

appeared in
10. Workshop Farbbildverarbeitung 2004, Koblenz, Online-Proceedings
<http://www.uni-koblenz.de/icv/fws2004/>

Farbanalyse von gebackenen oder frittierten Nahrungsmitteln und Vorhersage des Acrylamid-Wertes

Walter Hillen und Felix Fischer

Angewandte Informatik, Fachhochschule Aachen, Abtl. Jülich, 52428 Jülich
hillen@fh-aachen.de, f.fischer@fh-aachen.de,
Homepage: www.medizinischeinformatik.fh-aachen.de

Zusammenfassung. Ein System zur automatischen Farbanalyse von gebackenen oder frittierten Nahrungsmitteln wurde realisiert, mit dem der Farbcharakter der Prüfobjekte nach international definierten Standards (Agtron-Klassifizierung) untersucht werden kann. Die Probe wird nach dem flächenmäßigen Anteil der verschiedenen Braunfärbungen (Agtron-Klassen) bewertet. Die Trennung von Objektbereichen und Hintergrund (Targetträger) sowie die Segmentierung entsprechend den Agtron-Farbklassen erfolgen im HSI-Farbraum. Die Untersuchungen zeigen eine eindeutige Korrelation zwischen dem Farbcharakter der Probe und den Acrylamid-(AcA-)Werten einer chemischen Analyse. Dieser Zusammenhang kann im System genutzt werden, um aus den HSI-Werten der Objekte eine Vorhersage über den zu erwartenden AcA-Wert abzuleiten. Das automatisch ablaufende Verfahren wurde in der plattform-unabhängigen Programmiersprache Java realisiert.

1 Einleitung

In der Produktion von gebackenen oder frittierten Nahrungsmitteln ist die Bewertung der Braunfärbung ein zentraler Bestandteil der Qualitätskontrolle. Hierbei wird die Prüfmenge nach verschiedenen vordefinierten Farbklassen selektiert (z. B. Agtron-Farbklassen Ag_1 bis Ag_5 in der Farbskala von hellgelb bis dunkelbraun [1]). Die bislang weit verbreitete visuelle Selektion erzeugt erhebliche systematische Probleme, da die objektive Bewertung des Farbcharakters und die Reproduzierbarkeit des Verfahrens schwierig sind. Zum anderen sind die einzelnen Prüfobjekte nicht homogen (dunkle Ränder, Fehlstellen, natürliche Strukturierungen), wodurch eine Auswertung der Farbanteile erschwert wird. Im folgenden wird ein Prüfsystem beschrieben, das den flächenmäßigen Anteil der vordefinierten (Agtron-)Farbklassen automatisch auswertet. Studien im Zusammenhang mit dieser Auswertung deuten darauf hin, dass die genaue Ausmessung des Farbcharakters auch für eine Vorhersage des Acrylamid-Wertes der Probe herangezogen werden kann.

Das Prüfsystem soll unter folgenden Rahmenbedingungen realisiert werden: Angestrebt wird ein universell einsetzbares, hochauflösendes System zur Farbbilderfassung mit einer Targetfläche von ca. $0,5 \text{ m}^2$. Es soll in einem Labor der Qualitätskontrolle als eigenständiges Aufnahmegerät eingesetzt werden und einfach zu bedienen und zu warten sein. Die Verfügbarkeit aller verwendeten Komponenten und die Kompatibilität mit zukünftigen Rechner- und Betriebssystemen müssen über einen längeren

Zeitraumen gesichert sein. Die Analyse-Software soll plattform-unabhängig eingesetzt werden. Weiterhin wird eine einfache Erweiterbarkeit verlangt für zukünftige Aufgaben der bildbasierten Qualitätskontrolle.

2 Aufnahmesystem

Kamera und Beleuchtung

Die Kamera (Typ: *Nikon D1x* [2], Auflösung: 3008×1960) ist auf einem Belichtungsstativ innerhalb eines lichtdichten Gehäuses montiert. Das System nimmt eine gesamte Objektfläche von $80 \text{ cm} \times 52 \text{ cm}$ auf. Daraus folgt eine Bildpunktgröße von etwa $0,27 \text{ mm} \times 0,27 \text{ mm}$. Sämtliche automatischen Korrekturfunktionen der Kamera werden deaktiviert. Die Empfindlichkeit und der Weißabgleich sowie Blendenwert und Belichtung der Kamera sind fest eingestellt. Die Bilddaten werden als „primäre“ RGB-Daten übertragen ohne eine vorgeschaltete Verarbeitung, Korrektur oder Kompression. Hiermit wird eine kontrollierte und reproduzierbare Aufnahmesituation erreicht, was eine grundsätzliche Voraussetzung für die vorliegende Untersuchung ist.

