

Diss. ETH Nr. 12643

**Untersuchungen über die Herstellung von pulpehaltigen
Apfelsäften**

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von

JOACHIM STÜSSI

Dipl. Lm.-Ing. ETH

geboren am 7. September 1965

von Bern und Haslen/GL

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. F. Escher, Referent

Dr. E. Höhn, Korreferent

Zürich, 1998

**Meinen lieben Eltern
in Dankbarkeit gewidmet**

Danksagung

Für das gesetzte Vertrauen, die Unterstützung und die Finanzierung dieser Arbeit danke ich Herrn Dr. Ulrich Schobinger und Herrn Dr. Peter Dürr von der Eidgenössischen Forschungsanstalt Wädenswil, dem Schweizerischen Obstverband Zug, der Eidgenössischen Alkoholverwaltung und der CAVO Einkäuferstiftung der Schweizer Mostereien.

Herrn Prof. Dr. F. Escher danke ich für sein unermüdliches Interesse sowie seine Bereitschaft die Leitung der ausserhalb der ETH durchgeführten Arbeit zu übernehmen.

Herrn Dr. Ernst Höhn, Forschungsanstalt Wädenswil danke ich für sein Interesse und seine Unterstützung sowie für die Übernahme des Korreferates.

Ein besonderer Dank gilt Herrn Robert Waldvogel von der Forschungsanstalt Wädenswil, auf den ich bei der Durchführung der technologischen Versuche immer zählen durfte. Sein Interesse, sein unermüdlicher Einsatz und sein Humor waren mir eine grosse Stütze.

Ein besonderer Dank gilt der Diplomandin Frau Charlotte Bachmann, die mit Ihrem Einsatz die vorliegende Arbeit unterstützt hat.

Danken möchte ich Herrn Fausto Krebs vom Ingenieurbüro Hoegger AG in Flawil und Herrn Dipl. Ing. Helmut Viehl der GEA Westfalia Schweiz AG, für das grosszügige Entgegenkommen und die fachtechnische Betreuung.

Frau Barbara Guggenbühl Ingenieurschule Wädenswil danke ich für Ihr Interesse an der Durchführung von sensorischen Tests und an der Schulung eines motivierten Panels und Herrn Stephan Handschin für die Anfertigung von Vibratom Frischpräparaten der Äpfel.

Herrn David Schäppi danke ich für die Durchführung der Sensorik-Varianzanalysen.

Den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Eidgenössischen Forschungsanstalt in Wädenswil bin ich für mannigfache Tips und Ratschläge dankbar.

Der Gruppe Lebensmitteltechnologie des Institutes für Lebensmittelwissenschaft an der ETH Zürich danke ich für das Interesse, Ihre Unterstützung und das gute Arbeitsklima.

Danken möchte ich schliesslich allen, die hier nicht namentlich aufgeführt sind und ebenfalls zum guten Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	1
Summary.....	3
1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG.....	5
2. GRUNDLAGEN.....	8
2.1. Terminologie.....	8
2.2. Technologie zur Herstellung pulpehaltiger Fruchtsaftgetränke.....	12
2.2.1. Verarbeitung von Citrusfrüchten.....	12
2.2.2. Verarbeitung anderer Früchte.....	12
2.2.3. Verarbeitung von Äpfeln.....	14
2.3. Zum Problem der Trubstabilität von trüben und pulpehaltigen Apfelsäften.....	17
2.4. Reifung und Lagerverhalten von Äpfeln.....	25
2.5. Minimal Processing von Fruchtsäften.....	28
3. MATERIAL UND METHODEN.....	29
3.1. Auswahl und Lagerung des Rohmaterials.....	29
3.2. Herstellung der Produkte.....	30
3.2.1. Gewinnung von Apfelpulpe als Zwischenprodukt.....	30
3.2.2. Verarbeitung der Apfelpulpe zu pulpehaltigem Apfelmischsaft..	34
3.2.3. Verarbeitung der Apfelpulpe zu dekantiertem pulpehaltigem Apfelsaft.....	37
3.2.4. Herstellen von trübem Apfelpresssaft.....	40
3.3. Methoden zur Charakterisierung der Produkte.....	41
3.3.1. Extraktgehalt.....	41
3.3.2. Gesamttrockensubstanzgehalt.....	41
3.3.3. pH-Wert.....	41
3.3.4. Gehalt an titrierbarer Gesamtsäure.....	41

3.3.5. Fruchtfleischfestigkeit.....	42
3.3.6. Trübungswert.....	42
3.3.7. Fließverhalten und Scherviskosität.....	43
3.3.8. Mikroskopie und Partikelgrößenverteilung.....	43
3.3.9. Trub- und Pulpestabilität.....	44
3.3.10. Zentrifugierbares Sediment.....	44
3.4. Sensorische Analyse.....	45
4. RESULTATE UND DISKUSSION.....	47
4.1. Entwicklung und Beurteilung der einzelnen Schritte der Herstellung pulpehaltiger Apfelsäfte.....	47
4.1.1. Wahl des Rohmaterials.....	47
4.1.2. Gewinnung von Apfelpulpe als Zwischenprodukt.....	47
4.1.3. Herstellung von pulpehaltigem Apfelmischsaft.....	48
4.1.4. Herstellung von dekantiertem pulpehaltigem Apfelsaft.....	55
4.2. Einfluss der Lagerung der Äpfel auf die Eigenschaften der Zwischen- und Endprodukte.....	57
4.2.1. Einfluss auf die Fruchtfleischfestigkeit und die Pulpeausbeute.	57
4.2.2. Einfluss der Lagerung auf die Eigenschaften der pulpehaltigen Apfelmischsäfte.....	61
4.2.3. Einfluss der Lagerung auf die Eigenschaften der dekantierten pulpehaltigen Apfelsäfte.....	72
4.2.4. Einfluss der Lagerung auf die Eigenschaften der trüben Apfelpresssäfte.....	81
4.2.5. Zucker:Säure-Verhältnis.....	83
4.2.6. Partikelgrößenverteilung in den verschiedenen Apfelsäften....	88
4.3. Sensorische Analyse.....	94
4.4. Schlussfolgerungen.....	101
5. LITERATURVERZEICHNIS.....	106

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Herstellung von pulpehaltigen Apfelsäften. Fruchtsäfte mit einem hohen Anteil an Fruchtfleisch zeichnen sich durch einen hohen ernährungsphysiologischen Wert und durch den Eindruck der Naturbelassenheit aus. Während pulpehaltige Citrussäfte und sogenannte pulpereiche Nektargetränke aus verschiedenen Früchten schon seit längerer Zeit eine weite Verbreitung gefunden haben, hat sich ein derartiges Produkt auf der Apfelbasis bisher nicht durchgesetzt.

Es wurden zwei Herstellungsverfahren entwickelt, die auf einer möglichst geringen Erhitzung von grob geschnittenen Apfelscheiben zur Erweichung des Apfelgewebes und zur Inaktivierung der Polyphenoloxidasen beruhen. Die hitzebehandelte Apfelmaische wurde entweder mit einer Passiermaschine oder einem Högger-Separator von Kerngehäuse, Samen, Stielen und harten Schalentteilen befreit. Auf eine enzymatische Mazeration des Fruchtgewebes wurde bewusst verzichtet. Die weitere Aufbereitung der grobkörnigen Pulpe erfolgte nach zwei Prinzipien. Im ersten Fall wurde ein pulpehaltiger Apfelmischsaft durch Feinvermahlung der Pulpe mit einer Zahnkolloidmühle, Beimischung von Apfelpresssaft in Form von rückverdünntem Konzentrat, Entlüftung im Vakuum und Homogenisation gewonnen. Im zweiten Fall wurde die grobkörnige Apfelpulpe mit einer Westfalia Dekanterzentrifuge in einen dekantierten pulpehaltigen Apfelsaft und eine grobe Restpulpe aufgetrennt. Zu Vergleichszwecken wurde jeweils aus dem gleichen Rohmaterial trüber Apfelpresssaft mit der konventionellen Technologie der Entsaftung hergestellt. Die drei Produkttypen wurden für Lagerversuche in Glasflaschen gefüllt und pasteurisiert.

Für die Herstellung der pulpehaltigen Apfelmischsäfte erwies sich ein Mischverhältnis von einem Teil Pulpe und einem Teil Apfelpresssaft als günstig, während für den dekantierten pulpehaltigen Apfelsaft etwa 10% der groben Pulpebestandteile abzutrennen sind. Der zentrifugierbare Trubstoff- und Pulpegehalt steigt damit von 1.6g / 100g in trübem Apfelsaft auf 19.8g / 100g in

pulpehaltigem Apfelmischsaft und auf 29.0g / 100g in dekantiertem pulpehaltigem Apfelsaft. Die Trübung ausgedrückt in Trübungseinheiten bezüglich Formazin, und die Viskosität der pulpehaltigen Produkte erreichen etwa den dreifachen Wert der entsprechenden Kennzahlen von Presssäften. Erwartungsgemäss wies keiner der pulpehaltigen Säfte eine vollständige Trubstabilität auf. Die Partikelgrössenverteilung in den Endprodukten war so heterogen, dass sie nicht mit Laserbeugungsbestimmungen, sondern nur mit mikroskopischer Bildanalyse bestimmt werden konnte.

Traditionelle Mostapfelsorten haben sich als nicht geeignet für die Pulpeherstellung erwiesen. Ein bis 24 Wochen dauernder umfangreicher Lagerversuch mit den drei Apfelsorten Golden Delicious, Glockenapfel und Maigold zeigte einen grossen Einfluss des Reifegrades der Früchte auf die Ausbeute und die Eigenschaften der beiden pulpehaltigen Produkte sowie des Apfelpresssaftes. Der Grund dafür liegt in der zunehmenden Desintegration und der damit verbundenen Erweichung des Parenchymgewebes. Im Gegensatz zur konventionellen Saftgewinnung lassen sich gelagerte Äpfel mit tiefen Penetrometerwerten optimal zu pulpehaltigen Apfelsäften verarbeiten. Ausgereiftes Obst ergibt auch ein in sensorischen Tests bevorzugtes Verhältnis von Zucker zu Säure. Die sensorische Profilierung der Produkte deckte sich mit den Daten aus der analytischen und instrumentellen Charakterisierung.

Ein durch Erhitzen der Apfelscheiben und die Pasteurisation hervorgerufenes Kocharoma kann nicht vollständig verhindert werden. Dazu wären Methoden des „Minimal Processing“ auf ihre Anwendbarkeit auf pulpehaltige Fruchtsäfte zu überprüfen.

Investigations on processing pulp containing apple juice

Summary

The present investigation deal with the production of pulp containing apple juice. Fruit juices with a high content of fruit tissue exhibit high nutritional value and the impression of naturalness. Pulpy citrus juice and nectar beverages from various fruits have been popular since many years. However, such products have not been produced to a large extent on the basic of apples.

Two processes were developed, both starting with a mild heat treatment of coarsely sliced apples for softening the fruit tissue and inactivating the polyphenoloxidase. The slices were then separated in a coarse pulp and a residue by either a pulper finisher or a Hoegger separator system. Enzymatic maceration was not applied on purpose. the further processing steps followed two principles. In the first case, a pulpy blended apple juice was obtained by treating the coarse pulp with a colloid mill, adding rediluted apple juice concentrate, deaerating and homogenizing. In the second case, the coarse pulp was separated by a Westfalia decanter centrifuge into a decanted pulpy apple juice and a coarse pulp residue. For comparison, conventional cloudy apple juice was produced from the same raw material by juice expression. The three types of products were botteled and pasteurized for storage trials.

For obtaining pulpy blended apple juice, the optimal ratio of apple pulp to apple juice was 1 : 1. Approximately 10% of coarse pulp have to be decanted to receive an optimal decanted pulpy apple juice product. The pulp and cloud content as determined by centrifugation amounts up to 19.8g / 100g and 29.0g / 100g in blended and decanted pulpy apple juice, respectively, while the contant in cloudy apple juice was only 1.8g / 100g. Cloudiness, as expressed by formazine cloudiness values, and viscosity of pulpy juices were approximately three times higher than in expressed apple juice. As would be expected, none of pulpy juices showed complete cloud stability during storage. Particle size

distribution in final products was so heterogeneous that analysis by laser scattering was not successful and had to be replaced by image analysis.

Traditional varieties of cider apples were not suitable for the production of pulpy juices. An extensive storage experiment of up to 24 weeks with Golden Delicious, Glockenapfel and Maigold variety showed the degree of maturation of the fruits has a decisive influence on the yield and the properties of the pulpy apple juices. Increasing desintegration of the fruit tissue and a decreasing firmness are the causes for this relationship. In contrast to juice expression, stored apple with low penetrometer values are optimal for obtaining pulpy apple juice. Mature fruits yield a sugar to acid ratio which was well accepted also in sensory tests. Results from sensory profiling coincided with those of chemical and instrumental analysis.

Development of a cooking type flavor note during heating at the first stage of the process and during pasteurization could not be fully excluded. In order to achieve this further studies on the basis of „minimal processing“ methods would be necessary.

1. Einleitung und Problemstellung

Der Apfel (*Malus domestica* L) stellt nach der Weintraube die mengenmässig wichtigste Obstart der gemässigten Zonen dar. 1993 betrug die Weltproduktion 48 Mio t, wovon 90 % in der nördlichen Hemisphäre erzeugt wurden. Ein wesentlicher Teil der Apfelproduktion kommt als Tafeläpfel auf den Markt. Ein ebenso bedeutender Teil der Apfelernte wird zu Apfelsaft und Apfelsaftprodukten verarbeitet. Die Gewinnung von Apfelsaft im häuslichen, gewerblichen und industriellen Massstab hat dementsprechend eine sehr lange Tradition und macht den Apfel in unseren Breiten nach wie vor zur wichtigsten Frucht für die Fruchtsaferstellung. Auf dem Getränkemarkt in Deutschland ist der Apfelsaftkonsum seit 1993 wieder steigend und liegt bei heute 11.6 L pro Kopf und Jahr. In der Schweiz liegt er bei 7.8 L pro Kopf und Jahr.

Bei der klassischen Gewinnung durch Pressen fällt der Apfelsaft in mehr oder weniger trüber Form an. Wird dieser trübe Saft stehen gelassen, tritt meistens eine Selbstausklärung ein. Während sich der natur- oder keltertrübe Apfelsaft im Herbst seit jeher grosser Beliebtheit erfreut, war die industrielle Apfelsaftproduktion traditionell darauf ausgelegt, durch Schönen und Klären einen glanzklaren Fruchtsaft herzustellen. Über die Jahre waren denn auch die Forschungsarbeiten in der Kernobsttechnologie auf die Herstellung von klaren Apfel- und Birnensäften und die Vermeidung von Nachtrübungen während der Pasteurisation und Lagerung ausgelegt [Smock & Neubert, 1950; Beveridge, 1997a]. Nur wenige Untersuchungen beschäftigen sich mit der Herstellung und Stabilisierung naturtrüber Apfelsäfte [Emch, 1963].

Inzwischen hat die Naturbelassenheit als Qualitätskriterium von Fruchtsäften auf dem Getränkemarkt an Bedeutung gewonnen. Ein Grund dafür liegt vermutlich in der stark gestiegenen Verbreitung von Orangensaft, der seit jeher nur als naturtrübes Produkt angeboten wird und als ernährungsphysiologisch vorteilhaftes Getränk gilt. Deshalb ist das Interesse an fruchtsaft-technologischen Untersuchungen über die Erzielung optimaler Trubstabilität und die Erhaltung des Frischeaspektes in trübem Apfelsaft gewachsen.

Orangensaft enthält neben kolloidal und fein dispersen Trubstoffen auch grob disperse Fruchtpulpenanteile. Der Anteil an Fruchtpulpe wurde in den letzten Jahren in vielen Orangensaftprovinienzen sogar noch erhöht und macht heute bis 10% der Saftmenge aus. Damit wird nicht nur eine sensorisch positive Vollmundigkeit des Getränkes, sondern auch eine ernährungsphysiologisch relevante Konzentration an Nahrungsfasern erreicht. Dieselbe Feststellung lässt sich auch für die sogenannten Nektargetränke machen, die meistens hohe Anteile an Fruchtpulpe enthalten. Der hohe Nahrungsfaser-, Vitamin- und Mineralstoffgehalt machen pulpehaltige Säfte zu besonders wertvollen Getränken, die Nahrungsmittelcharakter ähnlich den Früchten besitzen, aus denen sie gewonnen werden [Schobinger, 1991]. Tabelle 1 verdeutlicht diese Zusammenhänge mit einem Vergleich der Zusammensetzung von Äpfeln und Orangen einerseits und klarem Apfelsaft und pulpehaltigem Orangensaft andererseits.

Tabelle 1: Vergleich der Zusammensetzung von Früchten und den entsprechenden trüben Säften (Werte bezogen auf 100 g essbaren Anteil).

	Apfel	Apfelsaft	Orange	Orangensaft
Wasser [g]	85.3	88.1	85.7	87.7
Zucker [g]	11.9	11.9	10.0	11.0
Nahrungsfaser[g]	2.3	0.032	2.2	0.1
Kalium [mg]	144	116	177	172
Vitamin C [mg]	12	1.4	50	44
Vitamin B 1 [µg]	35	20	79	77

Der Gehalt an Farb- und Aromastoffen liegt in pulpehaltigen Fruchtsäften ebenfalls bedeutend höher als in blanken oder trüben, aber fruchtmarkfreien Säften [Possmann & Sprinz; Sulc, 1987]. Eine höhere Wirtschaftlichkeit durch Wegfall gewisser Herstellungsstufen (Schönen, Filtrieren) und die Nutzung von Fruchtfleisch als Bestandteil des Hauptproduktes und nicht als Nebenprodukt in Form von Trester können weitere Vorteile von pulpehaltigen Fruchtsäften sein [Kardos, 1979].

Angesichts der genannten positiven Aspekte von fruchtfleischreichen Fruchtsäften ist es eigentlich erstaunlich, dass sich ein entsprechendes Produkt aus Äpfeln auf dem gegenwärtigen Fruchtsaftmarkt nicht finden lässt. Ein

Grund dürfte sicher in der Tatsache liegen, dass die Verarbeitung von Äpfeln zu pulpehaltigen Fruchtsäften oder Nektargetränken spezielle Anforderungen an den Rohstoff und an die Verarbeitungsverfahren stellt. Trübe pulpehaltige Apfelsäfte ohne Zusatzstoffe sind wegen des hohen Pulpeanteils schlechter handzuhaben bezüglich ihrer Haltbarmachung und Stabilisierung als die trüben Apfelpresssäfte. Geschmacks-, Geruchs- und Farbfehler sowie Pulpe-sedimentation stellen Schwachpunkte solcher Getränke auf Apfelbasis dar.

Ziel der vorliegenden Untersuchungen war es deshalb, die Möglichkeiten und Grenzen der Herstellung von stabilen pulpehaltigen Apfelsäften abzustecken. Dabei soll das Herstellungsverfahren ohne Beigabe von Zusatzstoffen ausschliesslich auf der Basis von Äpfeln konzipiert werden. Die Zerkleinerung und Desintegration des Fruchtfleisches soll auf rein mechanischem Wege ohne den früher für diese Getränke vorgeschlagenen Einsatz von Enzymen [Strübi, 1976] erfolgen. Mit einem ausgedehnten und detaillierten Lagerversuch von ausgewählten Apfelsorten war sodann der Einfluss von Sorte und Reifegrad auf die Herstellung und Qualität pulpehaltiger Apfelsäfte zu untersuchen. Damit sollen ganz allgemein Beziehungen zwischen Struktur und Zusammensetzung des Apfelgewebes und Eigenschaften des Endproduktes aufgestellt werden.

Im Sinne der Naturbelassenheit von Fruchtsäften war ursprünglich vorgesehen, die enzymatische und mikrobiologische Stabilität durch nicht-thermische Verfahren zu erreichen und das Konzept des „Minimal Processing“ einzuführen. Von dieser letzten Zielsetzung musste im Verlaufe der Untersuchungen aus verschiedenen Gründen abgesehen werden, so dass nur die thermische Haltbarmachung berücksichtigt werden konnte.

2. Grundlagen

2.1. Terminologie

Aus der Literatur der Früchte- und Fruchtsafttechnologie geht nicht immer eindeutig hervor, wie die einzelnen Produkte zu bezeichnen und deren Charakteristik zu umschreiben sind. Gründe für die Unsicherheit liegen einmal darin, dass zur Herstellung von Fruchtsaftgetränken eine Vielzahl von Früchten verwendet wird, die sich in Morphologie und chemischer Zusammensetzung erheblich unterscheiden. Zum andern sind die Übergänge von Produkt zu Produkt in gewissen Eigenschaften fließend, so zum Beispiel in der Beschaffenheit und Partikelgrößenverteilung der Trub- und Pulpestoffe. Schliesslich müssen auch die internationalen gesetzlichen Definitionen berücksichtigt werden. Für die vorliegende Arbeit wird nachstehende Terminologie festgehalten.

Trüber Apfelsaft

Apfelpresssaft, in der Regel auch einfach als „Apfelsaft“ bezeichnet, stellt ein Produkt dar, das durch Zerkleinern der ganzen Äpfel in eine *Maische* und durch anschliessendes Pressen gewonnen wird. Unter einer *Maische* versteht man die zerkleinerte Frucht, welche das Fruchtfleisch, die Schale, Stiel und das Kerngehäuse beinhaltet. In den meisten Fällen läuft der Saft trüb aus der Presse. Im wesentlichen handelt es sich um den aus den Parenchymzellen ausfliessenden Saft.

Alternativ zur Gewinnung des Zellsaftes durch Pressen können auch andere mechanische Trennverfahren (Vibration, Zentrifugation) oder weitere physikalische Verfahren (Fest - flüssig - Extraktion) zum Einsatz gelangen.

Zurück bleibt der *Trester*, welcher zur Hauptsache in nasser oder trockener Form in der Tierfütterung Verwendung findet oder als Ausgangsprodukt für die Gewinnung von Apfelpektin und weiteren Nebenerzeugnissen dient.

Trub, Trubstoffe

Die im naturtrüben Apfelsaft enthaltenen Trubstoffe stellen kolloidal- bis feindisperse Bestandteile dar, die zur Hauptsache aus dem Zellinnern der Parenchymzellen stammen. Meistens sind nur wenige grob disperse Teilchen in Form von Zellfragmenten, Zellwandbestandteilen etc vorhanden [Schobinger, 1979; Pecoroni, 1996]. Dieser Trub, Englisch mit „Cloud“ oder „Haze“ bezeichnet [Beveridge, 1997a] verleihen dem natur- oder keltertrüben Presssaft eine opaleszente bis intensive Trübung [Stähle, 1989a].

Apfelpulpe, Apfelmark

Apfelpulpe oder Apfelmark stellt eine durch Zerkleinerung und geeignete Aufbereitung hergestellte Masse aus dem gesamten Parenchymgewebe der Frucht dar. Das Produkt enthält demnach neben dem Saft auch die gesamten übrigen Zellbestandteile. In der Regel wird das Gewebe nach einem ersten Zerkleinern der Früchte durch einen Blanchier- resp. kurzen Kochschritt thermisch aufgeschlossen. Anschliessend werden Schalenteile, Kerngehäuse und Samen abgetrennt und das Fruchtgewebe in einer oder mehreren Stufen auf den gewünschten Feinheitsgrad gebracht. Apfelpulpe wird zu Apfelpüree aufgearbeitet oder zur Herstellung pulpehaltiger Apfelsäfte und Nektar-getränken verwendet.

Allgemein können Fruchtmarm und Fruchtpulpen auch konzentriert werden. Als Halbfabrikate werden sie ausser in fruchtfleischhaltigen Säften und Nektaren auch in unterschiedlichsten Endprodukten wie z.B., Marmeladen, Fruchtcremen, Speiseeis, Obstjoghurt, Kindernahrung, Schokoladen- und Bonbonfüllungen eingesetzt [Possmann & Sprinz, 1986; Wiley & Binkley, 1989; Handschuh, 1996; Ding & Weger, 1997].

Pulpehaltiger Apfelsaft

Pulpehaltiger Apfelsaft stellt ein viskoses Produkt dar, das neben dem Zellsaft und den Trubbestandteilen noch wesentliche Anteile von Zellbestandteilen in Form von Apfelpulpe enthält. Zur Herstellung von pulpehaltigem Apfelsaft ist also mindestens ein Teil der Früchte nicht der Saftgewinnung durch Pressen zuzuführen, sondern nach dem im vorangehenden Abschnitt beschriebenen

Prinzip ohne Saftabtrennung zu zerkleinern. Im englischen Sprachgebrauch wird von „liquid apple“ oder „comminuted apple juice“ [Havighorst, 1948], „pulpy apple juice“ [Bump, 1989] und „crushed apple juice“ [Luh, 1980] gesprochen.

Der Hauptunterschied zum konventionellen trüben Apfelsaft besteht in der wesentlich breiteren Partikelgrössenverteilung der Pulpe, welche einen grösseren Anteil an viel grösseren Teilchen als der Trub enthält. Wie unten zu zeigen ist, wird der Pulpeanteil eingestellt indem entweder Presssaft zuge-mischt, ein Teil der Pulpe abgetrennt oder ein Teil der Zellwandbestandteile enzymatisch abgebaut wird.

Fruchtnektar

Fruchtnektare sind allgemein nach der internationalen Gesetzgebung als Getränke definiert, die aus Fruchtpulpe durch Beimischung von Zuckersirup und Citronensäure, häufig auch in Kombination mit weiteren Fruchtsäften hergestellt werden [Luh, 1980]. Im Prinzip handelt es sich im Sinn des Wortes um „flüssiges“ Obst [Sulc, 1987], das sich durch eine homogene püreeartige Konsistenz [Stocker, 1989] auszeichnet. Da viele Aroma- und Farbstoffe im Fruchtgewebe an die Zellmatrix gebunden sind, ergeben sich oft auch Produkte mit einem intensiven Aroma und einer fruchttypischen Farbe [Possmann & Sprinz 1986; Sulc, 1987]. Der Fruchtmarkanteil kann je nach Frucht in weiten Grenzen von 25-50% variieren [Kardos, 1979].

Die Mischverhältnisse von Pulpe mit Zuckerwasser sind in entsprechenden Normen festgehalten. Die Nektarherstellung nahm ihren Ausgangspunkt bei denjenigen Obstarten, deren Früchte sich nur schwierig entsaften liessen (z.B. Aprikosen, Pfirsiche), und die deshalb im Gegensatz etwa zu Äpfeln nur zu einer Pulpe verarbeitet werden konnten. Beim oben erwähnten pulpehaltigen Apfelsaft handelt es sich demnach um einen Spezialfall eines Fruchtnektars, indem die Verdünnung nicht mit Zuckersirup, sondern mit Apfelsaft vorgesehen ist. Von der Produktcharakteristik her ist der Übergang zwischen beiden Getränkearten fließend.

Heute werden Nektare aus Äpfeln [Havighorst, 1948; Strübi, 1976; Strübi et al., 1978], Birnen [Casimir, 1973], Aprikosen [Weiss & Sämam, 1972; Siliha,

1985], Pfirsichen, Pflaumen, Kirschen, Schwarzen Johannisbeeren, Erdbeeren, Himbeeren, Kiwi, sowie aus Ananas, Guave, Papaya, Passionsfrucht und Mango hergestellt [Bertuzzi, 1961; Luh, 1980; Askar, 1987; Askar & Treptow, 1992; Decio, 1994]. Es werden sowohl sortenreine Fruchtnektare als auch Mischungen davon angeboten.

2.2. Technologie zur Herstellung pulpehaltiger Fruchtsaftgetränke

2.2.1. Verarbeitung von Citrusfrüchten

Die Herstellung pulpe- resp. fruchtfleischhaltiger Säfte war ursprünglich von der Citrusfruchtverarbeitung her bekannt. Bei der Entsaftung von Citrusfrüchten gelangen Verfahren zum Einsatz, mit welchen ein grosser Teil des Fruchtfleisches zwangsläufig mitgewonnen wird [Crandall, 1987]. Die Mitgewinnung des Fruchtfleisches beruht auch auf der spezifischen Morphologie der Citrusfrüchte. Der Pulpeanteil wird dann im sogenannten „Finishing“ mit einer Passiermaschine auf den gewünschten Pulpegehalt und/oder auf die gewünschte Feinheit eingestellt. In den sogenannten zweiphasigen Verfahren [Schobinger, 1987] werden Pulpe und Saft getrennt je separat aufbereitet und gelagert und bei der Herstellung des trinkfertigen Citrussaftes wieder zusammengeführt.

2.2.2. Verarbeitung anderer Früchte

In diesem Abschnitt werden die Gemeinsamkeiten der Technologie pulpehaltiger Fruchtsäfte ohne Berücksichtigung der spezifischen Gegebenheiten für Äpfel dargestellt.

Die meisten für die Herstellung von pulpehaltigen Getränken verwendeten Fruchtarten (Aprikosen, Pfirsiche, Birnen, Zwetschgen, Mango) zeichnen sich durch eine natürlich starke Erweichung während der Reifung und Lagerung aus. Diese Früchte weisen bei Genussreife eine wesentlich weichere Textur als Äpfel auf. Die Erweichung beruht auf der Lockerung des Parenchymgewebes bis hin zu einem Zerfall der Frucht in Zellgruppen oder einzelne Zellen. In der Regel lässt sich aus diesen stark mazerierten Früchten keine eigentliche Saftfraktion mehr abtrennen.

