzen von Ballaststoffen	24
f) Knusprigkeit.....	24
5. Vergleich verschiedener Herstellungsverfahren	25
6. Weitere Untersuchungen der Frühstückscerealien	
a) Frühstücksgetreide und Essverhalten.....	27
b) Verdaulichkeit von extrudierten Produkten.....	28
c) Ganzheitliche Untersuchungen.....	29
d) Sensorik	29
7. Schlussfolgerungen	30
8. Anhang	
a) Kontakte zu Herstellern.....	32
a) Autorennotizen	33
c) Literatur.....	33

Die dieser Arbeit zugrunde liegende Literaturrecherche wurde von Frau Dr. Karin Huber im Rahmen eines Forschungsprojekts zum Thema „Qualitätsveränderungen durch Verarbeitung“ erstellt. Diese Darstellung wurde von Frau Dr. Petra Kühne ergänzt und bearbeitet.

1. Einführung

Das Frühstück ist eine wesentliche Mahlzeit für den Menschen, die u.a. die Leistungsfähigkeit am Vormittag prägt. Ob Menschen frühstücken oder nicht, kann mit ihrem Sozialstatus sowie mit ihrem Alter in Relation gebracht werden. So hat man bei Kindern einen direktem Zusammenhang zwischen dem Einnehmen eines Frühstücks, dem Besuch des Schultyps und der besuchten Klassenstufe festgestellt. Im Durchschnitt frühstücken somit 76% der Kinder in der Realschule, aber nur 59% Kinder in der Förder- oder Sonderschule. In der Vorschulklasse wird am meisten gefrühstückt, in Klasse 1-4 weniger (20%) und am wenigsten bei den Klassenstufen 5-7. Die Klassenlehrer, die nach den dafür verantwortlichen Gründen gefragt wurden, gaben Appetitmangel (46%), Zeitmangel (36%), Fehlversorgung (27%) und Finanzmangel (4%) an (Nicolaudius, 1996).

Darüber, was gefrühstückt wird, gibt es unterschiedliche Aussagen. Während in der in Deutschland durchgeführten Donald-Studie (DONALD-Studie 2002) angegeben wird, dass bei Kindern in allen Altersgruppen Getreideprodukte, meist in Form so genannter Frühstückscerealien mengenmäßig unbedeutend sind, gibt eine österreichische Studie an, dass 80% der Kinder Cornflakes essen. Nur wenige Kinder kennen gemäß dieser Studie diese Art von Frühstückscerealien nicht, während 20% der Vorschüler angeben, Vollkornbrot nicht zu kennen.

Beeindruckend ist auf jeden Fall der Gesamtverbrauch von traditionellen Frühstückscerealien (Cornflakes etc, ohne Müsli). Er beträgt in Deutschland pro Kopf und Jahr 1 kg (Zum Vergleich: der Müsliverbrauch beläuft sich auf 700 g). In 15% der Haushalte werden täglich Cerealien gegessen, in einem Drittel der Haushalte einmal die Woche und bei 10% mindestens einmal im Monat. Dabei wird die Hälfte der für Kinder erzeugten Produkte von Erwachsenen gegessen.

Der Verzehr von klassischen Cerealien hat in den Jahren 1998/1999 nur geringfügig zu genommen von 572.000 t auf 603.000 t mit einem Jahresumsatz von 603 Mio. DM. Im Jahr 2000 kam es zu einem neuen Boom beim Verkauf der Cerealien mit einer Verkaufsmenge von 880.000 t. Dies kann damit begründet werden, dass bei der Vermarktung der gesundheitlich wertvolle Aspekt der Frühstückscerealien durch Vitamin- und Ballaststoffzusätze in den Vordergrund gestellt und von den Verbrauchern angenommen wird.

Ziel dieser Arbeit ist es, die verschiedenen Getreideprodukte vorzustellen und Qualitätsveränderungen durch die Verarbeitung besonders der Extrudate darzustellen. Dabei liegt ein Schwerpunkt auf der Umwandlung von Inhaltsstoffen, weitere auf Studien zur Verdaulichkeit und ganzheitlichen Untersuchungen.

Frühstückscerealien wie Extrudate und Puffgetreide werden zunehmend auch in Bio-Qualität angeboten. Verbraucher, die diese Produkte kaufen, erwarten, dass die Rohstoffe schonend und nährstoffhaltend verarbeitet worden sind. Können Frühstückscerealien dies leisten und was ist das Besondere an diesen Verfahren?

2. Herstellungsverfahren

a) Grundsätzliches

Getreideprodukte sind ein beliebtes Frühstückessen. Dabei gibt es eine Vielzahl von verschiedenen Angeboten. Vor allem in den USA, aber auch England, Irland und Skandinavien werden diese Frühstückscerealien gern gegessen. Eine irische Untersuchung stellte fest, dass pro Portion etwa 45 g verzehrt werden und dies etwa 4x in der Woche.

Frühstückscerealien werden aus Getreide hergestellt. Dabei verwendet man einzelne Arten wie Hafer, Mais oder Dinkel, ganz oder gemahlen, Mischungen verschiedener Getreide und kombiniert mit anderen Zutaten. Für gepuffte Getreide (vgl. 2c) nimmt man das ganze Korn. Bei der Herstellung von Cornflakes entfernt man vielfach den Keim (vgl. 2b). Für Flakes und Extrudate wird das Getreide vielfach gemahlen oder geschrotet. Dies erlaubt dann auch, verschiedene Getreidearten zu mischen oder andere Zutaten hinzuzufügen (vgl. 4.)

Tabelle 1: Frühstückscerealien und ihre Herstellung

Mischen/Backen	Kochen/Walzen/Rösten	Puffen	Extrudieren
Müsli, klassisch Früchte-Müsli Nuss-Müsli	Cornflakes Crunchy Flakes (Knusperflocken) gewalzt	Puffreis Puffmais Smacks, Poppies	Loops Bälle, Kissen Flakes, extrudiert

„Einfache“ Flocken, wie Haferflocken zählt man nicht zu den Frühstückscerealien. Sie werden entspelzt, evtl. geschält, gedämpft und gewalzt. Durch das Dämpfen wird die enthaltene Stärke teilweise aufgeschlossen und leicht verkleistert. Dadurch ist sie besser verdaulich als bei selbstgequetschten Körnern. Flocken kann man „roh“ essen, weicht sie jedoch meistens ein oder kocht sie sogar z.B. für Kleinkinder. Die Flocke muss gekaut werden, zerfällt nicht von allein durch Feuchtigkeit wie Flakes. Ein Flockenmüsli kann man auch einige Stunden stehen lassen, ohne dass sich eine breiartige Konsistenz ergibt. Flocken sind daher auch in feuchtem Zustand recht formstabil.

Müslis zählen zu den Frühstückscerealien, werden aber meist nur gemischt. In den Mischungen findet man heute neben Flocken auch Flakes und extrudierte Cerealien. Auf englisch heißen die Frühstückscerealien „Ready-to-eat“ Cerealien, was deutlich ausdrückt, dass es verzehrfertige, Convenience-Produkte sind.

b) Herstellen von Flakes



Abb. 1: Gewalzte Cornflakes, goldbraun geröstet

Cornflakes sind die bekanntesten Flakes. Mit „corn“ bezeichnet der Amerikaner den Mais. Es gibt auch Flakes von anderen Getreidearten. Obwohl Flake (engl.) = Flocke ist, unterscheidet sich die Herstellung von Flocke und Flake. Flakes werden bei uns gekocht und getrocknet angeboten, früher hießen sie Knusperflocken. Das klassische Verfahren für Cornflakes geht auf Harvey Kellogg zurück. Er wollte das in Amerika heimische Mais Korn in einfacher Weise als Frühstücksspeise zubereiten. Dämpfen und walzen wie beim weichen Hafer ergibt beim harten Mais eine wenig ansprechende, schwer verdauliche Flocke. Daher kam der sehr gesundheitsbewusste Arzt auf die Idee, das Mais Korn erst zu kochen und dann zu walzen. Dieses Verfahren

ist bis heute üblich für klassische Cornflakes: Man entfernt vom Mais den Keim, da dieser leicht verdirbt, und es zu negativen Geschmacksveränderungen kommen kann. Damit wird allerdings auch der Gehalt an wertvollen Fetten, Mineralstoffen und Vitaminen stark vermindert (vgl. Tabelle 13). Man erhält die Grits. Sie werden mit anderen Zutaten wie 2,5 % Salz, 7,5 % Zucker und 2 % Malzsirop versetzt, etwa 2 Std. gekocht, anschließend gewalzt, getrocknet und geröstet. Bei Vollkorn-Flakes wird der Keim nicht entfernt. Cornflakes enthalten eine Restfeuchte von etwa 2–4 %, so dass sie lange haltbar und sehr knusprig sind.

Geht man nicht vom Korn, sondern vom Mehl oder von verschiedenen Getreidearten aus, so mischt man das Mehl mit Wasser, Salz, Süßungsmittel und evtl. anderen Zutaten, kocht und formt alles zu Pellets (wie getrocknete, künstliche Getreidekörner) und walzt sie zu Flakes. Anschließend werden sie geröstet.

Tabelle 2: Temperatur und Druck bei der Herstellung von Flakes

	Temperatur	Druck
Koch-Röstverfahren	100°C Druckkochen, 50-120°C trocknen 300°C rösten (1 Min.)	1-1,2 bar
Koch-Extruderverfahren	140°C Extruderkochen, 50-120°C trocknen 300°C rösten	10-50 bar

Eine andere, technisch aufwändigere Methode, ist das Extrudieren (vgl. 2d). Hier geht man immer von gemahlenem Getreide aus. Es wird in Wasser mit verschiedenen Zutaten (Salz, Süßungsmittel, Ballaststoffe) bei 120-140°C und einem Überdruck von 10 bar gekocht, dabei zu einem plastischen Teig umgewandelt, den man durch Düsen presst. Durch raschen Druck- und Temperaturabfall, kommt es zu einem Aufschäumen und Erstarren der Masse. Aus der Düse kommen Stränge, die zu Pellets geschnitten werden. Dann trocknet man sie, walzt und röstet sie. Dieses Verfahren wird vor allem bei Mais-, Dinkel- und Weizen-Flakes angewendet. Die Flakes aus Mehl sehen nicht mehr wie ein flachgedrücktes Getreide aus, sondern sind größer und eher fladenartig (s. Abb.2, ganz rechts). Oft haben sie Hohlräume unter der Oberfläche.



Abb. 2: Dinkel-Flakes, gewalzt Dinkelflocken Dinkel-Flakes, extrudiert
alle in Bio-Qualität

Flakes sind knackig und knusprig, daher auch der deutsche Name Knusperflocken. Man kann sie wie Chips knabbern. Kauen braucht man sie eigentlich nicht. Gibt man Flüssigkeit hinzu, so sollte man sie sofort verzehren, da schnell eine breiartige Konsistenz entsteht. Durch den Kochprozess ist die Stärke verkleistert, daher schmeckt das Flake etwas fade, ist gesalzen und meist auch gesüßt. Auch Bio-Flakes werden gesalzen und oft gesüßt angeboten. Durch das Kochen sind die Flakes leichter verdau-

lich als Flocken, da der Wärmeprozess dem Menschen ein Teil der Verdauungsarbeit abgenommen hat. Allerdings ist der Gehalt an Vitaminen wie beim traditionellen Kochverfahren gemindert, weshalb Flakes in vielen Ländern vitaminisiert werden.

c) Puffen

Gepuffte Getreide wie Pops oder Poppies sind an ihrer Getreideform zu erkennen. Sie sehen wie vergrößerte Getreidekörner aus. Man kennt Puffen vom Popcorn (Popmais). Allerdings handelt es sich bei diesem bekannten Prozess um das sogenannte Poppen. Hierbei gelingt die Aufblähung des Korn mit bestimmten Sorten von Mais und ohne den in der Industrie üblichen hohen Druck. Beim Poppen springt das Korn der Sorte Pop-Corn bei Hitze von allein auf, beim Puffen geht dies mit jedem Getreide, weil ein hoher Druck das Korn praktisch „aufreißt“.

Bei den Frühstückscerealien unterscheidet man zwei Verfahren, das direkte und indirekte Puffen. Beim direkt gepufften Getreide verwendet man ganze Körner. Eine vorausgehende Behandlung mit Salzwasser (26% Salzgehalt) bewirkt, dass die Kleie beim Vorerhitzen etwas brüchig und beim Puffvorgang vom Korn weggeblasen wird. Die Körner werden in einen heißen Behälter (Puffkanone) gefüllt und dort einem überhitztem Dampf und hohem Druck ausgesetzt. Durch schlagartigen Druckabfall verdampft das im Produkt enthaltene Wasser und die Stärke formt sich um. Das Produkt erfährt eine bis zu 10-fache Vergrößerung. Gepuffte Körner sind erkennbar an:

- der deutlichen Kornstruktur bzw. Rohwarenform
- dem bis zu 10-fachen Volumen gegenüber der Rohware
- der weitgehend verkleisterten Stärke
- einer festen, schaumartigen Textur

Tabelle 3: Temperatur und Druck beim Puffen

	Temperatur	Druck
In Puffkanone	250-300°C	15-35 bar
Indirektes Puffen	140°C (Extrusionskochen)	min. 10 bar
	240°C Puffen	14 bar

Das indirekte Puffen verbindet zwei Prozesse, nämlich das Kochen mit anschließendem Puffen zur Volumenvergrößerung. Das Kochen kann traditionell oder im Extruder (vgl. 2d) erfolgen. Beim indi-



Abbildung 3 Zwei gepuffte Sorten Dinkel

rekten Puffen verwendet man Mischungen und gemahlene Getreidearten mit verschiedensten Zutaten wie Süßungsmittel, Vitaminen, Farb- und Aromastoffen. Diese Pops sehen dann nicht mehr wie übergroße Getreidekörner aus, sondern können verschiedenste Formen annehmen. Gepuffte Getreide

werden genauso wie Flakes gesalzen und oft mit Zucker oder bei Bioprodukten mit einer Honiglösung überzogen. Auch mit Schokolade umhüllte Popgetreide gibt es als Knabberartikel oder in Müslimischungen zu kaufen. Lediglich Demeter verbietet die Herstellung von Puffgetreide aufgrund der intensiven Verarbeitung. Die Vitamin- und Eiweißverluste sind beim Puffen am größten von allen Verfahren (vgl. 3d, 6d).

d) Extrudieren

Extrudierte Produkte sind bereits seit Jahrzehnten für Lebens- und Futtermittel gebräuchlich. Trockenfutter für Hunde und Katzen, geformtes, locker im Wasser zerfallendes Futter für Teich- und Aquarienfische sind meist extrudiert. Bei Lebensmitteln sind viele Knabberartikel wie Erdnussflips („Locken“) schon seit Jahren im konventionellen Markt eingeführt. Heutzutage werden auch viele Chips nicht mehr gewalzt, sondern extrudiert.



