

Diss. ETH No. 13620

**INVESTIGATIONS ON THE  
HOT AIR ROASTING OF COFFEE BEANS**

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
ZURICH

for the degree of  
Doctor of Technical Sciences

presented by

STEFAN SCHENKER  
Dipl. Lm.-Ing. ETH  
born October 01, 1968  
citizen of Däniken SO

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. F. Escher, examiner  
PD Dr. G. Ziegler, co-examiner  
Dr. A. J. Wilson, co-examiner

Zurich 2000

### III Summary

Coffee is one of the most important internationally traded food commodities. After harvesting the ripe coffee "cherries" are processed to dry green coffee beans in the producer countries. In the consumer countries, roasting is the most important unit operation in converting green beans into roast coffee with its specific flavor. Apart from the primary process objective of flavor development, it is important to generate favorable bean properties for preservation of quality during storage. The present project contributes to the identification of important process factors and their influence on the product properties as a base for process optimization.

Roasting trials were mainly carried out with a fluidized-bed hot air laboratory roaster, allowing for coffee roasting under well-defined process conditions. The hot air temperature profile and the air velocity were carefully controlled and, in addition to batch pile temperatures, the bean core temperature was measured. Humid air roasting and water quench cooling were operated optionally. A roasting chamber with sightglasses combined with an optical setup including a stereo microscope enabled optical online observation of a single bean in process. Measurements and trials on an industrial scale were carried out in order to receive information on industrial roasting conditions, which served as a starting point and as a continuous standard for the laboratory trials. The structural, physical and chemical changes of the bean during roasting were followed by volumetry, porosimetry, microscopy, and thermal and chemical analysis. Instrumental aroma analysis was complemented with sensory analysis.

Green bean quality and initial water content in particular have a major impact on the process development and the resulting product properties. The temperature profile is the most crucial parameter in the process design. It determines both flavor formation as well as structural product properties. Different temperature profiles affect dehydration and the chemical reaction conditions in the bean which control

gas formation, browning and flavor development. A driving force for bean expansion as well as the structure resistance opposed to it are again temperature and dehydration related factors. High temperature roasted beans exhibit a greater bean volume, a larger cumulated pore volume and larger cell wall micropores than low temperature roasted coffee of identical degree of roast. These properties are assumed to increase the undesired mass transfer and to accelerate the staling process.

Hot air humidity must be considered as yet another important process parameter which influences the heat transfer rate and may affect various water content related developments. The amount of hot air in relation to the coffee batch size turned out to be critical for roaster design and operation. Low air-to-bean ratios resulted in coffee of superior cup-quality, whereas excessive air streams led to products of bland, dull and flat sensory properties. A lower ratio is assumed to prevent physical aroma stripping and excessive contact with oxygen and may create a favorable "microclimate" enclosing the beans. These findings also stress the important role of oxidation processes during roasting and storage.

Process optimization requires specification of a compromising target quality because not all desirable product properties can be maximized at the same time. High aroma quality is achieved with moderate roasting processes at medium temperatures. Provided there is a low air-to-bean ratio, an optimal roasting time for a medium degree of roast should be 6 min or longer, depending on the target flavor profile. Restrictive low temperature conditions yield a very stable product during storage, but a lack of aroma strength. High temperature conditions generally cause an unfavorable aroma profile and result in excessive gas formation and a very porous bean structure which is impairing quality retention during storage. Roasters should operate with a fairly high proportion of conductive heat transfer and at low air-to-bean ratios. For the most part, there may be no requirement for completely oxygen-free coffee technology. On the other hand, an oxygen-free final roasting stage may be worth to consider for further investigations.

## IV Zusammenfassung

Kaffee ist eine der wichtigsten international gehandelten Rohwaren. Die reifen Früchte des Kaffeebaumes werden noch in den Anbauländern zu lagerfähigen grünen Kaffeebohnen verarbeitet. In den Konsumentenländern ist das Rösten der wichtigste Verarbeitungsschritt, wobei Grünkaffee in ausgeprägt duftenden, geschmackvollen Röstkaffee verwandelt wird. Neben dieser primären Prozess-Zielsetzung ist die Erzeugung von günstigen Produkteigenschaften wichtig, die dem drohenden Qualitätszerfall während der Lagerung entgegenwirken. Die vorliegenden Untersuchungen leisten einen Beitrag zur Identifikation von wichtigen Prozessfaktoren und deren Einfluss auf das Endprodukt als Basis zur Optimierung von Röstprozessen.