Die starke Lockerung des Zellgefüges resp. die natürliche Mazeration ermöglicht es, die Früchte mit geringem mechanischem Aufwand in eine Fruchtmasse zu zerkleinern. Damit wird mindestens eine vollständige

Auflösung auf Zellgrösse erreicht. Für die weitere Zerkleinerung sind dann die Zellen aufzubrechen und allfällig vorhandene Faserteilchen zu zerkleinern, um zu einem noch feineren, homogenen Produkt zu gelangen.

Zur mechanischen Zerkleinerung von Früchten werden eine Vielzahl von Geräten und Verfahren wie Rätzmühlen, Schnitzler, Lochscheiben-, Zahnkolloid- und Korundscheibenmühlen, Homogenisatoren sowie verschiedene Separatoren eingesetzt [Possmann & Sprinz, 1986; Stocker, 1989; Decio, 1994]. Im Osten Europas sind zur Zerkleinerung von Fruchtfleischteilchen in Pulpen nebst den Kolloidmühlen vom Rotor-Stator Typ sogenannte Doppelrotor Stiftdesintegratoren vom Rotor-Rotor Typ im Einsatz [Maltsev & Mollov, 1996]. Schnell rotierende Stiftmahlelemente zerstückeln das Fruchtfleisch durch Kontaktzerkleinerung bis hinunter in den μm Bereich. Neben der Zerkleinerung des Fruchtgewebes mit der herkömmlichen Mahl- und Homogenisieretechnik wird auch die Ultraschallbehandlung vorgeschlagen [Kardos, 1979].

Zur Erweichung und Mazeration des Fruchtgewebes ist vorgängig der Feinvermahlung und Homogenisation oft eine Hitzebehandlung nötig. Neben der Erzielung höherer Ausbeuten wird damit ein *Blanchieren*, eine Verminderung des Gehalts an Luftsauerstoff, eine durch höhere Pulptemperatur verbesserte Entlüftung im Saftentlüfter und eine erste Pasteurisation der Produkte erreicht. Die Inaktivierung der Pektinasen ist wichtig zur Erhaltung der Trubstabilität; Polyphenoloxidase ist zur Verhinderung der enzymatischen Bräunung zu inaktivieren. Die Hitzebehandlung erfolgt in der Regel auf eine Produkttemperatur von 80°C [Askar & Treptow, 1992]. Eine Hochtemperaturkurzzeiterhitzung der Apfelmatsche kann die Bildung von Sekundäraromen weitgehend unterdrücken. Solche Säfte sind reicher an natürlichen Fruchtestern [Herrmann, 1992].

Eine Mazeration ist auch *enzymatisch* mit pektinolytischen Enzymen möglich [Mollov & Maltsev, 1996]. Auch die Verhinderung der enzymatischen Bräunung könnte nicht-thermisch mindestens teilweise durch die Anwendung von L-Ascorbinsäure als Antioxidans erreicht werden. Sulfite, früher als Antioxidans oft eingesetzt, werden für Fruchtsäfte nicht mehr in Betracht gezogen. Wieweit sich die Inaktivierung der Polyphenoloxidasen durch

proteolytische Enzyme in der Praxis realisieren lässt, ist offen. Entsprechende Vorschläge für die Verwendung von Ficin aus Feigen und Papain aus Papaya liegen in der Literatur vor [Labuza et al., 1992].

Zum Abtrennen der Schalenteile und Fasern aus der blanchierten Fruchtmaische werden Passiergeräte mit unterschiedlichen Porengrößen zum Teil mehrstufig eingesetzt [Kardos, 1979; Askar & Treptow, 1992]. Auf zu feines Passieren sollte infolge einer möglichen Phasentrennung verzichtet werden [Possmann & Sprinz, 1986].

Nach dem Abtrennen der lignifizierten Teile aus der grobkörnigen Maische und einer Verfeinerung mit einer Kolloidmühle und einem Homogenisator erreicht man eine Feinheit, die ein trubstabiles Endprodukt ergeben [Bertuzzi, 1961; Casimir, 1973]. Bei Kolloidmühlen lässt sich der Abstand zwischen Rotor und Statorteil auf einige μm genau einstellen [Kardos, 1979]. Das Zwischenprodukt wird wegen des hohen Sauerstoffgehalts vor dem Homogenisieren normalerweise entlüftet. Der entscheidende Homogenisierungsschritt ist dadurch wesentlich wirksamer.

Die meisten erwähnten Früchte lassen sich in gut ausgereiftem, weichem Zustand nach dem Blanchieren gut zu Pulpe weiterverarbeiten. Die Ausbeute an Fruchtmark aus vorbehandelten Fruchtmaisichen liegt nach Possmann & Sprinz [1986] für Pfirsiche bei durchschnittlich 77 %, für Aprikosen bei 79 %, für Pflaumen bei 82 %, für Birnen bei 87 % und für Beerenobst bei 92 %.

2.2.3. Verarbeitung von Äpfeln

Die Tatsache, dass Versuche zur Herstellung fruchtfleisch resp. pulpehaltiger Apfelsäfte wesentlich weniger häufig unternommen wurden, liegt zum Teil an den spezifischen Eigenschaften dieser Frucht. Äpfel weisen auch in relativ reifem Zustand noch eine gut ausgebildete Gewebestruktur auf. Das Fruchtfleisch ist weniger stark aufgeweicht als dasjenige von Aprikosen, Pfirsichen und Birnen, so dass die mechanische Desintegration schwieriger ist. Im Vergleich zu den genannten Früchten, lassen Äpfel auch in sehr reifem Zustand viel Saft aus, und der Pulpeanteil, bezogen auf die ganze Frucht, ist

relativ tief. Damit entsteht ohne besondere Aufbereitungsmassnahme eine wenig homogene, eher grobe Apfelpulpe.

Die Verarbeitung von Äpfeln zu pulpehaltigem Apfelsaft erfolgt nach bereits im letzten Abschnitt zitierten Literatur analog zu anderen Früchten durch Zerkleinern, Blanchieren, Mahlen und Homogenisieren. Wie oben ebenfalls bereits erwähnt, entsteht ein Produkt, das Havighorst [1948] „liquid apple“, Luh [1980] „crushed apple juice“ und Bump [1989] „pulpy apple juice“ nennen.

Wegen der grossen Zelloberfläche soll beim Herstellen der Pulpe die Zeit zwischen dem Vermahlen und dem nachfolgenden Blanchieren der Früchte sehr kurz gehalten werden [Moulding et al., 1988]. Vitamin-C-Verluste und die enzymatische Bräunung stellen das Hauptproblem dar [Strübi, 1976], weil selbst nach einer thermischen Behandlung eine Regeneration der Enzyme erfolgen kann [Moulding et al., 1988]. Zur Reduzierung der Oberfläche beim Zerkleinern der Früchte zu Maische, ist das Schneiden in Scheiben einem Vermahlen der Früchte vorzuziehen [Strübi, 1976].

Der Kochgeschmack stellt bei pulpehaltigen Apfelsäften ein weiteres Problem dar. Dieser wird bei Anwendung zu hoher Blanchier- und Pasteurisationstemperaturen durch folgende sich dabei bildende Substanzen erzeugt: 1,3-Octandiol, 4-Vinylbenzol, 2-Methoxy-4-Vinylbenzol und Damascenon [Bundschuh, 1987]. Ein wirklich ausgeprägtes Apfelaroma ist im Endprodukt vermutlich nur durch Beimischen von destillativ gewonnenem Apfelaromakonzentrat möglich.

Zur Desintegration des Zellgewebes und zur Erzielung der notwendigen Trub- und Pulpestabilität untersuchten Strübi [1976] und Strübi et al. [1978] die Anwendung von Pektinenzymen. Es wurden Enzymfraktionen eingesetzt, welche das Pektin aus der Mittellamelle der Früchte herauslöst, ohne es wesentlich im Polymerisationsgrad abzubauen. Damit bleibt die Viskosität des Serums erhalten. Die enzymatische Maischebehandlung dauerte 15 min bis maximal 4 h [Strübi et al., 1978].

Eine interessante Alternative für die Herstellung von trüben Apfelsäften stellt die Entsaftung einer grobkörnigen Maische oder Pulpe mittels Dekanterzentrifugation dar [Nagel, 1992]. Damit lässt sich ein Produkt gewinnen, das viel Trubstoffe und vermutlich auch bereits einen beträchtlichen Anteil an

Pulpebestandteilen enthält. Nach Pecoroni et al. [1996], liegt die mittlere Partikelgrösse allerdings in trüben Apfelsäften vom Dekanter tiefer als in trüben Säften von der Presse. Möglicherweise kann die Grössenklassierung der Partikel dafür verantwortlich gemacht werden [Nagel, 1992]. Damit hat der Einsatz der Zentrifugaltechnik bei der Herstellung von trubstabilen, naturtrüben Apfelsäften einen Vorteil: Gegenüber Pressen sind Dekanter in der Lage, aus natürlich trübem Apfelsaft diejenigen Bestandteile abzutrennen, die die Stabilität und den Geschmack negativ beeinflussen können.

2.3. Zum Problem der Trubstabilität von trüben und pulpehaltigen Apfelsäften

Unter der Trubstabilität eines pulpehaltigen Saftes oder Nektars versteht man die Eigenschaft, dass die im Saft suspendierten Pulpeteilchen nicht sedimentieren, sondern homogen verteilt in Schwebelage bleiben.

Über die Trubstabilität von Fruchtsäften und Fruchtnektaren wurden im Laufe der Jahre zahlreiche Untersuchungen durchgeführt. Wegen der grossen wirtschaftlichen Bedeutung der trüben pulpehaltigen Citrussäften, standen zunächst Untersuchungen über Citrussäfte im Vordergrund [Krop, 1974; Versteeg, 1979]. Die Trubstabilität von Aprikosennektar wurde ebenfalls entsprechend untersucht [Siliha, 1985].

Bei Apfelsäften liegen vor allem Untersuchungen an Apfelpresssäften ohne eigentlichen Pulpegehalt vor [Stähle, 1989a; Stähle, 1989b; Pecoroni & Gierschner, 1993; Zimmer et al., 1994; Dietrich et al., 1996; Pecoroni et al., 1996; Kraft et al., 1997]. Neben analytischen Methoden zur Prognose des Trubstabilitätsverhaltens [Zimmer et al., 1994], wird das makroskopische und mikroskopische Erscheinungsbild [Pecoroni et al., 1996], sowie der Einfluss der Technologie und der Rohware [Stähle, 1989a; Pecoroni et al., 1996] diskutiert. Der spezifische Einfluss von Stärke auf die Trubstabilität von trüben Apfelsäften wurde in Dietrich & Will [1996] untersucht.

Pecoroni & Gierschner [1993] zeigten, dass ein Teil der Trubstoffe erst im Zuge der Saftgewinnung während des Pressens entsteht. Der unterschiedliche Reifegrad und das eingesetzte Entsaftungssystem lassen die Trübung und die Ausbeute an Saft in weiten Grenzen schwanken [Pecoroni et al., 1996]. McKenzie & Beveridge [1988] und Beveridge & Tait [1993] stellten fest, dass die Trübung mit zunehmender Lagerdauer stark zunimmt.

Schon naturtrübe Apfelsäfte ohne wesentlichen Anteil an Pulpe stellen ein heterogenes Stoffsystem dar [Pecoroni & Gierschner, 1993; Kraft et al., 1997]. Es handelt sich um eine Suspension deren Stabilität durch Entmischung und Sedimentation gefährdet ist. In pulpehaltigen Säften und Nektaren nimmt die Komplexität nochmals zu, indem vor allem die Grössenverteilung der Trubstoffe und Fruchtfleischpartikel wesentlich breiter wird. Abbildung 1 verdeutlicht deren Komplexität. Während das Teilchengrössenspektrum von trübem Apfelsaft von

0.5 bis 2 μm reicht und 95% der Teilchen < 2 μm sind [Stähle, 1989a], finden sich in einem pulpehaltigen Apfelsaft Teilchen mit Grössen bis zu 200 μm .

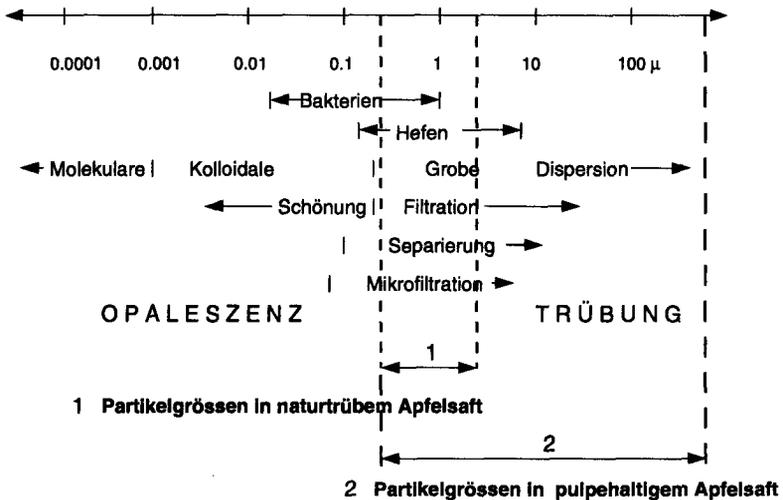


Abbildung 1: Relevante Grössen für die Trubstabilität von Apfelsaft [nach Stähle 1989a].

Das Pulpeteilchengrössenspektrum von pulpehaltigem Orangensaft reicht von 0,6 bis über 2000 μm . In homogener Apfelpulpe weisen die Pulpeteilchen eine Grösse von 0,5 bis 1000 μm auf. Sogar nach einer mehrfachen Homogenisation sind grosse Partikel in der Pulpe vorhanden. Ganz allgemein liegt die Trubpartikelgrösse in Aprikosennektaren viel höher als in Orangensäften [Siliha, 1985]. Andere Fruchtpulpen, die der Fabrikation von Fruchtnektaren dienen, haben ähnliche Partikelgrössenverteilungen [Siliha, 1985].

Nach Mohr [1989] wird das Partikelgrössenspektrum im Apfelsaft bestimmt durch die Apfelsorte, die Reife der Frucht bei der Ernte, die Lagerungsmethode und die Verarbeitungsmethode. Der Zellseparationsgrad wird als wichtiger Parameter angegeben. Die Zellwandbestandteile spielen dabei die Hauptrolle,

indem sie die Lagerstabilität eines Saftes in negativer wie in positiver Hinsicht beeinflussen. Je nach Apfelsorte ergeben die weicheren Früchte feinkörnigere oder grobkörnige Apfelpulpen.

Die Art und die Menge der in Apfelnektar vorkommenden Trubpartikel werden wie folgt angegeben [Strübi, 1976]:

57.8 %	Einzelzellen und Zellfragmente
17.5 %	Agglomerate aus 2 - 5 Zellen
8.6 %	Agglomerate aus 6 - 10 Zellen
16.0 %	Agglomerate aus mehr als 10 Zellen

Weiss und Sämman [1972] geben für Aprikosennektar folgende Werte an:

86 %	intakte Zellen
5 %	aufgebrochene Zellen
5 %	Zellaggregate
4 %	Zellwand- und Gefässfaserfragmente

Die entsprechenden Werte eines Aprikosenpürees finden sich in der Publikation von Schaller & Sämman [1974].

Gesamthaft lassen sich die Trubstoffe nach Askar & Treptow [1992] in die folgenden vier Gruppen unterteilen:

1. Grobdisperse Trubstoffe bestehend aus Faserstoffen, Pulpepartikeln und Steinzellen (Guava, Birne) von mehr als 1 mm Grösse.
2. Feindisperse Trubteilchen bestehend aus Pulpefragmenten, Zellaggregaten, intakten Zellen, Zellwandfragmenten und Stärkekörnern von 1 bis 100 μ Grösse.
3. Kolloidalstoffe bestehend aus Pektinstoffen, Proteinen, Hemicellulosen und gelöster Stärke von 0.001 bis 0.1 μ Grösse.

4. Emulgierte Stoffe bestehend aus Lipoiden, Carotinoiden und ätherischen Ölen, die kleiner als 0.001μ sind.

Um eine optimale Trubstabilität zu erzielen, muss sich das System dieser genannten vier Gruppen in einem Gleichgewicht befinden. In sehr vereinfachter Form lässt sich die Entstabilisierung durch Sedimentation resp Aufräumung mit der *Stokesschen Gleichung* beschreiben. Sie berücksichtigt die Grösse und Dichte der Teilchen und die Viskosität und die Dichte und Viskosität des Serums [Kardos, 1979; Silliha, 1985; Pecoroni, 1996]. Die Gleichung von Stokes ist für kugelförmige, gegenseitig sich nicht beeinflussende Teilchen hergeleitet worden.

$$v = d^2 (\rho_{\text{Teil}} - \rho_{\text{Flk}}) g / 18 \eta$$

v = Sink- oder Aufräumgeschwindigkeit [m/s]

d = Teilchendurchmesser [m]

ρ_{Teil} = Teilchendichte [kg/m^3]

ρ_{Flk} = Dichte des Serums [kg/m^3]

η = dynamische Viskosität des Serums [Pas]

g = Erdbeschleunigung [m/s^2]

Die Trubteilchen liegen jedoch keineswegs in einheitlicher runder Gestalt vor. Ausserdem bestehen sehr komplexe Wechselwirkungen sowohl zwischen den Teilchen selbst als auch zwischen ihnen und dem umgebenden Medium. Die Wechselwirkungen können zu Partikelzusammenlagerungen oder zu einer elektrostatischen Stabilisierung der Suspension führen. Im Gegensatz zu den trüben Apfelsäften, ist bei höher viskosen fruchtfleischhaltigen Nektaren und Säften das pseudoplastische d.h. strukturviskose Fliessverhalten durch die Interaktion zwischen den Trubpartikeln bedingt. Diese Tatsache beeinträchtigt die Anwendung der Stokesschen Reibungsgleichung und man kann über diesen Ansatz nur näherungsweise Angaben zur Sedimentation machen. Für praktische Zwecke werden deshalb Stabilitätstests durchgeführt. Um einen schnellen Anhaltspunkt für naturtrübe Apfelsäfte zu erhalten, hat Stähle [1989a]

eine Zentrifugationsmethode ausgearbeitet. Häufig bedient man sich eines Lagertests und bestimmt die Höhe der in einer Standflasche sedimentierten Trubphase. Daraus wird nach Askar et al. [1991] und Maltschev & Molloy [1996] der *Trübungsverlust TV* berechnet:

$$TV = (1 - \text{Höhe Trubphase} / \text{Gesamthöhe}) \cdot 100$$

Die Angaben, wie im einzelnen eine optimale Trubstabilität technologisch bei naturtrüben und pulpehaltigen Fruchtsäften resp bei Nektargetränken erzielt wird, sind in der Literatur vielfältig und keineswegs eindeutig. Es soll nachstehend versucht werden, auf die wichtigsten Einflussfaktoren hinzuweisen, wobei nicht streng zwischen naturtrüben und pulpehaltigen Fruchtsäften unterschieden wird.

Die Stabilität von fruchtfleischhaltigen Getränken hängt nach Sulc [1987] vor allem vom *Ratio-Wert R* d.h. dem Gewichtsverhältnis zwischen Pulpe und Serum ab. *R* berechnet sich als:

$$R = (\text{Pulpe [g]} / \text{Serum [g]}) \times 100$$

Aprikosen, Pfirsiche, Pflaumen, Birnen und Mango sind nach Sulc [1987] besonders für die Herstellung von fruchtfleischhaltigen Säften geeignet, da sie *Ratio-Werte* > 1 aufweisen.

Bei Nektaren sind stark hydratisierte, intakte Zellen und ein hoher Gehalt an wasserlöslichem Pektin mit einem hohen Molekulargewicht für die Trubstabilität verantwortlich [Strübi, 1976]. Solche Nektare weisen eine höhere Scherviskosität als Orangensäfte auf. Eine Methode zur Schätzung des mittleren Dichtewertes von hydratisierten Fruchtfleischteilchen in Aprikosennektar wird von Schaller et al. [1970] vorgeschlagen.

Nach Siliha [1985] soll es nicht möglich sein, einen trubstabilen Aprikosennektar nur durch ein mechanisch-thermisches Verfahren zu produzieren. Auch Strübi [1976] kommt für Apfelnektar zu diesem Schluss. Nach einer enzymatischen Behandlung sind beide Produkte trubstabiler als nach einer Homogenisation. Neben der starken Hydratation der Trub- und Pulpeteilchen bringt offenbar ein hoher Proteinhydrolysegrad von 75% - 95% eine mehrere Monate andauernde Stabilität [Siliha, 1985].

Bei der Gewinnung eines fruchtfleischhaltigen Apfelsaftes aus Maische dient das Blanchieren der Maische dem Erweichen des Gewebes und der Hemmung der fruchteigenen d.h. endogenen Enzyme, die die Farbe und den Ascorbinsäuregehalt beeinträchtigen [Schobinger, 1987]. Nach Godfrey et al. [1995] führt ein Blanchieren der Äpfel bei 59 bis 71°C während 20 min vor der Pulpegewinnung durch die Aktivierung von Pektinmethylesterase zu einer deutlichen Erhöhung der Viskosität der Apfelpulpe. Die Fliesseigenschaften von Apfelpulpe werden weiter durch die Apfelsorte, die Fruchtfleischfestigkeit und die Sieblochung des Finishers signifikant beeinflusst [Rao et al., 1986].

Die fruchteigenen pektinabbauenden Enzyme müssen durch eine thermische Behandlung der Maische inaktiviert werden, da die nativen Pektine als Schutzkolloide eine bedeutende Rolle im Stabilisierungsprozess übernehmen. Die Verminderung der Dichtedifferenz zwischen den Feststoffteilchen und der Flüssigkeit wird dadurch bedeutend gefördert, indem die hochveresterten und hydrophilen Pektinmoleküle die Trubpartikel als Schutzkolloid umhüllen [Kardos 1979; Sulc 1987]. Falls eine Enzymbehandlung angewendet wird [Strübi, 1976], muss die Pektinfraktion in Lösung gebracht, darf aber nicht abgebaut werden. Damit bleibt auch eine grosse Anzahl von Zellen intakt.

Durch eine Grobtrubentfernung mittels Dekanterzentrifuge können sowohl Fruchtpulpen [Possmann & Sprinz, 1986; Weinert & van Wyk, 1988], als auch trübe Apfelsäfte [Schobinger, 1979] allgemein trubstabilisiert werden. Ein erhöhter Pulpegehalt sowie ein optimierter Homogenisierdruck vermag die

Trubstabilität in pulpehaltigen Pfirsichsäften massiv zu verbessern [Trifiro et al., 1993].

Die Hochdruckhomogenisierung von trüben Säften soll ein Freisetzen von Pektin aus Gewebeteilen bewirken und dadurch eine Stabilisierung des Trubes zur Folge haben [APV, 1988]. Stoll [1997] gibt für die Faserfestigkeit im Fruchtfleisch von Äpfeln einen Wert von 2 bis 3 bar bei der Ernte bzw. 0.1 bar nach 18 Wochen Lagerung an. Der Homogenisationsdruck liegt also um den Faktor 100 über den angegebenen Faserfestigkeiten bei der Ernte. Ein höherer Druck als 200 bar zerstört die trubstabilisierend wirkenden Hydrokolloide in ihrer Struktur und wirkt sich somit kontraproduktiv auf die Trubstabilität der Apfelsäfte aus [APV, 1988; Stüssi et al., 1996].

Die trubstabilisierende Rolle für die Schwebefähigkeit der Pulpeteilchen durch zugesetztes lösliches Pektin ist bisher nicht eindeutig nachgewiesen worden [Mollov & Maltschev, 1996].

Luftblasen und Lufteinschlüsse erhöhen dagegen die Dichtedifferenz und vermindern die Stabilität. Die Vakuumentlüftung entfernt Luftblasen, vermindert den Sauerstoffgehalt und somit sowohl das Oxidationspotential, als auch die Dichtedifferenz zwischen den Trubstoffen und dem Serum [Kardos, 1979; Askar & Treptow, 1992].

Schliesslich soll auch die Zugabe von Ascorbinsäure bis zu 500 mg/kg Maische eine Bräunung und damit eine Pulpeoxidation verhindern [Strübi, 1976]. Zuviel Ascorbinsäure kann allerdings eine gegenteilige Folge haben, da die entstehende Dehydroascorbinsäure als aktive Vorläufersubstanz der nicht enzymatischen Bräunung gilt [Pilnik, 1973].

Abbildung 2 vermittelt nochmals einen Gesamtüberblick über die möglichen Einflussfaktoren auf die Trubstabilität eines pulpehaltigen Apfelsaftes.

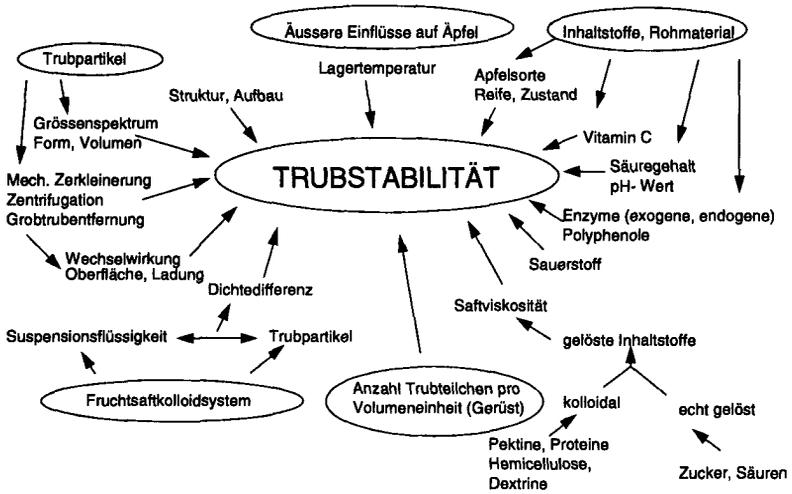


Abbildung 2: Einflussfaktoren auf die Trubstabilität eines pulpehaltigen Apfelsaftes

2.4. Reifung und Lagerverhalten von Äpfeln

In allen Arbeiten über die Herstellung naturtrüber und pulpehaltiger Apfelsäfte hat sich gezeigt, dass der Reifegrad des Rohstoffes einen entscheidenden Einfluss auf die Technologie und auf die Produktqualität ausübt [Strübi, 1976; Kardos, 1979; Stähle, 1989a; Pecoroni et al., 1996]. Dabei ist davon auszugehen, dass für die traditionelle Gewinnung von Presssaft einerseits und Apfelpulpe andererseits nicht dieselben Ansprüche an den Reifegrad gestellt werden. In beiden Fällen soll zwar das Aroma voll ausgebildet und das Zucker-Säure-Verhältnis optimal sein. Während beim Presssaft die Frucht den Saft möglichst gut lassen soll und damit die Mazeration nicht zu weit gehen darf, ist für die Pulpebereitung eine gute Zellseparierung und damit eine Erweichung der Frucht vorteilhaft.

Das Reifeverhalten von Äpfeln ist sehr sortenabhängig. Es ist zwischen Pflückreife und Genuss- oder Verarbeitungsreife zu unterscheiden, wobei die Zeitspanne zwischen den beiden Stadien bei den frühreifen Herbstsorten einige Tage, bei den Lagersorten einige Wochen beträgt [Kardos, 1979; Stoll, 1997]. Die stärksten und auch für die Saft- und Pulpeverarbeitung relevanten Veränderungen betreffen die Erweichung der Früchte, die durch molekulare Änderungen in der Mittellamelle verursacht wird [Aeppli, 1989]. Diese Veränderungen wurden von Eggenberger [1949] untersucht. Eine neuere umfassende Arbeit über den Einfluss von Reifung und Lagerung der Äpfel auf die Pektinfraktion liegt von Fischer [1993] vor. Im Wesentlichen muss man sich vereinfacht vorstellen, dass die Mittellamellenstruktur gelockert wird und das Pektin in Lösung geht.

Die Erweichung des Apfelgewebes lässt sich mit uniaxialer Kompression von Fruchtfleischproben verfolgen [Lapsley, 1989]. Dazu wurden zylinderförmige Proben herausgeschnitten und zwischen zwei Platten mit konstanter Vorschubgeschwindigkeit komprimiert. Lapsley [1989] unterscheidet je nach Bruchkraft oder Kraft bei 70% Kompression zwischen weichen, mittelfesten oder festen Apfelsorten. Dieselben Messungen können in der Praxis mit Handpenetrometern an der ganzen Frucht durchgeführt werden.

Die Art und Weise, wie das Gewebe bricht, deutet darauf hin, ob die Äpfel während der Lagerung mehlig werden oder knackig bleiben. In mehligem Äpfeln bricht das Gewebe entlang der Zellwände, das Gewebe zerfällt in einzelne oder Gruppen von intakten Zellen. In nicht mehligem Äpfeln bricht das Gewebe statistisch quer durch die Zellen [Lapsley et al., 1992].