Abb. 4: Extrudierte Getreidekissen, gefüllt

Unter Extrudieren versteht man ein Formen einer Masse unter Erstarren wie z.B. Lava. Extruder kommen daher auch aus der Kunststoffindustrie, wo man mit ihnen Folien und Formen prägt. Von daher kam man auf die Idee, auch Lebensmittelteige zu gestalten. Bereits seit den 30er Jahren des letzten Jahrhunderts wurde dieses Verfahren für Teigwaren eingeführt. Dabei nutzt man niedrige Temperaturen, die Kalt-Extrusion, denn Nudeln sollen nur „vorgekocht“ und in Formen gebracht werden. Sie kocht man ja später im Haushalt in Wasser gar, um die Stärke aufzuschließen und sie verzehrsfertig zu machen. Die Kaltextrusion wird in dieser Arbeit nicht weiter dargestellt. Bei der Heiß- oder heute allgemein üblichen Kurzzeit-Hochtemperatur-Extrusion kombiniert man zwei Verfahren. Man kocht die Produkte und formt sie neu. Dies ist für die Hersteller einfacher, da alles in einem Gerät geschieht. Oft wird nachgetrocknet und geröstet. Die fertigen Produkte sind aufgrund des geringen Wassergehalts und der Inaktivierung der Enzyme lange haltbar und durch das Kochen verzehrsfertig. Das Expandieren hat sie sehr locker und voluminös gemacht, so dass sie knackig sind und sich im Mund schnell auflösen. Kauen wie Flocken braucht man sie nicht. Die Extrusion ermöglicht schnell (nur wenige Minuten gegenüber dem 30-minütigem Kochen) und energiesparend zu arbeiten. Außerdem sind Mehlmischungen mit allen möglichen Zusätzen möglich. Damit kann man auch sogenannte funktionelle Lebensmittel herstellen.

Die wichtigsten Größen des Verfahren sind:

- hohe Temperatur (120-200°C),
- hoher Druck (mind. 14 bar)
- mechanischer Belastung durch Scherkräfte (seitlich einwirkende Kräfte)
- oft großer Druckabfall für die Volumenausdehnung.
- kurze Verweilzeit von ½ -7 Minuten

Wie ist die Belastung der Lebensmittel bei den unterschiedlichen Verfahren? Beim traditionellen **Kochen** von Flakes erreicht man Temperaturen von 100°C für längere Zeit und hohe Rösttemperaturen. Beim **direkten Puffen** hat man sehr hohe Temperaturen und Druck sowie einen plötzlichen Druckabfall vom etwa 30fachen des Luftdrucks auf 1 bar, was das Korn explosionsartig aufbläht. Bei der **Kochextrusion** ist der Druck geringer als beim Puffen, es können zusätzlich die als belastend geltenden Scherkräfte¹ hinzu kommen.

Entscheidend für die Qualitätsveränderungen sind die Bedingungen, unter denen die Extrusion stattfindet. Dies sind Feuchtigkeit, Temperatur, Druck und Umdrehungszahl. Sie werden bei der Herstellung je nach Produkt festgelegt. Im folgenden sind einige übliche Parameter aufgeführt. Für die Frühstückscerealien kommt die Hochtemperatur-Kurzzeit-Extrusion (Kochextrusion) infrage.

Tabelle 4: **Parameter bei unterschiedlichen Extrusions-Prozessen**

	Kalt-Extrusion	Heiß-Extrusion	Hochtemperatur-Kurzzeit-Extrusion
Temperatur (°C)	40 - 75	130 – 180	80 –250
Druck (bar)	60 - 90	120 – 250	14 -200
Verweildauer (min)			½-7
Umdrehungszahl (Upm)		bis 110	10-250
Hergestellte Lebensmittel	Teigwaren (Spaghetti, Nudeln)	Knabberartikel Frühstückscerealien	Snacks Frühstückscerealien

Vorbereitung der Lebensmittel für Extrusion

Getreide (gemahlen oder geschrotet) und andere Zutaten wie z.B. Zucker, Süßungsmittel oder Ballaststoffe werden gemischt und mit Wasser benetzt (maximal 30%). Längeres Quellen oder Dämpfen des Getreides vor der Verarbeitung lässt die Extrusion gleichförmigerer und ruhigerer verlaufen. So wurde z.B. dem Weizengemisch bei den Versuchen zur Bestimmung der Proteinqualität das Wasser schon 48 Std. vor der Weiterverarbeitung hinzugesetzt (Hartmuth-Hoene und Seiler, 1984).

Apparatur

Ein Extruder besteht aus Schneckenwellen in einem eng anliegenden Gehäuse. In der Maschine wird die Masse thermisch durch die Heizung des Gehäuses und mechanisch durch die Form und die Drehzahl der Schneckenwellen bearbeitet d.h. es wird gemischt, gekocht, entgast, verdichtet, expandiert.

¹ Scherkräfte sind Kräfte, die aus entgegengesetzten Richtungen auf einen Gegenstand einwirken.

Die Extrudate zeichnen sich vor allem durch ihre Formenvielfalt aus. Man kann ähnlich wie bei Teigwaren, alle möglichen räumlichen Gebilde und Figuren produzieren, die ausgefüllt oder hohl sein können. Dies macht diese Produkte für Kinder so begehrt, denn Kinder lieben Formen (z.B. Buchstabensuppe oder „Russisch Brot“). Im Grunde genommen ist dies wie eine Neuschöpfung der durch die Natur entstandenen Formen. So wie der Bäcker und Kunde Freude an verschieden geformten Backwaren oder Gebäckbroten hat, so auch an solchen Ringen, Kissen oder neuen „Körnern“.

Allerdings sollte man den Einfluss von Formen auf die Qualität anschauen. Es gibt gewisse Urformen bei lebendigen Wesen (Pflanzen, Tieren) oder im physikalisch-räumlich Bereich. Bei den Extrudaten gibt es überwiegend physikalische Formen, die durch intensive Kräfte erzwungen werden.

Extrudate sind knackig und knusprig. Sie sind ebenso verzehrsfertig wie Flakes. Übergießt man sie mit Flüssigkeit wie zum Frühstück üblich, so sind sie nur für Minuten formstabil und zerfallen dann in eine breiartige Masse (Abb. 6).

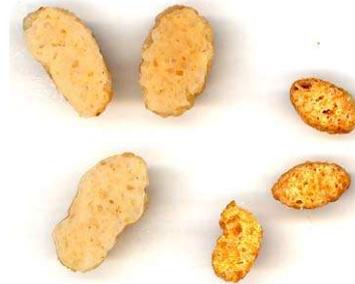


Abb. 6: Extrudierte Formen 10 Min. eingeweicht in Flüssigkeit (li), trocken (re)

e) Geschredderte Produkte

Die sogenannten „Kissen“ werden aus geschreddertem, d.h. in Streifen geschnittenem Korn hergestellt. Diese Streifen fñgt man zusammen zu Kissen. Diese Produkte werden wegen ihrer Konsistenz und den Möglichkeiten einen hohen Anteil an Ballaststoffen zu verwenden, hergestellt. Man kann sie aus ganzem Korn oder aus Mehl zubereiten. Letztere werden traditionell oder im Extruder gekocht.

Vorbereitung

Verwendet man ganze Körner, so kocht man sie in Wasser, bis die Stärke vollständig verkleistert ist. Danach kñhlt man und lässt die Körner 24 Std. quellen, damit die Feuchtigkeit sich einregeln kann. Während dieser Zeit kommt es zu einer Retrogradation der Stärke, d.h. Entquellung mit Wasserabgabe (vgl. 3b). Dieser Verfestigungsprozess ist eine wichtige Voraussetzung, um aus dem Korn gleichmäßige Fasern reißen zu können.



Abb. 7: „Kissen“ aus geschreddertem Korn

Schreddern

Das Korn wird in einen Schredder gefñllt, der aus zwei Rollen besteht, einer weichen und einer mit Rillen. Zwischen ihnen werden die Körner zu langen Streifen umgeformt. Diese werden gelöst und fallen auf ein Förderband. Durch Übereinanderfalten mehrerer Lagen solcher Bänder werden „Kissen“ gebildet, anschließend geschnitten und bei 260°C gebacken.

Die Kissen lassen sich auch aus Mehl herstellen. Es wird mit dem Extruder gekocht und dann wie beschrieben geschreddert. Für manche Kissen wird nur Kleie verwendet. Nimmt man Mais und Reis für die Herstellung der Kissen, wird meist noch einen Puff-Vorgang durchgeführt, da die Produkte sonst hart werden.

f) Herstellung von Bio-Frühstückscerealien

Auch im Bio-Bereich gibt es Frühstückscerealien, die gepufft, extrudiert oder gewalzt werden. Nur Demeter erlaubt die Herstellung mit Puffen und Extrudieren nicht, sondern nur das traditionelle Walzenverfahren. Im Bio-Bereich dürfen Frühstückscerealien nicht vitaminisiert, gefärbt und aromatisiert werden wie es vielfach bei konventioneller Ware üblich ist. Daher stellt sich hier besonders die Frage nach dem Vitaminabbau durch die Hitzeverfahren und der Bio-Qualität. Daher stellt sich besonders die Frage nach dem Vitaminerhalt der hitzeempfindlichen Vitamine.



Abb. 8: Bio-Extrudat: Dinkel-Ringe

Tabelle 5: Verfahren für Frühstückscerealien

Produkt	Aufschluss	Verfahren	Prozess	Bemerkungen
gequetschte Flocken	Roh	Flocker	Quetschen	zum sofortigen Gebrauch
Flocken wie Haferflocken	gedämpft, geflockt	Walzen	dämpfen walzen trocknen	1 Jahr haltbar, Enzyme inaktiviert, Stärke gering verkleistert
Flakes , traditionell	ganz oder gemahlen gekocht, geflockt	a) im Kochgerät b) Trockner c) Walzen d) Röster	a) kochen, b) trocknen c) walzen, d) rösten	durch Trocknung lange haltbar, Stärke ist verkleistert (gekocht), Enzyme inaktiviert
Flakes , extrudiert gewalzt	gemahlen gekocht, geflockt	a) Extruder b) Trockner c) Walzen d) Röster	a) extruderkochen b) trocknen c) walzen d) rösten	meist gesüßt, gesalzen, Konventionelle Ware z.T. vitaminisiert
Gepuffte Getreide	ganz gekocht, expandiert	a) Puffkanone	Direktes Puffen Erhitzen mit hohem Druck, plötzlicher Druckabfall zum Expandieren	„vergrößerte“ Getreidekörner“, schaumartige Konsistenz, gesüßt, gesalzen
Gepuffte Getreide, extrudiert gepufft	ganz oder gemahlen gekocht, expandiert	a) Kochgerät oder Extruder Puffkanone	Indirektes Puffen a) Kochen, traditionell oder im Extruder, Puffen zur Volumenvergrößerung	lockeres Volumen, Stärke ist verkleistert gesüßt, gesalzen, konventionell z.T. gefärbt, vitaminisiert
Extrudierte Getreide : neue Formen: Ringe (Loops), Kissen, Bälle	gemahlen gekocht expandiert	a) Extruder b) Trocknen	a) Kochen, formen trocknen, evtl. noch puffen und rösten	

Die traditionellen und modernen Verfahren werden teilweise kombiniert, so dass man eine genaue Trennung nicht vornehmen kann.

3. Chemische Umwandlungen der Nährstoffe

Bei der Herstellung von Frühstückscerealien durch Puffen und Koch-Extrusion wirken hoher Druck und Temperaturen auf das Getreide ein. Tabelle 6 gibt an, welche Wirkungen Druck und Temperatur im allgemeinen auf Lebensmittel haben. Teilweise sind diese Wirkungen erwünscht wie das Abtöten von Mikroorganismen oder das Aufschließen von Stärke oder Eiweiß. Anderes wie einen Vitaminabbau möchte man dagegen gering halten. Daher stellt sich die Frage, wie diese Veränderungen bei extrudierten Frühstückscerealien aussehen und zu bewerten sind.

Tabelle 6: **Wirkung von Druck und Temperatur bei der von Lebensmitteln** (Kurzhaus, 1995)

Wirkung	Druck	Temperatur
Abtötung/Inaktivierung von Mikroorganismen	+	+
Abtötung von Insekten / Parasiten	+	+
Inaktivierung von Enzymen	+	+
Umwandlung von Substanzen (Maillard, Vitamin)	-	+
Stärkeumwandlung	+	+
Denaturierung von Proteinen	+	+

a) Grundsätzliches zur Veränderung durch Erhitzung

Bei allen Erhitzungsverfahren tritt eine Veränderung der Nährstoffe ein. Die Stärke verkleistert, das Eiweiß wird denaturiert, somit neu strukturiert und Vitamine werden abgebaut. Oftmals steigt die Verdaulichkeit, da der Mensch die Inhaltsstoffe besser verwerten kann. Daher kommt es in Bezug auf die Frühstückscerealien nicht auf einen Abbau an sich, sondern inwieweit sich dieser Abbau der Verfahren unterscheidet. Im Folgenden sind Ergebnisse aus verschiedenen Einzelstudien zusammengetragen. Es zeigte sich, dass sich die Veränderungen abhängig sind von Temperatur oder Schraubenumdrehung sowie der Feuchtigkeit des Gemisches bzw. der Getreideart. Daher sind hier immer die Versuchsbedingungen angegeben. Ob der in der Industrie eingesetzte Druck und die Temperaturen mit denen der Untersuchungen übereinstimmen, konnte nicht ermittelt werden (vgl. 8a). Die Daten der Tabelle 8 zeigen, wie die Parameter sich gegenseitig beeinflussen. Diese Ergebnisse beruhen auf einer Untersuchung mit Ballaststoffen von Tapioka, sie sind auf Getreide übertragbar. Die Untersuchungsbedingungen stehen in Tabelle 7.

