

1 Einleitung und Zielstellung

Kaffee stellt wertmäßig nach dem Erdöl das zweitwichtigste Welthandelsgut dar. Trotz leicht rückläufigen Verbrauchs ist Kaffee nach wie vor das beliebteste Getränk in Deutschland, 91 % der Deutschen über 14 Jahre trinken regelmäßig Kaffee. Jeder Deutsche über 15 Jahre trank im Jahr 2001 etwa 160 l Kaffee, das sind knapp vier Tassen pro Tag. Der Kaffeeverbrauch pro Kopf lag nach Angaben des Deutschen Kaffeeverbandes bei 6,7 kg Rohkaffee, wie schon in den Jahren 1998 bis 2000. 2001 wurden in Deutschland 549.530 t Rohkaffee zu 430.000 t Röstkaffee – davon 71 % unbehandelt und 29 % behandelt, z.B. entcaffeinert – und 14.550 t löslichem Kaffee verarbeitet, der Gesamtumsatz betrug 7,55 Mrd. DM.

Aber Kaffee ist nicht nur ein besonders wichtiges, sondern auch ein sehr altes Genussmittel. Der Ursprung des Kaffeeanbaus liegt in Äthiopien bzw. dem Jemen. Im 14. Jahrhundert setzte sich Kaffee in der arabischen Welt durch. Das erste europäische Kaffeehaus wurde 1647 in Venedig eröffnet, in Deutschland 1673 in Bremen und 1679 in Hamburg.

Die Kaffeepflanze gehört zur Gattung *Coffea*. Man kennt verschiedene Gruppen, doch als Kulturpflanze haben nur zwei eine Bedeutung: *Coffea arabica* und *Coffea canephora* var. *Robusta*, evtl. kann auch *Coffea liberica* noch dazugezählt werden. Angebaut wird Arabica-Kaffee in den Tropen zwischen dem 23. Grad nördlicher und dem 25. Grad südlicher Breite, dem sog. „Kaffeegürtel“. In allen Anbauländern stellt der Export von Kaffee einen bedeutenden Teil der Wirtschaftsleistung dar.

Röstkaffee ist ein zelluläres Material, mit einer Matrix aus Kohlenhydraten und Ölen. Bei der Herstellung des Kaffeetränks wird nur Wasser als Lösemittel eingesetzt. Es löst die lösliche Trockensubstanz ebenso wie flüchtige Aroma- und Geschmacksstoffe. Das Kaffeetränk besteht also aus Wasser, gelösten Stoffen (Molekülen) und einer dispergierten Phase.

Die Zubereitung des Kaffeetränkes aus gemahlenem Röstkaffee stellt eine Fest/Flüssig-Extraktion dar.

Bisherige wissenschaftliche Untersuchungen zum Kaffee befassen sich hauptsächlich mit der Chemie der Geschmacks- und Aromastoffe. Auch die physikalisch-chemischen Grundlagen der Röstkaffee-Extraktion sind vereinzelt untersucht worden, wobei sich die publizierten Ergebnisse deutlich voneinander unterscheiden. Gerade im Hinblick auf die Optimierung der Extraktion sind vertiefte Kenntnisse auf diesem Gebiet aber notwendig.

Trotz täglich millionenfachen Einsatzes ist die Entwicklung von neuen Geräten zur Kaffee-Extraktion immer noch ein vorwiegend empirischer Prozess.

Im Rahmen eines Forschungsprojektes in Kooperation mit dem Arbeitsbereich Verfahrenstechnik II der TU Hamburg-Harburg sollten wesentliche Verfahrensparameter der Röstkaffee-Extraktion ermittelt sowie eine Modellierung des Gesamtprozesses erarbeitet werden.

Ziel dieser Arbeit ist es, physikalisch-chemische Parameter zur Aufstellung dieses Modells zu liefern, welches die Extraktion und ihre wesentlichen Einflussgrößen beschreibt.

Dazu wurden im Folgenden die wesentlichen Untersuchungen aus der Literatur zusammengefasst.

Eigene Untersuchungen zur Charakterisierung der eingesetzten Kaffeepartikel und deren Veränderung während der Extraktion sowie dem Verhalten von Kaffeepartikeln bei Kontakt mit Wasser (Benetzung, Quellung) bilden den ersten Teil der durchgeführten Arbeiten.

Als eine Komponente, die in der aktuellen Diskussion über eine mögliche Erhöhung des Blutfettgehaltes durch Kaffeekonsum besonders relevant ist, wird der Gehalt an Lipiden bei der Zubereitung mit Filtration untersucht.

Im dritten Teil werden verschiedenste physikalisch-chemischen Parameter des Kaffeegetränkes auf ihre Korrelation mit dem Gesamtfeststoffgehalt untersucht, um so zu einer schnellen und genauen Methode zu dessen Bestimmung zu kommen. Dabei werden die erhaltenen Werte mit denen verglichen, die bei Anwendung der wenigen bisher verfügbaren Referenzmethoden erhalten werden.

Messungen der elektrischen Leitfähigkeit direkt im Extraktionsraum sowie visuelle Beobachtungen in einem präparierten Kaffeefilter im vierten Teil der Arbeit ermöglichen einen direkten Vergleich mit den Vorhersagen des aufgestellten Modells zum zeitlichen Verlauf der Röstkaffee-Extraktion.