Damit ist auch erklärt, weshalb der Reifegrad einen Einfluss auf die Eigenschaften eines durch Pressung gewonnenen Apfelsaftes oder einer durch Zerkleinerung hergestellten Apfelpulpe und damit auf die Viskosität und die Stabilität von naturtrüben Apfelsäften ausübt. Wird ein naturtrüber Apfelsaft aus noch unreifen, wenig erweichten Äpfeln gewonnen, ist die Teilchengrößen des Trubes erhöht. Gut ausgereifte Lageräpfel erzeugen Säfte mit hohem Gehalt an Trubstoffen und löslichem Pektin, was zu einer verbesserten Trubstabilität führt [Pecoroni et al., 1996].

Neben der Trubstabilität ist auch das Ausmass der enzymatischen Bräunung entscheidend für die Saftqualität. Die Bräunungsintensität ist abhängig vom verfügbaren Substrat das heisst vom Polyphenolgehalt, der in Mostobst höher liegt als in Tafelobst [Eggenberger, 1949; Lea, 1984] und von der Aktivität der Polyphenoloxidase. Die enzymatische Bräunung wird offensichtlich nicht nur von der Sorte, sondern auch vom Reifegrad beeinflusst [Lozano et al., 1994].

Äpfel gehören zu den klimakterischen Früchten, deren Atmungsintensität zunächst absinkt und dann durch endogen gebildetes Ethylen während der Lagerung wieder erhöht wird. Die Rate der Ethylenbildung wird durch den zur Zeit der Ernte erreichten Reifegrad stark beeinflusst. Methionin bildet den Precursor für die Synthese dieses ubiquitären Reifungshormons [Osterloh et al., 1996].

Bei der Lagerung von Äpfeln ist das Ziel, die Atmungstätigkeit der Frucht und die damit verbundenen Veränderungen zu senken. Neben der klassischen Kühllagerung, mit der Absenkung der Temperatur und Einstellung einer optimalen relativen Luftfeuchtigkeit wählt man heute fast ausschliesslich d.h. zu 95% die Lagerung in kontrollierter Atmosphäre (controlled atmosphere storage), kurz CA-Lagerung genannt [Höhn, 1988; Osterloh et al., 1996]. Im Vergleich zur Kühllagerung in Luft, wird die Sauerstoffkonzentration abgesenkt und die Kohlendioxidkonzentration erhöht; dies führt zur Verlangsamung der

Atmungstätigkeit und anderer Stoffwechselfvorgänge. Wird die Sauerstoffkonzentration sehr niedrig gehalten, spricht man von ULO-Lagerung (ultra low oxygen). Im ULO-Lager bleibt die Fruchtfleischfestigkeit der Äpfel sehr lange hoch. Allerdings ist als Nachteil eine geringere Aromabildung zu nennen.

Je grösser das Interzellularvolumen einer Frucht, das für die Versorgung der Zellen mit Sauerstoff sehr wichtig ist, desto grösser ihre Verträglichkeit gegenüber höheren Kohlendioxid- und niedrigeren Sauerstoffkonzentrationen in der Lagerraumatmosphäre. Das lufthaltige Hohlraumvolumen wird für Golden mit 16 bis 25 Vol %, für Glocken mit 21 Vol % und für Cox Orange mit 9.5 bis 19.5 Vol % angegeben. Bei Birnen betragen die Hohlraumvolumina höchstens 1 bis 3 Vol % [Osterloh et al., 1996]. Stoll [1997] nennt für Äpfel eine Streubreite von 16 bis 38 Vol % bei einem mittleren Wert von 25 Vol %.

2.5. Minimal Processing von Fruchtsäften

Steigende Ansprüche bezüglich der sensorischen Qualität von Fruchtsäften, die weder konzentriert, pasteurisiert sowie mit Zusatzstoffen konserviert wurden, führten vor allem in den USA zur Gleichsetzung von Qualität und Frische bei Citrussäften, insbesondere bei Orangensäften. „Minimal Processing“ Verfahren sind charakterisiert durch Haltbarmachungsverfahren, die die Frischeigenschaften eines Produktes gegenüber den Früchten aus denen sie gewonnen werden nur minimal oder gar nicht verändern. Die Herstellung von frisch gepressten, nicht pasteurisierten Säften ist vor allem von den Citrussäften her bekannt und unterliegt präzisen Produktionseigenschaften [Attaway et al., 1989]. Während der vorgesehenen Mindesthaltbarkeit solcher Produkte sollen keine Verderbsreaktionen ablaufen, die die Säfte ungenießbar machen. Die Gewährleistung der mikrobiologischen Stabilität gilt deshalb als vordringliche Aufgabe.

Das bei Citrussäften realisierte Konzept ist bei Kernobstsäften noch nicht umgesetzt. Für klare Kernobstsäfte bietet sich die Sterilfiltration an [Dürr & Schobinger, 1993]. Für pulpehaltige Apfelsäfte könnte man sich eine Sterilfiltration des Saftes und eine Tiefkühlagerung der Pulpe vorstellen. Beide Komponenten könnten dann vor der Verwendung gemischt werden.

Das Konzept des „Minimal Processing“ von Fruchtsäften ist seit jüngster Zeit von der hygienischen Sicherheit her zu überprüfen. In den USA wurden auf dem Markt nicht-pasteurisierte naturtrübe Apfelsäfte gefunden, die mit dem pathogenen Stamm von *E. coli*, O 157:H7, kontaminiert waren [Buchanan & Doyle, 1997]. Ob und unter welchen Voraussetzungen nicht behandelter trüber Apfelsaft in Zukunft auf dem Markt angeboten werden kann, wird sich zeigen.

3. Material und Methoden

3.1. Auswahl und Lagerung des Rohmaterials

Für die Vorversuche wurden die Mostobstsorten *Blauacher Wädenswil*, die Herbstsorte *Cox Orange* und die Lagersorten *Jonagold* und *Gloster* ausgewählt. In den Hauptversuchen wurden die drei Lagersorten *Golden Delicious* (abgekürzt als Golden), *Glockenapfel* (abgekürzt als Glocken) und *Maigold* einbezogen (alle Sortenbezeichnungen nach Aepli [1989]).

Die Versuche wurden in den drei aufeinanderfolgenden Ernteperioden 1994/95, 1995/96, 1996/97 durchgeführt. Die Äpfel derselben Sorte stammten aus jeweils derselben Parzelle im Versuchsbetrieb in Güttingen der Eidgenössischen Forschungsanstalt Wädenswil. Es wurden handverlesene Früchte der Klassierung 1 verwendet d.h. es gelangte ausschliesslich gesundes, reifes Obst zur Verarbeitung.

Für die meisten Versuche wurden die Äpfel nach der Kühllagertechnik bei 1 bis 2°C und 92% rF eingelagert. Ein kleiner Teil der Früchte unter kontrollierter Atmosphäre eingelagert (CA-Lagerung). Zur Entfernung von Kohlendioxid diente Aktivkohle als Adsorbens (Skrubber). Als Lagerbedingung wurden 0.5°C, 92 % rF, 4% Kohlendioxid und 2% Sauerstoff gewählt.

Für die Pulpe- und Saftgewinnung wurden jeweils Chargen von mindestens 30 kg am Vortag der Versuche ausgelagert, 16 h bei 20°C temperiert und innert 6 h bis zum Endprodukt verarbeitet.

3.2. Herstellung der Produkte

3.2.1. Gewinnung von Apfelpulpe als Zwischenprodukt

Die Gewinnung von Apfelpulpe ist in Abb. 3 schematisch dargestellt.

Die ganzen Äpfel wurden mit einer Schneidmaschine (Urschel Slicer, USA) mit einer Drehzahl von 120 rpm in 4 mm dicke Scheiben geschnitten, die in den Trichter einer Monopumpe (Typ: ST 421, Socsil, Ecublens, Schweiz) fielen und so möglichst kontinuierlich in einen zweistufigen Schabwärmetauscher (0.1 m² Austauscherfläche, 0.0014 m³ Leervolumen Thermalizer, Samesreuther-Müller-Schuss, Deutschland) gefördert. Die mit reduziertem Sattedampf von durchschnittlich 2 bar (121°C) und einer Schaberdrehzahl von 550 rpm betriebene Heizstufe, erwärmte das Produkt auf 80 bis 85°C, wobei die Verweilzeit 1 min nicht überstieg. Der C₁₀₀-Wert beträgt 0.25 bis 0.4 min, bei einem z-Wert von 20°C.

Zur Gewährleistung eines gleichmässigen Wärmeübergangs darf im Produkt keine turbulente Strömung entstehen. Bei Blasenbildung gibt es örtlich sehr unterschiedliche Wärmeübergänge und es kann zu Überhitzungen kommen.

Die Maische wurde in einem Heisshalterohr (0.001 m³) während 30 s auf 80 - 85°C gehalten und anschliessend in der Kühlstufe des Wärmetauschers (0.1 m² Austauscherfläche, 0.0014 m³ Leervolumen) bei einer Drehzahl von 265 rpm und einer Kühlwassertemperatur von 8°C auf 40°C gekühlt.

Bei einer Produkttemperatur von 40°C wurden Schalenteile, Stiele, Kerngehäuse und Samen abgetrennt und gleichzeitig das Fruchtfleisch durch ein Sieb von 1.5 mm Lochweite passiert (Pulper Finisher, Reeves Longsencamp, Indianapolis, USA). Die als Abfall anfallenden verholzten Teile wurden verworfen.

Statt eines Pulper Finishers wurde alternativ ein Hoegger Separator mit der gleichen Porung von 1.5 mm und einer Leistung von bis zu 2500 kg/h eingesetzt (Typ: S-920-FG, Hoegger, Flawil, Schweiz). Die als Passiersieb wirkenden Lochscheiben sind an den beiden Stirnseiten des Zylinders angebracht (Abb. 4). Dazwischen dreht ein scharfes Kreismesser. Die Maische wird über eine Schnecke in den Pumpenkopf einer Drehschieberpumpe und von dort in den Separierkopf gefördert. Das rotierende Kreismesser verdrängt die Pulpe axial zu beiden Seiten durch die Poren der Lochscheiben. Eine kontinuierlich gleichbleibende Qualität der gewonnenen Pulpe war garantiert. Die Ausbeute an Pulpe lag mit bis zu 98.5% sehr hoch. Die Äpfel können mit diesem Gerät auch im rohen Zustand zu Pulpe (sog. kaltgeriebenes Apfelmus) verarbeitet werden.

Für die Vorversuche wurde die Apfelpulpe bis zur weiteren Aufarbeitung in Aluminiumbeuteln bei -18°C gelagert.

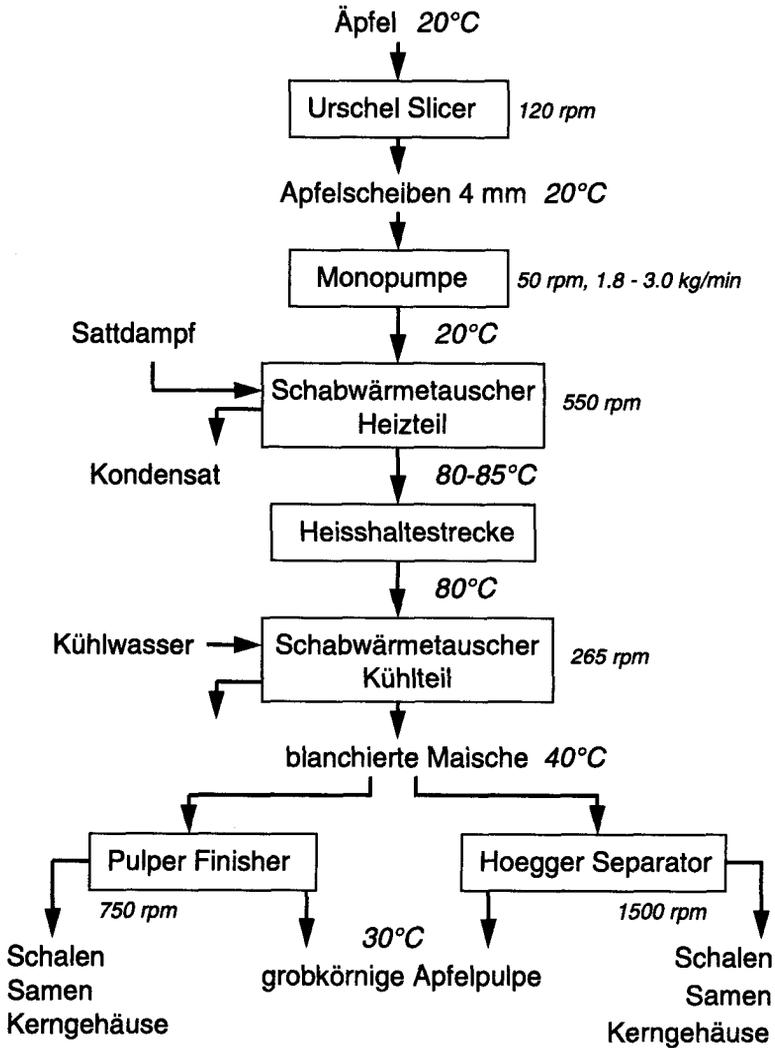
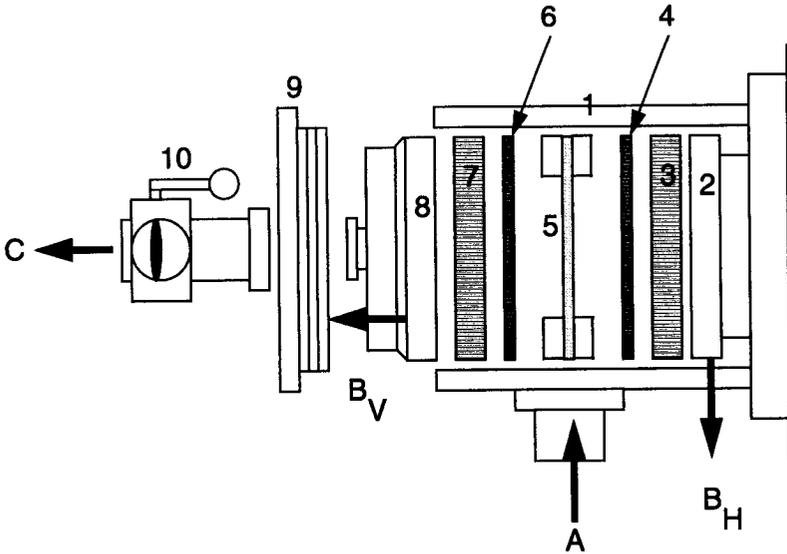


Abbildung 3: Fließschema zur Gewinnung von Apfelpulpe als Zwischenprodukt



- | | |
|------------------------------------|--|
| 1 Gehäuse | A Produkteingang von Pumpe |
| 2 Hintere Stützplatte | B _H Hinterer Produktausgang |
| 3 Hintere Lochscheiben Stützplatte | B _V Vorderer Produktausgang |
| 4 Lochscheibe | C Abfall |
| 5 rotierendes Messerrad | |
| 6 Lochscheibe | |
| 7 Vordere Lochscheiben Stützplatte | |
| 8 Vordere Stützplatte | |
| 9 Ringmutter | |
| 10 Kugelhahn Ventil | |

Abbildung 4: Separationskopf eines Hoegger Separators Typ S-920-FG

3.2.2. Verarbeitung der Apfelpulpe zu pulpehaltigem Apfelmischsaft

Die Verarbeitung von Apfelpulpe zu pulpehaltigem Apfelmischsaft ist in Abb. 5 schematisch dargestellt.

In einem ersten Schritt wurde die nach Kap. 3.2.1. gewonnene Apfelpulpe durch einen Mahlschritt weiter verfeinert. Dazu wurde eine kreuzverzahnte Zahnkolloidmühle (Typ: MZ/70-180, Fryma, Rheinfelden, Schweiz) verwendet. Als Alternative wurde eine Korundscheibenmühle desselben Herstellers (Typ MK/95-200) eingesetzt. Die Mahlung mit der Zahnkolloidmühle erfolgt unter einem Druck von 1.2 bar, einem engen Spaltabstand von 500 µm und einer Rotordrehzahl von 3000 rpm.

Die Pulpe wurde anschliessend mit Apfelsaft in unterschiedlichen Verhältnissen vermischt. Aus Gründen der Vergleichbarkeit der einzelnen Varianten, wurde der Apfelsaft durch Rückverdünnen von klarem Apfelsaftvollkonzentrat (12° Brix) hergestellt.

Die während der Vermahlung und Mischung in das Produkt eingetragenen Luftblasen wurden in einem Vakuumentlüfter (Typ: LVE/B, Fryma, Rheinfelden, Schweiz) entfernt. In dieser Anlage wird das Produkt auf einen perforierten, mit 3000 rpm drehenden Schleuderteller geleitet und an die Innenseite des bei 100 mbar unter Vakuum stehenden Gefässes geschleudert. Durch den Aufprall lässt sich der Apfelmischsaft fein verteilen, so dass die Luft entweichen kann.

Nach dem Entlüften wurde dem Apfelmischsaft die auf den Konzentratteil berechnete Menge Apfelaromakonzentrat zugegeben.

Das entlüftete Produkt wurde mit einem Kolbenhomogenisator (Typ LAB 60/105-6 TBSX, Gaulin Alfa Laval, Lübeck, Deutschland) homogenisiert. Es standen zwei formidentische aus Keramik und V4A-Stahl gefertigte Homogenisierventile mit planparallelen Ventilflächen zur Verfügung. Ein asymmetrischer Spalt würde zu starkem Verschleiss und somit zu einer

signifikant unregelmässigen Homogenisation führen. Der pulpehaltige Apfelmischsaft wurde mit 200 bar Druck homogenisiert. Die schmale messerkantenähnliche Ausführung der wirksamen Fläche des Ventilsitzes sorgt für eine gleichmässige Geometrie des Radialspalts. Über den gesamten Ventulumfang wird eine örtlich gleichbleibende Leistungsdichte erreicht. Der Durchmesser muss auf Druck und Durchsatz abgestimmt sein. Bei gleichmässigem Volumenstrom wird eine homogene Produktbeanspruchung erreicht. Durch den schlagartigen Druckabfall unmittelbar nach dem Durchtritt durch den Ringspalt sorgen Scher- und Kavitationskräfte für die mechanische Zerkleinerung der Fruchtfleischteilchen.

Der pulpehaltige Apfelmischsaft wurde in 0.5 l Grünglasflaschen abgefüllt, mit Kronkorken von 29 mm Durchmesser verschlossen und in einem Rieselpasteur (Verzinkerei Zug AG) pasteurisiert. Die Pasteurisationsbedingungen wurden wie folgt gewählt: Aufheizen in 20 min von 20°C auf 80°C, Heisshalten 15 min bei 80°C, Abkühlen von 80°C auf 20°C in 20 min. Diese Pasteurisationsbedingungen ergaben einen P_{80}^{10} -Wert von 26 bis 28 min.

Die pasteurisierten Flaschen wurden anschliessend bei 2°C bis zur weiteren Analyse gelagert.

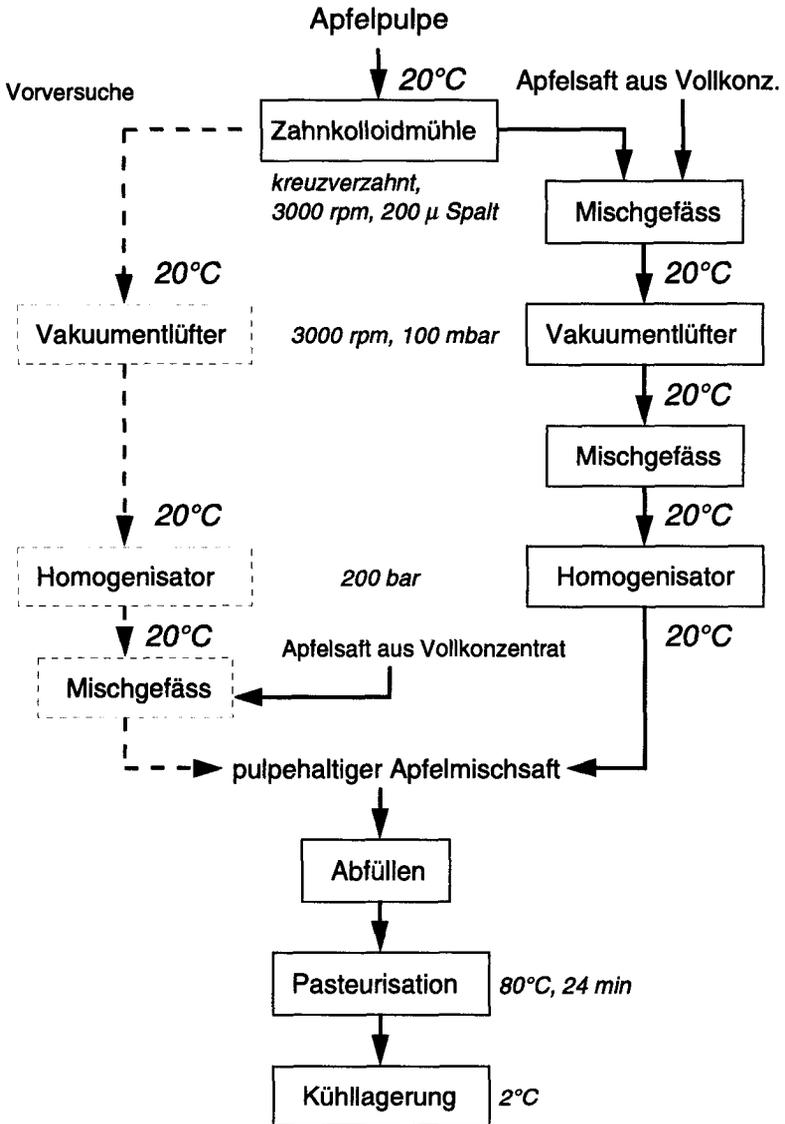


Abbildung 5: Fließschema zur Herstellung von pulpehaltigem Apfelmischsaft.

3.2.3. Verarbeitung der Apfelpulpe zu dekantiertem pulpehaltigem Apfelsaft

Die Verarbeitung der Apfelpulpe zu dekantiertem pulpehaltigem Apfelsaft ist in Abb. 6 schematisch dargestellt.

Als Alternative zur Verfeinerung der nach Kap. 3.2.1. gewonnenen Pulpe mit Mahlung und Mischung von Saft und Homogenisation wurde die Abtrennung einer ganz bestimmten Grobtrubfraktion aus der Pulpe mit einer Dekanterzentrifuge geprüft. Dabei wurde der Dekanter nicht auf maximale Klärung, sondern auf Klassierung eingestellt, damit ein Teil des zerkleinerten Fruchtfleisches gleichmässig verteilt im Saft verbleibt.

Durch die Wahl entsprechender Produktionsparameter werden die unerwünschten Fruchtbestandteile mit hohem Trockensubstanzgehalt selektiv ausgeschleudert.

Es wurde ein Dekanter vom Typ CA 150-01-33 der Firma Westfalia, Oelde, Deutschland (Abb. 7) eingesetzt. Dabei handelt es sich um eine horizontal gelagerte Schnecken-zentrifuge mit zylindrisch konischer Vollmanteltrommel für die kontinuierliche Abscheidung von Feststoffen aus Suspensionen. Die Apfelpulpe wird durch das zentral angeordnete Einlaufrohr in den Mantel geleitet, gelangt durch Öffnungen in den Separationsraum der Trommel und wird auf Betriebsdrehzahl beschleunigt. Durch Einwirkung der Zentrifugalkraft setzen sich die Feststoffe in kürzester Zeit an der Trommelwand ab. Die mit einer etwas grösseren Drehzahl als der Trommelmantel rotierende Schnecke fördert den ausgeschleuderten Feststoff kontinuierlich zum Konus der Trommel. Man spricht von der Differenzdrehzahl, die bei den meisten Versuchen 20 rpm betrug. Eine grosse Differenzdrehzahl führt zu einer hohen Restfeuchte im Produkt, den sogenannten pasteusen Feststoffen. In der Entfeuchtungszone wird der Feststoff, bedingt durch die konische Form der Trommel aus der Flüssigkeit gehoben und durch die Zentrifugalkraft von anhaftender Flüssigkeit befreit. Am Ende der Trommel wird der Feststoff durch Öffnungen im Trommelmantel in die Fangkammer des Gestells geschleudert und durch den Feststoffschacht ausgeworfen. Die Flüssigkeit strömt zwischen den Schneckenwendeln dem zylindrischen Trommelende zu. Auf dem Weg durch die Klärzone werden die noch in der Flüssigkeit verbliebenen leichten

Verunreinigungen durch Zentrifugalkraft ausgeschleudert und von der Schnecke zum Feststoffaustrag gefördert. Die Flüssigkeit verlässt den Separationsraum über eine Regulierringe mit einstellbarem Übertrittsdurchmesser. Ein grosser Innendurchmesser der Regulierringe (max 140 mm) ergibt eine lange Entfeuchtungszone mit guter Entfeuchtung und einer kurzen Klärzone. Bei einem kleinen Innendurchmesser (92 mm) verhält es sich umgekehrt. Hohe Trommeldrehzahlen begünstigen im allgemeinen die Klärung und Trennung.

Die dekantierten pulpehaltigen Säfte wurden mit einer Drehzahl von 6200 rpm und einer Differenzdrehzahl von 20 rpm bei einem Innendurchmesser der Regulierringe von 98 mm hergestellt. Der ausgetragene Feststoff wurde zur Ausbeutebestimmung gewogen und verworfen.

Der dekantierte pulpehaltige Apfelsaft wurde ohne weitere Verdünnung in 0.5 L Flaschen gefüllt, wie in Kap. 3.2.2. beschrieben pasteurisiert und anschliessend bei 2°C gelagert.

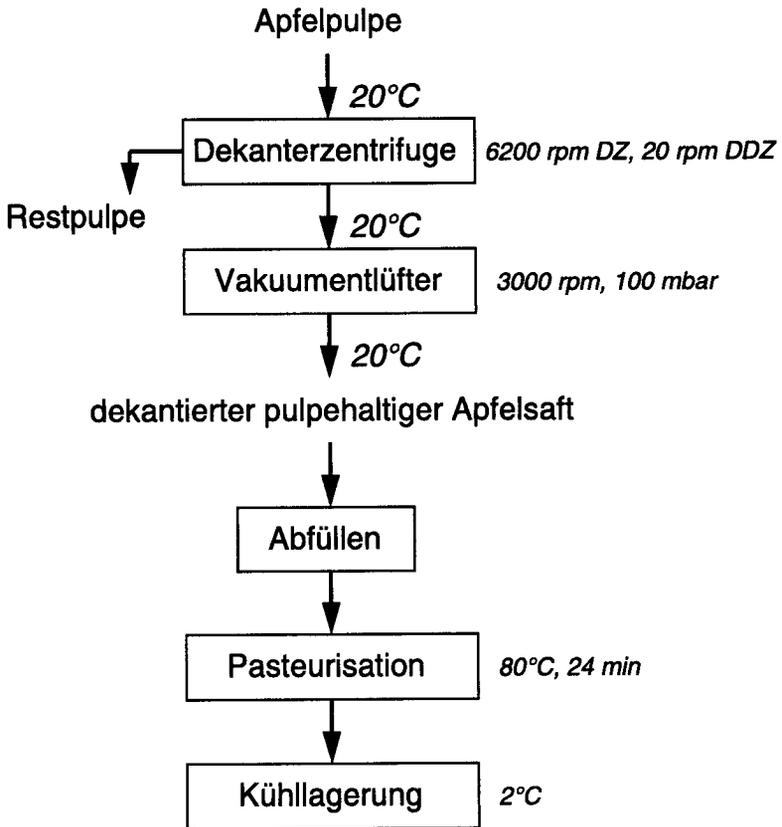


Abbildung 6: Fließschema zur Herstellung des dekantierten pulpehaltigen Apfelsaftes.

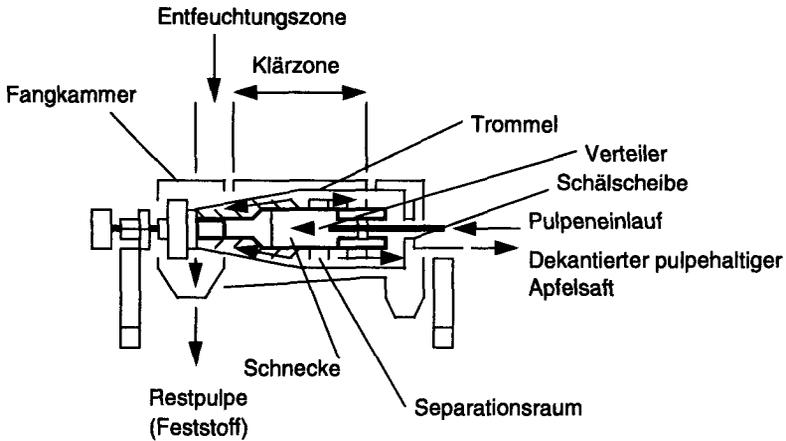


Abbildung 7: Westfalia CA-150-01-33 Versuchsdekanter

3.2.4. Herstellen von trübem Apfelpresssaft

Als Vergleich zur Herstellung von pulpehaltigem Apfelmischsaft bzw. dekantiertem pulpehaltigem Apfelsaft wurden parallel aus Äpfeln derselben Chargen ungeschönte, trübe Presssäfte hergestellt. Je 22 kg Äpfel wurden auf einer hydraulischen Kleinpackpresse (Typ TPZ 7, Bucher, Niederweningen, Schweiz) bei einem Pressdruck von 9.81 bar und einer Presszeit von 5 bis 7 min abgepresst. Der abgepresste trübe Saft wurde 2 h stehen gelassen, und anschließend in 0.5 L Grünglaskronkorkflaschen abgefüllt. Die Pasteurisation und die Lagerung erfolgte wie in Kap. 3.2.2. beschrieben.