Tabelle 7: **Wechselwirkungen verschiedener Parameter beim Extrudieren** (Hashimoto und Grossmann, 2003)

a) Versuchsbedingungen

Temperatur	150 – 210°C
Feuchtigkeit	16 – 20 %
Umdrehungszahl	120 – 180 Upm
Ballaststoffzugabe zur Stärke	10 – 50%

Deutlich wird, dass die technischen Parameter eine Auswirkung auf das Produkt haben. Will ich ein sehr lockeres, voluminöses Produkt, so darf es nicht zu viele Ballaststoffe und zuviel Feuchtigkeit enthalten. Ein höher Ballaststoffgehalt ist aber ernährungsphysiologisch erwünscht. Ein feuchteres, nicht so ausgedehntes Produkt kann mehr Ballaststoffe enthalten und eine kürzere Verweilzeit haben. Dies wirkt sich beispielsweise auf den Vitamingehalt aus wie unter Punkt 3d beschrieben: Je trockener die Masse und je höher der Druck umso größer der Vitaminverlust, allerdings umso geschmacksreicher. Die **Wasserlöslichkeit** ist wichtig bei Instantprodukten, die sich schnell in Flüssigkeit lösen sollen, bei Frühstückscerealien ist dies eher unerwünscht (Abb. 7). Im englischen spricht man vom kurzen „Schüssel-Leben“ (bowl-life) der stark wasserlöslichen Extrudate. Die **Wasserbindung** hat mit dem Stärkeaufschluss (vgl. S. 14) und die **Feuchtigkeit** mit dem Vitaminerhalt und Röstgeschmack zu tun (vgl. 3d). Das **Volumen** und die **Expansion** hängt von dem gewünschten Produktaussehen, Temperatur, Feuchtigkeit und den Zutaten ab.

Tabelle 8: **Wechselwirkungen verschiedener Parameter** (Hashimoto und Grossmann, 2003)

Produkt-eigen-schaften	mit steigender Temperatur	mit steigender Umdrehungszahl	mit mehr Feuchtigkeit	mit mehr Ballaststoffen
Wasserlöslichkeit	zuerst groß ab 180°C geringer	bei 120-180 Upm hoch wegen Stärkeabbau		wird geringer
Wasserbindung	bei 150-180°C hoch > 180°C geringer	sinkt bei 120-180 Upm, steigt ab 180 Upm		wird höher
Volumen	wird geringer		wird geringer, steigt ab >180°C	wird geringer
Expansion (Ausdehnung)	wird geringer	sinkt, weil Verweilzeit kürzer, Stärkeverkleisterung geringer	wird geringer	wird geringer

Upm = Umdrehungen pro Minute

b) Einfluss der Extrusion auf die Stärke

Stärke ist der Hauptbestandteil der Getreide mit über 70 % Anteil. Sie setzt sich aus den Komponenten Amylose und Amylopektin zusammen, die aus Glukose aufgebaut sind. Amylose ist wasserlöslich, Amylopektin bleibt ungelöst, bewirkt aber die Verkleisterung. Die Veränderung der Stärke durch Erhitzung ist bedeutend für das ganze Produkt. Sie ist gut untersucht, auch im Haushalt vom Breikochen bekannt:

- Stärke quillt in Wasser und bindet es: Prozess des Einweichens, Stärkekörner verlieren kristalline Struktur
- bei Erhitzung verflüssigt sie sich kurzzeitig, dabei werden Bindungen zwischen den Stärkekettchen, die Wasserstoffbrücken, auflöst. Die Viskosität (Zähigkeit) ist gering,
- dann verkleistert die Stärke, die Viskosität steigt, Wasser lagert sich fest in den Stärkekettchen ein.
- Beim Ausquellen erfolgt eine Neubildung der Wasserstoff-Brücken, es entsteht ein stabiler Kleister. Bei längerem Stehen lassen wird überschüssiges Wasser abgegeben (Retrogradation).
- Bei sehr großer Hitze über 140° oder mechanischer Belastung (wie Scherkräfte) kann sich Stärke wieder verflüssigen, Stärkekettchen bauen sich ab, Maltodextrine oder Glukose wird gebildet.

Das Extrusionskochen erfolgt mit hoher Temperatur, Scherkräften und Druck, jedoch in viel kürzerer Zeit als herkömmliches Kochen. Noch höhere Temperaturen weist das Puffen auf. Das herkömmliche

Kochen hat eine übliche Kochtemperatur, dauert aber länger. Mercier (1980) untersuchte bei Mais-, Reis- und Weizenstärke den Einfluss der Extrusion und des Amylosegehalts auf die Verkleisterung. Außerdem wurde die Verdaulichkeit der extrudierten Stärke mit dem Enzym Amylase geprüft. Da der Mensch die Stärke auch durch Amylase abbaut (Enzyme im Speichel, Dünndarm) kann man auf die Verdaulichkeit beim Menschen schließen (vgl. 6d). Eine verringerte Verdaulichkeit bedeutet, dass der Mensch diese Anteile nicht verwerten kann. Sie wirken wie Ballaststoffe oder resistente Stärke. Auch übliche Stärke im Getreidekorn weist unverdauliche Anteile auf, dies ist also keine Besonderheit der extrudierten Stärke und erst ab einer höheren Rate relevant.

Tabelle 9: **Versuchsbedingungen für Untersuchungen der Stärkeumwandlungen** (Mercier, 1980)

Untersuchungsmaterial	Temperatur	Umdrehungszahl	Feuchtigkeit
Weizenstärke, Reisstärke, Maisstärke: Wachsmais (< 1% Amylose) normaler Mais (22% Amylose) Amylon 5, (Maisstärke, 52% Amylose) Amylon 7, (Maisstärke, 61% Amylose)	70 –250°C	20 – 120 Upm	22 %

Die Versuche ergaben, dass mit *zunehmender* Extrusionstemperatur

- die Wasserlöslichkeit durch Verflüssigung der Stärke zunimmt.
- die Abbaubarkeit der Stärke durch das Enzym α -Amylase sinkt, d.h. die Verdaulichkeit geringer wird.
- Wasserbindung und Viskosität (Zähigkeit) der extrudierten Stärke abnimmt (vgl. Tabelle 8)

Bei einer Ausgangsfeuchtigkeit von 22% gilt folgendes für die Stärke:

70–95°C deutliche Abnahme der kristallinen Stärkekörner (Quellung).

95-135°C Verkleisterung

135°C Vollständige Verkleisterung, gleichzeitig Bildung einer neuen Struktur (V-Typ), die aus einem Teil der Amylose und freien Fettsäuren des Getreides gebildet wird. Der entstandene V-Komplex zeigt im Reagenzglas eine verringerte Verdaulichkeit gemessen an der Abbaurrate durch α -Amylase. Dies scheint in erster Linie an der Komplexstruktur (V-Typ) zu liegen. Der V-Komplex ist wichtig für die Geschmacksbildung und verhindert zähe Strukturen. Bei einem Feuchtigkeitsgehalt von 30% erscheint der V-Typ bereits bei 70°C.

185-225°C: Entstehung vom E-Typ, instabil, helixförmig. Bei 225°C, nach Austritt aus der Düse, maximale Expansion. Die extrudierte Stärke ist leicht durch Amylase angreifbar.

Als Fazit kann man sagen, dass schon ab üblicher Extrusionstemperatur (135°C) und hoher Feuchtigkeit die Verdaulichkeit der Stärke durch unlösliche Komplexe leicht sinkt. Dies wird bei höherer Temperatur kompensiert durch den verbesserten Geschmack.

c) Einfluss von Hitze und Extrusion auf die Proteine und Aminosäuren

Bevor die Auswirkungen von Hitze und Druck auf die Proteine bei der Extrusion dargestellt werden, sei auf die Hitzewirkung allein geschaut, die bei der Herstellung von gedämpften Weizenflocken ermittelt wurden (Rao et al. 2002). Hierbei wurde besonders auf die sekundäre Proteinstruktur geschaut, die durch Bildung von Wasserstoff- und Di-Sulfidbrücken gekennzeichnet ist.

Eiweiß ist aus mehreren Strukturen aufgebaut, von den Aminosäureketten über die mit Schwefel-(Di-sulfid)- und Wasserstoffbrücken vernetzten Ketten (Sekundärstruktur) zur Zusammenlagerung der Ketten im Raum (Tertiärstruktur). Hitze lässt Proteine denaturieren, d.h. die Brücken lösen sich auf, die Strukturen fallen zusammen. Eine Denaturierung erhöht die Verdaulichkeit für den Menschen, da er die Proteine besser nutzen kann. Übersteigt die Denaturierung allerdings ein bestimmtes Maß oder werden essentielle Aminosäuren abgebaut oder unlöslich gebunden, so sinkt die Verdaulichkeit und damit Bioverfügbarkeit für den Menschen.

Tabelle 10: **Versuchsbedingungen zu Proteinveränderungen bei Weizen-Flocken**

Untersuchungs-material	Temperatur
Gemahlener Weizen	Dämpfen*, Walzen, Trocknung bei 50°C, Rösten bei 200°C

* Es wird im allgemeinen bei 100°C und 1,1 bar für 15 Min. gedämpft.

Bei der Herstellung von Weizenflocken, zeigten sich folgende *Veränderungen* beim **Protein**:

- bestehende Di-Sulfid-Brücken werden aufgebrochen. Es entstanden mehr niedermolekulare Proteine mit SH-Gruppen (6,2µM/g) als beim Ausgangsmehl (18,5 µM/g). µM = Mikro Molmasse
- Bildung von neuen komplexen Vernetzungen, die scheinbar den Anteil an Protein von 9 % im Mehl auf 4,5 % bei Flocken senkten. Spaltete man mit einer Chemikalie die neuen Di-Sulfid-Komplexe, ist der Anteil der Proteine der Flocken genauso hoch wie der des Ausgangsmehls.
- Der Vergleich der Proteine von Mehl und Flocken (Tabelle 11) zeigt, dass es zu einer Verringerung des höhermolekularen Glutenins und einem Anstieg niedermolekularerer Proteine kommt.

Tabelle 11: **Veränderung der Proteinzusammensetzung nach der Erhitzung**

Eiweiß in Molgewicht	Mehl	Flocken
Glutenin	35%	11 %
180 kDa	10 %	13 %
70 kDa Gliadine, Globuline, Albumine	22 %	36 %
45 kDa	12 %	19 %
25 kDa	21 %	21 %

kDa = Kilo Dalton, 1 Da = 1g/mol

Tabelle 12: **Versuchsbedingungen der Untersuchungen zur Proteinveränderung** (Nierle et al. 1980)

Untersuchungsmaterial	Temperatur	Umdrehungszahl	Feuchtigkeit
Maisgrieß	120, 140, 180°C	110 Upm	12, 15, 18%
Weizenvollkornschrot			

Auch bei der **Extrusion** (Tabelle 12) gibt es einen Abbau zu niedermolekularen Proteinen (Denaturierung). Dabei verhalten sich die Getreidearten unterschiedlich. Bei Weizen werden während der Extrusion die höhermolekularen Weizenproteine (größer als 150.000 MW) zu niedermolekularen Fraktionen im Bereich von 10.000 MW (MW=Einheit der Molmasse) abgebaut (a+c). Bei Mais scheinen durch Anlagerungen Proteine mit höheren Molekulargewichten zu entstehen (b). Dies hängt

auch von der Ausgangsfeuchtigkeit ab. Weizenprotein verändert sich so, dass es im das Absorptionsspektrum (320 – 250 nm) wie Mais aussieht (Nierle et al. 1980). Dies sind Veränderungen, die auf eine intensive Denaturierung schließen lassen.

In einem Versuch wurde die freie Aminosäure Lysin des Weizens durch die Extrusion auf ein Drittel der Ausgangsmenge reduziert wahrscheinlich infolge der Maillardreaktion. Da Lysin die begrenzte Aminosäure des Getreides ist, senkt ihr Verlust die biologische Wertigkeit. Das Eiweiß ist weniger ausnutzbar. Solche Maillard-Reaktionen (dazu gehört auch die Acrylamidbildung) werden durch Zucker oder andere Süßungsmittel gefördert. Frühstückscerealien sind sehr oft bereits im Extrusionsteig gesüßt. Dies erklärt vielleicht, warum ein anderer Forscher (Hu, 2001) bei der Untersuchungen ungesüßter Extrudate kaum Auswirkungen auf die Aminosäuren Lysin, Methionin und Tryptophan in Weizen, Soja und Reisprodukte fand. Er betont, dass es auf Temperatur und Feuchtigkeit ankommt. Steigende Temperaturen führen zum (erwünschten) Abbau der Enzyme, ein niedriger Feuchtigkeitsgehalt begünstigt die Erhaltung von Lysin in Reis- und Soja-, nicht aber in Weizenprodukten.

In einer Studie wurde deshalb extra der Lysinabbau durch verschiedene Erhitzungsverfahren verglichen (McAuley, J.A. 1987). Geprüft wurden Weizenflakes mit verschiedenen intensiver Röstung. Als weiteres Verfahren wurde extrudierter, gepuffter Weizen auf den Lysinerhalt und die in vitro Eiweißverdaulichkeit durch Enzyme getestet (vgl. S. 14).

Tabelle 13 Lysinverfügbarkeit in Weizenprodukten

	Lysinverfügbarkeit in % von Lysingehalt	Eiweiß-verdaulich- keit a)	Eiweiß- verdaulichkeit b)
Weizenmehl	76,7	87,2	56,0
Weizenvollmehl	77,4	80,3	57,8
Flakes, kräftig geröstet	44,0	78,0	59,4
Flakes, extrudiert, hell geröstet	71,6	80,3	60,6
Flakes, extrudiert, dunkel geröstet	25,9	75,9	54,7
Weizen, extrudiert, gepufft	0	78,0	50,2

a) mit Multiverdauungsenzymen AOAC - b) mit Pepsin-Pankreatin Enzymen

Das verfügbare Lysin ist im Vollkornmehl am höchsten, dann im weißen Mehl und danach im extrudierten Flake. Deutliche Einbußen zeigen die dunkel gerösteten Flakes und der extrudierte, gepuffte Weizen.