Die Kamera ist über einen IEEE-1394 Anschluss mit einem PC (P4) verbunden. Die Datenübertragung erfolgt mit der *Nikon Capture Software* [3] in einem unkomprimierten RGB-TIFF Format.

Die Objektausleuchtung erfolgt in Auflicht. Für eine diffuse und homogene Beleuchtung dienen zwei Hochfrequenz-Reproleuchten (*Kaiser RB 5004 HF* [4]) mit jeweils 2 Stablampen von 38 cm Länge und einer Reflektorfläche von $50 \text{ cm} \times 21 \text{ cm}$. Die Leuchten sind links und rechts in Höhe der Kamera angeordnet.

Targetträger

Die Untersuchungsobjekte werden auf einem homogen eingefärbten Karton positioniert. Die Hintergrundfarbe (türkis-blau) erlaubt eine sichere und einfache Trennung von Objekt- und Hintergrundbereichen über den Farbwert (siehe Abschnitt 4.2). Der Karton wird bei jeder Messung erneuert, wodurch die Reinigung des Targetträgers auf Grund der fettigen Untersuchungsobjekte entfällt. Mit Hilfe seitlich angebrachter weißer Referenzstreifen wird die Positionierung des Targetträgers, die Homogenität der Ausleuchtung und der Weißabgleich bei jeder Aufnahme überprüft (siehe Abschnitt 4.1).

3 Voruntersuchungen

In Voruntersuchungen werden Beleuchtungshomogenität und Weißabgleich optimiert. Ebenso werden die erwarteten Farbwerte für die späteren Untersuchungsobjekte grob charakterisiert und eine geeignete Farbe für den Objektträger (Hintergrund) festgelegt. Die Hintergrundfarbe soll dabei eindeutig von den Farbwerten der Untersuchungsobjekte zu trennen sein. Die Voruntersuchung wird mit dem Bildverarbeitungsprogramm *OPTIMAS 6.5* [5] durchgeführt.

Abbildung 1 zeigt eine Testaufnahme im Rahmen der Voruntersuchung. Als Bildhintergrund wird für die Voruntersuchungen eine rein-weiße Referenzfläche gewählt, um die Beleuchtungshomogenität und den Weißabgleich der Kamera einzustellen. Im unteren Bereich sind die Farbtafeln der Agtron-Klassen 1 (hell-gelb) bis 5 (dunkelbraun) der *Snack Food Association* dargestellt. Die Farbflächen (Abbildung 1, oben) dienen zur Auswahl einer geeigneten Hintergrundfarbe. Die Voruntersuchungen haben zu folgenden Ergebnissen geführt:

Belichtungshomogenität: Durch eine genaue Justierung der Hochfrequenz-Reproleuchten wird eine Belichtungshomogenität der gesamten Targetfläche von besser als $\pm 3\%$ erreicht.

Weißabgleich: Für eine manuelle WeißEinstellung stehen der Kamera vordefinierte Einstellbereiche zur Verfügung, die jeweils vom Benutzer feinjustiert werden können. Der Weißabgleich wird im Bereich der weißen Referenzfläche des Testobjektes durchgeführt, indem die RGB-Farbauszüge auf weitgehend gleiche Größe ($\pm 2\%$) abgeglichen werden.

Farbwerte der Objekte, Auswahl der Hintergrundfarbe: Um die Farbwerte der Untersuchungsobjekte vorläufig zu charakterisieren werden die Testaufnahmen in ein HSI-Farbmodell überführt. Hierbei zeigt sich, dass die Hue-Farbwerte der Agtron-Farbtafeln 1 bis 5 zwischen 15 und 31 (Farbwinkelbereich: 21° bis 47°) liegen. Sucht man für den Hintergrund einen genau „entgegengesetzten“ Farbwert für eine einfache Objekt-/ Hintergrundtrennung über den H -Wert, so ist die Farbe „Cyan“ mit $H = 134$ (Farbwinkel: 189°) von den in Abbildung 1 dargestellten Farben die beste Wahl.