3.3. Methoden zur Charakterisierung der Produkte

3.3.1. Extraktgehalt

Der Gesamtextraktgehalt in den Apfelsäften wurde mit einem Tischrefraktometer (WESO, Tokyo) bei 20°C gemessen und in °Brix angegeben.

3.3.2. Gesamttrockensubstanzgehalt

10 g der Saft- und Pulpeproben wurden im Exsikkator getrockneten Petrischalen aus Glas eingewogen. Nach dem gleichmässigen Ausstreichen in der Petrischale wurde im Trockenschrank (Salvis) bei 70°C, während 14 h sorgfältig vorgetrocknet. Im Vakuumtrockenschrank (Salvis) wurde bei 60 mbar Unterdruck und 60 °C während 6 h zu Ende getrocknet. Die Petrischalen wurden bis zum Abkühlen auf Zimmertemperatur im Exsikkator gehalten, gewogen und aus der Gewichts Differenz der Trockensubstanzgehalt berechnet.

3.3.3. pH-Wert

Der pH-Wert wurde mit einer pH-Elektrode (Metrohm Digital E 532, Herisau, Schweiz) bei 20°C gemessen. Vor jeder Messreihe wurde das pH-Meter mit Eichlösungen für pH = 4.0 und pH = 7.0 geeicht.

3.3.4. Gehalt an titrierbarer Gesamtsäure nach Tanner & Brunner, [1979]

Die Titration der kohlenstofffreien Saftprobe erfolgte potentiometrisch mit verdünnter Natronlauge bei 20°C. 10 mL Saft wurde in einem 50 mL Becherglas mit 10 ml destilliertem Wasser verdünnt und unter ständigem Rühren bis zu einem pH-Wert von 8.1 titriert. Der Verbrauch an 0.1 N Natronlauge in mL multipliziert mit dem Faktor 0.67 ergibt den Gesamtsäuregehalt der Probe berechnet als Apfelsäure. Beim pH-Wert von 8.1 gilt die Titration als vollständig; es ist keine freie Apfelsäure mehr vorhanden.

3.3.5. Fruchtfleischfestigkeit

Die Fruchtfleischfestigkeit der Äpfel wurde mit einem Texturmessgerät Stable Micro Systems SMS TA - XT2 (Texture Analyser, Surrey, England) gemessen. Die Schale der Äpfel wurde an der Messstelle vor der Messung dünn entfernt. Ein im Durchmesser 11 mm dicker runder Stempel dringt mit einer konstanten Geschwindigkeit von 400 mm pro Minute auf einer Strecke von 8 mm Länge ins Apfelfruchtfleisch ein. Es wurde die maximale Kraft bei der Eindringung von 8 mm gemessen. Bei den Lagerversuchen wurden die Äpfel alle 2 Wochen einer Messung unterzogen. Dazu wurden die Früchte jeweils 8 h vor der Messung dem Kühlraum (1-2°C) entnommen. Die Fruchtfleischtemperatur betrug bei allen Messungen 10 °C. Die abgebildeten Werte sind Mittelwerte aus 14 Messungen von 7 Früchten. Es wurde immer auf der Schattseite und der Sonnseite des Apfels eine Messung gemacht.

3.3.6. Trübungswert

Der Trübungswert der Saftprodukte wurde mit einem Infrarotabsorptionsmessgerät Monitek Typ 22/135 der Firma PROSE AG, Berikon, Schweiz, gemessen. Die Wellenlänge des Transmissionslichts betrug 950 nm, liegt also im Infrarotbereich. Zur Messung wurde eine 58 mm Rundküvette verwendet. Der vom Gerät angegebene Zahlenwert entspricht dem Verdunkelungswert in % der Probe. Mit dem Faktor 20 multipliziert ergibt dies den Trübungswert in Trübungseinheiten TE bezogen auf Formazin F (TE/F nach DIN 38404 C2). Dieser Trübungswert gilt als Formazintrübungsstandard und findet breite Anwendung in der Fruchtsaftindustrie.

Das Gerät wurde vor jeder Messreihe mit einer Trübungseichlösung geeicht. Die Stammlösung wird als 1 : 1 Mischung aus einer 10 % igen Lösung Hexamethyltetramin $C_6H_{12}N_4$ (Merck Art. 4343) und einer 1%igen Lösung Hydraziniumsulfat $N_4H_6SO_4$ (Merck Art. 4603), hergestellt. Nach dem Rühren während 24 h wird die Stammlösung mit destilliertem Wasser verdünnt und für die Eichung auf den Trübungswert von 2000 TE/F verwendet.

3.3.7. Fließverhalten und Scherviskosität

Die Viskosität der Produkte wurde mit einem Koaxialzylinder Rotationsviskosimeter Rheomat 30 der Firma Contraves, Zürich, bestimmt. Es wurde das Messsystem A-Ee A mit einer Spaltbreite von 1.3 mm eingesetzt. Das Messsystem wurde samt Probe bei 20°C während 15 min thermostatisiert. Die Messung wurde bei 20°C mit einer Probenmenge von 120 mL durchgeführt. Es wurden Fließkurven im Geschwindigkeitsgefällebereich zwischen 0.09 und 660s⁻¹ aufgenommen. Zur Beschreibung der Konsistenz der Proben wurden die dynamischen Scherviskositäten bei einem Geschwindigkeitsgefälle von 77.1s⁻¹ bestimmt.

3.3.8. Mikroskopie und Partikelgrößenverteilung

Die Größenverteilung der Trub- und Pulpeteile wurde mit Mikroskopie und Bildanalyse bestimmt. Bei der Probenaufbereitung handelt es sich um eine eigens entwickelte Methode.

Die Saftproben wurden in einem 15 mL Reagenzglas 1:1 mit destilliertem Wasser verdünnt und gut durchmischt. Mit einer Einwegpasteurpipette aus Kunststoff wurde ein Tropfen Probe auf den Objektträger gegeben, mit einem Tropfen destilliertem Wasser verdünnt und mit einem Tropfen Methylenblaulösung gefärbt. Die Spitze der Pipetten wurde weggeschnitten, damit auch die grossen Trubpartikel die Mündung passieren konnten. Ein Deckglas der Grösse 24 x 18 mm diente zur Abdeckung. Über einen Monokulartubus eines Nikon Photomikroskopes wurden mit der Kamera (Nikon F 601) Schwarzweissbilder vom Format 10x15 cm gemacht. Als Filmmaterial dienten Schwarzweissfilme der Marke Ilford FP 4 Plus, Delta 400 und Pan F 50. Die Bilder wurden über einen Hewlett Packard Scanner Typ Scan Jet II c ADF in die für die Bildanalysen verwendete Software eingelesen. Sie wurden im Modus Schwarzweissphoto mit 256 Graustufen und doppelt geschärft analysiert. Folgende Kriterien waren bei der Auswertung der lichtmikroskopischen Bilder zu beachten:

- unvollständig abgebildete Partikel am Rand des Bildes wurden nicht in die Analyse einbezogen.
- Hohlräume inmitten der Partikel wurden als Fläche mitberücksichtigt
- von sich überlappenden Partikel hatten diejenigen in der obersten Bildebene Priorität

Es mussten zwischen 500 und 1000 Teilchen ausgemessen werden, um ein statistisch repräsentatives Resultat für die Gesamtprobe zu erhalten.

3.3.9. Trub- und Pulpestabilität

In den Vorversuchen hergestellte pulpehaltige Apfelmischsäfte wurden in einem 100 ml Standzylinder auf die Pulpestabilität untersucht. Die stabile Pulpe wird in Prozent der totalen Menge angegeben.

Die bei 2°C gelagerten, pasteurisierten Flaschen der Versuchsserie mit Apfellagerung wurden alle 3 Wochen von Auge nach der Trub- und Pulpestabilität beurteilt. Dazu wurde die Entmischungsgrenze in mm vom Flaschenboden her ausgemessen. Die totale Flaschenhöhe beträgt 180 mm.

3.3.10. Zentrifugierbares Sediment

In 50 ml Zentrifugengläser wurden jeweils 45 g Saft eingewogen und in einem Tragringrotor (Typ 3360) mit 31 cm Durchmesser gestellt. Mit einer Heraeus Megafuge 1.0 wurde bei einer Beschleunigung von 6240 x g während 15 min zentrifugiert. Der leicht trübe Überstand wurde abgossen und gewogen. Die Differenz in Gewichtsprozenten zur total eingewogenen Saftprobe ergibt die zentrifugierbare Pulpemenge bei 20 °C. Die Pulpemenge wird als Sediment bezeichnet.

3.4. Sensorische Analyse

Eine Prüfergruppe von 13 Frauen und 19 Männer, alles Mitarbeiter der Eidgenössischen Forschungsanstalt Wädenswil, die nach Interesse und Verfügbarkeit ausgewählt wurden, nahmen im Juni 1997 innerhalb von 14 Tagen an der sensorischen Beurteilung von 18 verschiedenen Proben teil.

In einer Vordegustation evaluierten Prüfpersonen neun Attribute, mit welchen die Apfelsäfte beschrieben wurden. Das Panel wurde sodann in einer Session auf die folgenden neun aussagekräftigsten Attribute geschult: Trüb, fruchtig, grasig, Apfelmus (oxidiert, Kochgeschmack), süss, sauer, herb, viskos und sandig.

Für die Hauptversuche wurden unstrukturierte Linienskalen von total 150 mm Länge verwendet. Die beiden Ankerpunkte befanden sich links für „schwach“ und rechts für „extrem“ auf der Linie im Abstand von 100 mm voneinander und jeweils 25 mm von beiden Enden entfernt.

Es wurden Referenzproben für die beiden Ankerpunkte aller neun Attribute gegeben und bei jeder Degustation mitgeliefert. Diese wurden für jede Degustation neu hergestellt und im Kühlraum bei 4°C gelagert.

30 mL Saft wurde in durchsichtige Kunststoffbecher (Pacovis, Stetten, Schweiz) eingeschenkt und bei Raumtemperatur durch jedes Panelmitglied, in Testboxen bei Tageslicht degustiert. Pro Session wurden neun verschiedene Proben beurteilt. Zwischen den einzelnen Proben wurde der Mund mit bereitgestelltem Wasser gespült.

Die 18 Apfelsäfte wurden von jedem Panelmitglied in total 4 Sessionen zweimal degustiert, wobei die Probenauswahl, die Probenreihenfolge und die Wiederholungen nach dem Probendesign William Latin Square [Schlich, 1993] vorgenommen wurde.

Die Datenanalysen erfolgten nach der Systat Version 7.0. Als Varianzanalyse diente ein gemischtes Modell, wobei der Prüfer als zufälliger Faktor und die Technologie, die Apfelsorte und die Lagerdauer als feste Faktoren behandelt

wurden. Jedes der neun Attribute wurde in eine Fünfweg-Varianzanalyse einbezogen (Prüfer, Wiederholung, Apfellagerung, Technologie & Apfelsorte). Zusätzlich wurde eine multifaktorielle Analyse in der Form der Hauptkomponenten Analyse (PCA) durchgeführt. Zur Analyse wurde eine Korrelationsmatrix verwendet. Es wird die Linearkombination mit maximaler Streuung berechnet. Jede Linearkombination entspricht einer Hauptkomponente. Ziel ist ein möglichst hoher Anteil an erklärter Varianz bei möglichst geringem Informationsverlust. Der Datensatz kann mit diesem Verfahren auf zwei Dimensionen reduziert werden.

4. Resultate und Diskussion

4.1. Entwicklung und Beurteilung der einzelnen Schritte der Herstellung pulpehaltiger Apfelsäfte

4.1.1. Wahl des Rohmaterials

Der Wahl des Rohmaterials kommt insofern eine bedeutende Rolle zu, als dass mit Ausnahme von Schalen, Kerngehäusen und Samen die ganze Frucht zu einer Pulpe verarbeitet wird. Mostobstsorten, die in erster Linie als Sorten zur Saftgewinnung gezüchtet wurden, sind für die Herstellung von Apfelpulpen im Gegensatz zu Tafelobstsorten ungeeignet. Gut ausgereiftes Tafelobst liefert die gewünschte Apfelpulpenqualität zur Herstellung fruchtfleischhaltiger Apfelsäfte. Der Reifegrad des Rohstoffes hat einen entscheidenden Einfluss auf die Pulpequalität und die Technologie bei der Verarbeitung zu pulpehaltigen Apfelsäften. Gut ausgereifte Äpfel erzeugen höhere Ausbeuten an Pulpe mit deutlich besseren Stabilitätseigenschaften der Apfelpulpe. Die Einzelheiten zu den Einflüssen des Reifegrades werden in Kapitel 4.2. besprochen.

4.1.2. Gewinnung von Apfelpulpe als Zwischenprodukt

Blanchieren

Das Blanchieren hat die wichtige Funktion, die Apfelpulpe einerseits durch Enzyminaktivierung zu stabilisieren und andererseits die Texturerweichung der ausgereiften Früchte für den nachfolgenden Passierschritt nochmals zu fördern. Die Enzyminaktivierung betrifft vornehmlich die Polyphenoloxidase, welche die enzymatische Bräunung verursacht und sich nachteilig auf die Pulpestabilität der pulpehaltigen Apfelsäfte auswirkt. Mitzuberücksichtigen ist die Inaktivierung weiterer endogener Enzyme wie die der Pektinasen, die durch Einwirkung auf die Struktur des Fruchtfleischgewebes einen negativen Einfluss auf die Pulpestabilität ausüben.

Durch das Blanchieren der Maische werden nicht nur die Enzyme inaktiviert, sondern auch die Löslichkeit des Sauerstoffs in der Maische gesenkt. Dies hat

zur Folge, dass der Sauerstoff als Substrat der oxidativen Vorgänge mindestens zum Teil ausgetrieben und dadurch entfernt wird.

Schliesslich wird durch die thermische Behandlung der zerkleinerten Früchte eine Texturerweichung erzielt, die für den nächsten Verfahrensschritt, das Passieren, vor allem bei weniger gut ausgereiften Früchten von Bedeutung ist. Es wird dadurch möglich eine Phasentrennung fest-flüssig in der Pulpe praktisch auszuschliessen.

Passierschritt

Mit der Trennung der verholzten Fruchtanteile vom restlichen Fruchtfleisch soll eine gute Pulpequalität bei gleichzeitig hoher Ausbeute erreicht werden. Es wurden die zwei verschiedenen Passiergeräte Pulper Finisher und Hoegger Separator eingesetzt. Beide wurden mit Sieben derselben Lochgrösse von 1.5 mm betrieben. Beim Hoegger Separator schwankte die Ausbeute zwischen 97% und 99% in sehr engen Grenzen. Hier werden die verholzten Teile kontinuierlich ausgestossen, ohne dass es zu Verstopfungen kommt. Beim Pulper Finisher lagen die Werte je nach Reifegrad der zur Verarbeitung gelangenden Äpfel zwischen 86% und 96%.

Die Qualität der mit den zwei Systemen gewonnenen Pulpe war identisch. Der Entscheid zum Einsatz des Pulper Finishers für die weiteren Versuche ist darin begründet, dass dessen Leistung besser auf den Pilotmassstab des Verarbeitungsprozesses abgestimmt war.

4.1.3. Herstellung von pulpehaltigem Apfelmischsaft

Feinmahlen und Homogenisieren der Pulpe

Der Mahlschritt zur Feinmahlung der grobkörnigen Apfelpulpe wurde wahlweise mit einer Korundscheibenmühle (KSM) und mit einer Zahnkolloidmühle (ZKM) durchgeführt. Da das gemahlene Produkt noch eine ungenügende Feinheit aufwies, wurde gleich anschliessend eine Hochdruck-Homogenisierung durchgeführt. Die groben Fruchtfasern werden durch die Homogenisation zerkleinert, und die spezifische Oberfläche wird vergrössert. Oft wird nur ein Auffasern d.h. ein Fillibrieren der Faserenden angestrebt, um das Wasser-

bindungsvermögen und damit die Scherviskosität der Suspension zu erhöhen. Eine Möglichkeit, den Einfluss des Zerkleinerns auf die Pulpeeigenschaften zu beschreiben, besteht in der Messung der Viskosität der verfeinerten Apfelpulpe. In Tabelle 4 fasst die Viskositätswerte verschiedener Apfelpulpen zusammen, die verschieden gemahlen und homogenisiert wurden.

Tabelle 2: Einfluss der Feinmahlung (Zahnkolloid vs. Korundscheibenmühle) und der Homogenisation (Druck; Stahl vs. Keramikventil) auf die dynamische Viskosität von Apfelpulpen.

	Viskosität η [Pas] bei $D = 142.5 \text{ s}^{-1}$							
	100 bar		150 bar		200 bar		350 bar	
	Stahl	Keramik	Stahl	Keramik	Stahl	Keramik	Stahl	Keramik
Zahnkolloidmühle								
Cox Orange	-	-	-	-	1.3	1.1	0.8	0.8
Maigold	-	-	0.8	0.8	0.7	0.7	-	-
Jonagold	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.6	-	-
Golden Delicious	1.2	1.2	1.1	1.0	0.9	1.0	-	-
Korundscheibenmühle								
Cox Orange	-	-	-	-	1.5	1.3	1.1	0.8
Maigold	-	-	0.9	0.9	0.8	0.7	-	-
Jonagold	1.3	1.0	1.0	0.8	0.8	0.6	-	-
Golden Delicious	0.9	1.2	0.8	1.2	0.6	0.9	-	-

Pulpegehalt und Verdünnen

In Vorversuchen wurde die Stabilität von Mischungen von Apfelpulpe mit klarem Apfelsaft in unterschiedlichen Mischverhältnissen geprüft. Im Stabilitätstest wurden Mischungen in 100 mL Messzylindern gefüllt. Dieser Test zeigt auf einfache Art, wie stabil die im klaren Apfelsaft suspendierten Trub- und Pulpeteilchen sind. In den Vorversuchen wurden Mischungen aus den Apfelsorten Cox Orange (Tabelle 3), Golden (Tabelle 4), Gloster (Tabelle 5) und Maigold (Tabelle 6) geprüft. Bei diesen Versuchen stellte sich heraus, dass die Sedimentation nach 6 Tagen abgeschlossen war. Aus diesen Ergebnissen ist ersichtlich, dass der Pulpegehalt hoch, aber wegen Erhaltung guter Fliesseigenschaften nicht über 50% eingestellt werden darf. 200 bar stellte sich bei 50% Pulpegehalt als der optimale Homogenisierdruck heraus. Die Stabilität der pulpehaltigen Apfelmischsäfte nimmt nach Sorten gegliedert in folgender

Reihenfolge zu: Gloster, Cox Orange, Maigold und Golden. Golden lieferte mit 88 bis 90 mL stabilen Trubes die mit Abstand pulpefestesten Säfte; Gloster mit 74 bis 80 mL stabilem Trub die am wenigsten stabilen Säfte bei 50% Pulpegehalt.

Tabelle 3: Einfluss des Pulpegehaltes auf die Stabilität von Cox Orange Pulpe in Apfelsaft bei verschiedenen Vermahlungen und Homogenisationen.

Homogenisier- druck [bar]	Pulpe im Saft [%]	Stabiler Trub in 100g Saft [ml]			
		ZKM		KSM	
		Stahl	Keramik	Stahl	Keramik
100	5	14	16	17	17
	10	27	32	28	32
	30	70	70	53	76
	40	85	87	74	86
200	5	17	17	17	18
	10	32	30	32	32
	30	74	65	54	71
	40	84	80	74	82
350	5	17	17	17	18
	10	33	28	33	33
	30	68	63	57	71
	40	80	74	76	80

ZKM = Zahnkolloidmühle

KSM = Korundscheibenmühle

Stahl, Keramik = Werkstoff des Homogenisierventils

Tabelle 4: Einfluss des Pulpegehaltes auf die Stabilität von Golden Delicious Pulpe in Apfelsaft bei verschiedenen Vermahlungen und Homogenisationen.

Homogenisier- druck [bar]	Pulpe im Saft [%]	Stabiler Trub in 100g Saft [ml]			
		ZKM		KSM	
		Stahl	Keramik	Stahl	Keramik
100	10	30	32	34	34
	30	66	74	77	75
	40	82	83	85	85
	50	88	89	90	91
	60	96	95	100	95
150	10	-	-	37	35
	30	74	71	77	75
	40	82	84	85	82
	50	87	89	90	91
	60	-	-	-	-
200	10	-	-	-	-
	30	74	75	73	75
	40	82	90	80	87
	50	89	85	88	88
	60	-	-	95	-

Tabelle 5: Einfluss des Pulpegehaltes auf die Stabilität von Gloster Pulpe in Apfelsaft bei verschiedenen Vermahlungen und Homogenisationen.

Homogenisier- druck [bar]	Pulpe im Saft [%]	Stabiler Trub in 100g Saft [ml]			
		ZKM		KSM	
		Stahl	Keramik	Stahl	Keramik
100	10	22	21	21	20
	30	57	57	56	55
	40	70	68	69	67
	50	-	-	80	77
200	10	22	23	17	-
	30	58	52	32	59
	40	68	66	54	70
	50	-	-	74	78
350	10	20	23	23	-
	30	55	53	59	55
	40	64	66	68	67
	50	-	-	77	76

Tabelle 6: Einfluss des Pulpegehaltes auf die Stabilität von Maigold Pulpe in Apfelsaft bei verschiedenen Vermahlungen und Homogenisationen.

Homogenisier- druck [bar]	Pulpe im Saft [%]	Stabiler Trub in 100g Saft [ml]			
		ZKM		KSM	
		Stahl	Keramik	Stahl	Keramik
100	10	31	29	27	28
	30	72	68	69	71
	40	77	79	78	81
	50	88	86	85	87
150	10	27	28	-	-
	30	68	69	69	70
	40	79	73	75	80
	50	84	86	83	86
200	10	-	-	-	-
	30	71	64	57	67
	40	80	78	75	80
	50	84	83	80	87

Teil- & Vollhomogenisation (Zeitpunkt der Homogenisation)

In einem weiteren Versuch wurde der Einfluss der Homogenisation vor und nach dem Verdünnen der Apfelpulpe mit Apfelsaft untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 7 aufgeführt. Die Homogenisation der Pulpe vor dem Verdünnen wurde als Teilhomogenisation, die Homogenisation nach dem Mischen mit Apfelsaft als Vollhomogenisation bezeichnet.

Das Verdünnen der Pulpe mit Apfelsaft senkt die pro Volumeneinheit enthaltenen Teilchen, womit sich beim Homogenisieren der Energieeintrag pro Teilchen erhöht. Dadurch steigt der mechanische Zerkleinerungseffekt. Wird eine Verdünnung der Pulpe auf einen Pulpeanteil von weniger als 50% Pulpe gewählt, konzentriert sich der Energieeintrag auf noch weniger Teilchen. Der pulpehaltige Apfelmischsaft ist bei tiefem Pulpegehalt viel druckempfindlicher. Durch die starke mechanische Beanspruchung infolge hohem Behandlungsdruck wird der stabile Zustand gar nicht erreicht. Der homogenisierte Saft klärt aus. Die Druckempfindlichkeit der pulpehaltigen Apfelmischsäfte steigt mit abnehmendem Faseranteil.

Wenn die suspendierten Trubteilchen bei einem Druck von 200 bar homogenisiert wurden, reduzierte eine Homogenisation die Scherviskosität der feingemahlene Pulpe durchschnittlich um den Faktor 6. Eine neunfache Homogenisation bei konstantem Druck von 200 bar hatte gegenüber einer einfachen Behandlung bei gleichem Druck keine verbesserte Wirkung. Die stabilisierenden Hydrokolloide werden teilweise zerstört. Im Zuge dieser negativen Veränderung reduzierte sich die Scherviskosität bei einem Pulpegehalt von 50% um den Faktor 2.

Eine einfache Homogenisation hat also nach dem Feinmahlen der noch grobkörnigen Pulpe die grösste Reduzierung der Viskosität zur Folge.

Tabelle 7: Einfluss des Zeitpunktes der Homogenisation und des Homogenisierdruckes auf die Stabilität der Golden Delicious Pulpe im Apfelsaft.

Homogenisier- druck [bar]	Pulpe im Saft [%]	Stabiler Trub in 100g Saft [ml]		
		Zahnkolloidmühle		
		Stahl	Keramik	
		Teilhomogen.		Vollhomogen.
100	10	47	38	50
	40	97	91	98
200	10	47	41	50
	40	99	98	98

Als weitere Variante wurden die Pulpen des obigen Versuches unpasteurisiert in Konzentrationen von 10% bzw 40% dem Apfelsaft beigemischt, vollhomogenisiert und in 0.5 L Flaschen abgefüllt und pasteurisiert. Für den Versuch dienten Pulpen, die bei 100 bzw 200 bar Druck mit dem Keramikventil homogenisiert wurden. Es stellte sich heraus, dass alle Säfte mit 10% Pulpe instabil waren. Bei den Säften mit einem Pulpeanteil von 40% waren diejenigen stabil, welche bei 100 bar homogenisiert wurden. Diese Produkte waren sehr dickflüssig. Bei den mit 200 bar druckbehandelten Säften setzte sich wenig Pulpe ab; hingegen hatte der pulpehaltige Apfelmischsaft gute Fliesseigenschaften. Ein höherer Druck als 200 bar zerstört die trubstabil-

sierend wirkenden Hydrokolloide in ihrer Struktur und wirkt sich somit kontraproduktiv aus (siehe Tab. 3 und 5).

Die Vorversuche haben ergeben, dass mit einer einfachen Homogenisierung bei 200 bar Druck eine genügende Feinheit der Pulpe erreicht wird. Im Verlaufe der Prozessoptimierung konnte zudem gezeigt werden, dass eine Vollhomogenisierung nach erfolgtem Verdünnen der Pulpe mit Saft erst nach einer Entlüftung durchzuführen ist.

Der Versuch zeigt, dass sich eine Vollhomogenisation sehr positiv auf die Stabilität des pulpehaltigen Apfelmischsaftes auswirkt.

Alle in der Folge produzierten pulpehaltigen Apfelmischsäfte enthalten einen Pulpeanteil von 50%. Die feingemahlene Pulpe wird mit Apfelsaft im Verhältnis 1:1 verdünnt.

Vakuumentlüften

Das Vakuumentlüften des pulpehaltigen Apfelmischsaftes verhinderte ein Anlagern von Luftblasen und damit ein Aufrahmen der Pulpeteilchen und verbesserte damit den Effekt der Homogenisation bei einem optimierten Druck von 200 bar. Der natürlicherweise in den Interzellularräumen der Parenchymzellen vorkommende Luft bzw Sauerstoff würde durch ein Homogenisieren noch feiner verteilt. Aus grossen Luftblasen entstehen viele kleine Luftblasen. Dies verursacht eine Vergrösserung der reaktiven Oberfläche. Ein Entlüften verhindert, dass der Sauerstoff das zusätzliche Potential für Oxidationen liefert.

Tiefkühlagerung der Apfelpulpe

Die Tiefkühlagerung von grobkörniger Pulpe in Aluminiumverbundbeuteln bei -18°C im Tiefkühlraum hat wie in den Vorversuchen abgeklärt wurde keinerlei Einfluss auf die Pulpestabilität in pulpehaltigen Apfelmischsäften und dekantierten pulpehaltigen Apfelsäften.

4.1.4. Herstellung von dekantiertem, pulpehaltigem Apfelsaft

Bei der Evaluation der Parameter zur Herstellung von pulpehaltigem Apfelsaft mit der Dekanterzentrifuge wurde das Augenmerk auf die in Tabelle 9 beschriebenen Parameter des Dekanterbetriebs gerichtet.

Überlaufdurchmesser am Dekanter

In Vorversuchen zeigte sich ein Überlaufdurchmesser von 98 mm als am besten geeignet. Mit einem kleineren Überlaufdurchmesser von 92 mm wurde bei schlechter Entfeuchtung eine sehr schlechte Ausbeute erzielt. Der Sedimentgehalt im dekantierten pulpehaltigen Apfelsaft war zudem so tief, dass das Getränk nicht trubstabil war.

Differenzdrehzahl am Dekanter

Bei einer kleinen Differenzdrehzahl zwischen Schnecke und Trommel von unter 20 rpm erzielte man zu dickflüssige Produkte, bei allerdings sehr guter Ausbeute. Umgekehrt liegt die Ausbeute bei hohen Differenzdrehzahlen von über 25 viel zu tief. Durch die schnelle Auftrennung in einer schlecht auftrennbaren Zellsuspension resultiert eine tiefe Ausbeute.

Trommeldrehzahl am Dekanter

Trommeldrehzahl wurde mit 6200 rpm absichtlich hoch gewählt, um die Trennung zu begünstigen. Es wurden keine Versuche mit tieferen Drehzahlen gemacht, da die Ausbeute sich dementsprechend ins unwirtschaftliche bewegt. Eine tiefere Trommeldrehzahl erschwert die Klassierung und das Auftrennen von Pulpeteilchen erheblich.

