

# Veränderungen der Farbe und thermischen Stabilität der Muskelproteine von Räucherforellen während der Kühllagerung

## Changes in colour and thermal stability of muscle proteins in smoked trout during chilled storage

Reinhard Schubring

Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel, Forschungsbereich Fischqualität, Palmaille 9, 22767 Hamburg, Germany

reinhard.schubring@bfel.de

### Kurzfassung

Das Ziel der Untersuchungen war nachzuweisen, ob unterschiedliche Aufzuchtmethoden – konventionelle und ökologische – Qualitätsunterschiede erzeugen, die mit physikalischen Methoden wie z. B. Farbmessungen und Dynamischer Differenz-Kalorimetrie (DDK) erkennbar sind. Die Farbmessungen enthüllten bemerkenswerte Helligkeitsunterschiede. Geräucherte Forellen aus konventioneller Zucht waren deutlich heller als Forellen aus ökologischer Zucht. Dieser Unterschied von  $L^*$  konnte schon am Rohmaterial festgestellt werden. Bei Kühllagerung glichen sich die Unterschiede jedoch aus. Die Rot- und Gelbwerte wurden nicht signifikant von der Aufzuchtmethode beeinflusst und änderten sich auch nicht wesentlich während der Kühllagerung. Auf der Grundlage früherer Untersuchungen zur thermischen Stabilität beim Erhitzen konnte mit den DDK-Kurven bestätigt werden, dass die Kerntemperatur des geräucherten Fisches mindestens 60 °C während des Räucherns erreicht hatte. Diese Temperatur wird von den Leitsätzen des Deutschen Lebensmittelbuchs gefordert. In den DDK-Kurven ist nur noch der Aktinpeak sichtbar. Alle anderen Proteine waren offensichtlich während des Heißräucherns denaturiert. Wenn die DDK-Kurven nach unterschiedlicher Dauer der Kühllagerung gemessen wurden, konnte man sehen, dass die Denaturierungstemperatur des Aktins fast linear mit der Lagerdauer sank.

### Abstract

The aim of the investigation was to prove if different farming conditions like conventional and organical farming of rainbow trout may cause differences in quality which are detectable by physical methods such as colour measurement and differential scanning calorimetry. Colour measurement revealed remarkable differences in lightness. Smoked trouts originating from conventionally farmed fish were much lighter than those of organically farmed trouts. This difference in  $L^*$  could already be found when colour measurements were taken on the raw material. However, during chilled storage differences were equalized. Redness and yellowness were not significantly influenced by farming and did not change remarkably during chill storage. Based on earlier investigations on changes in thermal stability caused by heating, DSC curves of smoked trout could be used to verify that the core temperature of smoked fish had reached at least 60 °C during hot smoking process. This temperature is demanded by the guidelines of the German Food Code. In the DSC curves only the actin peak was still visible. All other proteins were obviously denatured during the hot smoking. When DSC curves were taken from smoked trout after different durations of chilled storage it could be seen that the denaturation temperature of actin decreased almost linearly with progression of storage time.

## Einleitung

Im Rahmen eines durch das Bundesprogramm Ökologischer Landbau geförderten Projektes zu Qualitätsveränderungen bei der Verarbeitung und Lagerung von ausgewählten Erzeugnissen aus Bioforellen und konventionell erzeugten Forellen standen kontrolliert aufgezogene Forellen zur Verfügung. Bei der Aufzucht wurden zum einen konventionelle Bedingungen angewendet, zum anderen die Vorgaben der Ökoverbände beachtet. Die geschlachteten Tiere wurden in einem von der EU zertifizierten Räucherbetrieb heiß geräuchert. Die Räucherforellen wurden anschließend kühl gelagert, einmal als lose Ware in

Styroporkisten und zum anderen als Doppel filets in Folie unter Vakuum verpackt. Die Ergebnisse der sensorischen Beurteilungen sowie der chemischen und mikrobiologischen Untersuchungen wurden von Manthey-Karl (2005) dargestellt.