Langzeit-Stabilität, Reproduzierbarkeit und Kalibrierung: Die Stabilität und Reproduzierbarkeit der Bilddaten werden über lange Zeiträume (mehrere Monate) beobachtet. Ebenso werden Einflüsse der Lampeneinschaltzeiten sowie Temperatureffekte ausgewertet. Insbesondere eine Intensitätsabnahme und eine leichte Farbwertveränderung der Leuchten im Laufe der Zeit machen eine Bildkalibrierung erforderlich. Sie erfolgt bei der Voruntersuchung und ebenso im endgültigen Prüfungssystem, indem die primären RGB-Daten im Bereich der weißen Referenzfelder bei jeder Aufnahme auf vorbestimmte Werte geeicht werden (siehe Abschnitt 4.1). Diese Kalibrierung ergibt im Rahmen der erforderlichen Genauigkeit absolut reproduzierbare und langzeit-stabile Farbwerte der untersuchten Agtron-Farbklassen. Auf eine Farb-Profilierung der Kamera mit eigenen Testmessungen kann im Betrieb verzichtet werden.

4 Analyseverfahren

Abbildung 2 zeigt ein typisches Bild des endgültigen Prüfungssystems, das von der Analysesoftware (Abschnitt 5) dargestellt wird.

4.1 Primärkontrollen und Kalibrierung

Wie oben beschrieben, dienen die sechs weißen Referenzfelder am rechten und linken Bildrand für folgende Primärkontrollen:

Positionierung des Objektträgers: An vorbestimmten ROIs, an denen die Referenzfelder bei korrekter Positionierung erwartet werden, werden Mittelwerte und Standardabweichungen der Bildhelligkeit $I = \frac{1}{3}(I_R + I_G + I_B)$ sowie Mittelwerte der Farbauszüge I_R , I_G und I_B bestimmt. Eine Fehlpositionierung des Objektträgers sowie eine Beschädigung bzw. Verschmutzung der Referenzfelder wird an einem sprunghaften Anwachsen der Standardabweichungen erkannt und als Fehler signalisiert.

Homogenität der Ausleuchtung: Die Mittelwerte der Bildhelligkeit werden für eine Überprüfung der Beleuchtungshomogenität herangezogen.

Überprüfung des Weißabgleichs: Der in der Kamera fest eingestellte Weißabgleich wird über einen Vergleich der Mittelwerte von I_R , I_G und I_B kontrolliert.

Nach den Primärkontrollen erfolgt die Kalibrierung der R-, G- und B-Farbkanäle durch einen R-, G- und B-Eichfaktor in der Weise, dass die Mittelwerte (I_R , I_G , I_B) der kalibrierten Bilddaten auf den Referenzfeldern gleiche vorbestimmte Werte annehmen.

4.2 Hintergrundabtrennung

Zur weiteren Analyse wird ein ROI gesetzt, das die gesamte Targetfläche mit den Prüfobjekten erfasst. Der Bildausschnitt wird anschließend in den HSI-Farbraum transformiert. In der Verteilung der Farbwerte H („Hue“) innerhalb der Targetfläche unterscheiden sich die Farbwerte der Objekte (H im Bereich von 20 bis 60) deutlich vom Farbwert des Targethintergrundes ($H \approx 134$). Setzt man eine Schwelle in der H -Verteilung bei $H = 90$, so kann man Objekt- und Hintergrundbereiche eindeutig voneinander trennen (auch Schlagschattenbereiche werden erkannt und dem Hintergrund zugeordnet).

Durch die Segmentierung über den H -Wert wird eine binäre „Bildmaske“ erzeugt. Um in der weiteren Analyse keine Bildpunkte mit einzubeziehen, die im Übergangsbereich von Objekten zu Hintergrund liegen, wird der Objektrand der Maske um eine vorgegebene Zahl von Bildpunkten zu Gunsten des Hintergrundes verschoben. Dies wird durch eine morphologische Filteroperation der Bildmaske erreicht.