Hieraus kann man schließen, dass die hohen Temperaturen beim Rösten viel entscheidender für die Lysinverfügbarkeit sind als das Kochverfahren herkömmlich oder im Extruder. Es zeigte sich sogar eine leicht bessere Eiweißerhaltung beim Extrusionskochen im Vergleich zum herkömmlich gekochten Flake im Dampfkocher. Dabei muss man bedenken, dass die Extrusionsbedingungen für die wenig geformten Flakes sehr mild sind im Vergleich zu geformten Ringe etc.

Die deutlichsten Verluste erfährt die essentielle Aminosäure Lysin dagegen beim **Puffen**. Die sehr hohen Temperaturen - wenn auch nur für kurze Zeit - führen dazu, dass zunächst kein Lysin mehr messbar ist. Diese Ergebnisse bestätigen sich beim Vitaminabbau. Bei der Messung der in vitro Proteinverdaulichkeit sind wiederum die dunkel gerösteten Flakes traditionell oder extrudiert schlechter als die hell gerösteten. Das gepuffte Getreide ist beim Verfahren a) mit 78,0 etwas günstiger gegen-

über den dunkel gerösteten Flakes mit 75,9, beim Verfahren b) liegt es dagegen am Ende. Möglicherweise bilden sich beim Puffen durch die hohen Temperaturen (bis 300°C) zunächst ein Proteindenaturierung mit nachfolgender Komplexbildung wie auf S. 14 unter b) beschrieben. Dadurch ist Lysin eingebunden und nicht verfügbar. Bei der Behandlung mit Enzymen wird es aus der Verbindung gelöst. Die zwei Verfahren der Verdaulichkeit ergeben nur in etwa vergleichbare Ergebnisse. Trotzdem bleibt das Puffen die belastendste Methode vor dem dunklen Rösten. Beim Erhitzungsverfahren ist das Extrusionskochen etwas günstiger als das herkömmliche Dampfgaren bezüglich der Proteinverdaulichkeit und Lysinverfügbarkeit. Man muss bedenken, dass nur gemahlene Getreide extrudiert werden können, beim herkömmlichen Garen kann man auch ganze Körner oder Grits verwenden.

d) Stabilität von B-Vitaminen

Die wichtigsten Vitamine des Getreides sind die B-Vitamine. Davon ist das Vitamin B 1 (Thiamin) besonders hitzeempfindlich und wird deshalb in erster Linie untersucht, um den Einfluss von thermischen Verfahren auf Vitamine zu bestimmen. Auch die Folsäure erweist sich als hitzeanfällig, während die anderen B-Vitamine stabiler sind.

Die Frühstückscerealien sind außer dem Bio Angebot fast alle vitaminisiert, so dass eine Untersuchung der Handelsware kaum Auskünfte über den Erhalt der natürlichen Vitamine ergibt. Von anderen Getreideprodukten sind die Verluste bekannt. So verliert ein Vollkornbrot bis zu 50 % an Thiamin gegenüber dem Korn durch den Backprozess. Bei einem Mischbrot aus Mehl liegt der Verlust oft noch höher, weil durch die Abtrennung der Randschichten bereits ein größerer Teil der Vitamine verloren geht. Dies ist bei traditionellen und extrudierten Flakes ähnlich. Es gibt viele, die aus Mehlen bzw. Mehlkörnern (Grits) und nicht aus Vollkorn gemacht sind. Wenn auf der Packung aus „Hafer“ oder „Mais“ steht, bedeutet dies lediglich, dass diese Getreideart verwendet wurde. Entscheidend ist die Zutatenliste, auf der vermerkt sein muss, ob es sich aus Vollkornhafer(mehl) oder lediglich Hafermehl (Auszugsmehl) handelt (vgl. Abb. 13).

Bei der Flockenherstellung gehen übrigens wenig Vitamine verloren. Für Cornflakes gibt es Werte mit natürlichem und angereichertem Vitamingehalt (Tab. 14). Es zeigen sich hohe Verluste bei dem hitzeempfindlichen Vitamin B 1 von 85 %. Bei der vitaminisierten Ware wird dies mit fast 300 % des natürlichen Gehalt überkompensiert (vgl. 4d). Auch Folsäure ist sehr gemindert, die fettlöslichen Vitamine A und vor allem E sind mit dem Keim abgetrennt worden und daher kaum noch enthalten. Niacin ist relativ hitzestabil, wird trotzdem hoch vitaminisiert.

Tabelle 14: Vitamingehalt von Mais und Cornflakes

	Vitamin A µg	Vit. E µg	Vit. B1 mg	Niacin mg	Folsäure µg
Mais, Korn	185	2000	0,360	1,5	25
Cornflakes	30	175	0,06	1,4	6
Cornflakes, vitaminisiert*	28	180	1,2*	15*	160*

Quelle: Die große GU-Nährstoff-Kalorien-Tabelle. München 2004/05 und 2002/2003

Haferflocken haben bei Vitamin B 1 und Folsäure kaum Verluste, bei extrudierten Haferflakes, die noch Zucker enthalten, liegt der Wert bei etwa 60 % des Haferkorns. Vitamine in Hafer gelten als hitzestabil, möglicherweise aufgrund des Fett- und Ballaststoffgehalts.

Tabelle 15: Vitamingehalt von Hafer und Haferprodukten

	Vitamin B1 mg	Folsäure µg
Hafer, Korn	0,67	33
Haferflocken	0,65	keine Angabe
extrudierte Haferflakes, gesüßt	0,39	30

Quelle: Die große GU-Nährstoff-Kalorien-Tabelle. München 2004/05, Handelsangaben

Wie sieht es bei anderen Frühstückscerealien aus? In einer Studie wurde der Vitamingerhalt bei verschiedenen Erhitzungsverfahren verglichen. Es handelte sich um gedämpfte Flocken von Hafer, Weizen und Gerste, gepufftem Weizen und Reis sowie extrudiertem Mais (Barna, E. 1997). Es wurden die Vitamingehalte im ganzen Korn und den fertigen Produkten gemessen und verglichen (Tab. 16).

Tabelle 16: Erhalt von B-Vitaminen bei Frühstückscerealien (in % des unverarbeiteten Kornes)*

	Vitamin B 1	Vitamin B 2	Niacin	Vitamin B 6
Roggenflocken	88	113	107	108
Haferflocken	89	112	104	112
Weizenflocken	65	104	78	96
Gerstenflocken	76	89	100	96
Puffweizen	2	67	114	60
Puffreis	2	65	89	75
extrudierter Mais	70	103	89	77

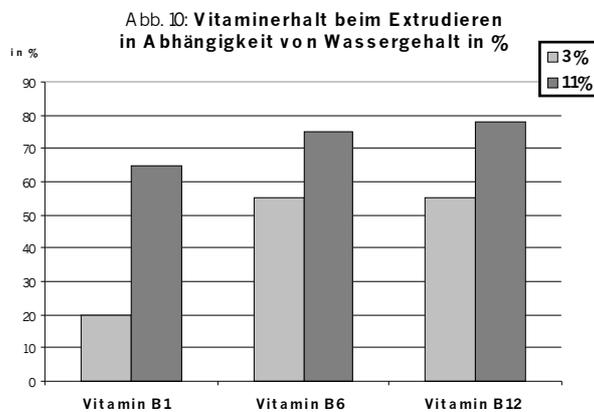
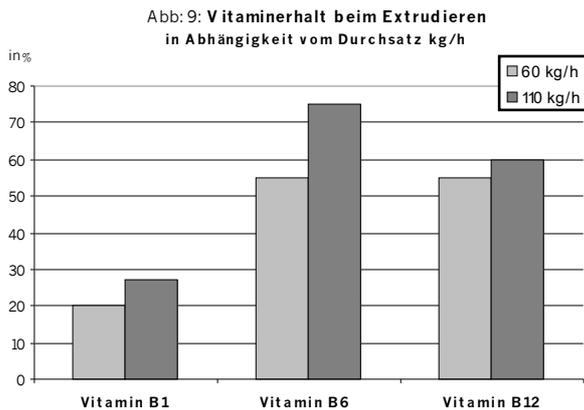
* Die Werte über 100 % kommen durch eine bessere Verfügbarkeit der Vitamine aus den Zellstrukturen zustande durch die Verarbeitung gegenüber dem ganzen Korn.

Dies zeigt, dass Vitamin B 1 das empfindlichste Vitamin ist. Puffen zerstört es fast vollständig, obwohl die Puffdauer beim Reis nur 3-5 sec, beim Weizen mehrere Minuten dauert. Offenbar bewirkte die sehr hohe Temperatur schon in kürzester Zeit diese Verluste. Dies deckt sich mit den Ergebnissen zum Lysinabbau. Die Werte beim extrudierten Mais liegen mit 70 % Erhalt von Vitamin B 1 gut. Es ist sehr abhängig von den Extrusionsbedingungen wie nachfolgende Ausführungen zeigen. Hier wurde mit hohem Wassergehalt (25-30 %) und niedrigen Temperaturen (120°C) extrudiert. Vitamin B 2 war bis auf das Puffen recht stabil wie auch Niacin. Der Vitamin B 6 Gehalt sank wiederum beim Puffen auf 60 % bzw. 75 % ab. Die Vitaminabbau ist daher bei extrudierten Flakes (kaum Expansion, niedrige Temperatur) nicht höher als bei herkömmlich gekochten.

Interessant ist die Studie mit Flachbrot, bei der man dem Getreidemehl eine definierte Vitaminmenge zumischte und dann den Erhalt nach verschiedenen Extrusionsverfahren bestimmte (Tab. 17). Dabei ist der Feuchtigkeitsgehalt bei Flachbrot von vornherein viel niedriger als bei Frühstückscerealien.

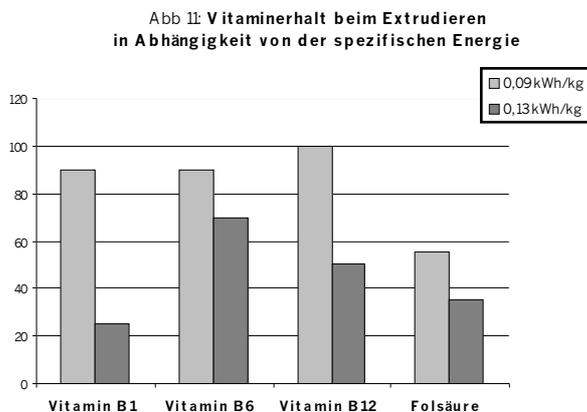
Tabelle 17: Versuchsbedingungen für die Untersuchungen zum Vitamingerhalt

Untersuchungsmaterial	Temperatur	Umdrehungszahl	Feuchtigkeit
Flachbrotmischung: 95% Weizenmehl, 1% Salz, 1% Saccharose, 1% Vollmilchpulver, 2% Vitaminmischung: Vit. B1 3,7 µg, Vit. B2 4,6 µg Vit. B6 4,2 µg, Vit. B12 11,5 µg, Folsäure 0,92 µg	150°C	300 UpM	3, 5, 8, 11%



und Lockerheit.

Eine große Wirkung hat die **spezifische Energie** auf den Vitaminerhalt. Sie wird aus dem Druck berechnet, den die Schnecke im Extruder bei bestimmter Umdrehungszahl auf den Teig erzeugt. Steigert man die spezifische Energie, bleiben weniger Vitamine erhalten (Abb. 11). Am meisten wird Vitamin B 1 abgebaut, während Vitamin B 12 bei geringer Belastung vollständig erhalten bleibt, bei höherer Belastung stark abgebaut wird.



bewerteten Produkten wurden im Versuch die größten Vitaminverluste festgestellt.

Für Bio-Produkte, die keine zugesetzten Vitamine enthalten dürfen, bedeutet dies, dass Frühstückscerealien beim Vitamingehalt gegenüber Flocken deutlich gemindert sind. Dabei ist der Unterschied zwischen herkömmlichem und Extrusionskochen kaum vorhanden. Eklatant ist der Vitaminabbau

Die Verluste an Thiamin und anderen Vitaminen steigen mit der **Erhöhung** der **Temperatur** und der **Drehzahl**, Vitamin B 2 und auch Vitamin B 6 bleibt besser erhalten als Vitamin B 1. Dies ist auch in der Tabelle 16 abzulesen.

Killeit und Wiedmann (1984) zeigen, dass mit **steigendem Durchsatz** von 60-110 kg/h die Erhaltung der Vitamine sich verbessert (Abb. 9). Dies liegt offensichtlich an der kürzeren Verweilzeit, obwohl der Extrusionsdruck fast proportional zum Durchsatz steigt. Dabei zeigt Vitamin B1 den größten Verlust von über 70 %, während Vitamin B 6 viel stabiler ist mit über 70 % Erhalt und Vitamin B 12 mit über 55 % Erhalt.

Noch mehr Einfluss hat jedoch der **steigende Wasserzusatz** von 3 bzw. 11 %. Je mehr Wasser desto besser ist der Vitaminerhalt (Abb. 10). Ebenfalls erweist sich Vitamin B 1 am empfindlichsten gegenüber den anderen B-Vitaminen. Ein höherer Wasserzusatz senkt jedoch die sensorische Qualität wie die Knusprigkeit

und Lockerheit. Nach diesen Ergebnissen zeigt sich der beste Vitaminerhalt bei höherer Feuchte, niedriger Temperatur, geringem Druck bzw. hohem Durchsatz, d.h. kurzer Verweilzeit. Milde Extrusionswerte bedingen somit einen höheren Vitaminerhalt. Allerdings ist der beliebte Röstgeschmack und die Knusprigkeit bei geringer Feuchtigkeit höher, der Vitaminverlust größer. Hier muss man zwischen sensorischer und Nährstoff-Qualität entscheiden. Bei den sensorisch am besten

beim Puffen. Hier gibt es einen fast vollständigen Verlust an Vitamin B 1. Solch ein Verfahren ist eigentlich ungeeignet für Bio-Produkte.