Röstversuche wurden vorwiegend mit einem Heissluft-Fliessbetttröster im Labor-massstab unter exakt definierten Prozessbedingungen durchgeführt. Das Temperaturprofil und die Luftzufuhr wurden genau gesteuert. Neben den gebräuchlichen Haufentemperaturen wurde auch die Kerntemperatur der Bohnen erfasst. Es konnte wahlweise mit trockener oder feuchter Luft geröstet oder zusätzlich mit Wasser- quenche gekühlt werden. Eine Sichtglas-Röstkammer kombiniert mit einem Stereo- mikroskop erlaubte optische online-Beobachtungen einzelner Bohnen im Röstprozess. Die Messungen und Versuche an Industrieröstern ergaben Daten zu den industriellen Röstbedingungen, welche als Ausgangspunkt und Massstab für die Laborversuche dienten. Die strukturellen, physikalischen und chemischen Verände- rungen der Bohnen wurden mit Volumetrie, Porosimetrie, Mikroskopie, ther- mischer und chemischer Analyse verfolgt. Die instrumentelle Aroma-Analyse wurde durch sensorische Prüfungen ergänzt.

Die Rohstoffqualität und insbesondere der Ausgangswassergehalt beeinflussen den Prozessverlauf und die Produkteigenschaften wesentlich. Die grösste technolo- gische Bedeutung kommt jedoch dem Temperaturprofil zu. Die Rösttemperatur

bestimmt die Aromabildung und die strukturellen Veränderungen in entscheidendem Ausmass. Sie beeinflusst den Trocknungsprozess und bestimmt die spezifischen chemischen Reaktionsbedingungen, von welchen die Bildung von Gasen, Bräunungsprodukten und Aromastoffen stark abhängig ist. Die treibende Kraft zur Volumenzunahme und der entgegengesetzte Strukturwiderstand sind ebenfalls temperatur- und trockenungsabhängige Faktoren. Hochtemperatur-geröstete Bohnen weisen im Vergleich zu Tieftemperatur-gerösteten Kaffees verstärkte Expansion, grösseres kumuliertes Porenvolumen und grössere Zellwand-Mikroporen auf. Vermutlich fördern diese Eigenschaften einen unerwünschten Stofftransport bei der Lagerung und wirken sich negativ auf den Alterungsprozess aus. Die Heissluft-Feuchtigkeit darf ebenfalls nicht vernachlässigt werden, da sie den Wärmeübergang beeinflusst und sich vermutlich auf wassergehaltsabhängige Röstvorgänge auswirkt. Das Verhältnis von Heissluftmenge zu Chargengrösse (Luft-zu-Bohnen-Verhältnis, LBV) erwies sich als wichtige konstruktive und betriebliche Grösse. Ein tiefes LBV ergab Produkte von hoher Aromaqualität, während übermässige Luftströme generell zu Kaffees mit flacher und aromaschwacher sensorischer Charakteristik führten. Ein tiefes LBV schützt vor physikalischem Aromastoff-Austrag und übermässigem Sauerstoffkontakt und schafft ein vorteilhaftes "Mikroklima" um die Bohnen. Die Ergebnisse belegen die herausragende Rolle oxidativer Prozesse während der Röstung und der Lagerung.

Prozess-Optimierungen erfordern eine kompromissbereite Festlegung der Zielqualität, weil sich nicht alle im Produkt erwünschten Eigenschaften gleichzeitig maximieren lassen. Eine hohe Aromaqualität wird durch moderate Prozesse mit mittelhoher Temperaturführung erzielt. Bei tiefem LBV soll die Röstzeit für einen mittleren Röstgrad 6 min oder mehr betragen. Ausschliessliche Tieftemperatur-Bedingungen ergeben ein zwar stabiles, jedoch aromaschwaches Produkt. Hochtemperatur-Röstung bewirkt ein starkes, aber unvorteilhaftes Aroma, eine übermässige Gasentwicklung und eine sehr poröse Bohnenstruktur. Röstanlagen sollten einen mittleren bis hohen Anteil an konduktivem Wärmeübergang aufweisen und mit tiefem LBV operieren. Ein vollständiger Ausschluss von Sauerstoff in der gesamten Herstellungstechnologie ist unnötig. Hingegen sollte ein Sauerstoff-freier letzter Röstabschnitt für weitere Untersuchungen in Betracht gezogen werden.