4.3 Farbwert-Analyse der Agtron-Klassen

Innerhalb der gebackenen bzw. frittierten Objekte werden von Hand repräsentative Proben entsprechend den vorgegebenen Agtron Farbklassen 1 bis 5 ausgewählt. Tabelle 1 zeigt die HSI-Mittelwerte (mit Standardabweichungen) der Agtron Proben. Es ist zu erkennen, dass die HSI-Farbwerte der einzelnen Klassen sich deutlich unterscheiden. Auch wenn diese visuelle Selektion mit höchster Sorgfalt erfolgt, haben die Farbwerte der Stichproben größere Streuungen, da die Objekte naturgemäß keine homogene Färbung besitzen.

Die Farbklassifizierung erfolgt auf der Grundlage der Tabelle 1, wobei die aufgeführten Mittelwerte die „Klassenzentren“ der Agtron Farbklassen Ag_1 bis Ag_5 darstellen. Die Zuordnung eines einzelnen Bildpunktes $P_{(x,y)}$ zu einer bestimmten Agtron Klasse erfolgt aus dem Minimum der Werte D_1 bis D_5 . Dabei sind D_1 bis D_5 die auf die jeweiligen Standardabweichungen normierten Abstände zu den Klassenzentren 1 bis 5:

Tabelle 1. HSI-Farbwerte (mit Standardabweichungen) der Agtron Proben

	Ag. 1	Ag. 2	Ag. 3	Ag. 4	Ag. 5
H (Farbe)	50 ± 4	44 ± 4	39,5 ± 7	30 ± 5	25,5 ± 6
S (Sättigung)	64 ± 13	97 ± 18	120 ± 26	130 ± 20	135 ± 17
I (Intensität)	146 ± 12	126 ± 12	117 ± 17	95 ± 14	75 ± 15

$$D_i^2(x, y) = \frac{(H_{(x,y)} - H_{Ag(i)})^2}{\sigma_{H_{Ag(i)}}^2} + \frac{(S_{(x,y)} - S_{Ag(i)})^2}{\sigma_{S_{Ag(i)}}^2} + \frac{(I_{(x,y)} - I_{Ag(i)})^2}{\sigma_{I_{Ag(i)}}^2}$$

Hierin sind: $H_{(x,y)}$, $S_{(x,y)}$, $I_{(x,y)}$ der H-, S-, I-Wert des Bildpunktes $P_{(x,y)}$; $H_{Ag(i)}$ und $\sigma_{H_{Ag(i)}}^2$ sind Mittelwert und Varianz der $Ag(i)$ - Klasse (Tabelle 1).

Gemäß dieser Klassifizierung wird jeder Objektpunkt einer Ag-Klasse zugeordnet. Abschließend werden daraus die prozentualen Flächenanteile der Agtron-Klassen über der gesamten Probenfläche ermittelt.

4.4 Vorhersage des Acrylamid-Wertes

In einer begleitenden Untersuchung wird überprüft ob, ein Zusammenhang zwischen dem Farbcharakter und dem Acrylamid (AcA) -Wert einer Probe existiert. Der AcA-Wert wird in einer anschließenden chemischen Analyse bestimmt.

Für die Messungen werden insgesamt sieben Proben einer Produktionscharge visuell mit höchster Sorgfalt selektiert. Jede Probe enthält Objektstücke von genau einem Farbton. Von jeder Probe wird eine HSI-Farbauswertung und anschließend eine chemische Untersuchung durchgeführt. Der Zusammenhang zwischen den mittleren Farbwerten (hier H und S) und dem AcA-Gehalt ist in Abbildung 3 und 4 dargestellt. Ein exponentieller Fit beschreibt den gemessenen Zusammenhang im Rahmen der Fehlerbreiten (Standardabweichungen σ_H , σ_S der Proben) relativ gut.

Für eine AcA-Vorhersage kann auf der Basis dieser Regressionskurven aus den HSI-Werten jedes Bildpunktes ein zugehöriger AcA-Wert abgeleitet werden. Werden diese Beiträge über die Probenfläche aufsummiert, erhält man eine Vorhersage des zu erwartenden AcA-Gehalts der Probe. Die Ergebnisse dieser Studie sind vorläufig und wurden bislang nur für eine Produktgruppe untersucht (siehe Abschnitt 6).

5 Analysesoftware des Prüfsystems

Das Verfahren der Agtron-Farbklassifizierung im HSI-Farbraum wurde als plattformunabhängige Java-Applikation mit folgenden Merkmalen realisiert:

- Überprüfung des Aufnahmesystems (Kamera und Beleuchtung) vor jeder Analyse.
- Automatische Durchführung und Bearbeitung der Messung.