Konventionelle Frühstückscerealien werden oft vitaminisiert, um diese Verluste auszugleichen. Dies muss aber in Frage gestellt werden. (vgl. 4d)

e) Inaktivierung getreideeigener Enzyme

Enzyme sind Eiweiße, die Stoffwechselprozesse in Gang setzen wie Fettabbau. Als Eiweiße werden sie ab 50-70°C zerstört. Daher führt jedes Wärmeverfahren bei Lebensmitteln zu einem großen Abbau von Enzymen. Selbst bei Flocken inaktiviert man sie durch das heiße Walzen, da sonst die Flocken schnell durch Fettenzyme ranzig werden würden. Insofern ist bei einem erhitzten Produkt ein Enzymabbau wegen der längeren Haltbarkeit erwünscht. Will man aus Ernährungsgründen aktive Enzyme in der Nahrung haben, so muss man unerhitzte Lebensmittel wie Obst, Salat, Honig oder Rohmilch zu sich nehmen, nicht aber Brot, Brei oder Frühstückscerealien.

Da beim Extrudieren Temperaturen weit über 100°C erreicht werden, ist mit intensivem Enzymabbau zu rechnen. Trotzdem kommt es darauf an, wie geschützt die Enzyme in den Zellstrukturen sind, von welchen Begleitstoffen sie umgeben sind etc.

Experimente zeigen, dass

- Enzyme um so mehr inaktiviert werden, je höher die Temperatur ist
- der Wassergehalt bis 100°C eine Rolle spielt
- Einzelne Enzyme wie α -Amylase bei höherer Feuchte weniger geschädigt werden.

Versuche von Fretzdorff und Seiler (1984) erwiesen, dass

- Enzyme im allgemeinen bei Extrusion mit stärkerer Hitze mehr inaktiviert werden. So sinkt die Enzymaktivität von LAH (Lipolytische Acylhydrolase) von 75 auf 55%, die der Katalase von 2 auf 0 %. wie bei erhitztem Vollkornschrot von 80 bis 170°C untersucht wurde
- der Einfluss des Zerkleinerungsgrades nur bei BAPAase (einem abbauenden Enzym) zu sehen ist. Das Enzym ist im Mehl empfindlicher, im Ganzkorn im allgemeinen höher, verschiedene Getreide reagieren unterschiedlich.
- der Einfluss der Feuchtigkeit von 22-39 % nicht eindeutig ist.

Tabelle 18: **Versuchsbedingungen der Untersuchung zu Veränderungen von Enzymen**

Untersuchungsmaterial	Temperatur	Umdrehungszahl	Druck	Feuchtigkeit
Weizen-, Roggenvollkornschrot, Weizenkleie, Weizengrieß, Haferkerne	80 – 170°C	150-250 Upm	40 –100 bar	18 – 29 %

Dies bedeutet, dass durch Extrusion die Enzyminaktivierung ausreichend ist, um eine längere Haltbarkeit der Produkte zu gewährleisten.

f) Bildung von freien Radikalen bei Extrusion

Freie Radikale sind sehr reaktive Moleküle, denen ein Elektron fehlt bzw. genommen wurde. Deshalb versuchen sie aggressiv, dieses Elektron anderen Verbindungen zu entziehen, wodurch es zu einer Kettenreaktion kommen kann. Freie Radikale sind also keine eigene Stoffgruppe, sondern können aus unterschiedlichen Verbindungen entstehen. Die Radikalbildung führt zum oxidativen Stress und da-

mit zur Zerstörung komplexer Stoffe vor allem von Eiweißen. Bestimmte Substanzen wie Antioxidantien, dies sind beispielsweise die Vitamine A,C und E, vermögen die Radikale abzusättigen und den begonnenen Abbau- und Alterungsprozess zu stoppen. Sie sind kaum in Frühstückscerealien enthalten bzw. mit dem Keim entfernt worden.

Freie Radikale entstehen in allen Lebewesen und damit auch den Lebensmitteln. In üblicher Menge sind sie normale Bestandteile des Stoffwechsels. Erst ein Anstieg führt zu Schäden beim Lebensmittel, zu einem Abbau und evtl. Verderb. Die Messung von freien Radikalen bei Lebensmitteln ist noch unüblich. Man kann sie als Indikator für den Eiweißabbau ansehen (vgl. 3c)

Tabelle 19: **Versuchsbedingungen für die Untersuchung nach freien Radikalen bei Extrusion**

Untersuchungsmaterial	Temperatur	Umdrehungszahl	Feuchtigkeit
2 Mehlsorten	160 –185°C	300-500 Upm	16-20 %

Ursache der Radikalbildung sind starke Belastungen, Hitze, Druck etc. Da der Extrusionsprozess das Lebensmittel sehr belasten kann, ist eine vermehrte Radikalbildung zu vermuten. Die Versuchsbedingungen gehen jedenfalls von hoher Temperatur und Umdrehungszahl aus. In einer Versuchsreihe von Schaich, K.M. Rebello, C.A. 1999 wurde die freie Radikalbildung geprüft.

Bei Mehl gibt es bei Zimmertemperatur keine Anzeichen für die Anwesenheit von Radikalen. Bei einer Spektralmessung zeigten sich bei Extrudaten deutliche Signale, die auf mehrere Radikalarten hindeuten wie Stickstoffradikale mit und ohne Sauerstoffbindung (N• und NO•; N= Stickstoff, O= Sauerstoff, •freies Radikal) sowie Schwefelradikale verschiedenen Typs. Die höchste freie Radikalkonzentration entstand bei hoher Temperatur (185°C) und niedriger Feuchtigkeit (16%). Die Mehle der Getreidearten und verschiedener Proteingehalt zeigen unterschiedliche Ergebnisse.

Es ergab sich, dass die Schwefelradikale nicht allein durch die Hitze oder eine Reaktion mit den Fetten entstehen, sondern dass die Scherkräfte verantwortlich sind. Diese Scherkräfte werden für manche stärker expandierten Frühstückscerealien eingesetzt (nicht bei Flakes). Die Bildung der freien Radikale ist somit ein Maß für den Eiweißabbau.

g) Bildung von Acrylamid

In den letzten Jahren ist man auf Acrylamid in Lebensmitteln aufmerksam geworden. Da vermutet wird, dass diese Verbindung krebserzeugend ist, versucht man bei der Verarbeitung möglichst kaum Acrylamid entstehen zu lassen. Die Bildung von Acrylamid gehört in den Bereich der Maillard-Reaktion, bei der eine Reaktion zwischen Zuckern und Aminosäuren statt findet. Diese Reaktion ist vielfach erwünscht, da dadurch Aromastoffe gebildet werden und es zu Farbveränderungen im Produkt kommt. Acrylamid wird vor allem aus Zuckerbausteinen (Fruktose und Glucose) und der Aminosäure Asparagin gebildet.

Tabelle 20: **Prozesse, bei denen Acrylamid in Lebensmitteln entsteht** (Franke, 2003)

Prozess	Temperatur
Backen	180 – 300°C
Grillen	200 – 300°C
Rösten	130 – 250°C
Frittieren	140 – 175 (190)°C

Bei den typischen Verfahren, die für die Acrylamidentstehung verantwortlich gemacht werden, wird der Extrusionsvorgang nicht genannt (Tabelle 20). Da Acrylamid sich vor allem bei trockener Hitze bildet, sind alle gerösteten Produkte wie Flakes und Puffgetreide betroffen. Da diese Produkte meist auch gesüßt sind, steht ausreichend Zucker und aus dem Getreide die Aminosäure Asparagin zur Verfügung. Ungesüßte Ware müsste wesentlich geringer belastet sein.

Der Signalwert für Frühstückscerealien lag zuerst bei 260 µg/kg, seit 2004 bei 200 µg/kg. Der Signalwert ist ein Indikator und kein Grenzwert. Von den 10 % der am höchsten belasteten Lebensmittel einer Warengruppe wird der niedrigste Acrylamidwert als Signalwert festgelegt. Er soll die Hersteller zu einer Änderung der Rezeptur oder des Herstellverfahren auffordern.

Nach Angaben der Hersteller ist der Gehalt an Acrylamid in den Frühstückscerealien sehr gering. Untersuchungen, die vom Verbraucherschutzministerium (BMVEL) beauftragt wurden, zeigen höhere Werte (Tabelle 21), das Bayerische Untersuchungsamt etwas geringere. Inzwischen haben Hersteller reagiert und ihre Verfahren angepasst.

Tabelle 21: Acrylamidgehalt in Getreideprodukten (Verbraucher-Zentrale Hamburg, BMVEL)

Produkt /Hersteller	Daten von Monat/Jahr	Acrylamid-Konzentration µg/kg*
Choco Balls Bio, Martin Evers	1/2003	Max. 180
Cornflakes Bio, Barnhouse	3/2003	15
Cornflakes Bio, Martin Evers	1/2003	< 30
Honey Flakes Bio, Martin Evers	1/2003	< 30
Mr. Reen's Krunchy Bio, Barnhouse	3/2003	44
Cluster Krunchy Bio, Barnhouse	3/2003	111
Sweet Wheat Bio, Martin Evers	1/2003	170
Puffweizen Frühstückscerealien	11/2003	ø 237 max. 355** ø <30 max. 180**

*nach Herstellerangaben **Angaben Verbraucherschutzministerium, Bayr. Landesamt f. Gesundheit

Das Problem Acrylamid scheint für Frühstückscerealien nicht so bedeutend zu sein. Für extrudierte Produkte braucht man nur auf den Acrylamid-Wert zu schauen, wenn sie anschließend geröstet wurden. Ungeröstete Ware ist kaum betroffen, ebenso wie ungesüßte.

4. Zusätze zu Cerealien

a) Grundsätzliches

Beim Extrusionsvorgang gehen Nährstoffe des Getreides durch Hitze, Druck und Druckabfall sowie Scherkräfte verloren. Es entsteht ein Produkt mit einem typischen „Kochgeschmack“, der durch Zusätze verbessert werden soll. So fügt man gern Süßungsmittel und Geschmacksstoffe (z.B. Kakao) zu, ferner Vitamine, Mineralstoffe und Ballaststoffe, damit das Produkt gesundheitlich wertvoll erscheint.

In der Vollwerternährung geht man grundsätzlich von einem vollwertigen Rohstoff aus, der schonend verarbeitet werden soll, so dass nur geringe Nährwertverluste auftreten. Von daher kann man sich fragen, ob für den Bio-Bereich die Anwendung von Verfahren nicht kritisch gesehen werden muss, bei dem größere Verluste an Geschmack und Nährwert auftreten.

b) Zusetzen von Zucker

Die verschiedenen Frühstückscerealien können Zuckergehalte von 40 oder gar 45% enthalten, so dass sie eher die Qualität von Süßigkeiten als von Lebensmitteln einnehmen. Da gerade Kinder diese Frühstückspunkte gern verzehren, die auch sonst viel Süßes essen, sind solche stark gesüßten Produkte nicht empfehlenswert als morgendliche Hauptmahlzeit. Neben Zucker werden andere Süßungsmittel wie Malzextrakt, Topinambursirup oder Honig verwendet, die auch als Geschmacksgeber fungieren (vgl. 4c). Die Hafer-Fleks (Abb. 12) enthalten drei verschiedene Süßungsmittel Malzextrakt, Zucker und Traubenzucker. Anhand der Nährwertangaben lässt sich errechnen, dass es 19 % Süßungsmittel sind. Die Bio-Dinkel-Ringli (Abb 8, S. 11) enthalten 15 % Süßungsmittel. Klassische Produkte wie Cornflakes sind meist weniger gesüßt (9-10 %) als „neue“ Mischungen.



Abb 12: Neue Formen durch extrudierte Mehle

c) Zusetzen von Aroma-, Farb- und Geschmacksstoffen

Frühstückscerealien sollen gut schmecken und riechen. Bei der Extrusion geht der eigentliche Getreidegeschmack verloren. Dies ist ähnlich bei Flakes oder Puffgetreide und teilweise bedingt durch das Kochen. Technisch gibt es verschiedene Möglichkeiten dem Produkt Geschmacksstoffe zuzugeben:

- a) Zufügung vor der Extrusion
- b) Zufügung nach der Extrusion auf der Oberfläche oder in das Produkte
- c) Injizierung in das fertige Produkt.

Jedes der Verfahren hat Vor- und Nachteile, die nach Produkt berücksichtigt werden müssen. So wird das Verfahrens jeweils danach ausgewählt inwieweit die Stoffe in der Lebensmittelmasse zurückgehalten werden durch Druckunterschiede beim Herstellungsprozess, Flüchtigkeit und thermodynamische Eigenschaften sowie den Wechselwirkungen zwischen Geschmackskomponenten und Lebensmittelstruktur. Auch die gewünschte Verteilung im Produkt spielt eine Rolle oder die mechanische Stabilität (z.B. Abreiben in Packung bei Oberflächenüberzügen).

An Aromen werden zugesetzt: Schokoladenaroma, Fruchtaroma, Gewürzaromen (z.B. Vanillin). Außerdem natürliche Zutaten wie Nüsse, Kakao, Schokolade und verschiedenste Süßungsmittel, die nicht nur süßen, sondern auch Geschmack geben (z.B. Malzextrakt). Bio-Frühstückscerealien dürfen keine Aromastoffe und Farbstoffe enthalten, gefärbt werden einige konventionelle Angebote.

d) Anreichern von Vitaminen und Mineralstoffen

Zu vielen konventionellen Frühstückscerealien werden Vitamine und Mineralstoffe, vor allem Calcium und Eisen zugefügt. Dies liegt hauptsächlich an der amerikanischen Herkunft der Cerealien, wo Anreicherungen üblich sind, zum anderen an dem Abbau der Vitamine durch die Kochverfahren. Mineralstoffe werden durch ein Hitzeverfahren nicht vermindert. Bio-Produkte dürfen laut EU-Öko-Verordnung nicht vitaminisiert und mineralisiert werden.