Forellen sind offensichtlich ein interessantes Untersuchungsobjekt bezüglich Qualitätssicherung und -beeinflussung, wie neuere Arbeiten von Choubert et al. (2005), Lin et al. (2006), Jittinandana et al. (2006 a, b), Wills et al. (2006), um nur einige zu nennen, verdeutlichen. Diese befassen sich mit der Farbstabilität von geräucherten Forellenscheiben unter Lichteinwirkung und dem Einfluss von Astaxanthin, mit der Anwendung der

NIR-Spektroskopie zur Untersuchung des Verderbs bei Kühlagerung, mit der Bedeutung hoher Vitamingaben zur Fettstabilisierung und mit der Verwendung von Stickstoff zur Betäubung der Fische.

Ziel der hier dargestellten Untersuchungen war die Verfolgung der Veränderungen des für den Verbraucher wesentlichen äußeren Erscheinungsbildes der Räucherware durch instrumentelle Farbmessungen während der Kühlagerung. Weiterhin galt es zu überprüfen, ob die durch die zutreffenden Deutschen Leitsätze (Deutsches Lebensmittelbuch 2003) bei heißgeräucherten Fischen geforderte Kerntemperatur von > 60 °C während des Räucherprozesses erreicht wurde. Dazu wurde die Dynamische Differenz-Kalorimetrie (DDK) eingesetzt. Anhand der DDK-Kurven war es gleichzeitig möglich, Veränderungen der thermischen Stabilität der Muskelproteine der Räucherfische während der Kühlagerung zu bewerten.

## Material und Methoden

Die Aufzucht der Forellen erfolgte am Institut für Fischereiökologie der BFA für Fischerei in Ahrensburg unter kontrollierten Hälterungsbedingungen. Die Fische wurden bis auf ein Stückgewicht von 400 bis 450 g angefüttert, geschlachtet und unter kommerziell üblichen Bedingungen heißgeräuchert, um praxisrelevante Bedingungen zu garantieren. Die Räucherfische wurden unter Kühlung nach Hamburg transportiert und im Kühlraum des Forschungsbereichs bei 2 bis 4 °C als lose Ware in Styroporkisten bzw. nach dem Filetieren als Doppelfilets in Folienschläuchen, vakuumverpackt, über Zeiträume von 15 bzw. 21 Tagen gelagert.

Die Farbmessungen erfolgten mit einem spektralen Farbmessgerät *spectro pen*<sup>®</sup> (Fa. Dr. Lange,

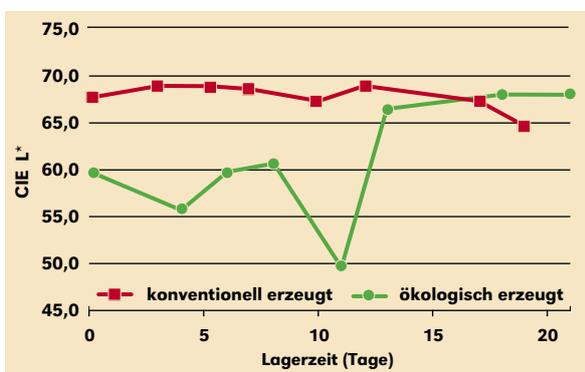


Abbildung 1: Veränderung der Helligkeit (L\*) von Räucherforellenfilets in Folienbeutel, evakuiert, während der Kühlagerung in Abhängigkeit von der Erzeugung der Rohware.

Figure 1: Changes in lightness of smoked trout fillets vacuum-packed in bags during chilled storage dependent on the farming of raw material.

Düsseldorf, Deutschland) nach dem CIELab-System (Schubring 2003). Zuvor wurden die geräucherten Forellen filetiert und die Farbe des intakten Muskels im dorsalen Bereich bestimmt. Je Messung wurden 10 Filets eingesetzt, an denen jeweils 4 Einzelmessungen erfolgten. Somit liegen jedem Messwert 40 Einzelmessungen zugrunde. Zusätzlich wurde bewertet, ob die Anordnung der Fische im Räucherrauch einen Einfluss auf die Farbgebung hat. An den in Folie verpackten Filets wurde die Farbe auf der Fleischseite nach Entfernung der Folie bestimmt. Die thermische Stabilität wurde mit einem Dynamischen Differenz-Kalorimeter PerkinElmer DSC 7 gemessen (Schubring 2005). Je Messpunkt erfolgten mindestens 3 Einzelmessungen, und in den Abbildungen sind Mittelwertkurven dargestellt.