- Generierung eines Berichtes mit allen wesentlichen Informationen zur Probe, den Kamera-Einstellungen, den Analyse-Ergebnissen sowie des bedienenden Benutzers.
- Chronologische Fortschreibung einer Datenhistorie in Bezug auf Produktsorte, Zeiträume und Ergebnisse.

6 Bewertung und Diskussion

Die beschriebene Farbklassifizierung entsprechend den Agtron-Farbklassen von gebackenen oder frittierten Nahrungsmitteln lässt sich im HSI-Farbraum relativ einfach und effizient umsetzen. Das „Basiswissen“ des Verfahrens steckt klar formuliert in den HSI-Klassenzentren der Agtron-Farbwerte. Diese Werte sind leicht in einer Einlernphase festzulegen und gegebenenfalls zu optimieren. Die Agtron-Klassenzentren liegen im HSI-Farbraum deutlich getrennt voneinander; die Objektpunkte können durch eine einfache Abstandsnorm zugeordnet werden. Das Resultat ist eine genaue Analyse des flächenmäßigen Anteils der einzelnen Agtron-Farbklassen. Das Verfahren liefert objektive, reproduzierbare und leicht zu dokumentierende Ergebnisse. Vergleichbare Aussagen lassen sich mit einer visuellen Sortierung der Prüfobjekte in der Praxis nicht erreichen. Aus der Analyse können unmittelbar Parameter zur Optimierung des Back- oder Frittierprozesses gewonnen werden.

Der beobachtete Zusammenhang zwischen dem Farbcharakter einer Probe und dem Acrylamid (AcA)-Wert ist eine vielversprechende Methode, um eine Vorhersage über den zu erwartenden AcA-Gehalt abzuleiten. Hierbei entfallen die zusätzlichen Kosten und längeren Wartezeiten einer chemischen Analyse. Für eine abschließende Bewertung des Verfahrens muss allerdings weitaus mehr Probenmaterial charakterisiert werden und die abschließende Bestimmung des AcA-Wertes aus den gewonnenen Regressionskurven optimiert werden.

Literatur

1. Agtron Farbkarten Fry Colours Standards for Potatoes Chipping (PCSFA Agtron), Herausgeber: SNACK FOOD ASSOCIATION, 1711 King Street, Suite One, Alexandria, Virginia 22314, Tel.: (703) 836-4500, Fax: (703) 836-8261.
2. Nikon Imaging. <http://nikonimaging.com/global/products/digitalcamera/slr/d1x/>
3. Nikon Imaging. <http://www.nikon-image.com/eng/software/>
4. Kaiser Fototechnik. <http://www.kaiser-fototechnik.de/en/produkt.asp?artikel=5558>
5. Media Cybernetics, Inc. <http://www.optimas.com>