Tabelle 8: Übersicht über den Einfluss der Parameter beim Dekanterbetrieb auf die Ausbeute und den Gehalt an zentrifugierbarem Sediment in dekantierten pulpehaltigen Apfelsäften.

Trommeldrehzahl [rpm]	DDZ [rpm]	Überlaufdurchm. [rpm]	pulpehaltiger Saft		Restpulpe [%]
			Ausbeute [%]	zentrifugierbares Sediment [%]	
6200	20	92	20	8	80
6200	20	100	56	43	44
6200	10	100	64	46	36
6200	20	98	26	28	74

Gegendruck

Ein Gegendruck von 0.1 bis 0.5 bar verhindert, dass noch mehr Sauerstoff in den dekantierten pulpehaltigen Apfelsaft gelangt. Dennoch wurden alle Säfte vor dem Abfüllen entlüftet.

Gewählte Betriebsbedingungen

Folgende Betriebsparameter gelangten für die Hauptversuche zur Anwendung:

Drehzahl (DZ): 6200 rpm

Differenzdrehzahl (DDZ): 20 rpm

Überlaufdurchmesser: 98 mm

Pumpenförderleistung: 150 l/h

Gegendruck Saftauslauf: 0.1 bis 0.5 bar

4.2. Einfluss der Lagerung der Äpfel auf die Eigenschaften der Zwischen- und Endprodukte

Früchte, die von parasitären und nichtparasitären Erkrankungen betroffen sind sollten auf keinen Fall zu pulpehaltigem Apfelmischsaft oder dekantiertem pulpehaltigem Apfelsaft verarbeitet werden. Das Risiko einer ungenügenden Qualität in Bezug auf die physikochemischen und sensorischen Eigenschaften ist viel zu gross. Dies umso mehr, weil gut ausgereifte Äpfel die stabileren Säfte ergeben als frische noch nicht genussreife Äpfel.

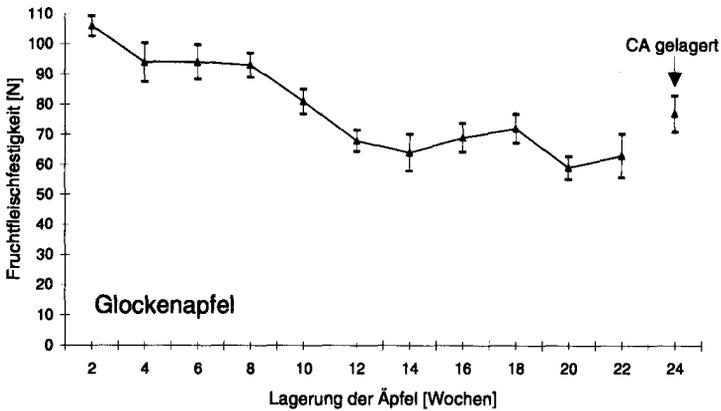
4.2.1. Einfluss auf die Fruchtfleischfestigkeit und die Pulpeausbeute

Durch den fortschreitenden durch endogene Enzyme bedingten Umbau von Pektinstoffen und Hemicellulosen, verliert das Zellgewebe an Festigkeit. Die Fruchtfleischfestigkeit der Äpfel nimmt im Verlaufe der Lagerung unabhängig von der Apfelsorte ab, wobei jede Apfelsorte ihre spezifischen Fruchtfleischfestigkeiten besitzt.

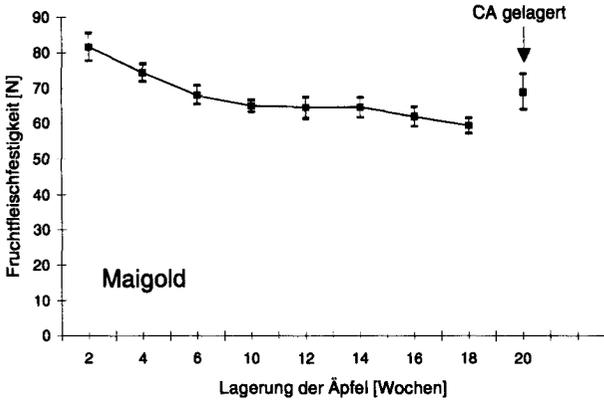
In den Abbildungen 8a-c ist die Abnahme der Fruchtfleischfestigkeit von Golden Delicious, Glockenapfel und Maigold während der Kühlung bei 2°C und 92 % Luftfeuchtigkeit dargestellt. Beim Glockenapfel nimmt der Wert von 106 auf 59 N ab, beim Golden Delicious von 80 auf 44 N. Die abgebildeten Werte sind Mittelwerte aus 14 Messungen von 7 Früchten. Es wurde immer auf der Schattseite und der Sonnseite des Apfels eine Messung gemacht. Die der Sonne exponiert gewesene Apfelhälfte ist fester als die andere.

Die Sorte Maigold besitzt zu Beginn der Lagerung mit 82 N die gleiche Fruchtfleischfestigkeit wie Golden. Diese Festigkeit bleibt im Verlaufe der Lagerung gut erhalten d.h. im März wurde noch ein Wert von 60 N gemessen. Die textuellen Eigenschaften der Sorte Maigold sind demnach sehr beständig.

Fruchtfleischfestigkeit



Abbildungen 8a & b: Einfluss der Lagerdauer auf die Fruchtfleischfestigkeiten von Äpfeln der Sorten Golden (a) und Glocken (b). Mittelwerte und Standardabweichungen von 14 Messungen an 7 Früchten.

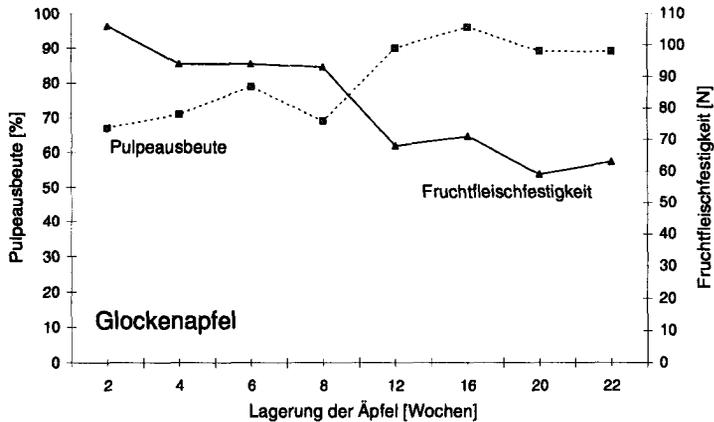
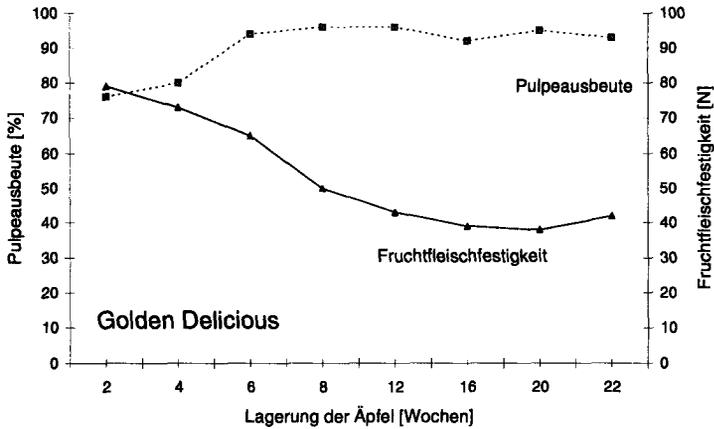


Abbildungen 8c: Fortsetzung der Abb. 8, Werte für die Sorte Maigold

Für die während 24 Wochen „controlled atmosphere“ (CA) gelagerten Golden beträgt die Fruchtfleisfestigkeit 60 N, für Glocken 77 N und für 20 Wochen CA gelagerte Maigold 69 N. Die Festigkeiten entsprechen bei Golden den während 6 Wochen, bei Glocken den während 10 Wochen und bei Maigold den während 4 Wochen kühlgelagerten Äpfeln. Die CA-Lagerung vermag das Weichwerden der Äpfel um drei bis vier Monate zu verzögern.

Die Fruchtfleisfestigkeit charakterisiert das zur Herstellung der Apfelsäfte verwendete Rohmaterial. Der gleiche Parameter bestimmt aber auch die Ausbeute bei der Gewinnung von Pulpe oder Mark. Während die Fruchtfleisfestigkeit abnimmt, erhöht sich die Ausbeute bei der Gewinnung von Pulpe, wie in Abbildungen 9a-c dargestellt ist. Fruchtfleisfestigkeit und Ausbeute sind unabhängig von der Sorte positiv miteinander korreliert. Das weichere durch fruchteigene Enzyme teilweise mazerierte Fruchtfleisch lässt sich besser von den verholzten Teilen abtrennen. Dadurch erhöht sich die Menge der gewonnenen Pulpe.

Pulpeausbeute und Fruchtfleischfestigkeit



Abbildungen 9a & b: Veränderung der Fruchtfleischfestigkeit während der Lagerung von Golden (a) und Glocken Äpfel (b) und Einfluss der Lagerung auf die Püreeausbeute. Eingezeichnete Werte: Einzelwerte.

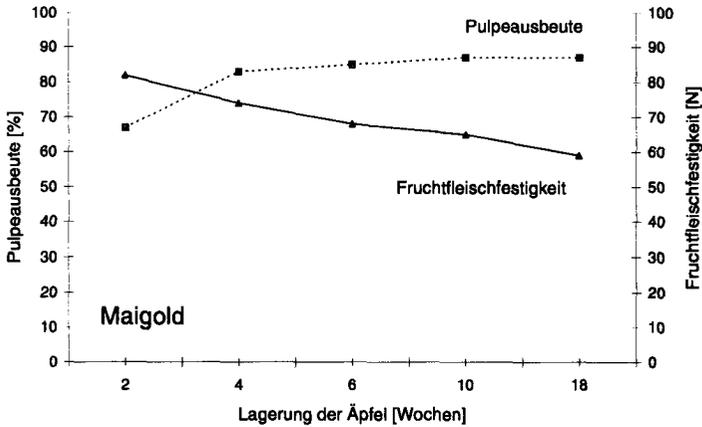


Abbildung 9c: Fortsetzung der Abb. 9, Werte für Maigold.

4.2.2. Einfluss der Lagerung auf die Eigenschaften der pulpehaltige Apfelsmischsäfte

Die Verarbeitung weicher Äpfel führt nicht nur zu einer erhöhten Ausbeute, sondern auch zu einer Veränderung der Zusammensetzung des pulpehaltigen Apfelsmischsaftes. Wie in Kapitel 3.2.2. und Kapitel 4.1.3. Seite 49 beschrieben wird die gewonnene Pulpe im Verhältnis 1:1 mit klarem Apfelsaft verdünnt. Es wird also gewichtsmässig immer gleichviel Pulpe mit Saft verdünnt. Die Pulpeeigenschaften verändern sich jedoch während der Lagerung des Rohmaterials. Das Sediment wurde durch eine Zentrifugation (siehe Kapitel 3.3.10.) bestimmt. Parallel zur Ausbeutezunahme erhöht sich auch das zentrifugierte Sediment unabhängig von der Apfelsorte. Eine Erklärung kann sein, dass sich durch die strukturellen Veränderungen der Pektinstoffe ein Hydratmantel um die Pulpeteilchen bildet. Dieser Hydratmantel besteht aus wasserlöslichen hochveresterten Pektinen, welche einerseits die Stabilität der

Teilchen durch eine Herabsetzung ihrer Dichte verbessern, da viel Flüssigkeit in der Saftphase gebunden wird. Andererseits wird durch das erhöhte Wasserbindungsvermögen mehr Wasser im Sediment zurückgehalten. Das zentrifugierte Pulpesediment erhöht sich gewichtsmässig. Auch die Lagerdauer hat einen Einfluss: Je länger die Lagerung der zur Verarbeitung gelangten Früchte ist, umso grösser die gewonnene Sedimentmenge.

Bei allen drei Apfelsorten vergrössert sich das Sediment im Zentrifugenglas bei verlängerter Apfellagerung. Bei Golden nimmt das Sediment von 5.3 auf 18.2 g/100g Saft um den Faktor 3.5 bei Glocken von 9.7 auf 14.0 g/100g Saft um den Faktor 1.5 und bei Maigold schliesslich von 6.4 auf 17.4 g/100g Saft um den Faktor 3 zu. Dagegen beträgt bei sämtlichen Apfelpresssäften der Sedimentgehalt auch bei verlängerter Lagerung der Äpfel nie mehr als 1.6 g/100g Saft.

Jede derartige Suspension hat die Tendenz sich zu entmischen. Unterschiedlich ist lediglich die Entmischungsgeschwindigkeit, die von verschiedenen Faktoren abhängig ist (siehe Kapitel 2.3.).

Die aus den mindestens 10 Wochen kühlgelagerten Sorten Glocken, Golden und Maigold erzeugten Pulpesäfte bleiben während einer Kühlung von mehr als 12 Wochen stabil. Alle erfüllen das Kriterium der Trubstabilität während mindestens 3 Monaten. Das Kriterium der Trubstabilität wurde von Auge beurteilt, gleich wie der Konsument, wenn er den Saft im Verkaufsgeschäft optisch auf Homogenität prüft.

Die Scherviskosität und der Sedimentgehalt der pulpehaltigen Apfelmischsäfte korrelieren positiv. Mit steigender Feststoffkonzentration nimmt die Scherviskosität zu. Die spezifischen Zustandsformen der Phasen und deren Wechselwirkungen bestimmen die Scherviskosität von Lebensmitteln. Folgende Faktoren haben einen Einfluss [Linke, 1993]:

- Gehalt an gelöstem Feststoff in der Flüssigphase
- Korngrößenverteilung und Teilchenform der dispergierten Feststoffe
- Härte und Verformbarkeit der Feststoffe
- Anteil an freibeweglicher Flüssigkeit

- Ausbildung von Hydratationsschichten an den Partikeloberflächen

Ein erhöhter Trubgehalt bedeutet mehr Pulpeteilchen pro Volumeneinheit des Saftes und infolge erhöhter Lichtabsorption einen grösseren Trübungswert ausgedrückt in Trübungseinheiten Formazin (TE/F). Ist eine bestimmte Pulpemenge im Saft enthalten, ist der pulpehaltige Apfelmischsaft trubstabil d.h. die Pulpeteilchen sedimentieren nicht weiter und damit kommt es zu keiner Phasentrennung. Der Sedimentgehalt ist also nicht nur mit der Scherviskosität sondern auch mit dem Trubwert positiv korreliert und zwar unabhängig von der Apfelsorte. Die Werte sind in den Abbildungen 10a-c graphisch dargestellt.

Trübung und zentrifugierbares Sediment

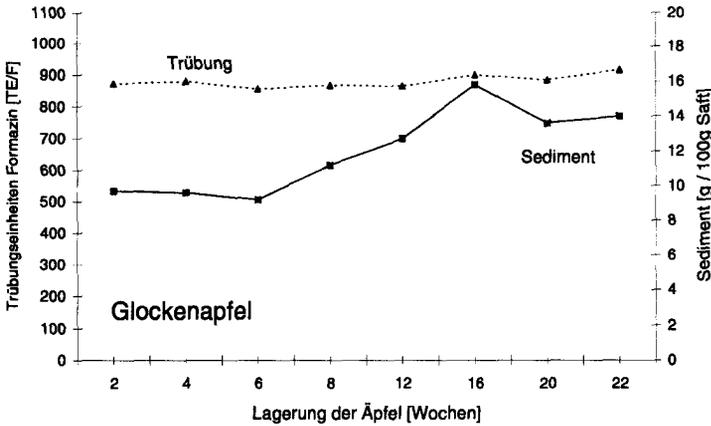
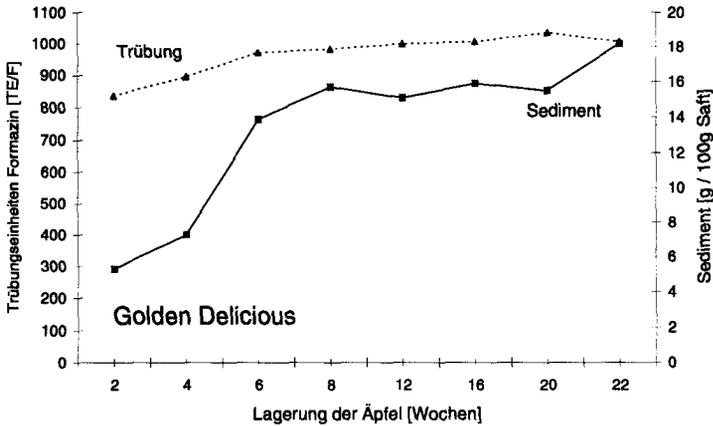


Abbildung 10a & b: Entwicklung der Trübung in Trübungseinheiten Formazin (TE/F) und die zentrifugierte Sedimentmenge der pulpehaltigen Apfelmischsaft hergestellt aus unterschiedlich lang kühlgelagerten Golden (a) & Glocken (b) Äpfeln. Eingetragene Werte: Einzelwerte.

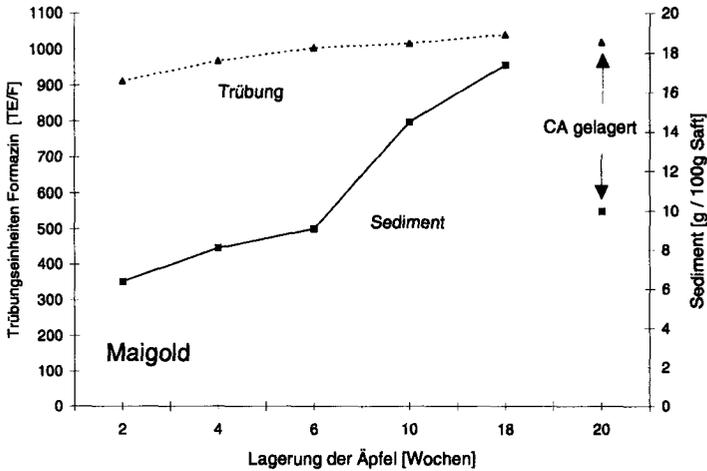


Abbildung 10c: Fortsetzung der Abb. 10, Werte für Maigold

In den Abbildungen 11a-c wird die positive Korrelation von Sedimentgehalt und Scherviskosität deutlich. Je mehr Trub- und Pulpeteilchen die Apfelsäfte enthalten, desto höher deren Viskosität und Sedimentgehalt.

Mit zunehmender Lagerung steigt der Trub- und Pulpeanteil in den pulpehaltigen Apfelsäften und demzufolge deren Viskosität (Abb. 12, Seite 68).

Scherviskosität und zentrifugierbares Sediment

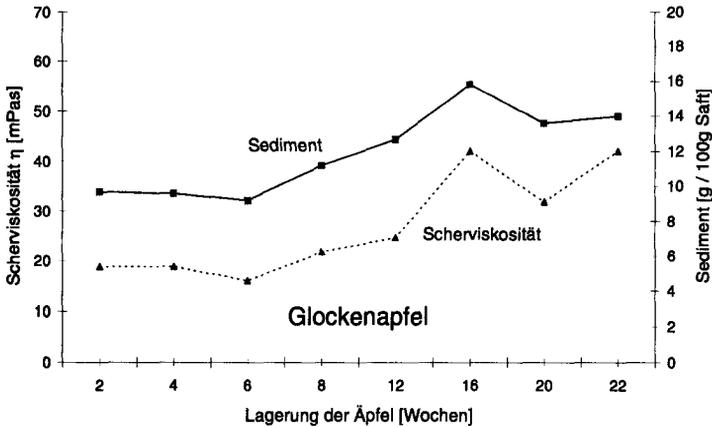
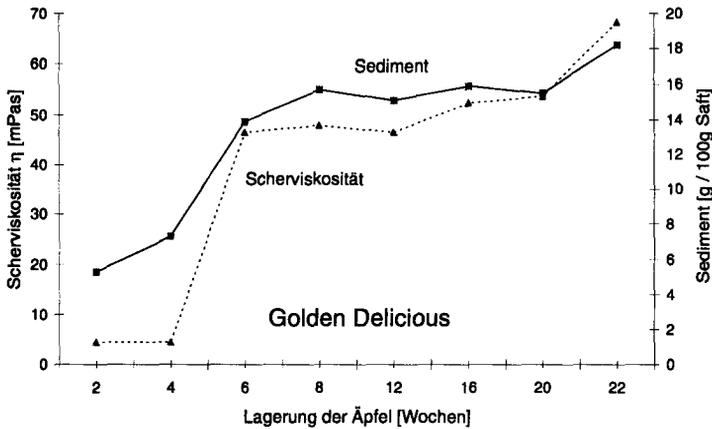


Abbildung 11a & b: Zentrifugierte Sedimentmenge und Scherviskosität gemessen bei einer Schergeschwindigkeit D von 77 s^{-1} im pulpehaltigen Apfelmischsaft hergestellt aus unterschiedlich lang kühlgelagerten Golden (a) & Glocken (b) Äpfeln. Eingetragene Werte: Einzelwerte.

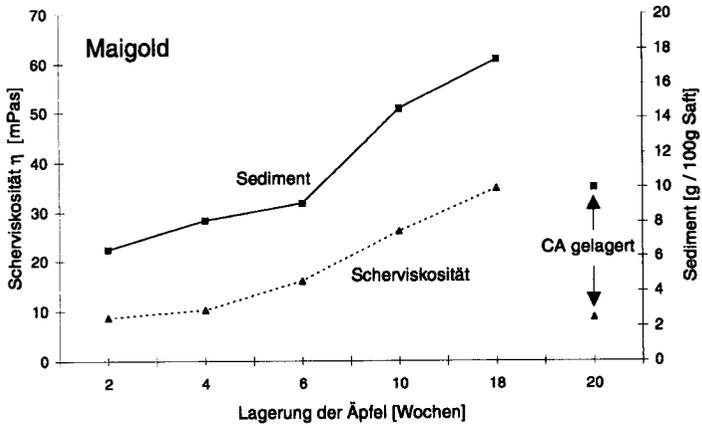


Abbildung 11c: Fortsetzung von Abb. 11, Werte für Maigold.

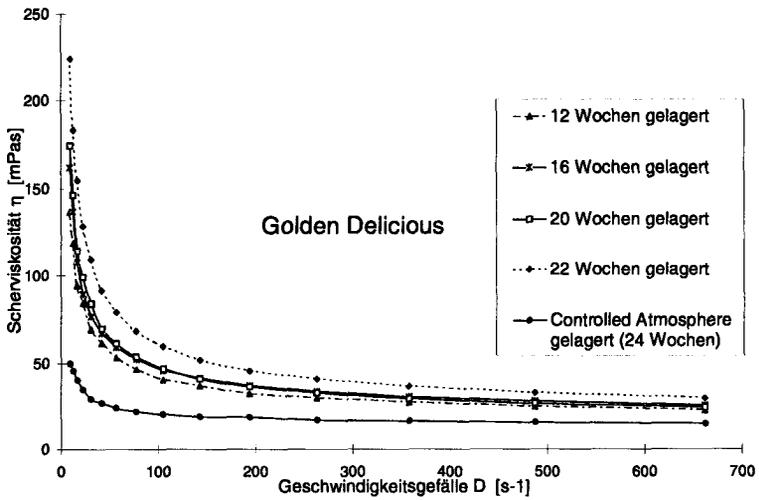


Abbildung 12: Einfluss der Lagerdauer auf die Viskositätskurven von pulpehaltigen Apfelmischsäften aus Golden Delicious. Kühlung der Äpfel bis 22 Wochen und CA-Lagerung bis 24 Wochen.

Die nicht homogenisierten pulpehaltigen Apfelmischsäfte entmischen sich innerhalb einer Woche. Der Homogenisierdruck betrug überall 200 bar und alle Säfte wurden aus Golden Delicious Äpfeln hergestellt.

Als Vergleich zu den pulpehaltigen Apfelmischsäften, sind zwei Varianten dekantierter pulpehaltiger Apfelsäfte in der Tabelle 9 aufgeführt.

Tabelle 9 : Sichtbare, zeitlich garantierte Stabilität in Wochen von verschiedenen pulpehaltigen Apfelsäften. Die Lagerdauer der Äpfel ist dabei unerheblich.

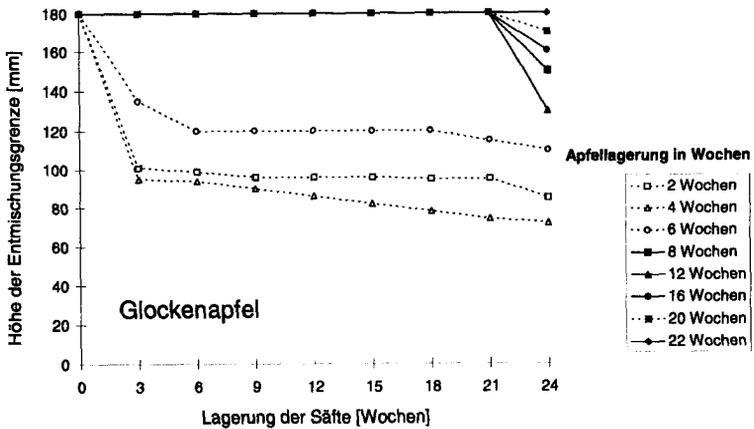
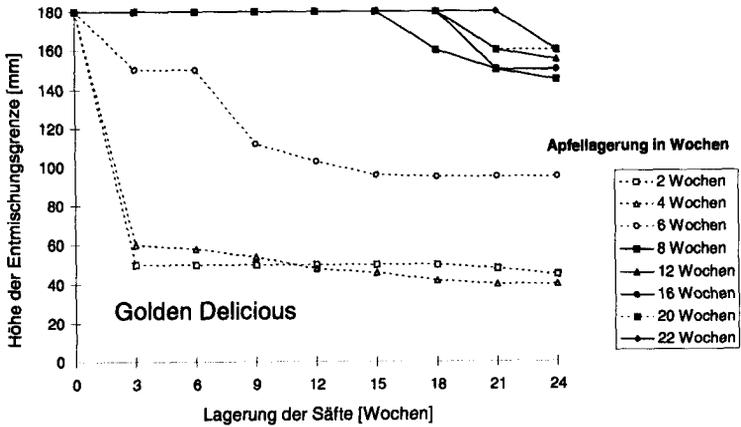
Safttyp	Lagerdauer der Äpfel	Sichtbare Trubstabilität nach Wochen			
		2 Wo	4 Wo	8 Wo	12 Wo
Pulpeh.AMS mit 50% Pulpe nicht homog.	6 Wochen	-	-	-	-
Pulpehaltiger AMS mit 30% Pulpe homog.	6 Wochen	+	-	-	-
Pulpehaltiger AMS mit 40% Pulpe homog.	6 Wochen	+	+	-	-
Pulpehaltiger AMS mit 50% Pulpe homog.	2 Wochen	+	-	-	-
Pulpehaltiger AMS mit 50% Pulpe homog.	8 Wochen	+	+	+	+
Pulpehaltiger AMS mit 50% Pulpe homog.	20 Wochen	+	+	+	+
Dekantierter pulpeh. AS	6 Wochen	+	+	-	-
Dekantierter pulpeh. AS	20 Wochen	+	+	+	-

AMS = Apfelmischsaft
AS = Apfelsaft

+ = stabil - = nicht stabil

Die Entmischungsgrenzen aller pulpehaltigen Apfelmischsäfte sind in der Abbildung 13 dargestellt. Mit zunehmender Lagerung der Äpfel verbessert sich die Pulpestabilität der Säfte.

Trübungsstabilität



Abbildungen 13a & b: Höhe der Entmischungsgrenze von pulpehaltigen Apfelmischsäften der Sorten Golden (a) und Glocken (b) in den 0.5 L Glasflaschen, bei einer Füllhöhe von 180 mm. Eingetragene Werte: Einzelwerte.

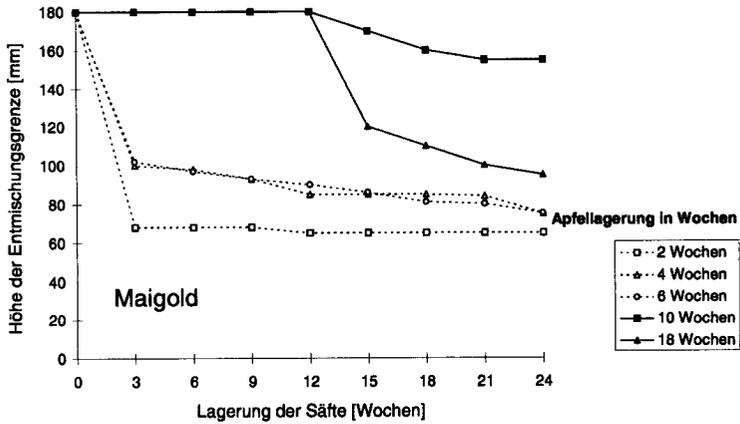


Abbildung 13c: Fortsetzung von Abb. 13, Werte für Maigold.