An Vitaminen sprüht man die B-Vitamine (Vitamin B 1, B 2, B 6, B 12, Folsäure und Biotin) wie auch das eigentlich gar nicht im Getreide vorhandene Vitamin C nachträglich auf die Getreideprodukte auf. Hitzestabile Vitamine können vorher zugefügt werden. Fettlösliche Vitamine wie A und E werden ebenfalls angereichert, nachdem man sie erst mit dem Keim entfernt hat. Dies gibt Wechselwirkungen zwischen den Vitaminen und dem Lebensmittel sowie den „Hilfsstoffen“ als Trägermaterial. Zucker wie Glukose, Fruktose oder Mannit stabilisieren wasserlösliche Vitamine. Da die Stabilität trotzdem begrenzt ist, die angegebene Menge bis zum Mindesthaltbarkeitsdatum vorhanden sein muss, werden mehr Vitamine zugesetzt, als auf der Packung angegeben.

Es ist gesetzliche Pflicht, zugefügte Vitamine und Mineralstoffe sowie ihren Anteil am Tagesbedarf zu deklarieren. Natürliche Vitamine brauchen nicht angegeben zu werden. Daher sollen sich Verbraucher nicht täuschen lassen, wenn auf der Packung eines vitaminisierten Produkts Vitaminangaben zu lesen sind, auf dem Bio-Produkt beispielsweise nicht. Die Deklarationspflicht soll dem Verbraucher den Zusatz verdeutlichen.

Es ist umstritten, ob synthetische Vitamine tatsächlich den natürlichen Gehalt ersetzen können. Die Vollwerternährung fordert schonende Herstellung, damit die natürlichen Vitamine erhalten bleiben. Es ist auch widersinnig, wenn man durch intensive Verarbeitung erst den Vitamingehalt reduziert und dann durch künstliche Zufügung wieder anhebt. Ein natürliches Vitamin ist ganz anders in die Zellstruktur des Getreides beim Wachstum eingebunden, ein zugesetztes wird von Mikroorganismen hergestellt, auf einen Trägerstoff aufgebracht und in einer stabilen Form (z.B. als Salzlösung) aufgesprüht oder in die Masse eingearbeitet. Kontrollen der Stiftung Warentest ergaben, dass Frühstückscerealien mit Vitamin B 1 bis zu 50 % überdosiert waren. Kritische Wissenschaftler warnen vor solcher „Luxusversorgung“, da dadurch die Fähigkeit des Körpers mit normaler Vitaminmenge auszukommen, abnehmen kann (AID, 2004).

e) Zusetzen von Ballaststoffen

Seitdem man sich den ernährungsphysiologischen Vorteilen der Ballaststoffe bewusst ist, setzt man diese öfter dem gemahlten oder geschroteten Getreide vor der Extrusion zu. Dadurch bekommt das Material andere technische Eigenschaften, was sich vor allem in einer reduzierten Expansion und dadurch einem kompakteren Endprodukt äußert (vgl. 3a). Vollkornprodukte enthalten einen natürlich hohen Ballaststoffgehalt. Daher ist es immer günstiger vom vollen Korn auszugehen und nicht erst ein Auszugsmehl herzustellen und hinterher Ballaststoffe zuzufügen.

f) Knusprigkeit

Die Konsumenten möchten, dass die Frühstückscerealien knusprig sind. Klang-Ingenieure entwickeln deshalb die nötige „akustische“ Marktreife. Wie die richtige Knusprigkeit sein muss, ermitteln sie in Umfragen, bei denen sie von den Konsumenten wissen wollen: Wenn diese Cornflakes lebendig wären, glauben sie dass sie gut gelaunt wären? Wird die Knusprigkeit bemängelt, wird sie durch längeres Rösten verbessert (Scheppach, 1997).

5. Vergleich verschiedener Herstellungsverfahren

Wie kann man die unterschiedlichen Herstellungsverfahren der Frühstückscerealien vergleichen? Der Vitaminerhalt und die Lysinverfügbarkeit wurde bereits für traditionelle und extrudierte Flakes, gepufftes Getreide sowie unterschiedlich intensive Röstung verglichen (Tab. 13 und 16). Dabei schnitt das Puffen am schlechtesten im Nährwerterhalt ab. Die extrudierten Flakes waren etwas besser als die traditionellen Flakes. Andere Extrudate mit hoher Temperatur, Druck und stärkerer Scherung zeigten größere Vitaminverluste (Abb. 10-12).

In der nachfolgend dargestellten Studie wurden instantisierte Getreidemehle für Brei untersucht. Hierbei ging es um Auswirkungen von Extrusion und Walzentrocknung auf den Stärkeaufschluss, Wasserlöslichkeit, Aminosäurenerhalt und Geschmack. Man hatte Rezepturen für Babybreie zusammengestellt und einmal durch Extrusion und einmal durch Walzentrocknung aufgeschlossen. Im Gegensatz zu den Frühstückscerealien handelt es sich hierbei nicht um ein verzehrfertiges Produkt, sondern um ein vorgefertigtes, das instantisiert ist. Untersucht wurden die Breie auf die genannten Eigenschaften (Todorova et al. 1990). Die Verarbeitung erfolgte unter schonenden Bedingungen (Tabelle 20) mit niedrigem Durchsatz (vgl. S. 17).

Tabelle 20: Versuchsbedingungen für Herstellung von Getreidefertigmehlen

Untersuchungsmaterial		Extrusion	Walzentrocknung
Rezepturen aus: Weizenmehl Maisgrieß Hafermehl Reismehl Sojaschrot	Temperatur (°C)	132 – 142	130 – 140
	Druck (bar)	35 – 60	---
	Umdrehungszahl (Upm)	150	8 – 10
	Durchsatz (kg/h)	21	
	Feuchtigkeit %	16	70

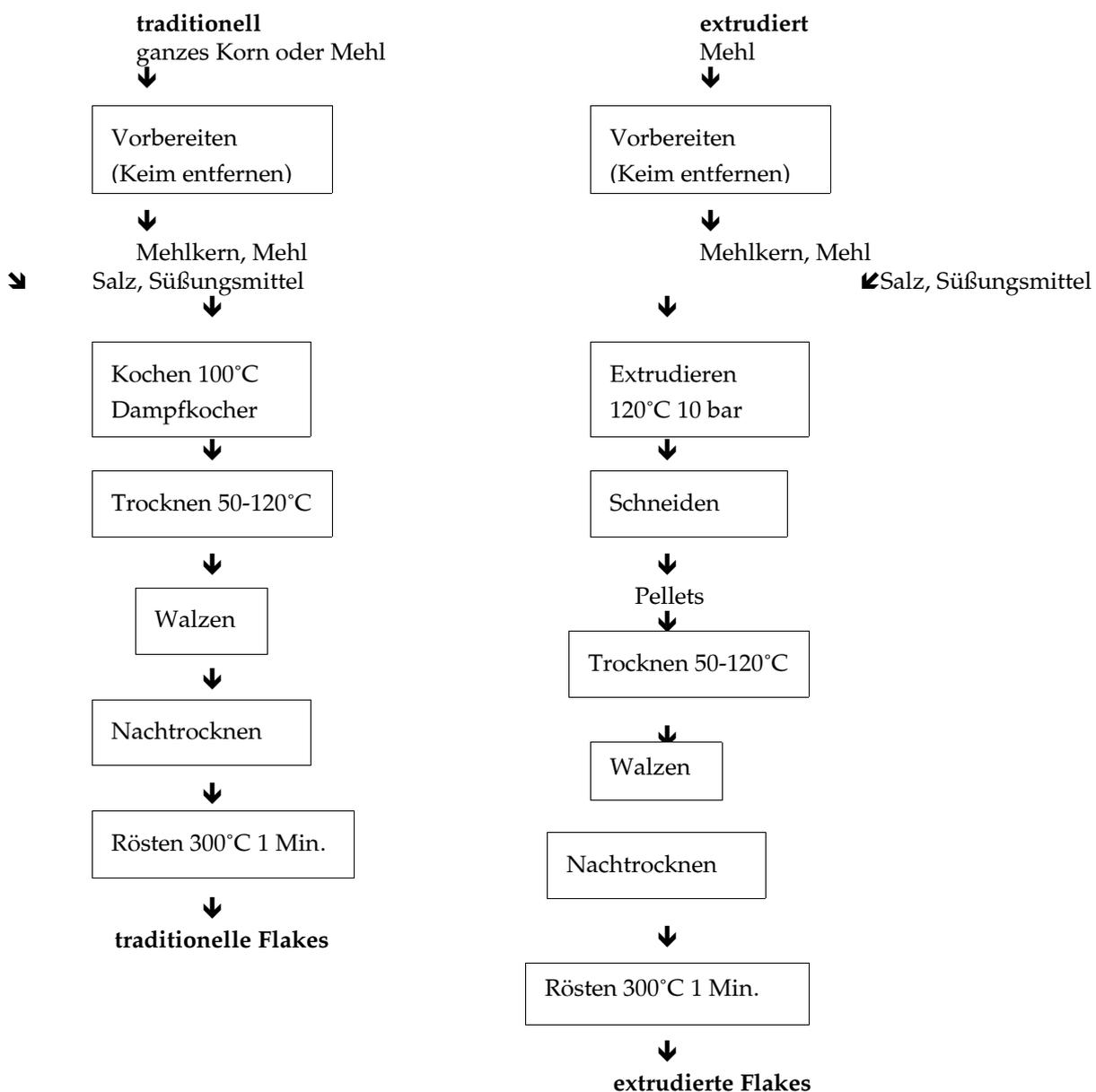
Die Ergebnisse bestätigen die bisherigen Darstellungen. Durch die Extrusion mit ihrer mechanischen Belastung durch die Scherkräfte werden mehr Molekülstrukturen aufgebrochen, so dass die **Wasserlöslichkeit** steigt. Dies ist für schnelllösliche Getreidemehle günstig (Instantisierung), bei Frühstückscerealien äußerst es sich im schnelleren Aufweichen (vgl. Abb. 7).

Tabelle 21: Eigenschaften der Getreidemehle nach verschiedener Verarbeitung

	Extrusion	Walzentrocknung	Rohware
Expansion	Mischungen mit Hafer und Ballaststoffen am geringsten	keine	keine
Wasserbindungsindex	2, 4 – 3,6	5,7 – 7,4	1,0 – 1,8
Wasserlöslichkeit	Am höchsten wegen der Scherkräfte		
Verkleisterung (Veränderungen beim Zubereiten)	Höhere Anfangsviskosität Viskositätsanstieg gering oder nicht vorhanden, höchste Verkleisterung.	Höchste Anfangsviskosität, sonst höher als bei Extrusion	Bei Verkleisterungstemperatur höchste Viskosität
Stärkeaufschlussgrad	62, 3 – 98,9 %	61,4 – 96,2 %	18,8 – 38,8 %
Aminosäuregehalt	Keine Änderungen		
Sensorik	Röstgeschmack		Neutraler Geschmack

Die höchste **Wasserbindung** weisen die walzengetrockneten Mehle auf. Dies dürfte vor größerem Vitaminabbau schützen und auch die Verdaulichkeit insgesamt verbessern. Der **Stärkeverkleisterungsgrad** war bei den Extrudaten etwas höher, was die Kohlenhydratverdaulichkeit verbessert, wenn es nicht zu unlöslichen Komplexbildungen kommt (vgl. S. 14). Der Stärkeaufschluss ist auch vom Molekülabbau abhängig, und der ist durch die mechanische Belastung bei der Extrusion höher. Die Art der Verkleisterung ist für Breie wichtig, aber ohne größere Bedeutung für Frühstückscerealien. Bei diesem Versuch ergaben sich bei den **Aminosäuren** keine Veränderungen zwischen beiden Verfahren. Dies liegt wohl auch daran, dass keine Zucker wie bei Frühstückscerealien zugesetzt waren, die sonst Aminosäuren wie Lysin oder Methionin unlöslich in der Maillardreaktion binden können, ebenso wie von der Extrusionstemperatur und dem Durchsatz (vgl. S. 16), die in diesem Versuch niedrig waren. Beim **geschmacklichen Vergleich** der Breie aus den verschiedenen Getreidemehlen wiesen die Extrudate alle einen leichten Röstgeschmack auf. Bei den Frühstückscerealien ist er erwünscht, bei den hier getesteten Babybreien weniger. Die walzengetrockneten Breie waren heller, weil Röststoffe fehlten und schmeckten neutraler.

Abb. 13. **Herstellungsablauf für gekochte Flakes – Knusperflocken**



Die bisher dargestellten Ergebnisse lassen sich für Flakes nach beiden Verfahren zubereitet, zusammenstellen:

Tabelle 22: Vergleich von traditionellem und Extrusionskochen für Flakes

	Traditionelles Kochen	Extrusionskochen
Rohstoff	ganzes Korn Mehl Mischungen	Mehl Mischungen
Prozess	chargenweise	kontinuierlich
Zeit	Minuten bis 2 Std. (ganzes Korn)	Sekunden bis wenige Minuten
Druck	1-1,2 bar	10-120 bar
Temperatur	100°C	120-200°C
Stärkeaufschluss	hoch	sehr hoch
Vitaminerhalt	+(+)	bis 120°C ++ 120-180°C +
mechanische Energie	kaum	klein (Flakes) hoch (geformte Extrudate)
Formung	-	vielseitig
Volumenerhöhung	-	groß je nach Temperatur und Druckabfall
„Schüssel-Leben“ (Wasserlöslichkeit in Flüssigkeit)	länger	kürzer
Getreidearoma	klein bis mittel	kaum vorhanden

6. Weitere Untersuchungen der Frühstückscerealien

Es gibt folgende Untersuchungen zu Frühstückscerealien bezüglich der Auswirkungen auf:

- a) Essverhalten
- b) die Verdaulichkeit bei Tier und Mensch
- c) ganzheitliche Untersuchungen

a) Frühstücksgetreide und Essverhalten

In einer Studie in Irland wurden die Essgewohnheiten von Menschen verglichen, die morgens Frühstückscerealien essen und solchen, die andere Lebensmittel bevorzugen (Galvin et al. 2003, Block et al. 2001). Dabei wurde festgestellt, dass pro Portion etwa 45 g Frühstückscerealien gegessen wurden. Da sie nicht täglich, sondern etwa 4-5 mal wöchentlich verzehrt wurden, macht die durchschnittliche Tagesmenge knapp 29 g aus. Dies entsprach 4,7 % der täglichen Energiemenge. Dabei wurden sie von Menschen mit höherer Schulbildung und höherem sozialem Status bevorzugt.