## Ergebnis und Diskussion

### Farbmessungen

Der Verbraucher misst dem Aussehen und damit der Farbe bei seiner Kaufentscheidung und Qualitätsbewertung außerordentlich hohe Bedeutung bei (Gormley 1992; Espe et al. 2004; Baker und Günther 2004). Diese für Lachs gültige Aussage trifft in ähnlicher Weise auch für Forellen zu. Zahlreiche Arbeiten befassen sich mit dieser Problematik, wie z. B. Choubert et al. (1992, 1997), Jensen et al. (1998), Skrede et al. (1989), Nickell and Bromage (1998).

Die Veränderungen der Helligkeit (L\*) der Räucherforellenfilets während der Kühlagerung sind aus Abbildung 1 ersichtlich. Zu Beginn der Lagerung ist ein deutlicher Unterschied im L\*-Wert zwischen konventionell und ökologisch erzeugten Räucherforellen sichtbar, der sich offensichtlich mit zunehmender Lagerzeit verringert. Die ökologisch aufgezogenen Forellen weisen zu Beginn der Lagerung signifikant niedrigere L\*-Werte auf.

Der Räuchervorgang selbst bewirkt eine sehr deutliche Zunahme der Helligkeit wie aus den in Tabelle 1 aufgeführten Farbwerten für die Rohware ersichtlich ist, wobei sich die dort vorhandenen Unterschiede in L\* auch im Räucherprodukt widerspiegeln. Die Ursache dieser Farbdifferenz dürfte auf der Verwendung unterschiedlichen Futters bei konventioneller und ökologischer Aufzucht beruhen (Wedekind 2003).

Tabelle 1: Farbwerte der zum Räuchern verwendeten ökologisch und konventionell erzeugten Rohware.

Table 1: Colour values measured on the raw material (organically farmed and conventionally farmed) used for smoking.

Farbwert	ökologisch erzeugt	konventionell erzeugt
L*	28,83	32,01
a*	-1,78	-0,97
b*	-0,14	0,45

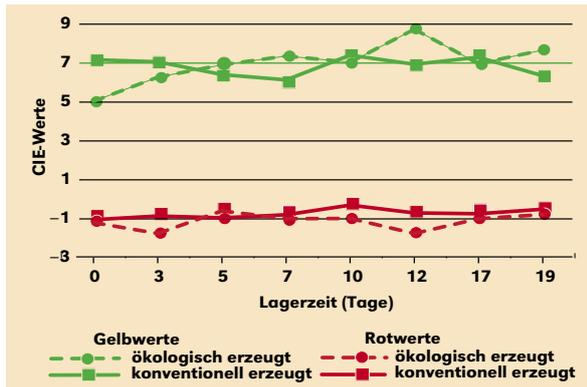


Abbildung 2: Veränderung der Rot- und Gelbwerte von Räucherforellenfilets im Folienbeutel, evakuiert, während der Kühlung in Abhängigkeit von der Erzeugung der Rohware

Figure 2: Changes in both redness and yellowness of smoked trout fillets vacuum-packed in bags during chilled storage dependent on farming of the raw material

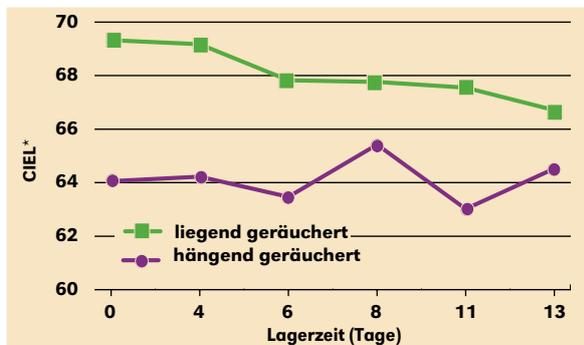


Abbildung 3: Veränderung der Helligkeit von Räucherforellen aus konventionell erzeugter Rohware während der Lagerung bei 2 bis 4 °C in Abhängigkeit von der Art der Räucherung.