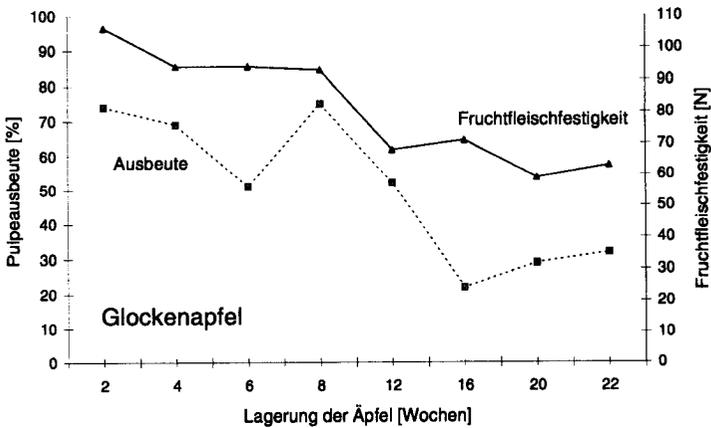
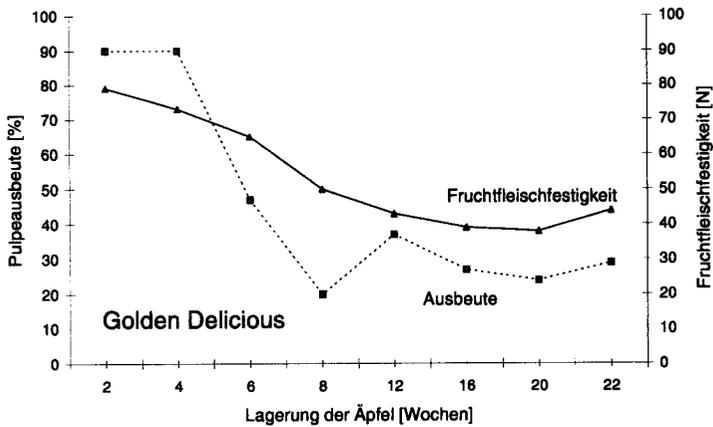
Bei den Maigold Früchten handelte es sich nicht um die Äpfel der gleichen Charge. Demzufolge zeigt der pulpehaltige Apfelmischsaft aus 10 Wochen kühlgelagerten Äpfeln die bessere Stabilität als derjenige aus 18 Wochen kühlgelagerten Maigold.

4.2.3. Einfluss der Lagerung auf die Eigenschaften der dekantierten pulpehaltigen Apfelsäfte

Die Funktionsweise von Dekanterzentrifugen und das Verfahren zur Gewinnung von dekantiertem pulpehaltigen Apfelsaft sind im Kapitel 3.2.3. eingehend beschrieben.

Im Gegensatz zu den pulpehaltigen Apfelmischsäften, nimmt bei den aus identischem Rohmaterial erzeugten dekantierten pulpehaltigen Apfelsäften die Ausbeute mit zunehmender Lagerung der Äpfel ab (Abb. 14a-c).

Ausbeute und Fruchtfleischfestigkeit



Abbildungen 14a & b: Einfluss der Lagerung auf die Ausbeute und die Fruchtfleischfestigkeit der Golden (a) und Glocken Äpfel (b) bei der Herstellung von dekantiertem pulpehaltigem AS. Eingetragene Werte: Einzelwerte.

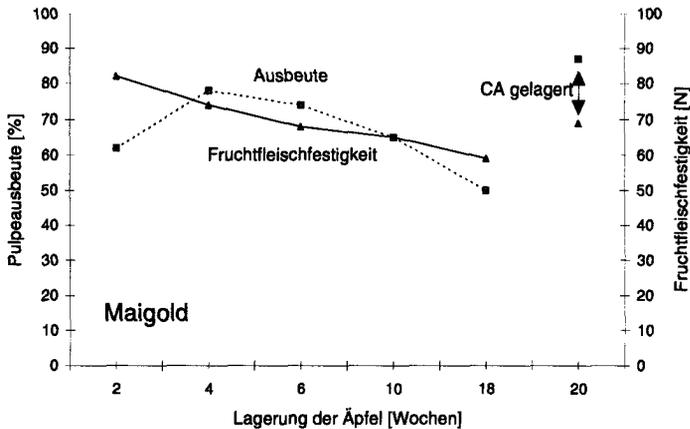
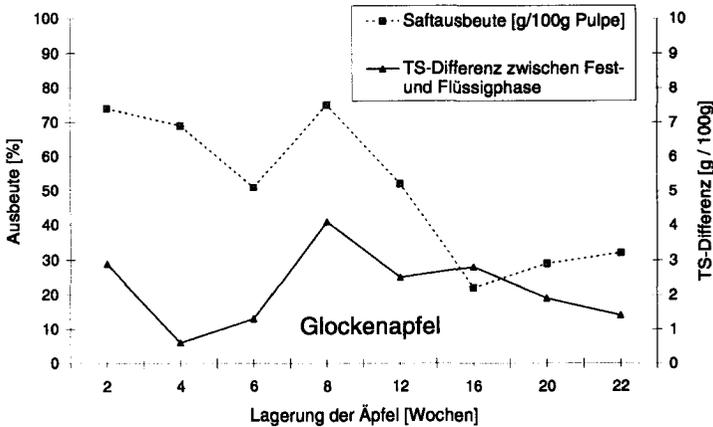
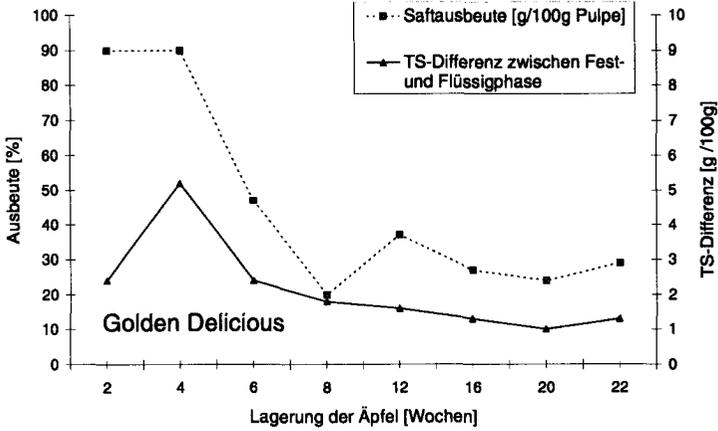


Abbildung 14c: Fortsetzung von Abb. 14, Werte für Maigold.

Durch das Weicherwerden der Früchte erfolgt eine strukturelle Veränderung der Mittellamelle und der Primärwände des parenchymatischen Gewebes. Die Gewebestruktur des parenchymatischen Gewebes wird während der Lagerung aufgelockert. Je stärker die Hydratisierung, desto grösser wird das Volumen und die Oberfläche der Pulpeteilchen. Die Dichte der hydratisierten Fruchtfleischteilchen wird durch den Wassermantel vermindert. Somit verkleinert sich der Dichteunterschied zwischen den Pulpeteilchen und der Suspensionsflüssigkeit. Dieser kleinere Dichteunterschied gestaltet die zentrifugale Trennung der dekantierten pulpehaltigen Apfelsäfte in der Dekanterzentrifuge schwieriger. Nachgewiesen werden kann diese Tatsache mit der Trockensubstanzdifferenz zwischen Flüssig- und Festphase. Die erschwerte zentrifugale Trennung bei kleiner Dichtedifferenz d.h. kleinerer Massendifferenz der Pulpeteilchen im Zentrifugalfeld der Dekanterzentrifuge führt zu einer abnehmenden Ausbeute an dekantiertem pulpehaltigem Apfelsaft, wie in den Abbildungen 15a-c dargestellt wird.

Ausbeute und Trockensubstanz



Abbildungen 15a & b: Mit abnehmender TS-Differenz zwischen flüssiger und fester Phase, sinkt die Ausbeute an dekantiertem pulpehaltigem Apfelsaft der Sorten Golden (a) und Glocken (b) ab. Eingetragene Werte: Einzelwerte.

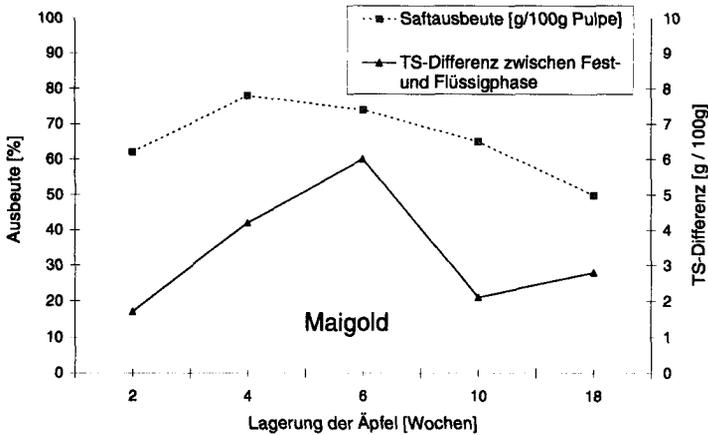


Abbildung 15c: Fortsetzung von Abb. 15, Werte für Maigold.

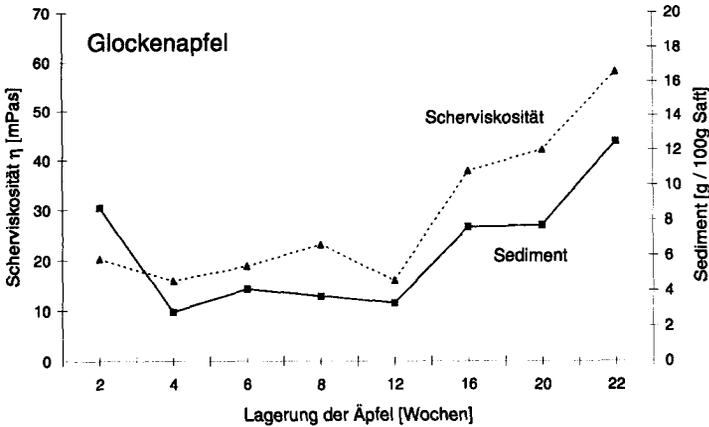
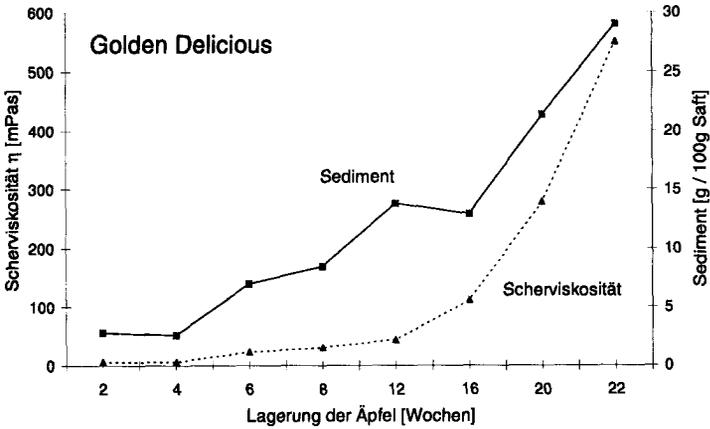
Wie bei den pulpehaltigen Apfelmischsäften, nimmt auch bei den dekantierten pulpehaltigen Apfelsäften die zentrifugierte Sedimentmenge mit längerer Lagerung der Äpfel zu, während die Ausbeute abnimmt. Bei der Dekanter-zentrifugation fallen die sortenspezifischen Unterschiede deutlicher ins Gewicht. Bei Golden erhöht sich die zentrifugierte Sedimentmenge mit der Lagerdauer der Äpfel von 2.8g/100g Saft auf 29.0g/100g Saft um den Faktor 10.4 (Abb. 16a, Seite 78); beim Glocken von 2.8 auf 12.5g/100g Saft lediglich um den Faktor 4.5 (Abb. 16b, Seite 78). Bei der Sorte Maigold reduziert er sich von 7.2g/100g Saft auf 2.8g/100g Saft (Abb. 16c, Seite 79). Maigold gehört zu den Lagersorten mit sehr guter Textur und Saftigkeit bis weit ins Frühjahr hinein [Aeppli, 1984]. Diese Eigenschaft blieb bei Maigold durch die ganze Produktionsreihe erhalten. Die Entwicklung der Fruchtfleischfestigkeit von Maigold ist in Abbildung 8c (Seite 59) dargestellt.

Mit dem Sedimentgehalt steigt auch der Trubwert im dekantierten pulpehaltigen Apfelsaft mit zunehmender Lagerdauer der Äpfel leicht an. Dies ist in Abbildungen 21a und b aus der geringen Zunahme des durch die Probe absorbierten Lichts ersichtlich. Von Auge kann diese Zunahme des Trubwertes nicht festgestellt werden. Alle dekantierten pulpehaltigen Apfelsäfte besitzen eine intensive und homogene Trübung.

Unterschreitet der zentrifugierte Sedimentgehalt einen bestimmten Wert, ist der Saft nicht mehr trubstabil. Es bildet sich ein Bodensatz. Bei diesem Herstellungsverfahren eines pulpehaltigen Saftes fällt ein Feinmahlen und eine Homogenisation weg.

Die einzelnen aus verschiedenen Sorten dekantierten pulpehaltigen Apfelsäfte unterscheiden sich stärker voneinander als die pulpehaltigen Apfelmischsäfte. Die unterschiedlich starke Fähigkeit der Trubpartikel Wasser zu binden, hat auf die physikochemischen Eigenschaften der Produkte einen grossen Einfluss. Diese Unterschiede treten vor allem in bezug auf die rheologischen Eigenschaften in Erscheinung. Analog zum erhöhten Pulpegehalt im Saft erhöht sich deren Scherviskosität bei einem bestimmten Geschwindigkeitsgefälle bzw Schergeschwindigkeit. Der innere Widerstand, den das kolloidale oder makromolekulare System einer Deformation entgegensetzt, wächst. Die beiden Parameter zentrifugiertes Sediment und Scherviskosität korrelieren positiv. Die entsprechenden Darstellungen sind in den Abbildungen 16a-c zu finden.

Scherviskosität und zentrifugierbares Sediment



Abbildungen 16a & b: Positive Korrelation von zentrifugierter Sedimentmenge und der Scherviskosität in den dekantierten pulpehaltigen Apfelsäften der Sorten Golden (a) und Glocken (b). Eingetragene Werte: Einzelwerte.

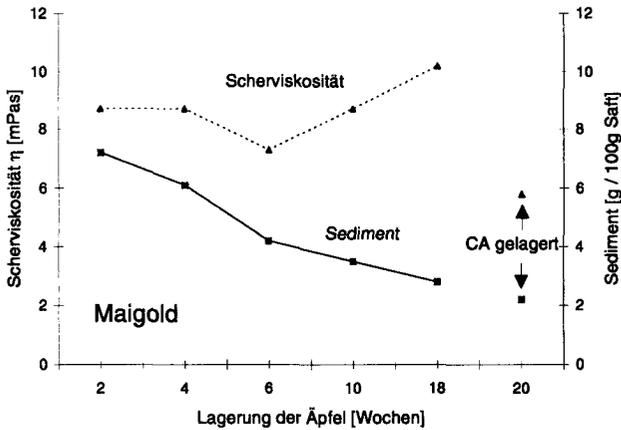


Abbildung 16c: Fortsetzung von Abb. 16, Werte für Maigold.

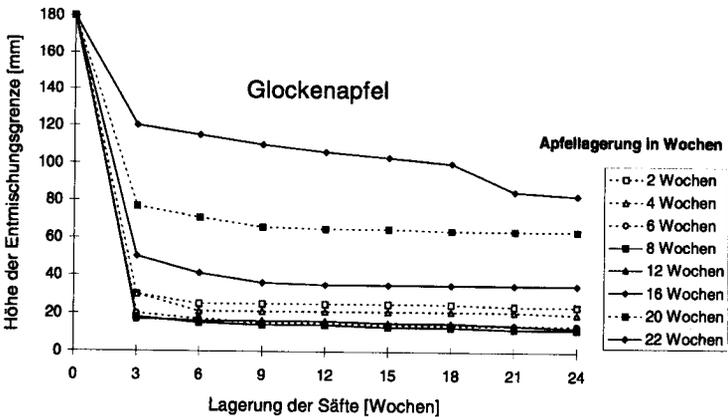
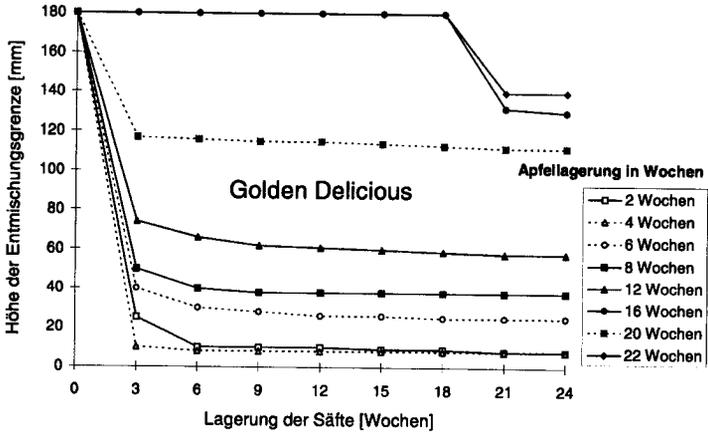
Bei gleichzeitig zunehmendem Sedimentgehalt und zunehmendem Wasserbindungsvermögen der Teilchen mit der Lagerung der Äpfel steigt die Scherviskosität deutlich an. Ist ein bestimmter Wert von 40 mPas bei einer Schergeschwindigkeit D von 77.1 s^{-1} erreicht, ist der dekantierte pulpehaltige Apfelsaft trubstabil, d.h. es findet keine sichtbare Sedimentation statt. Diese Eigenschaft wird durch zwei Entwicklungen begünstigt.

Einerseits erhöht sich die Anzahl Pulpeteilchen pro Volumeneinheit. Damit können unter den Partikeln Wechselwirkungen auftreten. Die negative Ladung des Hydratmantels in saurem Milieu (pH von Apfelsaft) verhindert eine gegenseitige Anziehung, Agglomeration und Sedimentation. Andererseits führt das erhöhte Wasserbindungsvermögen d.h. die Micellenbildung zu einer grösseren Oberfläche und einem vergrösserten Volumen der Teilchen mit niedrigerer Dichte.

Die Dekantertechnologie ermöglicht eine Grössenklassierung von Fruchtfleischteilchen aus einer grobkörnigen weichgekochten Pulpe. Weil die dekantierten pulpehaltigen nicht bei einem Druck von 200 bar homogenisiert wurden,

entmischen sie sich während der Lagerung im Kühlraum viel früher in zwei Phasen (siehe Abbildungen 17a-c).

Trübungsstabilität



Abbildungen 17a & b: Höhe der Entmischungsgrenze von dekantierten pulpehaltigen Apfelsäften der Sorten Golden (a) und Glocken (b) in den 0.5 L Glasflaschen, bei einer Füllhöhe von 180 mm. Eingetragene Werte: Einzelwerte.

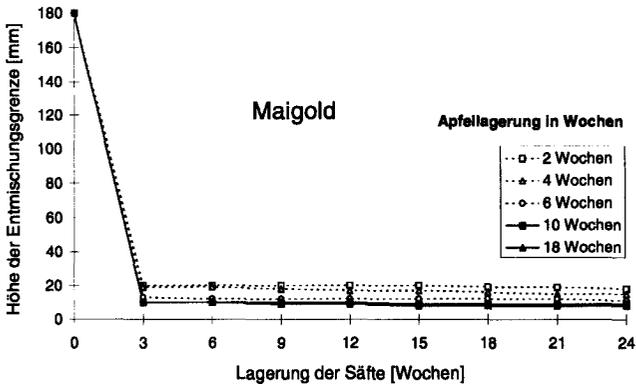


Abbildung 17c: Fortsetzung von Abb. 17, Werte für Maigold.

Mit zunehmender Lagerung d. h. mit zunehmender Reifung der Äpfel wird die Klassierung in die beiden Phasen wie in Kapitel 3.2.3. beschrieben schwieriger. Die Ausbeute sinkt auf wirtschaftlich nicht mehr vertretbare Werte. Allerdings könnte die Verwendung der abgetrennten Restpulpe im pulpehaltigen Apfelmischsaft (siehe Kap. 3.2.2.) in Frage kommen.

4.2.4. Einfluss der Lagerung auf die Eigenschaften der trüben Apfelpresssäfte

Bei sämtlichen Apfelpresssäften beträgt der zentrifugierte Sedimentgehalt nie mehr als 1.6 g/100g Saft. Dies ist deutlich weniger als bei den oben besprochenen beiden Typen von pulpehaltigen Apfelsäften. Lediglich die dekantierten pulpehaltigen Apfelsäfte aus „controlled atmosphere“ (CA) gelagertem Obst weisen ähnlich tiefe Sedimentgehalte auf wie die Apfelpresssäfte. Solche Säfte sind nicht trubstabil und druckempfindlich.

Bei konventionell hergestellten trüben Apfelsäften nimmt der Trübungswert mit zunehmender Lagerung stark zu (siehe dazu Kap. 4.3., Abb. 24, Seite 96).

Trübungswerte

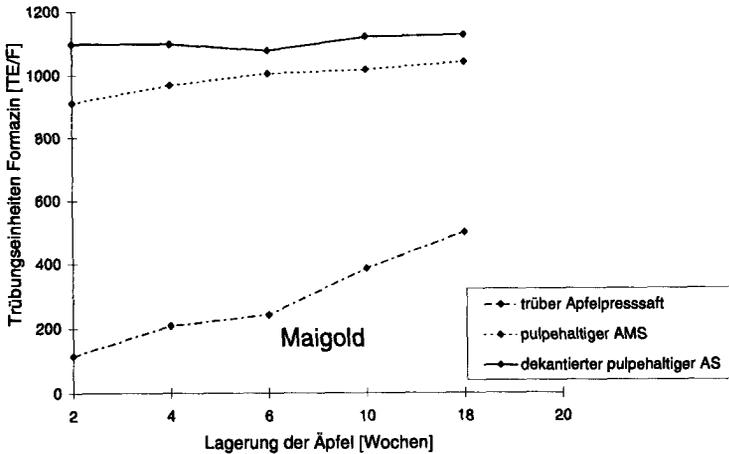
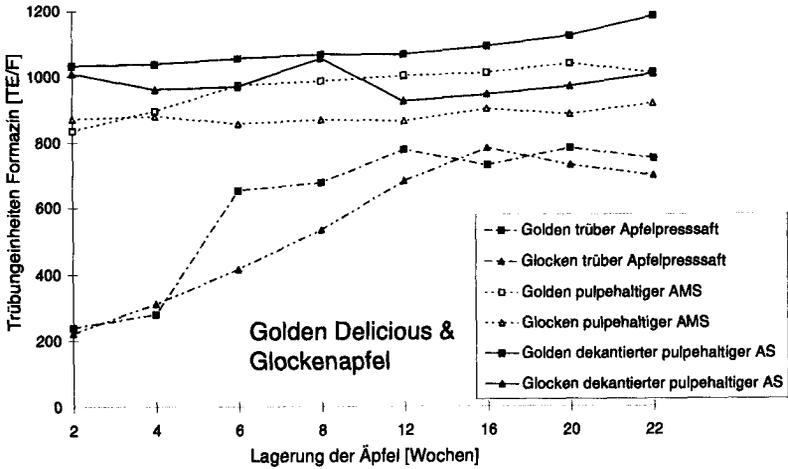


Abbildung 18a & b: Entwicklung der Trübungswerte in drei verschiedenen Apfelsafttypen mit zunehmender Lagerung der drei Apfelsorten Golden (a), Glocken (a) und Maigold (b) im Kühllager. Eingetragene Werte: Mittelwerte von zwei Messungen.

Diese Entwicklung kann von Auge unschwer festgestellt werden. Die im Zuge der Lagerung sich verändernden kolloidal gelösten Inhaltsstoffe treten während des Pressens in grösserer Menge in die Saftfraktion über. Sie sorgen damit für einen erhöhten Trubwert im naturtrüben Apfelsaft. Die Pressostatkurven zeigen bei weicherer Maische mehr Druckmaxima pro Zeiteinheit als bei härterer Maische, die dem eingestellten Druck weniger schnell nachgibt. Je häufiger der vorgegebene Druck erneuert werden muss, desto mehr kolloidal gelöste Inhaltsstoffe treten in den Saft über. (siehe Kap. 3.2.4.)

Die Viskosität der trüben Apfelsäfte wurde nicht bestimmt, da sie einer Newtonschen Flüssigkeit wie zum Beispiel Wasser sehr nahe steht. Trotzdem ist mit zunehmender Lagerung durch einen höheren Kolloidgehalt im trüben Presssaft mit einer geringen Zunahme der Scherviskosität zu rechnen. Die trüben Apfelsäfte enthalten maximal 1.6 Gramm zentrifugiertes Sediment. Dieser Wert liegt um den Faktor 2 bis 18 tiefer als bei den pulpehaltigen Apfelsäften.

4.2.5. Zucker : Säure-Verhältnis

Die Menge der in die Früchte eingelagerten Zucker hängt von der Sorte, der assimilatorischen Leistung der Blätter, der Behangstärke d.h. dem Blatt/Frucht-Verhältnis am Baum, den klimatischen Bedingungen während der Fruchtentwicklung, dem Entwicklungsstadium sowie dem Reifegrad der Früchte ab. Bei den stärkeführenden Fruchtarten erhöht sich zunächst nach überschreiten des Kulminationspunktes und mit Beginn des Stärkeabbaus der Gehalt an Zucker. Durch den verstärkten Stärkeabbau vor der Ernte steigt der Glucosegehalt an.

Der Saccharosegehalt steigt bis zur Ernte an. Fructose stellt den wichtigsten Zucker dar. Die höchste Zuckerkonzentration fällt mit der Ernte zusammen. Bei einigen Fruchtarten wie zum Beispiel Äpfel, Birnen, Aprikosen, Pfirsichen, Pflaumen und Bananen, tritt zwischen den Entwicklungsstadien Pflückreife und

Seneszenz eine Zunahme der Atmungsrate auf. Dieser Wiederanstieg der Atmungsintensität wird als Klimakterium bezeichnet.

Das Zucker : Säure-Verhältnis berechnet sich aus dem Brixwert mal 10 dividiert durch den titrierten Säurewert [Höhn, 1997]. Mit zunehmender Lagerung wird die Säure durch die Atmungstätigkeit abgebaut und das Zucker : Säure Verhältnis, das für die sensorische Bewertung des Obstes von entscheidender Bedeutung ist, steigt an. Das Zucker : Säure-Verhältnis steigt unabhängig der Apfelsorte und unabhängig der gewählten Technologie zur Herstellung des pulpehaltigen Apfelsaftes mit zunehmender Lagerdauer der Äpfel an, zeigt aber sortenspezifischen Charakter (siehe Abbildungen 19a-c, sowie Tabelle 10).

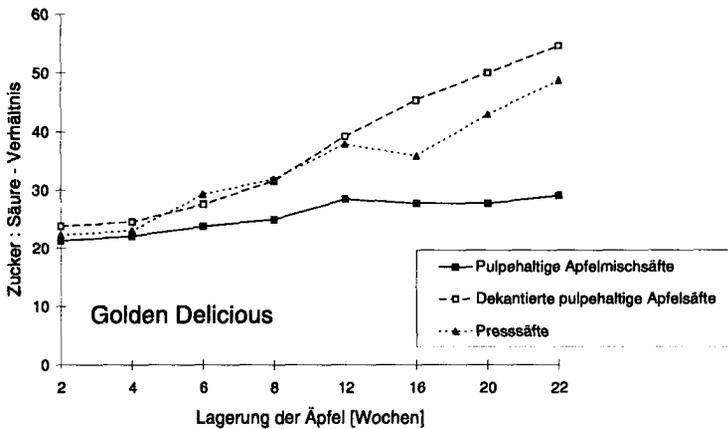


Abbildung 19a: Entwicklung des Zucker : Säure-Verhältnisses in den Säften aus verschieden lang gelagerten Äpfeln der Sorte Golden. Eingetragene Werte: Mittelwerte von 2 Messungen.

Durch den Säureabbau steigt das Zucker : Säure-Verhältnis in den pulpehaltigen Apfelmischsäften von 21.3 auf 29.1, in den dekantierten pulpehaltigen Apfelsäften von 23.8 auf 54.6 und in den Presssäften von 22.3 auf 48.7 an (Abb. 19a).

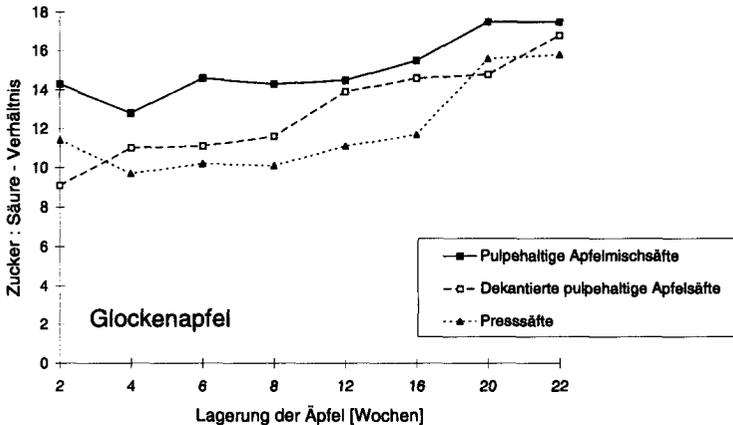


Abbildung 19b: Entwicklung des Zucker : Säure-Verhältnisses in den Säften aus verschieden lang gelagerten Äpfeln der Sorte Glocken. Eingetragene Werte: Mittelwerte von 2 Messungen.