Es zeigte sich, dass Menschen, die morgens Frühstückscerealien zu sich nehmen, den Tag über mehr Kohlenhydrate, Ballaststoffe und Zucker, aber weniger Fett essen als diejenigen, die andere Lebensmittel frühstücken. Dies bewirkt auch, dass ihr Body-Maß Index geringer ist, sie also schlanker sind. Da viele Frühstückscerealien vitaminisiert und mineralisiert sind, war die Vitaminaufnahme höher als bei Menschen, die etwas anderes morgens essen. Ob die zugefügten Vitamine die gleichen

Wirkungen haben, wie natürlich vorkommende in Obst und Gemüse wurde dabei nicht thematisiert (vgl. 4d). Ein Teil der Mehraufnahme z.B. an Calcium lag an der Milch, die zusammen mit den Frühstückscerealien verzehrt wurde bzw. bei Vitamin C am Obst. Damit gelten die mit den Frühstückscerealien verzehrten Lebensmitteln als gesundheitsfördernd und fettarm, was z.B. bei einem mit fetter Wurst oder Käse belegten (gesunden) Brot nicht der Fall ist. Insofern kommt der morgendliche Verzehr von Frühstückscerealien den Empfehlungen zur Nährstoffzufuhr mit hohem Anteil an Kohlenhydraten und wenig Fett entgegen.

Frühstückscerealien haben ein Image als „gesunde“ Getreideprodukte. Dies führt wohl dazu, dass bestimmte Verbraucher mit Gesundheitsbewusstsein und möglicherweise sportlichem Verhalten sie bevorzugen, weil sie überhaupt vollwertige Kost und „gesunde“ Nahrung essen. Dies äußert sich dann auch bei den anderen Mahlzeiten des Tages und dem geringeren Körpergewicht. In einer englischen Studie waren die Studenten, die Frühstückscerealien morgens essen, auch körperlich und geistig gesünder als Studenten, die morgens andere Lebensmittel aßen und noch mehr als solche, die gar nicht frühstückten (Smith 2003). Bei vielen Menschen gelten auch die Vitaminanreicherungen als gesund, weil sie nicht zwischen natürlichen und zugefügten unterscheiden.

b) Verdaulichkeit von extrudierten Produkten

Die Verdaulichkeit ist ein Maß für den Abbau der Nahrung. Sie gibt den Anteil der Nahrung an, der zu einfachen Verbindungen verdaut ist, so dass er ins Blut resorbiert werden kann. Die Proteinverdaulichkeit gibt den Anteil der Eiweiße an, die durch die Verdauungsenzyme zu Aminosäuren abgebaut wurden. Die Proteinverdaulichkeit kann im Reagenzglas durch Anwendung von Proteinspaltenden Enzymen auf das zu untersuchende Lebensmittel geschehen (wie bei der Stärkeverdaulichkeit beschrieben, S. 14) oder in Tierversuchen. Bei letzteren wird das aufgenommene Futter bestimmt und die im Stuhl ausgeschiedenen Nahrungsreste. Daraus errechnet man die verdauten Anteile. Unter der Biologischen Wertigkeit (vgl. S. 16) wird die Ausnutzung (Resorption) der abgebauten (verdauten) Eiweiße zu Aminosäuren verstanden. Sie ist abhängig von dem Abbau, aber auch dem Gemisch der Aminosäuren. Fehlt eine essentielle Aminosäure wie Lysin, weil sie beispielweise durch Hitze mit einem Zucker unlöslich verbunden wurde (Maillard-Reaktion), so sinkt die gesamte Ausnutzung (Biologische Wertigkeit) des Eiweißes.

Beim Eiweißabbau ist bekannt, dass Hitze zu einer Denaturierung führt (vgl. S. 15), dadurch sind die Eiweiße leichter zu verdauen, d.h. ihre Verdaulichkeit ist höher als bei nativen Eiweißen. Dies bestätigte sich auch bei einigen Fütterungsversuchen, wo Extrudate eine leicht höhere Eiweißverdaulichkeit hatten als native, da sie für die proteinspaltenden Enzyme wahrscheinlich besser zugänglich waren (Harmuth-Hoene und Seiler 1984). Sehr hohe Hitze kann aber zur Bildung von neuen Komplexen führen (vgl. S. 16), die dann möglicherweise nicht mehr vollständig von den Verdauungsenzymen abgebaut werden können (Heiss und Eichner, 1984). Dies sollte mit Fütterungsversuchen an Ratten für Extrudate überprüft werden. Es zeigte sich, dass weder die Nettoproteinverwertung (Verdaulichkeit) noch die biologische Wertigkeit durch die Extrusion herabgesetzt wurde. Bei extrudiertem Sojaschrot (165°C und 18% Wassergehalt) ergab sich eine geringe, aber signifikante Senkung der biologische Wertigkeit von 68 auf 64 (Harmuth-Hoene et al. 1985). Dies ist auch an der in vitro ermittelten Verdaulichkeit (Tabelle 13) zu sehen.

Generell lässt sich sagen, dass eine hohe Protein- und Stärkeverdaulichkeit vor allem bei knappen Lebensmittelangebot wichtig ist. In Zeiten, wo Überernährung eines der Hauptprobleme in vielen

Ländern der Welt darstellt, ist das Nährstoffangebot mehr als ausreichend. Daher ist es interessant, dass die Futtermittelindustrie bei Herstellung von Extrudaten sehr auf gute Verdaulichkeit achtet, da dies sonst Kosten durch vermehrten Futtereinsatz in der Mast bedeutet. Bei Menschen spielt die hohe Verdaulichkeit zumindest in den Industrieländern keine große Rolle. Unverdauliche Nahrungsbestandteile – sei es von Natur aus wie Faserstoffe oder durch Verarbeitung erzeugte – wirken wie Ballaststoffe. Problematisch kann es nur werden, wenn knappe Nahrungsbestandteile wie essentielle Aminosäuren unlöslich gebunden und dann trotz hohem Eiweißangebot nicht ausreichend sind.

Allerdings sollte man eine verringerte Verdaulichkeit als einen Indikator für starke Lebensmittelbeanspruchung sehen, die sich auch in Verminderung empfindlicher Inhaltsstoffe wie Vitamine oder sekundärer Pflanzenstoffe äußert. Geht man von einem ganzheitlichen Qualitätsbegriff aus, so lassen sich auch Veränderungen auf der Kräfteebene erwarten (vgl. 6d).

c) Ganzheitliche Untersuchungen

Bildschaffende Methoden

Unter Bildschaffenden Methoden versteht man Verfahren, die das ganze Lebensmittel oder die flüssigen Bestandteile untersuchen und sie mit einer Reagenz wie einem Metallsalz abbilden. So erhält man Formen in Kristallen (Kupferchlorid-Kristallisation) oder auf Chromatographiepapier (Kapillardynamolyse oder Steigbild).

Mit diesen Verfahren wurden gepuffte Getreide untersucht (Labor U. Graf). Die Ergebnisse mit der Steigbildmethode zeigten eine Alterung (Verlust der Lebendigkeit) und nur wenig „Getreideartigkeit“. Dies lässt auf Rückzug der originären Getreidekräfte schließen. Auch die Kupferkristallisationsmethode bestätigte dies, wo eine höhere Intensität der auflösenden Tendenzen im Vergleich zu gekochtem oder gebackenem Getreide auftrat.

Untersuchungen mit extrudierten Produkten gibt es leider nicht. Das Puffen weist beim Eiweiß- und Vitaminabbau die höchsten Verluste auf. Dies bestätigt sich auch bei diesem Verfahren. Man kann sagen, dass das Puffen mit dem hohen Druckabfall (vgl. S. 6) und nachfolgendem Auseinanderreißen der Strukturen einerseits die Bindungen löst, dann erstarrt („altert“) und aus dem Lebendigen führt. Dass dies bei anderen thermischen Verfahren wie Brotbacken oder Breikochen nicht der Fall ist, zeigt die viel größere Intensität vom Puffen.

Untersuchungen mit dem Pendel

Es wurden verschiedene Frühstückscerealien mit einem Messingpendel untersucht nach der BioTest-Methode. Die Schwingungsrichtungen sind festgelegt und definiert. Diese Methode wird von einem Arzt zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken angewendet. Es ergaben sich bei drei extrudierten Frühstückscerealien keine positiven Schwingungsrichtungen. Dabei waren zwei Produkte konventioneller, eins in Bio-Qualität. Diese Einzelergebnisse geben nur eine Tendenz an.

d) Sensorik

Beim Verkosten der Frühstückscerealien wurde als erstes ihre Knusprigkeit und Süße (vgl. 4a +f) konstatiert. Andere Geschmackskomponenten wie z.B. der Getreide- oder ein Schokoladengeschmack treten stark in den Hintergrund. Nach diesem anfänglichen sensorischen Eindruck trat verschiedentlich ein „leerer“ Geschmack auf, wie ein intensiver Kochgeschmack ohne weiteres Aroma. Die

Lockerheit der Produkte rief keine Sättigung hervor, sondern führte eher dazu, einen weiteren Löffel der knusprigen Produkte zu sich zu nehmen.

Beim Stehen lassen (ab 10 Minuten) der Frühstückscerealien in der Flüssigkeit wurden sie „labbrig“ oder „glibberig“ und damit unansehnlich und von der Konsistenz her abgelehnt (vgl. Abb. 13). Der Geschmack war nur süß, ohne den eigentlichen Getreidegeschmack.

Gewalzte Cornflakes verloren etwas später ihre Form, büßten jedoch ihre Konsistenz nicht so stark ein. Eine „Glibberigkeit“ trat nicht auf (Arbeitskreis für Ernährungsforschung).

7. Schlussfolgerungen

Frühstückscerealien werden immer beliebter auf dem Markt der Getreideprodukte. Während es noch vor wenigen Jahren überwiegend Flocken und Müsli gab, nehmen heute die gekochten, verzehrfertigen Produkte auch im Bio-Angebot zu. Dies sind Flakes, gepuffte Getreide und extrudierte Frühstückscerealien in verschiedener Gestaltung. Dabei wird das Getreide sehr unterschiedlichen Prozessen unterzogen. In dieser Arbeit wurden die Verfahren vorgestellt und vor allem die Veränderungen an Nährstoffen (Eiweiß, Stärke, Vitamine) sowie physikalische Eigenschaften (Löslichkeit, Volumen) dargestellt. Besonderer Schwerpunkt lag auf der Extrusion, die heute als Kochprozess im sonst traditionellen Verfahrensgang oder als eigenständige Prozesslinie bis zum fertigen Produkt eingesetzt wird.

Von ernährungsphysiologischer Seite bestehen Bedenken vor allem wegen der Intensität der Wärmeprozesse, der mechanischen Belastung durch Scherkräfte und dem hohen Druck und Druckabfall.

Die hier dargestellten Untersuchungsergebnisse gelten jeweils für die festgelegten Bedingungen (Tabelle 23). Deutlich wird, dass die Getreidesorte, der Amylose- und Proteingehalt, die Rezeptur sowie die Veränderungen der Temperatur, Schneckendrehzahl oder Feuchtigkeit des Produktes, das Versuchsergebnis sehr verändern können.

Tabelle 23: Vergleich der Versuchsbedingungen bei der Extrusion

Versuche	Temperatur (°C)	Druck (bar)	Umdrehungszahl (Upm)	Durchsatz (kg/h)	Feuchtigkeit %
Generelles Extrudieren	80-250	20 -200	10-250		
Ballaststoffversuche	150-210		120-180		16-20
Stärkeaufschluss	70-250		20-120		22
Proteinabbau	120-180		110		12-18
Vitamine (Flachbrot)	150		300	60-110	3-11
Enzyminaktivierung	80-170	40- 100	150-250		18-29
Freie Radikalbildung	60-185		300-500		16-20
Getreidemehle	132-142	35-60	150	21	16

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Extrusion stärker abbauend als traditionelle thermische Verfahren in die **Molekülstruktur** eingreift, was sich in größerer Wasserlöslichkeit und höherem Stärkeaufschluss äußert. Allerdings können Stärkekomplexe entstehen, die zu einer leicht verminderten Verdaulichkeit führen (vgl. S. 14). Die unlösliche Bindung von **essentiellen Aminosäuren** ist geringer als beim herkömmlichen Dampfkochen. Größeren Einfluss hat allerdings das **Rösten**,

das deutlich die Lysinverfügbarkeit mindert und das **Puffen**. Der Proteinabbau an sich trägt zur besseren Eiweißverwertung bei, kann vielleicht sogar für Allergiker interessant sein. Bei Tierversuchen konnte eine verringerte Proteinverdaulichkeit nicht bestätigt werden (vgl. S. 25). Allerdings wurden keine gesüßten Extrudate untersucht.

Extrudierte Frühstückscerealien weisen einen leichten **Röstgeschmack** auf. Dies ist bei Frühstückscerealien sehr erwünscht. Fast alle gewalzten Flakes werden deshalb hinterher geröstet, weil beim Walzen kaum Röstgeschmack entsteht (vgl. Tabelle 21). Auch extrudierte Cerealien röstet man oft noch hinterher, weil Knusprigkeit und Röstaroma nicht ausreichend sind. Dass das Rösten einen hohen sensorischen Wert hat, aber einen nährstoffabbauenden ist bekannt (vgl. 3d und 3g).

Die **Volumenausdehnung** lässt sich nur durch Extrusion oder Puffen erreichen. Gewalzte Flakes haben sie natürlich nicht, sondern sind flach. An den Hohlräumen im Flake und der Größe kann auch ein Laie die extrudierten Flakes erkennen (vgl. Abb.2). Die Expansion der Lebensmittel kommt durch den plötzlichen Druckabfall nach Austritt aus der Düse zustande, was eine erhebliche Beanspruchung der inneren Strukturen bedeutet – alles wird gedehnt und dann verfestigt. Die Auswirkungen zeigten sich auch bei den bildschaffenden Untersuchungen bei gepufften Cerealien (vgl. S. 29).