Abb. 1. Testaufnahme zu Voruntersuchungen

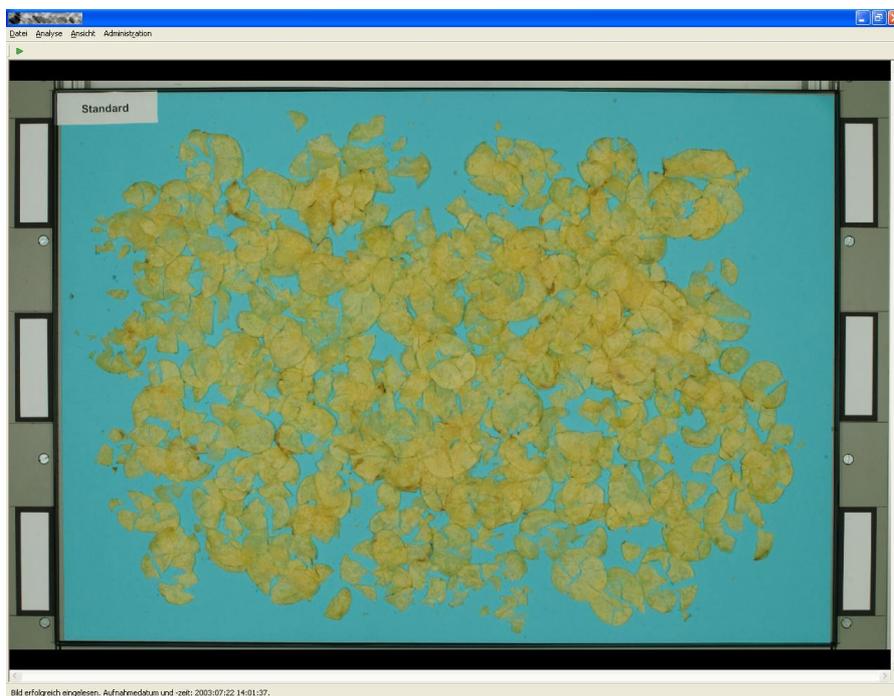


Abb. 2. Aufnahme des Prüfsystems (dargestellt innerhalb der Analysesoftware)

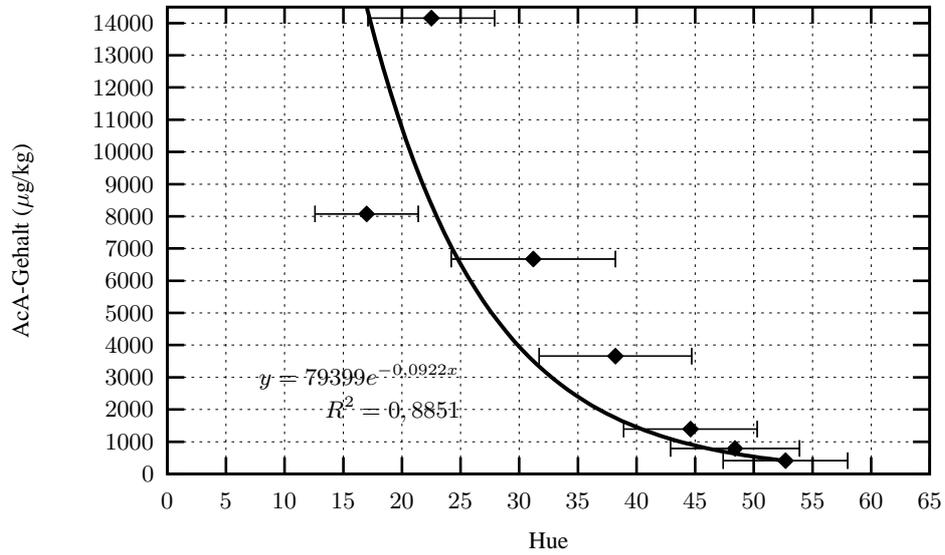


Abb. 3. Zusammenhang zwischen Farbcharakter (Hue-Mittelwert) und AcA-Wert der farbselektierten Proben

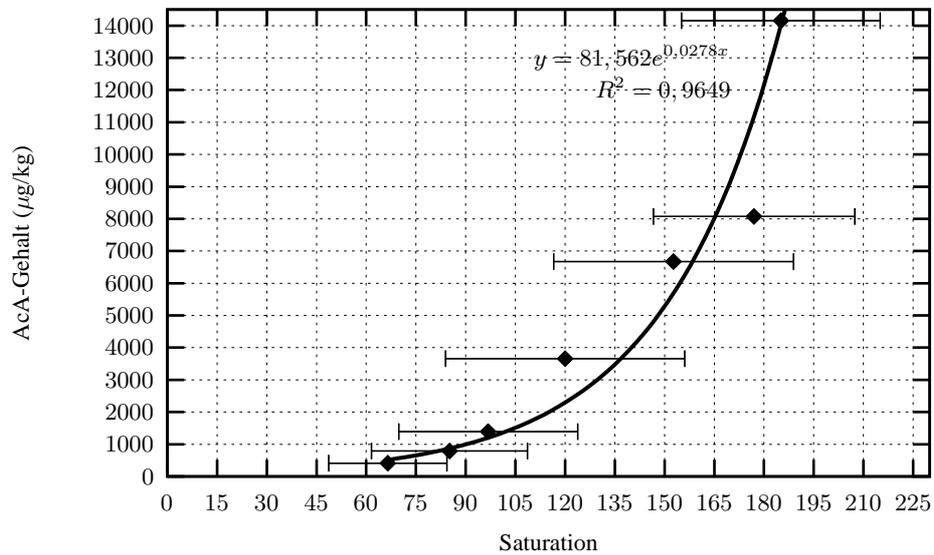


Abb. 4. Zusammenhang zwischen Sättigung und AcA-Wert der farbselektierten Proben