Figure 3: Changes in lightness of smoked trout from conventionally farmed raw material during storage at 2 to 4 °C dependent on the style of smoking.

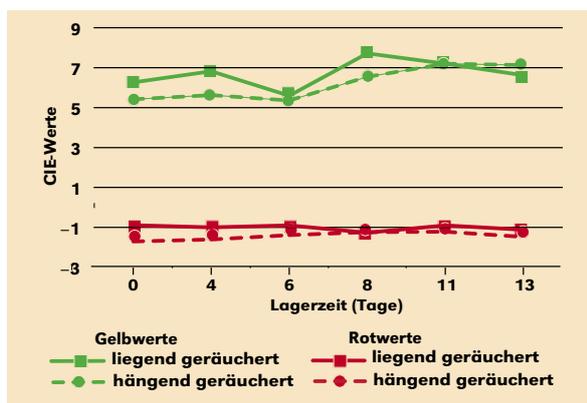


Abbildung 4: Veränderung der Rot- und Gelbwerte von Räucherforellen aus konventionell erzeugter Rohware während der Lagerung bei 2 bis 4 °C in Abhängigkeit von der Art der Räucherung.

Figure 4: Changes in redness and yellowness of smoked trout from conventionally farmed raw material during storage at 2 to 4 °C dependent on the style of smoking.

Tabelle 2: Farbmessungen an Muskelhomogenaten (Homogenisierzeit 45 s, Krupps3Mix8008), hergestellt aus liegend (l) und hängend (h) geräucherten Forellen.

Colour measurement on muscle homogenates (homogenization time 45 s) prepared from horizontal smoked (l) and hanging smoked (h) trout.

Lagertag	L*(h)	L*(l)	a*(h)	a*(l)	b*(h)	b*(l)
0	69,28	72,43	-0,52	-0,29	9,40	8,83
5	68,10	70,65	-0,66	-0,05	10,70	11,70
12	68,22	70,68	-0,28	-0,05	12,48	11,80
14	69,17	69,57	-0,80	-0,32	12,41	11,34

Die Rotwerte der Räucherforellen nehmen während der Kühlung unabhängig vom Rohstoff leicht zu, wobei die a\*-Werte der konventionell erzeugten leicht über denen der ökologisch erzeugten Forellen liegen (Abbildung 2). Bei den Gelbwerten weisen die Räucherforellenfilets tendenziell eine Zunahme während der Kühlung auf, wenn sie aus ökologisch aufgezogenen Forellen hergestellt wurden. Dagegen erscheinen die aus konventionell aufgezogenen Tieren hergestellten Räucherfilets nahezu unbeeinflusst von der Lagerzeit (Abbildung 2).

An den lose in Styroporkisten gelagerten Räucherforellen wurde zusätzlich der Einfluss technischer Varianten des Räucherns auf die Farbgebung überprüft. Dazu wurden die Forellen sowohl hängend als auch liegend geräuchert. Die Beeinflussung der Helligkeit am Beispiel konventionell erzeugter Rohware ist aus Abbildung 3 ersichtlich. Es wird deutlich, dass das Fleisch der liegend geräucherten Fische heller ist als das der hängend geräucherten. Mit zunehmender Lagerzeit nähern sich jedoch beide Varianten einander an, wobei der generelle Unterschied jedoch erhalten bleibt.