Durch den Säureabbau steigt das Zucker : Säure-Verhältnis in den pulpehaltigen Apfelmischsäften von 14.3 auf 17.5, in den dekantierten pulpehaltigen Apfelsäften von 9.1 auf 16.8 und in den Presssäften von 11.4 auf 15.8 an (Abb. 19b).

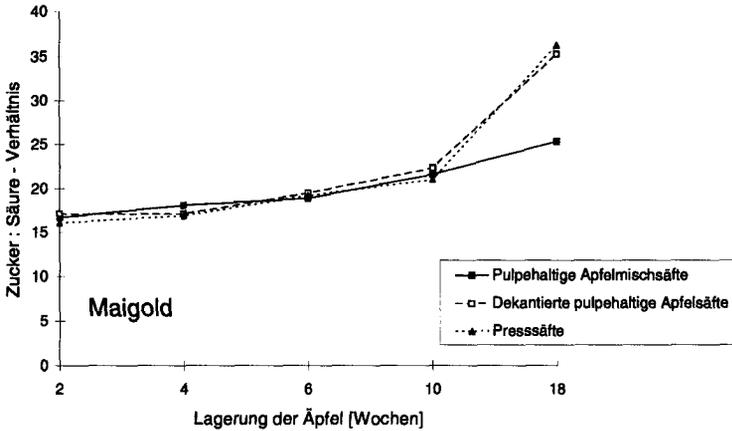


Abbildung 19c: Entwicklung des Zucker : Säure-Verhältnisses in den Säften aus verschieden lang gelagerten Äpfeln der Sorte Maigold. Eingetragene Werte: Mittelwerte von 2 Messungen.

Durch den Säureabbau steigt das Zucker : Säure-Verhältnis in den pulpehaltigen Apfelsäften von 16.7 auf 25.3, in den dekantierten pulpehaltigen Apfelsäften von 17.1 auf 35.3 und in den Presssäften von 16.1 auf 36.2 an (Abb. 19c).

Tabelle 10: Zucker : Säure-Verhältnisse im Überblick

Zucker : Säure-Verhältnis aller Säfte				
Apfelsorte	Lagerdauer	pulpehaltiger AMS	dekant. pulpeh. AS	trüber Presssaft
Maigold	2 Wochen	16.7	17.1	16.1
Maigold	4 Wochen	18.1	17.1	16.9
Maigold	6 Wochen	18.9	19.5	19.2
Maigold	10 Wochen	21.6	22.3	21.0
Maigold	18 Wochen	25.3	35.3	36.3
Glocken	2 Wochen	14.3	9.1	11.4
Glocken	4 Wochen	12.8	11.0	9.7
Glocken	6 Wochen	14.6	11.1	10.2
Glocken	8 Wochen	14.3	11.6	10.1
Glocken	12 Wochen	14.5	13.9	11.1
Glocken	16 Wochen	15.5	14.6	11.7
Glocken	20 Wochen	17.5	14.8	15.6
Glocken	22 Wochen	17.5	16.8	15.8
Golden	2 Wochen	21.3	23.8	22.3
Golden	4 Wochen	22.1	24.6	23.1
Golden	6 Wochen	23.8	27.6	29.3
Golden	8 Wochen	25.0	31.6	31.9
Golden	12 Wochen	28.5	39.3	37.9
Golden	16 Wochen	27.8	45.4	35.9
Golden	20 Wochen	27.8	50.0	43.0
Golden	22 Wochen	29.1	54.6	48.7
Apfelsaftkonzentrat klar		20.0		

AS = Apfelsaft AMS = Apfelmischsaft

Das Zucker : Säure-Verhältnis der dekantierten pulpehaltigen Apfelsäften entspricht dem Zucker : Säure-Verhältnis der unverdünnten Pulpe in den pulpehaltigen Apfelmischsäften. Die pulpehaltigen Apfelmischsäfte bestehen zu 50% aus rückverdünntem Apfelsaftkonzentrat mit dem Zucker : Säure-Verhältnis von 20.0 und 50% der entsprechenden Pulpe.

4.2.6. Partikelgrössenverteilung in den verschiedenen Apfelsäften

Sowohl bei pulpehaltigen Apfelmischsäften als auch bei dekantierten pulpehaltigen Apfelsäften überwiegt zahlenmässig der Feintrub. Dieses Erkenntnis wird durch die letzte Spalte in der Tabelle 11, Seite 91 bestätigt. Der höchste Wert bezüglich des Volumendurchganges $d(0.9)$ liegt bei $22.85 \mu\text{m}^2$. 90 % aller Teilchen sind flächenmässig kleiner als der angegebene Wert.

Abbildung 20 zeigt einen tangentialen Vibratonschnitt von $200 \mu\text{m}$ Dicke aus der Mitte des parenchymatischen Gewebes einer Golden Delicious Frucht. Gut zu erkennen sind die grossen Interzellularräume zwischen den Zellen.

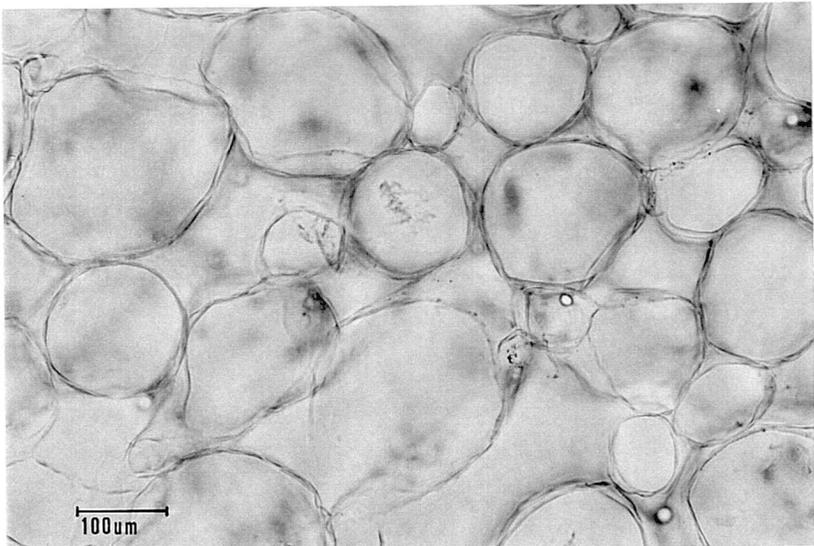


Abbildung 20: Tangentialer Vibratonschnitt im Mittelteil des Apfelparenchyms eines Golden Delicious Apfels.

Abbildung 21 zeigt die 200 fache Vergrösserung eines pulpehaltigen Apfelmischsaftes der Sorte Maigold. Zu beachten sind die durch die Homogenisation bei 200 bar Druck zerstörten Parenchymzellen.

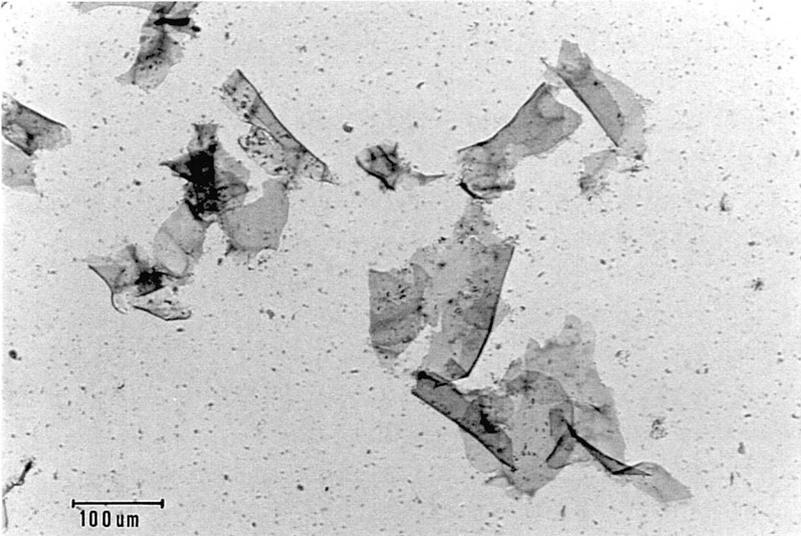


Abbildung 21: Zerstörte Parenchymzellen in einem pulpehaltigen Apfelmischsaft der Sorte Maigold.

Abbildung 22 zeigt die 200 fache Vergrößerung eines dekantierten pulpehaltigen Apfelsaftes der Sorte Golden. Die nicht zerstörten Parenchymzellen weisen darauf hin, dass dieser Saft nicht homogenisiert wurde.

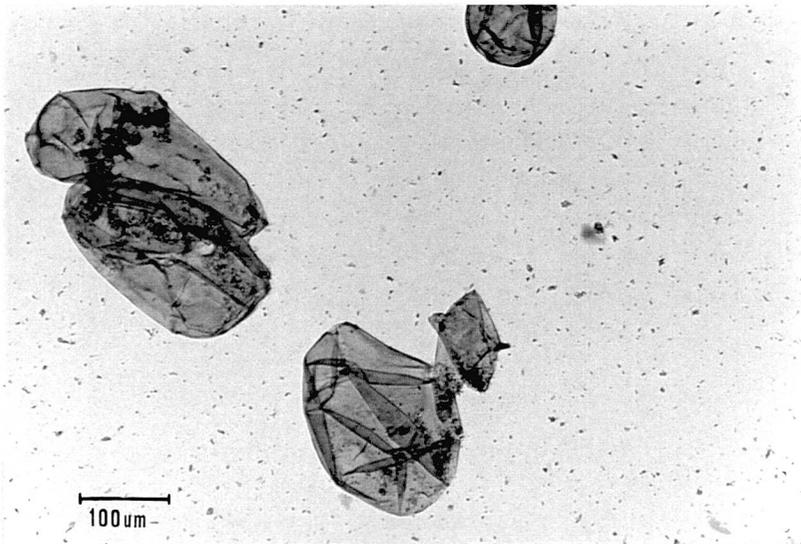


Abbildung 22: Parenchymzellen in einem dekantierten pulpehaltigen Apfelsaft der Sorte Golden Delicious.

Die Homogenisation von pulpehaltigen Apfelmischsäften bei 200 bar Druck, führt zu Produkten mit einer guten Trubstabilität während der geforderten Lagerdauer von 3 Monaten. In diesen Säften sind keine ganzen Zellen mehr gefunden worden. Die Zellfetzen scheinen stärker aufgefasert zu sein. Der Partikelzerkleinerungseffekt vergrössert sich, wenn die Pulpe vor dem Homogenisieren mit 50% Apfelsaft vermischt wird. Die Behandlung vermag die sensorischen und textuellen Eigenschaften des pulpehaltigen Apfelmischsaftes zu verbessern und die Stabilität zu erhöhen.

Das Partikelgrössenspektrum wurde mit Hilfe der Bildanalysesoftware bestimmt (Kap. 3.3.8.).

Die mikroskopischen Bilder bestätigen, dass noch grössere Zellstücke im pulpehaltigen Apfelsaft vorhanden sind (Abb. 21 & 22, Seite 89).

Deutliche Unterschiede in der Partikelgrössenverteilung von Apfelpulpen sind nicht festzustellen.

Die in Tabelle 11 nach Technologie- und Lagerverfahren geordneten Säfte unterscheiden sich bezüglich ihres Partikelgrössenspektrums nur geringfügig voneinander. Angegeben sind die Volumendurchgänge der Partikelflächen in μm^2 d.h. 10, 50 bzw 90% der Teilchen sind flächenmässig kleiner als der in der Tabellenspalte angegebene Wert. Dekantierte pulpehaltige Säfte aus 6 und weniger Wochen gelagerten Äpfeln besitzen tendenziell wegen nicht erfolgter Homogenisierung grössere Partikel. Dazu kann der Vergleich der $d(0.9)$ -Werte herangezogen werden. Die Beschreibung der Trübungsstabilität machte bereits deutlich dass die Saft-Charakteristiken d.h. auch das Partikelgrössenspektrum nicht isoliert betrachtet werden können. Mit allen drei verschiedenen Technologien liessen sich Apfelsäfte mit einer hohen Feintrubkonzentration herstellen. Kleine Partikel überwiegen zahlenmässig.

Tabelle 11: Volumendurchgänge einer Auswahl dreier Saftarten hergestellt aus unterschiedlich lang gelagerten Äpfel d.h. 10% d(0.1), 50% d(0.5) bzw 90% d(0.9) der Teilchen sind flächenmässig kleiner als der angegebene Wert.

Produkte	Lagerdauer der Äpfel	Apfelsorte	Volumendurchgänge		
			d (0.1) [μm^2]	d (0.5) [μm^2]	d (0.9) [μm^2]
trüber Presssaft	20 Wochen	Golden	0.84	2.52	15.56
trüber Presssaft	20 Wochen	Glocken	0.7	1.96	10.79
trüber Presssaft	22 Wochen	Golden	0.84	3.36	22.85
trüber Presssaft	22 Wochen	Glocken	0.84	2.24	10.23
trüber Presssaft	23 Wochen (CA Lag)	Golden	0.84	1.96	10.65
trüber Presssaft	23 Wochen (CA Lag)	Glocken	0.84	2.1	7.71
trüber Presssaft	23 Wochen (CA Lag)	Maigold	0.84	3.36	18.92
Dekant. pulveh. AS	4 Wochen	Maigold	0.84	3.22	15.28
Dekant. pulveh. AS	6 Wochen	Glocken	0.84	2.66	16.26
Dekant. pulveh. AS	4 Wochen	Golden	0.84	2.66	13.32
Dekant. pulveh. AS	20 Wochen	Maigold	0.84	3.22	19.06
Dekant. pulveh. AS	22 Wochen	Glocken	0.98	3.08	11.91
Dekant. pulveh. AS	22 Wochen	Golden	0.84	2.94	12.19
pulveh. AMS	4 Wochen	Maigold	0.84	3.22	15.28
pulveh. AMS	2 Wochen	Glocken	0.84	2.52	10.23
pulveh. AMS	4 Wochen	Golden	0.84	1.96	8.97
pulveh. AMS	12 Wochen	Maigold	0.84	2.38	10.37
pulveh. AMS	22 Wochen	Glocken	0.84	2.8	12.19
pulveh. AMS	22 Wochen	Golden	0.7	1.96	8.69
pulveh. AMS	22 Wochen (CA Lag)	Maigold	0.84	2.26	9.95
pulveh. AMS	23 Wochen (CA Lag)	Glocken	0.84	2.38	10.23
pulveh. AMS	23 Wochen (CA Lag)	Golden	0.84	2.52	8.27

AS = Apfelsaft AMS = Apfelmischsaft

Die Abbildung 23 zeigt die Partikelgrössenverteilung für einen pulpehaltigen Apfelmischsaft (a), einen dekantierten pulpehaltigen Apfelsaft (b) und einen trüben Apfelpresssaft (c) der Sorte Golden Delicious.

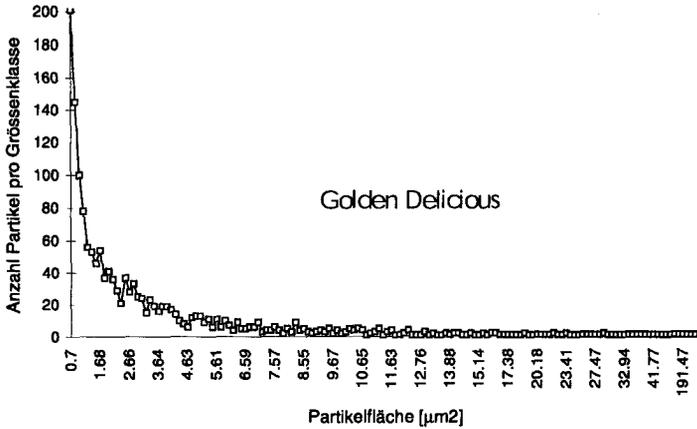


Abbildung 23a: Partikelgrössenspektrum (n=1561) eines pulpehaltigen Apfelmischsaftes, hergestellt aus 22 Wochen kühlgelagerten Golden Äpfeln.



Abbildung 23b: Partikelgrössenspektrum (n=2955) eines dekantierten pulpehaltigen Apfelsaftes, hergestellt aus 22 Wochen kühlgelagerten Golden Äpfeln.

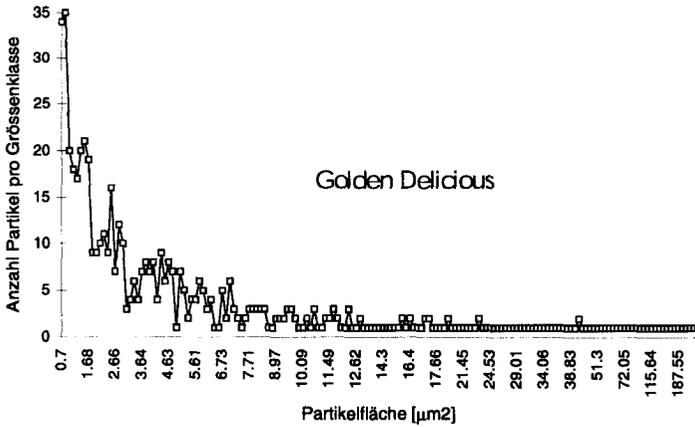


Abbildung 23c: Partikelgrössenspektrum (n=576) eines trüben Apfelpresssaftes, hergestellt aus 22 Wochen kühlgelagerten Golden Äpfeln.

Speziell bei der Herstellung von trubstabilen, naturtrüben Apfelsäften hat der Einsatz der Zentrifugaltechnik einen Vorteil: Gegenüber Pressen sind Dekanter in der Lage, aus natürlich trübem Apfelsaft diejenigen Bestandteile abzutrennen, die die Stabilität und den Geschmack negativ beeinflussen können. Die Partikel werden nach der Grösse klassiert.

4.3. Sensorische Analyse

Die sensorische Analyse von 18 verschiedenen trüben und pulpehaltigen Apfelsäften sollte Aufschluss darüber geben, ob die mit den Analysegeräten ermittelten unterschiedlichen Eigenschaften der Apfelsäfte auch mittels der sensorischen Prüfung unterschieden werden können. Die degustierten Säfte wurden aus unterschiedlich lang kühlgelagerten Äpfeln, aus drei verschiedenen Apfelsorten, nach drei verschiedenen Verfahren hergestellt.

Tabelle 12 zeigt alle für die entsprechenden Attribute hergestellten Referenzen.

Tabelle 12a & b: Rezepturen für Referenzproben für Ankerpunkte „schwach“ und „extrem“.

Attribut	Referenzprobe für Ankerpunkt schwach
Trübung	Naturtrüb Cox Orange 1:6 verd. mit Wasser
fruchtig	Dekantersaft Golden
grasig	Naturtrüb Cox Orange 1:6 verd. mit Wasser
Apfelmus	Dekantersaft Glocken 1:2 verd. mit Wasser
süß	Dekantersaft Golden 1:1 verd. mit Wasser
sauer	Dekantersaft Glocken 1:6 verd. mit Wasser
herb	Naturtrüb Glocken
viskos	Naturtrüb Glocken
sandig	Dekantersaft Glocken aus gelagerten Früchten 1:3 verd.

Attribut	Referenzprobe für Ankerpunkt extrem
Trübung	Dekantersaft Glocken
fruchtig	+ 50 ml Apfelsaftaroma auf 1 l Saft
grasig	Naturtrüb Cox Orange + 2ml Hexanal/ (Fluka Nr. 21520)
Apfelmus	Dekantersaft Glocken
süß	Dekantersaft Golden
sauer	Dekantersaft Glocken
herb	+ 2 g Aluminiumsulfat (Merck Art. 1102)
viskos	Dekantersaft Glocken aus gelagerten Früchten
sandig	Dekantersaft Glocken aus gelagerten Früchten

Tabelle 13 zeigt alle zur sensorischen Analyse verwendeten Säfte.

Tabelle 13: Verzeichnis sensorisch beurteilter Apfelsäfte gegliedert nach Herstellungstechnologie und Lagerdauer der Äpfel.

Technologie	Lagerdauer der Äpfel	Apfelsorte	Lagerdauer der Säfte
Presssaft	6 Wochen	Maigold	28 Wochen
Presssaft	6 Wochen	Glocken	28 Wochen
Presssaft	6 Wochen	Golden	28 Wochen
Presssaft	20 Wochen	Maigold	14 Wochen
Presssaft	20 Wochen	Glocken	14 Wochen
Presssaft	20 Wochen	Golden	14 Wochen
Apfelmischsaft	6 Wochen	Maigold	28 Wochen
Apfelmischsaft	6 Wochen	Glocken	28 Wochen
Apfelmischsaft	6 Wochen	Golden	28 Wochen
Apfelmischsaft	20 Wochen	Maigold	14 Wochen
Apfelmischsaft	20 Wochen	Glocken	14 Wochen
Apfelmischsaft	20 Wochen	Golden	14 Wochen
Dekantersaft	6 Wochen	Maigold	28 Wochen
Dekantersaft	6 Wochen	Glocken	28 Wochen
Dekantersaft	6 Wochen	Golden	28 Wochen
Dekantersaft	20 Wochen	Maigold	14 Wochen
Dekantersaft	20 Wochen	Glocken	14 Wochen
Dekantersaft	20 Wochen	Golden	14 Wochen

Abbildung 24, 25 und 26 zeigen, dass die analytisch ermittelten Unterschiede ausgewählter Apfelsäfte, durch den entsprechend geschulten Panelisten wahrgenommen wurden. Die Mittelwerte berechnet aus der Quantifizierung aller 9 Attribute von 32 Panelisten sind graphisch dargestellt.

Die beiden Glockenapfel Apfelpresssäfte aus verschiedenen lang kühlgelagerten Äpfel unterscheiden sich vorallem bezüglich der Attribute trüb und sauer.

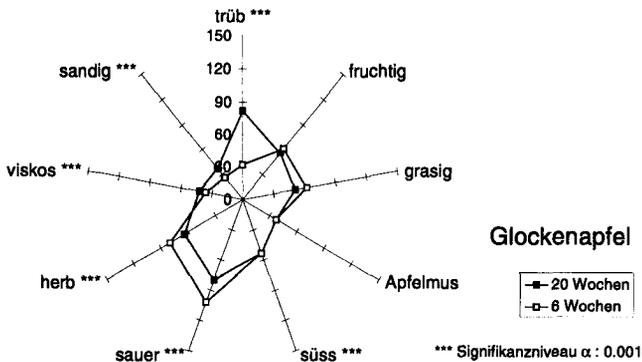


Abbildung 24: Sterndiagramm für die Unterschiede von 9 Attributen von Presssaft aus zwei verschiedenen lang gelagerten Glockenapfel Proben. Lagerdauer der Säfte: 14 rsp 28 Wochen.

Der Unterschied bezüglich der Trübung ist auch in Abbildung 18a & b, Kapitel 4.2.4. (Seite 82) dargestellt. Für den Presssaft, hergestellt aus 6 Wochen kühlgelagerten Äpfeln, wurde ein Trübungswert von 416 TE/F für jenen aus 20 Wochen kühlgelagerten Äpfeln 728 TE/F ermittelt. Die entsprechenden Werte für die titrierbare Gesamtsäure betragen 11.6 g/l titrierte Säure rsp 8.1 g/l.

Die beiden dekantierten pulpehaltigen Apfelsäfte der Sorte Golden Delicious aus verschiedenen lang kühlgelagerten Äpfeln unterscheiden sich vor allem bezüglich der Attribute sandig, viskos und sauer.

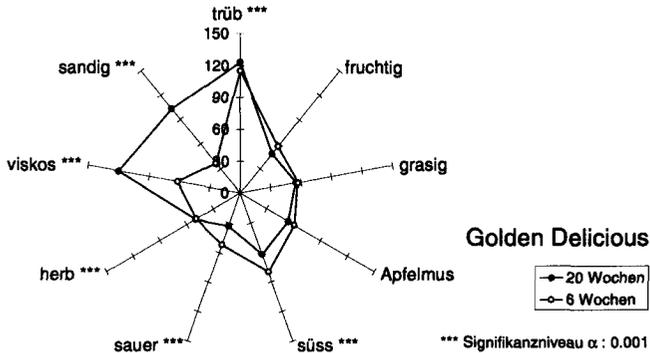


Abbildung 25: Sterndiagramm für die Unterschiede von 9 Attributen in dekantierten pulpehaltigen Apfelsäften der Sorte Golden Delicious.

Die sensorisch wahrgenommenen Unterschiede decken sich mit den analytisch ermittelten Messwerten für die Scherviskosität bzw. für die titrierbare Gesamtsäure berechnet als Äpfelsäure. Die Scherviskosität bei einer Schergeschwindigkeit D von 77.1 s^{-1} beträgt für den aus 6 Wochen kühlgelagerten Äpfeln hergestellten Saft 23.2 mPas für den aus 20 Wochen kühlgelagerten Äpfeln hergestellten Saft 278.8 mPas . Für die titrierbare Gesamtsäure lauten die Werte 4.5 g/l bzw. 2.3 g/l . Siehe dazu die Abbildung 16a, Seite 78 und die Abbildung 19a, Seite 84.

Die beiden trüben Apfelpresssäfte der Sorten Golden Delicious und Glockenapfel unterscheiden sich vorallem in Bezug auf den Säuregehalt voneinander.

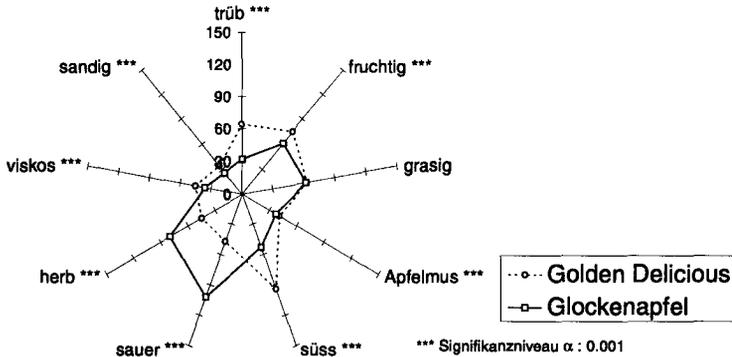


Abbildung 26: Sterndiagramm für die 9 Attribute in trüben Apfelpresssäften der Sorten Golden Delicious und Glockenapfel.

Der Presssaft aus Glocken enthält 11.6 g/l titrierbare Gesamtsäure, der Saft aus Golden 4.5 g/l. Dieser grosse Unterschied lässt sich auch den Abbildungen 19a (Seite 84) und 19b (Seite 85) entnehmen, in denen die Entwicklung des Zucker:Säure-Verhältnisse dargestellt ist. Diese Verhältnisse betragen für den Presssaft aus der Sorte Golden 29.3 bzw. 10.2 für den Presssaft aus der Sorte Glocken.

In untenstehender Hauptkomponenten Analyse (PCA) erklärt die erste Hauptkomponente (HK 1) 44.1%, die zweite Hauptkomponente (HK 2) 31.8% der Varianz. Zusammengenommen erklären beide Hauptkomponenten 75.9% der Varianz.

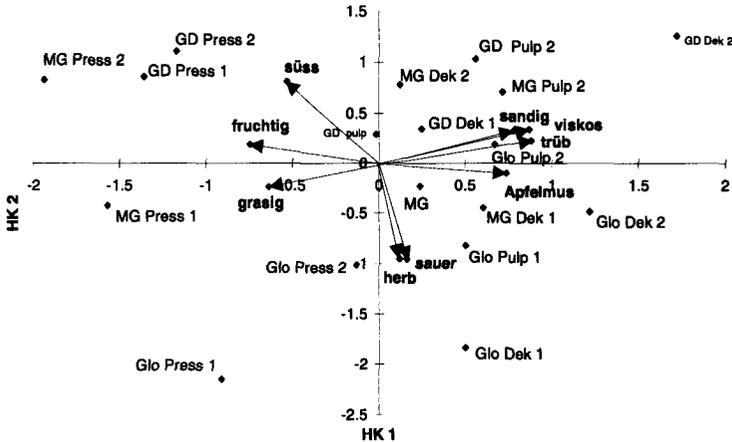


Abbildung 27: Hauptkomponentenanalyse der sensorischen Beurteilung der verschiedenen Apfelsäfte: Factor loadings der 9 Attribute als Vektoren und die 18 verschiedenen Apfelsäfte als factor scores im Koordinatensystem, dass durch die erste und die zweite Hauptkomponente gebildet wird. Die entsprechenden Koordinatenwerte der Korrelationsmatrix und die Abkürzungen sind in Tabelle 14 angegeben.

Die Länge des Vektors entspricht der Wichtigkeit der Variablen für die Erklärung von Varianz im Datenset. Je kleiner der Winkel zwischen zwei Variablen desto höher die Korrelation zwischen den beiden Variablen oder Hauptkomponenten d.h. der Koordinatenachsen und der Variablen. Ein Winkel von 180 Grad bedeutet eine negative Korrelation, ein rechter Winkel keine Korrelation. Säfte die nahe beieinanderliegen, sind sich bezüglich der neun Attribute sehr ähnlich.

Die Streuung ist aus dieser zweidimensionalen Graphik nicht ersichtlich. Es können lediglich bestimmte Tendenzen herausgelesen werden.