Ballaststoffe oder ballaststoffreicher Hafer oder Gerste widerstehen den Expansionskräften, sie lassen sich nicht so weit auseinander ziehen. Flakes werden kaum expandiert.

Die **Knusprigkeit** und **Lockerheit** ist sicherlich eines der Vorteile der extrudierten Produkte. Sie sind knackig und zerfallen doch leicht mit Flüssigkeit. Ein intensives Kauen wie bei Flocken ist nicht nötig. Dies liegt an ihrer großen Wasserlöslichkeit, die wiederum durch den stärkeren Strukturabbau entsteht. Ob das fehlende Kauerlebnis zu höherer Verzehrsmenge führt, wurde nicht untersucht. Dies wäre bei dem heute verbreiteten Übergewicht nicht wünschenswert. Die sensorischen Versuche deuteten zumindest Tendenzen dazu an.

Die **Formung** durch die Extrusion ist mit anderen Verfahren sonst nicht in dieser Weise zu erreichen. Das Pressen durch eine vorgeformte Düse – ähnlich wie bei Keksformern in der häuslichen Küche – ermöglicht unterschiedlichste Gestaltungen. Solche Gestaltung setzt eine bewegte Masse voraus, die gleich nach der Formung erstarrt. Dies ist durch die Schneckenumdrehung und gleichzeitiger Erhitzung möglich. Solche „spielerischen“ Formen sind gerade bei Kindern beliebt.

Die **ganzheitlichen Untersuchungen** zeigen einen weiteren Qualitätsbereich, der mit den Nährstoffversuchen nicht erfasst wird. Leider sind die Ergebnisse hier noch zu gering, sie deuten auf Qualitätsminderung bei den Aufbau- und Formkräften. Weitere Untersuchungen an verschiedenen Frühstückscerealien könnten hier umfassendere Aussagen ergeben.

Wie ist das Angebot an Frühstückscerealien zu bewerten?

Oft werden die Frühstückscerealien mit gefärbten, vitaminisierten und sehr süßen Produkten in Verbindung gebracht. Dies kommt daher, dass einige große Anbieter ihre Frühstückscerealien auf solche Weise verändern, aber dies geschieht aus Marketingüberlegungen. Allerdings erfordern gekochte Cerealien – egal ob traditionell hergestellt, gepufft oder extrudiert – immer einen Zusatz an geschmacksgebenden Substanzen, zumindest an Salz, da sie sonst fade sind. Auch gibt es kaum ungesüßte Cerealien. Der Gehalt an 10-20% Süßungsmittel, im konventionellen Angebot teilweise noch höher, führt dazu, diese Produkte als Grundnahrungsmittel einer Hauptmahlzeit aus ernährungsphysiologischer Sicht nicht zu empfehlen, sie wären eher eine süße Zwischenmahlzeit. Aber Frühstückscerealien werden vielfach als gesunde Getreidemahlzeit gerade für Kinder angepriesen.

Gegenüber Flocken sind die gekochten Flakes und Extrudate im Vitamingehalt gemindert. Wer hier Wert auf Natürlichkeit legt, ist mit einem Flockenmüsli besser versorgt. Gepuffte Getreide haben durch die große Hitze bei ihrer Herstellung sehr intensive Verluste an B-Vitaminen und Lysin. Sie

sind keine vollwertige Frühstücksmahlzeit mehr. Hier sollte man versuchen, ein schonenderes Herstellungsverfahren zu finden.

Vitaminerhalt	Proteinverfügbarkeit	Formstabilität	Getreidearoma	Verdaulichkeit
groß				
gequetschte Flocken	gedämpfte Flocken	gequetschte Flocken	gequetschte Flocken	andere Extrudate
gedämpfte Flocken	gequetschte Flocken	gedämpfte Flocken	gedämpfte Flocken	Puffgetreide
extrudierte Flakes	extrudierte Flakes	traditionelle Flakes	traditionelle Flakes	extrudierte Fl.
traditionelle Flakes	traditionelle Flakes	extrudierte Flakes	Puffgetreide	traditionelle Flakes
andere Extrudate	andere Extrudate	andere Extrudate	extrudierte Flakes	gedämpfte Flocken
Puffgetreide	Puffgetreide	Puffgetreide	andere Extrudate	gequetschte Flocke
klein				

Bei **Bio-Produkten** sind Zusätze wie Vitamine, Aromen oder Farbstoffe nicht erlaubt, andere von den Bio-Kunden nicht erwünscht wie hoher Zuckergehalt. Gerade die Bio-Verbraucher legen Wert auf Natürlichkeit und schonende Verarbeitung. Hier muss man fragen, ob nicht der Vorgang des Puffens mit den hohen Temperaturen ein zu qualitätsminderndes Verfahren für Bio-Produkte ist. **Demeter** hat weder die Extrusion noch das Puffen für die Lebensmittel zugelassen.

Teilweise übernimmt die Bio-Branche Angebote des konventionellen Marktes, ohne die Wirkung der Herstellungsverfahren kritisch zu überprüfen, obwohl der Prozessqualität ein Wert beigemessen wird. Beim Extrudieren kommt es sehr auf die Prozessbedingungen an: von milder Belastung bei Pellets für Flakes bis zu intensiverer für Collets (stark expandierte Formen). Die meisten Verbraucher kennen solche Details der Herstellungsprozesse nicht. Hier zu informieren ist ein Motiv dieser Arbeit.

8. Anhang

a) Kontakte zu Herstellern

Versuche, mehr über die Praxis der industriellen Herstellung von Frühstückscerealien zu erfahren, waren nicht erfolgreich. Aus Betriebsgründen sind diese Informationen wie auch Besichtigungen nicht zugänglich. Teilweise erfolgt die Verarbeitung im Ausland oder es werden nur Teilschritte im deutschen Werk gemacht. Ein Hersteller bietet Informationsveranstaltungen an.

b) Autorennotizen

Dr. Karin Huber ès science (Dr. sc. nat, Ecole Polytechnique Fédérale in Lausanne (CH). Seit 2001 im Forschungsring für Biologisch-Dynamische Wirtschaftsweise beschäftigt. Planung, Durchführung und Auswertung einer Ernährungs-Qualitäts-Studie zusammen mit einer interdisziplinären Expertengruppe. Literaturstudie „Hygiene und Verbraucher. Grundlagen für ein verbraucherpolitisches Konzept“ (2003) und für den Arbeitskreis für Ernährungsforschung Literaturstudie „Qualitätsveränderungen des Getreides bei der Herstellung von Frühstückscerealien“ (2003).

Dr. sc. agr. Petra Kühne, Ernährungswissenschaftlerin, Leiterin des AKE (Arbeitskreis für Ernährungsforschung), Redakteurin der anthroposophischen Fachzeitschrift „Ernährungsrundbrief“, Beiträge in Zeitschriften, Vortrags- und Kurstätigkeit, Buchveröffentlichungen: „Säuglingsernährung“ (9. Aufl. 2004), „Lebensmittelqualität und bewusste Ernährung“ (1986), „Ernährungssprechstunde“ (1993), „Gewürze und Kräuter“ (1999), „Zeitgemäße Ernährungskultur zwischen Natur und Labor“ (2000), Getreidedrinks (2004)

c) Literatur

AID Pressedienst: Kinder brauchen keine funktionellen Lebensmittel. Gesundheitswert von Frühstücksflocken & Co zweifelhaft 36/04

Barna, E; Leder, F.; Dworschak, E: Changes in the vitamin content of cereals during hydrothermal processes (flaking, puffing, extrusion). *Nahrung* 41 (1997) Nr. 4, S. 243-244

Bhandari, B; D'Arcy, B. und Young, G. (2001): Flavour retention during high temperature short time extrusion cooking process: a review, *International J. of Food Science and Technology*, 36, S. 453 – 461.

Block, G.; Sungsoo, C. und Clark, C. (2001): The effect of Breakfast Type on macronutrient Intakes and Body Mass Index (BMI) of Americans, *Obesity Research* Vol. 9, Suppl., Poster Presentations.

BMVEL, Informationen zum Verbraucherschutz, www.bmvel.de.

DONALD-Studie (2002): Verzehr von Brot und Getreideprodukten bei Kindern und Jugendlichen, *Ernährungs-Umschau* 49, Heft 11, S. 452.

Franke, K. (2003): Herstellungsverfahren und Acrylamidgehalte, Liste der Variablen und Produktqualität; in: Tagungsband zum Themenforum Acrylamid, Niedersächsisches Kompetenzzentrum Ernährungswirtschaft, Hochschule Vechta.

Fretzdorff, B und Seiler, K. (1984): Inaktivierung getreideeigener Enzyme im Doppelschneckenextruder, *Getreide, Brot und Mehl*, 11, S. 332-338.

Galvin, M.A., Kiely, M. und Flynn, A. (2003): Impact of ready-to-eat breakfast cereal (RTEBC) consumption on adequacy of micronutrient intakes and compliance with dietary recommendations in Irish adults.

Harmuth-Hoene, A.-E.; Seiler, K. und Seibel, W. (1985): Der Einfluss verschiedener Extrusionsbedingungen auf die Proteinqualität von Sojaschrot und Roggenvollkornschrot, *Z. Ernährungswiss.* 24, S. 85-95.

Harmuth-Hoene, A.-E. und Seiler, K. (1984): Einfluss verschiedener Extrusionsbedingungen auf die Proteinqualität bei Weizenvollkorn-Extrudaten, *Getreide, Mehl und Brot*, 8, S. 245-249.

Hashimoto, J.M. und Grossman, M.V.E. (2003): Effects of extrusion conditions on quality of cassava bran / cassava starch extrudates, *International J. of Food Science and Technology*, 38, S.511-517.

Heiss, R. und Eichner, K. (1984): *Haltbarmachen von Lebensmitteln, chemische, physikalische und mikrobiologische Grundlagen der Verfahren*, Springer Verlag, 233 S.

- Hu, R. (2001): Einfluss der Rohstoffe (Soja, Reis, Weizen) und der Kochextrusion auf den Nährwert und die funktionellen Eigenschaften von Extrudaten unter Anwendung statistischer Versuchsmethoden, Dissertation Uni Hohenheim.
- Kent, N.L. und Evers, A.D. (1991): Kent's Technology of cereals, an introduction for students of food science and agriculture, 4. edition, Pergamon, 333 S.
- Killeit, U. und Wiedmann, W.M. (1984): Einfluss der Kochextrusion auf die Stabilität von B-Vitaminen, Getreide, Mehl und Brot, 10, S. 299-304.
- Kurzahls, H.-A. (1995): Entwicklungsstand nichtthermischer Konservierungsverfahren, Teil II, Lebensmitteltechnik, 4, S. 39-43.
- Kue, S.; Hsieh, F.; Peng, I.C. und Huff, H.E. (1990): Expansion of corn Extrudates Containing Dietary Fiber, a microstructure Study, Food Science and Technology, 23, S. 165-173.
- Lebensmittelpraxis 9 / 1999: Frühstückscerealien, S. 34 – 38.
- Lebensmittelpraxis 11/ 2000: Warenkunde S. 56-64.
- McAuley, J.A.; Kunkel, A., Acton, J.C.: Relationships of Available Lysine to Lignin, Color and Protein Digestibility of Selected Wheat-based Breakfast Cereals. "Journal of Food Science. 52,6 (1987), S. 1580-1582
- Mercier, C. (1980): Veränderungen der Struktur und Verdaulichkeit von Getreidestärken beim Extrudieren, Getreide, Mehl und Brot, 2, S. 52-56.
- Nicolaudius, G. (1996): Frühstücksgewohnheiten unserer Schulkinder, eine Untersuchung an Hamburger Schulen, in: Spuren der Wirklichkeit, eds: Deichsel, A., Siefer, G. und Stromberger, P., Universität Hamburg, Band 9.
- Nierle, W.; ElBaya, A.W.; Seiler, K; Fretzdorff, B. und Wolff, J. (1980): Veränderungen der Getreideinhaltsstoffe während der Extrusion mit einem Doppelschneckenextruder, Getreide, Mehl und Brot, 3, S. 73-76.
- Olkku, J.; Hassinen, H.; Antila, J. und Pohjanpalo, H. (1980): Prozessdynamik und Automation der Hochtemperatur-Kurzzeit-Extrusion, Getreide, Mehl und Brot, 2, S. 46-51.
- Prasado Rao, U.J.S.; Vatsala, C.N. und Harisas Rao, P. (2002): Changes in protein characteristics during the processing of wheat into flakes, Eur. Food Res. Technol. 215, S. 322 – 326.
- Rokey, G.J.; RTE Breakfast cereals Flake Extrusion. "Cereal Foods World" 40 (1995) 6, S. 422-424, 426
- Scheich, K.M. und Rebello, C.A. (1999): Extrusion Chemistry of Wheat Flour Proteins: I. Free Radical Formation, Cereal Chemistry, 76, 5, S. 748 – 755.
- Scheppach, J. (1997): Cornflakes müssen fröhlich klingen, Peters Moosleitners interessantes Magazin, 12, S.71-75.
- Smith (2003): Breakfast Cereal Consumption and Subjective Reports of Health by Young Adults, Nutritional Neuroscience, Vol. 6, S.59-61.
- Stiftung Warentest (Hrsg). Außer Kontrolle – angereicherte Lebensmittel. „Test“2/98, S. 77-80
- Todorova, M.; Seibel, W. und Steinhage, H. (1990): Herstellung instantisierter Getreideerzeugnisse für die Kinder und Diät ernährung durch Extrusion und Walzentrocknung, 1. Mitteilung: Veränderung der Stärkekomponente bei der Verarbeitung verschiedener Rezepturen, Gordian, 5, S. 70-82.
- Todorova,, M.; Seibel, W. und Steinhage, H. (1990): Herstellung instantisierter Getreideerzeugnisse für die Kinder und Diät ernährung durch Extrusion und Walzentrocknung, 2. Mitteilung: Vergleich der sensorischen Endprodukt-Eigenschaften und Veränderungen in der Aminosäurezusammensetzung, Gordian, 12, S. 236-240.
- Verbraucher-Zentrale Hamburg (2003), www.vzhh.de
- Volk, J. und Kropp, D. (1994). Mühle + Mischfuttertechnik, 131, 9, S.115.