2 Stand des Wissens und Grundlagen der Kaffee-Extraktion

2.1 Zubereitungsverfahren

Für die Zubereitung eines Getränks aus den gerösteten und gemahlene Kaffeebohnen existieren die unterschiedlichsten Zubereitungsarten. Einige Verfahren arbeiten unter Überdruck, so z.B. die Espressozubereitung, andere nicht. Da Wasser als Lösemittel fungiert, wird bei Temperaturen im Bereich 80 ... 150 °C extrahiert. Ferner kann mit oder ohne (Re-)Zirkulation des Wassers oder des Kaffeegetränkes gearbeitet werden. Bei einigen Verfahren wird das Gemisch aus Wasser und Röstkaffee aufgekocht, andere Verfahren verzichten auf eine Filtration zur Abtrennung des extrahierten Kaffeemehls. Der Zulauf des heißen Wassers kann kontinuierlich oder diskontinuierlich geschehen. Bei einigen Zubereitungsmethoden kann der Anwender die Zubereitungsdauer selbst bestimmen, z.B. bei der Santos-Methode, bei anderen ist sie durch das Verfahren festgelegt. Eine Übersicht über die bekannten Verfahren gibt Tabelle 2.1.

Tabelle 2.1: Übersicht über Brühverfahren (nach G. Pictet in [CLA87] bzw. [MAI81])

Verfahren	Prinzip	Bezeichnung
<i>1. Manuelle Verfahren</i>		
a) Filtration (Perkolation)	Kochendes Wasser wird durch einen Filter gegossen, in dem sich das Kaffeemehl befindet	GB: filter cones USA: drip-pots
b) Ziehen lassen (Aufbrühen, Infusion)	Kochendes Wasser wird über das Kaffeemehl gegeben, dann einige Zeit stehen gelassen und dekantiert oder filtriert.	Pressstempelkanne („Plunger“) GB: jugs USA: open pots
c) Aufkochen (Dekokt)	Wasser und Kaffeemehl werden zusammen gekocht	GB: saucepan method
d) Türkischer Kaffee	Spezialfall von 1c); sehr feines Kaffeemehl, mit Zucker gekocht; keine weitere Trennung	
<i>2. Maschineller Aufguss</i>		
a) Filtration unter Schwerkraft	Perkolation mit Filtration	Haushaltskaffeemaschinen automatic filter machines or brewers
Filtration unter Druck		Kolbenmaschinen
Filtration mit Rezirkulation		GB, USA: percolators
b) kontinuierliche Wasserzirkulation	Der gemahlene Kaffee wird durch kochendes Wasser aus einem zweiten Behälter ständig in Suspension gehalten. Wird die Heizung des zweiten Behälters unterbrochen, entsteht ein Vakuum, wodurch der Kaffee durch einen Filter in den zweiten Behälter gesogen wird.	Im Deutschen allgemein als „Santos“-Methode bekannt GB: Cona USA: vacuum-maker

c)	Vaporisation unter Druck	Espresso
<i>3. Catering-Ausrüstungen</i>		
a)	Urns	große Kaffeemaschinen
b)	Vending Machines	Jede Tasse wird erst bei Anforderung zubereitet, evtl. wird das Kaffeemehl zuvor erst gemahlen.
c)	Espresso-Maschinen	siehe 2 c)

Das Fassenvolumen reicht von 15 ... 250 ml, wozu 5 ... 15 g gemahlener Röstkaffee extrahiert werden.

Bei allen Zubereitungsarten des Kaffeegetränkes ist die Extraktion neben der Röstung und der Qualität des Rohkaffees und des Wassers der dritte entscheidende Einflussparameter. Da Kaffee ein Naturprodukt ist, handelt es sich bei allen Schritten der Verarbeitung, vor allem aber auch der Extraktion, um recht komplexe Prozesse, über deren grundlegende Reaktionen noch wenig bekannt ist.

Bisherige wissenschaftliche Untersuchungen zum Kaffee befassen sich hauptsächlich mit der Chemie der Geschmacks- und Aromastoffe, dagegen sind die physikalisch-chemischen Grundlagen der Röstkaffee-Extraktion wenig erforscht, obwohl vertiefte Kenntnisse auf diesem Gebiet bei der Verarbeitung im Hinblick auf eine Optimierung des Extraktionsprozesses hilfreich sind.

Röstkaffee ist ein zelluläres Material, mit einer Matrix aus Kohlenhydraten und Ölen. Bei der Extraktion zur Herstellung von Kaffeegetränk wird nur Wasser als Lösemittel eingesetzt. Es löst die lösliche Trockensubstanz ebenso wie flüchtige Aroma- und Geschmacksstoffe. Das Kaffeegetränk besteht also aus Wasser, gelösten Stoffen (Molekülen) und einer dispergierten Phase.

Im Kaffee sind bisher 1.800 chemische Verbindungen nachweisbar. Sie zeigen alle ein unterschiedliches Extraktionsverhalten. Am leichtesten löslich sind sauer und süß schmeckende Verbindungen. Erst wenn man durch entsprechende Prozessführung eine hohe Extraktionsausbeute erreicht, werden auch bitter und adstringierend schmeckende Verbindungen mit extrahiert.

Die Veränderung der Zusammensetzung der chemischen Inhaltsstoffe von Röstkaffee und Kaffeegetränk durch deren unterschiedliche Löslichkeit während der Extraktion zeigt Abbildung 2.1.

Nur ein sehr geringer Anteil des Kaffeeöls sowie des Lignins gehen bei der Zubereitung in das Kaffeegetränk über, Polysaccharide dagegen in größerem Ausmaß. Wegen ihrer guten Löslichkeit ist der Anteil von Coffein, Mineralstoffen und Säuren im Kaffeegetränk höher als im Röstkaffee. Aber immer noch ca. 25 % der im Kaffeegetränk enthaltenen Stoffe sind unbekannt.