Es besteht eine negative Korrelation zwischen den Attributen „Fruchtigkeit“ und „Apfelmus“ sowie zwischen „grasig“ einerseits und „sandig“, „viskos“ und „trüb“ andererseits. Die Attribute „süss“ und „sauer“ sowie „herb“ sind ebenfalls negativ miteinander korreliert.

Tabelle 14: Vektorkoordinaten aller neun Attribute und die Koordinaten aller 18 degustierten Säfte für die Hauptkomponenten Analyse mit der ersten und zweiten Hauptkomponente als Koordinatenachsen aus Abb. 27.

Factor Loadings (Vektoren)			Factor Scores (Punkte)					
Attribut	Faktor 1	Faktor 2	Säfte	Faktor 1	Faktor 2	Säfte	Faktor 1	Faktor 2
trüb	0.880	0.230	MG Dek 1	0.604	-0.450	MG Dek 2	0.124	0.778
fruchtig	-0.746	0.193	Glo Dek 1	0.499	-1.838	Glo Dek 2	1.217	-0.485
grasig	-0.637	-0.242	GD Dek 1	0.248	0.348	GD Dek 2	1.719	1.261
Apfelmus	0.738	-0.106	MG Press 1	-1.571	-0.423	MG Press 2	-1.937	0.829
süss	-0.532	0.812	Glo Press 1	-0.911	-2.148	Glo Press 2	-0.131	-1.009
sauer	0.160	-0.952	GD Press 1	-1.358	0.859	GD Press 2	-1.173	1.106
herb	0.118	-0.953	MG Pulp 1	0.239	-0.234	MG Pulp 2	0.716	0.707
viskos	0.868	0.343	Glo Pulp 1	0.501	-0.817	Glo Pulp 2	0.669	0.192
sandig	0.782	0.338	GD Pulp 1	-0.016	0.293	GD Pulp 2	0.560	1.031

MG = Maigold
Glo = Glocken
GD = Golden

Dek = dekantierter pulpehaltiger Apfelsaft
Press = trüber Apfelpresssaft
Pulp = pulpehaltiger Apfelmischsaft

1 = Apfellaagerung 6 Wochen
2 = Apfellaagerung 20 Wochen

4.4. Schlussfolgerungen

Rohmaterialqualität

Die Qualität des Rohmaterials spielt bei der Herstellung von pulpehaltigen Apfelmischsäften und dekantierten pulpehaltigen Apfelsäften eine grosse Rolle. Der Gesundheits- und der Reifezustand der Äpfel hat auf die Pulpequalität und somit auf die Endqualität von pulpehaltigen Apfelmischsäften einen noch grösseren Einfluss als bei trüben Apfelpresssäften. Das gleiche gilt für die dekantierten pulpehaltigen Apfelsäfte. Mit der Pulpe fliessen alle positiven und negativen Eigenschaften des Apfels in den Saft ein. Vorallem die negativen Faktoren lassen sich nicht mehr ausschalten.

Mostobstsorten mit einem hohen Polyphenolgehalt weisen ein hohes Oxidationspotential auf. Solche Pulpen bräunen sehr rasch und ergeben eine dunkle Farbe, der höhere PP-Gehalt führt auch zu unerwünschten Agglomerierungen der Pulpeteilchen. Pulpehaltige Apfelmischsäfte aus Blauacher Wädenswil waren nie länger als 3 Tage trubstabil. Auch sensorisch vermochten die Säfte nicht zu überzeugen. Aus diesem Grunde wurden nach den Vorversuchen keine Mostobstsorten mehr zu pulpehaltigen Apfelmischsäften verarbeitet.

Bei den Tafelapfelsorten ergaben sich bezüglich der Bräunung. weniger Probleme. Die untersuchten Sorten waren gut lagerfähig und das Fruchtfleisch zeigte auch nach der Maischeerwärmung ohne Zugabe von Antioxidantien intensiv gelb. Bei rotschaligen Apfelsorten werden durch die Maischeerwärmung vorallem die in der Schale lokalisierten Anthocyane extrahiert. Diese geben der Pulpe eine dunkelrosa bis bräunliche Farbe.

Minimal Processing

Steigende Ansprüche seitens der Konsumenten führten zur Gleichsetzung von Qualität und Frische. Minimal Processing Methoden sind charakterisiert durch Haltbarmachungsverfahren, die die Frischeeigenschaften eines Produktes nur minimal oder gar nicht verändern. Die Herstellung von frisch gepresstem nicht pasteurisiertem Orangensaft ist in den USA weit verbreitet und unterliegt präzisen Produktionsvorschriften [Attaway et al., 1989]. Der Frischecharakter des Produktes soll weitestmöglich erhalten bleiben. Dies wird dadurch gewährleistet, dass eine Kombination von verschiedenen Konservierungsmethoden zur Haltbarmachung eingesetzt werden. Somit können die einzelnen Verfahren keinen negativen Einfluss auf die Endqualität des Produktes haben. Durch die Kombination von chemischen und physikalischen Konservierungsverfahren können häufig die Einzelmassnahmen in ihrer Intensität stark reduziert werden. Die Summe aller Hemmeffekte führt zu mehreren mikrobiologischen Hürden, welche als Hürdeneffekt bekannt sind. Während der vorgesehenen Mindesthaltbarkeit sollen keine Verderbsreaktionen ablaufen, die die Säfte ungeniessbar machen. Eine mikrobiologische Stabilität muss gewährleistet sein. Eine Umsetzung des „Minimal Processing“-Konzeptes könnte nur mit dem Einsatz einer Sterilabfüllanlage in sterile Gebinde bei der Herstellung von klarem Apfelsaft erfolgen.

Für die Haltbarmachung spielen mengenmässig die physikalischen Verfahren eindeutig die grösste Rolle und von diesen sind es die thermischen Verfahren, die am weitesten verbreitet sind. Der Wärmeübergang ist umso schlechter, je grösser der Fruchtfleischanteil im Getränk ist, weil vermehrt Konduktion oder Wärmeleitung an Stelle der Konvektion oder Mitführen der Wärme durch Strömung tritt. Bei hohem Fruchtfleischanteil wird die Kerntemperatur in der Flasche langsamer erreicht als bei tiefem Fruchtfleischgehalt. Trotzdem hat eine Erwärmung der Maische eine bessere Stabilität der Pulpe zur Folge und zwar aus drei wichtigen Gründen:

1. Eine Bräunung durch Oxidation wird durch eine Herabsetzung der Sauerstoffkonzentration in der Maische d.h. durch die schlechtere Löslichkeit von Sauerstoff in der Maische teilweise unterbunden.
2. Die Inaktivierung von Pektinenzymen und PPO stoppt einerseits den Abbau trubstabilisierender Inhaltstoffe durch die Pektinenzyme und verhindert andererseits eine Polyphenoloxidation und damit eine Agglomeration und Sedimentation der Pulpeteilchen durch die PPO.
3. Die Verhinderung von qualitätsmindernden Geschmacksveränderungen durch fruchteigene thermolabile Enzyme.

Homogenisation als Schlüsseltechnologie

Es darf angenommen werden, dass das Homogenisieren der dekantierten pulpehaltigen Apfelsäfte zu einer besseren Saftstabilität führt, wie bei der Homogenisation der pulpehaltigen Apfelmischsäfte (Kap. 3.3.). Eine noch bessere Stabilisierung der dekantierten pulpehaltigen Apfelsäfte könnte durch Homogenisation nach dem Entlüften wie bei den pulpehaltigen Apfelmischsäften erreicht werden. Der Druck soll auch im Bereich von 200 bar liegen, um die trubstabilisierenden Saftkomponenten d.h. Hydrokolloide nicht zu Zerstören. Die Homogenität der Säfte könnte dadurch nochmals verbessert werden. Die Homogenisierung kann als Schlüsseltechnologie auf dem Wege der Verfeinerung von Apfelpulpe bezeichnet werden.

Die Verfeinerung der Pulpe mit der Zahnkolloidmühle, die Entlüftung und die anschließende Homogenisierung brachte bei den Mostobstsorten nicht die gleich guten Resultate in den Vorversuchen bezüglich Stabilität, wie bei der Verarbeitung von Tafelapfelsorten. Die Verfeinerung mit Zahnkolloidmühle und Homogenisator stellt bei Tafelapfelsorten keine besonderen Probleme. Bei weicheren Früchten liegen viele Zellen noch intakt vor d.h. der Zellsaft und die Zellorganellen sind nicht direkt dem Sauerstoff ausgesetzt. Eine schnelle Verarbeitung bis zur mikrobiologischen Stabilisierung in der Flasche trägt zusätzlich zur besseren Stabilität des Endproduktes bei. Mit dem Arbeiten unter Schutzgas in einem automatisierten Betrieb, könnte eine qualitative Standardisierung der pulpehaltigen Säfte optimiert werden.

Trübungsqualität

Die Trübungsqualität wird in erster Linie durch die Maischeerwärmung und die Verfeinerung der grobkörnigen Pulpe verbessert. Ohne Maischeerwärmung riskiert man die Bildung von unerwünschten Sekundäraromen. Die sensorische wie auch die mikrobiologische Stabilität eines pulpehaltigen Getränkes ist ohne Maischeerwärmung nicht zu erreichen.

Zur Lagerung der pulpehaltigen Apfelsäfte sei die Kühlung bei maximal 2°C empfohlen. Ein pasteurisierter Apfelsaft ist nie über längere Zeit vollkommen stabil. Bei tiefen Temperaturen laufen die biochemischen Reaktionen nur noch sehr langsam ab. Die Säfte bleiben längere Zeit frisch.

Das Arbeiten unter Stickstoffschutzgas könnte die Aromaqualität von pulpehaltigen Apfelsäften verbessern. Die geschmacklichen Eigenschaften könnten durch das Herstellen von Sortenmischsäften zusätzlich verbessert werden. Die vollkommene Verhinderung der Oxidation durch Kohlendioxid führt zu einer herausragenden Trübungsintensität und -stabilität durch verminderte Partikelgröße der Trubteilchen in trüben Apfelsäften bei heller Farbe, schwachem Aroma und erhöhter Viskosität des Serums. Die Aroma- und Pulpequalität von Mischsäften aus verschiedenen Apfelsorten bester Qualität ist höher einzustufen als die sortenreiner Säfte, die aus Forschungsgründen hergestellt wurden.

Die Analytik muss an die pulpehaltigen Apfelsäfte angepasst werden, damit ihre spezifischen Eigenschaften besser bestimmt werden können.

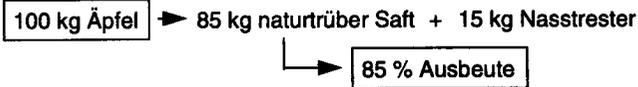
Ausblick in die Praxis

Durch die Pulpegewinnung kann die Ausbeute von wertvollen Apfelbestandteilen gesteigert werden.

Bei einer Ausbeute von 96% an Fruchtmark liegt der Anteil an Schalenteilen, Stielen und Samen beim neuen Verfahren zur Herstellung von pulpehaltigem Apfelmischsaft bei lediglich 4%. Bei der Herstellung von dekantiertem pulpehaltigem Apfelsaft beträgt die Ausbeute unter günstigen Verhältnissen 86%.

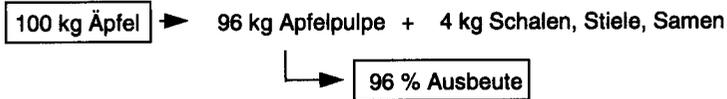
Es ist festzuhalten, dass die Restpulpe nach dem Vermahlen auch zur Herstellung von pulpehaltigem Apfelmischsaft verwendet werden könnte und so die Ausbeute nochmals gesteigert werden könnte.

A) Herstellung von Apfelsaft

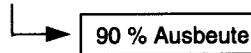


B) Herstellung von pulpehaltigem Apfelmischsaft

=> Gewinnung von Apfelpulpe



=> Mischung mit Apfelsaft aus A) im Verhältnis 1:1



C) Herstellung von dekantiertem pulpehaltigem Apfelsaft

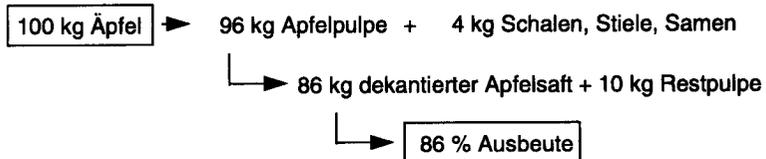


Abbildung 28: Ausbeuteberechnung bei der Herstellung von naturtrübem Apfelsaft im Vergleich zur Gewinnung von Apfelpulpe und weiter zu pulpehaltigem Apfelmischsaft resp dekantiertem pulpehaltigem Apfelsaft. Die Mengenverhältnisse beziehen sich auf den günstigsten Fall aller Produktionen. Die Prozentangaben beziehen sich auf die eingesetzte Rohstoffmenge.

5. Literaturverzeichnis

Aeppli, A., 1984, „Qualitätsmerkmale von Apfelsorten“, Schweiz. Zeitsch. Obst Weinbau **120**, 456-462.

Aeppli, A., Gremminger, U., Kellerhals, M., Rappillard, Ch., Röthlisberger, K. & Rusterholz, P., 1989, „Obstsorten“, 3. Auflage, LmZ Zollikofen, Schweiz.

APV-Tetra Laval, 1988, Technical Bulletin nr. 855, Lübeck, Deutschland.

Askar, A., 1987, „Verarbeitung von tropischen Früchten“, In Schobinger, U. [Hrsg.], Frucht- und Gemüsesäfte, 2. Auflage, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 226-262.

Askar, A., Gierschner, K., Siliha, H. & El-Zoghbi, M., 1991, „Polysaccharide und Trubstabilität tropischer Nektare“, Fl. Obst **58** (5), 244-255.

Askar, A. & Treptow, H., 1992, „Trubstabile und hochwertige Nektare aus tropischen Früchten“, Confructa **36** (5/6), 130-138, 140-145, 148-153.

Attaway, J., Carter, R. & Fellers, P., 1989, „Die Herstellung und Behandlung von frisch gepresstem, nicht pasteurisiertem Orangensaft“, Fl. Obst **56** (10), 606-612.

Bertuzzi, A., 1961, „Homogene Fruchtcreme - Technologie und Verwendung“, Fruchtsaftindustrie **6** (7/8), 269-278.

Beveridge, T. & Tait, V., 1993, „Structure and Composition of Apple Juice Haze“, Food Structure **12**, 195-198.

Beveridge, T., 1997a, „Haze and Cloud in Apple Juices“, Critical Reviews in Food Science and Nutrition **37** (1), 75-91.

Beveridge, T., Harrison, J. & Weintraub, S., 1997b, „Procyanidin Contributions to Haze Formation in Anaerobically Produced Apple Juice“, *Lebensm. Wiss. Technol.* **30** (6), 594-601.

Buchanan, R. & Doyle, M., 1997, „Foodborne Disease Significance of *Escherichia coli* O 157:H7 and other Enterohemorrhagic *E.coli*“, *Food Technol.* **51** (10), 69-76.

Bump, V., 1989, „Apple Pressing and Juice Extraction“, In: Downing, D. [Ed.], *Processed Apple Products*, AVI Publishing, 1st edition, New York, USA, 53-82.

Bundschuh, E., 1987, „Charakterisierung der mittels einer speziellen Methode durch Extraktion mit komprimiertem Kohlendioxid aus Äpfeln und Apfelreststoffen gewonnenen Aromastoffe und Wachse“, *Dissertation Universität Hohenheim, Stuttgart*.

Casimir, D., 1973, „Production of Pear Puree and Concentrated Pear Puree“, *CSIRO Food Research Quaterly* **33**, 64-67.

Crandall, P., 1987, „Verarbeitung von Citrusfrüchten“ In Schobinger, U. [Hrsg.], *Frucht- und Gemüsesäfte*, 2. Auflage, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 202-226.

Decio, P., 1994, „Compact Puree and Nectar Line“, *Fl. Obst* **61** (9), 254-258.

Dietrich, H., Gierschner, K., Pecoroni, S., Zimmer, E. & Will, F., 1996, „Neue Erkenntnisse zu dem Phänomen der Trübungsstabilität - Erste Ergebnisse aus einem laufenden Forschungsprogramm“, *Fl. Obst* **63** (1), 7-10.

Dietrich, H. & Will, F., 1996, „Bedeutung der Stärke bei der Herstellung von Apfelsaft“, *Fl. Obst* **63** (10), 582-587.

Ding, T. & Weger, E., 1997 „Fruchtpürees - frische Früchte für die Lebensmittelindustrie“, *Fl. Obst* **64** (11), 619-621.

Dürr, P. & Schobinger, U., 1993, „Clear Apple Juice without Heat Treatment“, *Berichte Wiss.-Techn. Komm., IFU*, Band **23**, 123-133.

Eggenberger, W., 1949, „Biochemische Untersuchungen an Äpfeln während der Entwicklung und Lagerung“, *Ber. Schweiz. Bot. Ges.* **59**, 91-154.

Emch, F., 1963, „Die Herstellung naturtrüber Säfte“, *Fl. Obst* **30** (7), 11-17.

Endress, H.U., 1996, „Pektin und Pektinenzyme in der Technologie pflanzlicher Lebensmittel“, *Fl. Obst* **63** (10), 567-574.

Fischer, M., 1993, „Changes in the pectic substances during the ripening of apples“, *Dissertation ETH Nr. 10336*.

Godfrey Usiak, A., Bourne, M. & Rao, M., 1995, „Blanch Temperature/Time Effects on Rheological Properties of Applesauce“, *J. Food Sci.* **60** (6), 1289-1291.

Handschuh, B., 1996, „Püree- und Nektarherstellung“, *Fl. Obst* **63** (3), 128-129.

Havighorst, C., 1948, „Quality Apple Juice made with Comminuter“, *Food Industries* **20** (12), 1746-1749.

Herrmann, K., 1992, „Vorkommen, Gehalte und Bedeutung von Inhaltsstoffen des Obstes und Gemüses“, IV. Aromastoffe des Obstes; *Ind. Obst. Gem. Verw.* **77** (1), 2-6.

Herrmann, K., 1993, „Zur quantitativen Veränderung phenolischer Inhaltsstoffe bei der Gewinnung von Apfel- und Birnensäften“, *Fl. Obst* **60** (1), 7-10.

Höhn, E., 1988, „Neue Obstlagerungsmethoden“, *Schweiz. Zeitsch. Obst Weinbau* **124**, 690-698.

Kardos, E., 1979, „Fruchtfleischhaltige Säfte (Nektare)“ In : Obst- und Gemüsesäfte, 2. deutschsprachige Auflage, VEB Fachbuchverlag Leipzig, DDR, 367-381.

Kraft, K., Pecoroni, S. & Gierschner, K., 1997, „Beitrag zum kolloidchemischen Verständnis der Trübungsstabilität naturtrüber Apfelsäfte“, Ind. Obst. Gem. Verw. **82** (5), 146-152.

Krop, J., 1974, „The mechanism of cloud loss phenomena in orange juice“, Doctoral thesis, Agricultural University Wageningen, The Netherlands.

Labuza, T., Lillemo, J. & Taoukis, P., 1992, „Die Hemmung von Polyphenoloxidasen durch proteolytische Enzyme“, Fl. Obst **59** (1), 15-20.

Lapsley, K., 1989, „Texture of fresh apples - Evaluation and relationship to structure“, Ph. D. Thesis, ETH Nr. 8802.

Lapsley, K., Escher, F. & Hoehn, E., 1992, „The cellular structure of selected apple varieties“, Food Structure **11**, 339-349.

Lea, A. G. H., 1984, „Farb- und Gerbstoffe in englischen Mostäpfeln“, Fl. Obst **51** (8), 356-361.

Linke, L., 1993, „Obst, Gemüse und deren Produkte“, In: Weipert, D., Tscheuschner, H. & Windhab, E. [Hrsg.], Rheologie der Lebensmittel, Behr's Verlag, Hamburg, Deutschland, 389-429.

Lozano, J., Drudis-Biscarri, R. & Ibarz-Ribaz, A., 1994, „Enzymatic Browning in Apple Pulps“, J. Food Sci **59** (3), 564-567.

Luh, B.S., 1980, „Tropical Fruit Beverages“, In: Nelson, P. & Tressler D. [Eds.], „Fruit and Vegetable Juice Processing Technology“, 3rd edition, AVI Publishing Company, Westport, Connecticut, USA, 344-435.

Luh, B.S., 1980, „Nectars, Pulpy Juices and Fruit Juice Blends“, In: Nelson, P. & Tressler D., „Fruit and Vegetable Juice Processing Technology“, 3rd edition, AVI Publishing Company, Westport, Connecticut, USA, 436-505.

Maltshev, E. & Mollov, P., 1996, „Trubstabile fruchtfleischhaltige Nektare ohne Verwendung von Enzymen?, 1. Mitteilung“, Fl. Obst **63** (3), 130-133.

McKenzie, D. & Beveridge, T., 1988, „The effect of storage, processing and enzyme treatment on the microstructure of cloudy Spartan apple juice particulate“, Food Microstructure **7**, 195-203.

Mohr, W., 1989, „Influence of cultivar, fruit maturity and fruit anatomy on apple sauce particle size and texture“, Int. J. Food Sci. Technol. **24**, 403-413.

Mollov, P. & Maltshev, E., 1996, „Trubstabile fruchtfleischhaltige Nektare ohne Verwendung von Enzymen?, 2. Mitteilung“, Einfluss des Pektins auf die Konsistenz und die Trubstabilität der Nektare, Fl. Obst **63** (6), 320-323.

Moulding, P., Singleton, D., McLellan, K. & Robinson, D., 1988, „Purification and heat stability of Cox's apple pulp peroxidase isoenzymes“, Int. J. Food Sci. Technol. **23** (4), 343-351.

Nagel, B., 1992, „Kontinuierliche Herstellung von hochwertigen naturtrüben Apfelsäften“, Fl. Obst **59** (1), 6-8.

Osterloh, A., Ebert, G., Held, W., Schulz, H. & Urban, E., 1996, „Lagerung von Obst und Südfrüchten“, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

Pecoroni, S. & Gierschner, K., 1993, „Trübe Fruchtsäfte und fruchtsafthaltige Getränke mit schwebestabilen Trubstoffen“, Getränkeindustrie **47** (10), 788-798.

Pecoroni, S., Zimmer, E., Gierschner, K. & Dietrich, H., 1996, „Trubstabile naturtrübe Apfelsäfte - Herstellungstechnologie und Rohwareneinfluss“, Fl. Obst **63** (1), 11-15.

Pecoroni, S., 1996, „Bewertung technologischer Einflussfaktoren bei der Herstellung trüber Säfte durch moderne physikalische Messmethoden“, Fl. Obst **63** (12), 706-711.

Pilnik, W., 1973, „Biochemie und gärungslose Obstverwertung“, Fl. Obst **40** (11), 442-451.

Possmann, Ph. & Sprinz, C., 1986, „Ganzfruchtverarbeitung - Herstellung von Frucht- und Gemüsepüree, Frucht- und Gemüsemarkkonzentrat sowie tropischen Fruchtpürees für Nektare und Trunke“, Confructa **30** (1), 24-40.

Rao, M., Cooley, H., Nogueira, J. & McLellan, M., 1986, „Rheology of Apple Sauce: Effect of Apple Cultivar, Firmness and Processing Parameters“, J. Food Sci. **51** (1), 176-179.

Schaller, A., Keszthelyi, G. & Sämman, H., 1970, „Eine Methode zur Schätzung des mittleren Dichtewertes von hydratisierten Fruchtfleischteilchen“, Confructa **15** (6), 376-381.

Schaller, A. & Sämman, H., 1974, „Ergebnisse stereologischer Untersuchungen von Aprikosenpüree“, Confructa **19** (6), 286-292.

Schlich, P., 1993, „Uses of change-over designs and repeated measurements in sensory and consumer studies“, Food Quality Preference **4**, 223-235.

Schobinger, U., 1979, „Untersuchungen über die Herstellung von trubstabilen Kernobstsäften“, Schweiz. Zeitsch. Obst Weinbau **115** (8), 422-427.

Schobinger, U., 1987, „Frucht- und Gemüsesäfte“, 2. Auflage, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

Schobinger, U., 1991, „Frucht- und Gemüsesäfte“ in: Die ernährungsphysiologische Bedeutung der Getränke, Schriftenreihe der Schweizerischen Vereinigung für Ernährung, Bern, Heft **65**, 49-62.

Schols, H., in't Veld, P., van Deelen, W. & Voragen, A., 1991, „The effect of the manufacturing method on the characteristics of apple juice“, Z. Lebensm. Unters. Forsch. **192**, 142-148.

Siliha, H., 1985, „Studies on cloud stability of apricot nectar“, Ph. D. Thesis, Agricultural University Wageningen, The Netherlands.

Smock, R. & Neubert, A., 1950, „Apple and Apple Products“, Interscience Publ., Inc., New York.

Stähle, S., 1989a, „Quantitative Erfassung und Bewertung technologischer Einflüsse und Rohwarenparameter auf die Trubausbeute und Trübungsstabilität in trüben Apfelsäften“, Dissertation Universität Hohenheim, Stuttgart.

Stähle, S. & Gierschner, K., 1989b, „Trubzusammensetzung und ihr Einfluss auf die Trübungsstabilität in naturtrüben Apfelsäften. Fl. Obst **56** (9), 543-557.

Stocker, F., 1989, „Mischen, Homogenisieren, Entgasen von Früchte- und Gemüsepulpen“, Fl. Obst **56** (9), 530-536.

Stoll, K., 1997, „Der Apfel, Inhaltsstoffe-Fruchtaufbau-Qualitätserkennung, 1. Auflage, Verlag Enrico Negri AG, Zürich.

Strübi, P., 1976, „Untersuchungen über die Herstellung von Apfelnektar mit einem pektolytischen Enzympräparat“, Dissertation ETH Nr. 5647.

Strübi, P., Escher, F. & Neukom, H., 1978, „Use of a Macerating Pectic Enzyme in Apple Nectar Processing“, *J. Food Sci.* **43**, 260-263.

Stüssi, J., Escher, F. & Höhn, E., 1996, „Production of pulp-containing apple juices“, XII. International Congress of Fruit Juice, Interlaken, *Berichte Wiss.-Techn. Komm.*, IFU, Band **24**, 87-97.

Sulc, D., 1987, „Herstellung von Fruchtmarm bzw. Fruchtnektaren“ In Schobinger, U. [Hrsg.], *Frucht- und Gemüsesäfte*, 2. Auflage, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 190-202.

Tanner, H. & Brunner, H., 1979, „Getränkeanalytik“, Verlag Heller Chemie- und Verwaltungsgesellschaft mbH, Schwäbisch Hall.

Trifiro, A., Gherardi, S., Ponton, M. & Carpi, G., 1993, „Production of stable turbidity peach juices by ultrafiltration and homogenisation“, *Berichte Wiss.-Techn. Komm.*, IFU, Band **23**, 21-36.

Versteeg, C., 1979, „Pectinesterases from the orange fruit - their purification, general characteristics and juice cloud destabilizing properties“, *Doctoral thesis*, Agricultural University Wageningen, The Netherlands.

Weinert, I. & van Wyk, P., 1988, „Guava puree with reduced stone cell content: preparation and characteristics of concentrates and nectars“, *Int. J. Food Sci Technol.* **23** (6), 501-510.

Weiss, J. & Sámann, H., 1972, „Ergebnisse von Untersuchungen über die Trubstabilität von Marillennektar“, *Mitt. Klosterneuburg* **22**, 177-184.

Wiley, R. & Binkley, C., 1989, „Applesauce and other canned Apple Products“, In: Downing, D. [Ed.], *Processed Apple Products*, AVI Publishing, 1st edition, New York, USA, 215-238.

Will, F., 1997, „Pektin aus der Pflanzenzellwand - Bedeutung für die Fruchtsaftpraxis“, Fl. Obst **64** (6), 301-305.

Zimmer, E., Pecoroni, S., Dietrich, H. & Gierschner, K., 1994, „Verfahrenstechnische und chemische Grundlagen der Herstellung von trübem Apfelsaft unter besonderer Berücksichtigung von kontinuierlichen Verfahren“, Ind. Obst. Gem. Verw. **79** (11), 405-412; (12), 426-434.

Lebenslauf von Joachim Stüssi

- 1965 Geboren am 7. September 1965 in Thun/BE
- 1972 - 1976 Primarschule Thun/BE
- 1976 - 1981 Progymnasium Thun/BE
- 1981 - 1985 Freies Gymnasium Bern, Maturität Typus C
- 1985 Sprachaufenthalt in Cambridge/GB, First Certificate in English
- 1986 - 1992 Studium an der Eidgenössischen Technischen Hochschule
in Zürich, Abteilung für Landwirtschaft, Fachrichtung
Lebensmittelingenieur, Praktika in verschiedenen
Lebensmittelbetrieben
- 1992 Diplom als Lebensmittelingenieur ETH
- 1993 - 1997 Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Eidgenössischen
Forschungsanstalt Wädenswil
Ausführung der vorliegenden Promotionsarbeit in Zusammen-
arbeit mit dem Institut für Lebensmittelwissenschaft der ETH
Zürich unter der Leitung von Prof. Dr. F. Escher
- ab 1.5.1998 Entwicklung und Verkauf von Cross Flow Filtersystemen
Filtrox AG, St. Gallen