Dagegen sind die durch die Art der Räucherung bedingten Farbunterschiede in den Rot- und Gelbwerten (Abbildung 4) marginal und unterliegen nur geringfügigen Veränderungen während der Kühlung. Die Gelbwerte nehmen mit fortschreitender Lagerdauer leicht zu, die Rotwerte bleiben nahezu unbeeinflusst. Die an Homogenaten durchgeführten Farbmessungen unterstreichen die Ergebnisse, die an der intakten Muskulatur ermittelt wurden (Tabelle 2). Die Helligkeit der liegend geräucherten Fische ist deutlich ausgeprägter im Vergleich zu den hängend geräucherten und nimmt mit zunehmender Lagerzeit ab. Die a\*-Werte variieren nur geringfügig und sind insgesamt sehr niedrig. Die b\*-Werte sind deutlich höher als die an der intakten Muskulatur gemessenen und nehmen wie diese mit fortschreitender Lagerdauer zu.

Bei den aus ökologisch erzeugten Forellen hergestellten Räucherfischen wird dagegen die Helligkeit durch die Art der Räucherung nicht merklich beeinflusst

(Abbildung 5). Es ist jedoch generell festzustellen, dass die Helligkeit mit der Dauer der Kühllagerung signifikant zunimmt. Rot- und Gelbwerte der aus ökologisch erzeugten Fischen hergestellten Räucherware werden dagegen sowohl durch die Art der Räucherung als auch durch die Dauer der Kühllagerung nicht signifikant beeinflusst (Abbildung 6). Farbunterschiede zwischen konventionell und ökologisch aufgezogenen Forellen sind wie oben bereits ausgeführt wahrscheinlich durch Unterschiede im Futter bedingt. Die an den unterschiedlich geräucherten (liegend und hängend) Forellen ermittelten Farbunterschiede können ihre Ursachen in der unterschiedlichen Größe der Einzelexemplare haben, da die schwereren Fische generell liegend geräuchert wurden. Dieses doch überraschende Ergebnis, dass die unterschiedliche Anordnung des Räuchergutes unter ansonsten identischen Bedingungen deutliche Farbunterschiede bedingte, sollte Gegenstand weiterer Untersuchungen sein.

Während vergleichbare Untersuchungen zu Farbveränderungen beim Heißräuchern von Forellen nach eigener Kenntnis in der Literatur nicht beschrieben werden, nutzte Schubring (2006a) vor kurzem objektive Farbmessungen, um Unterschiede zwischen den kaltgeräucherten Lachserzeugnissen verschiedener Hersteller sichtbar zu machen. Dabei wurden starke Unterschiede der Räucherlachsscheiben in der Helligkeit und der Intensität der Rotfärbung festgestellt, obwohl gemäß Kennzeichnung bei allen Erzeugnissen Farmlachs aus Norwegen verwendet wurde. Insgesamt bot sich also dem Verbraucher ein recht inhomogenes Bild. Kalträuchern bewirkt eine Zunahme der  $b^*$ -Werte und eine Verringerung von  $a^*$  und  $L^*$ . Es wurde gefunden, dass bei einer Räuchertemperatur von 30 °C größere  $b^*$ - als  $a^*$ -Werte auftraten. Das Räuchern bei 20 °C bewirkte dagegen höhere  $a^*$ -Werte und damit einen intensiveren Rotton (Cardinal et al. 2001).

#### Thermische Stabilität

Die DDK-Messungen wurden vorwiegend an Räucherware aus ökologisch erzeugten Forellen durchgeführt. Als Untersuchungsobjekt diente die helle Muskulatur. Kürzlich durchgeführte Untersuchungen zum Nachweis des Erhitzens der Fischmuskulatur mittels DDK bildeten die Basis zur Interpretation der erhaltenen Kurven (Schubring 2006b). Bei diesen Untersuchungen wurden ebenfalls Regenbogenforellen einem gezielten Erhitzungsprozess im Bereich 30 bis 70 °C dergestalt unterworfen, dass die Probe bei der gewünschten Endtemperatur für 10 Minuten belastet wurde. Die Erhitzungstemperaturen variierten in 10-K-Intervallen, wobei ausgewählte Bereiche in 5-K-Schritten überprüft wurden.

Für den hier interessierenden Bereich wurde festgestellt, dass die DDK-Kurven, die an auf 60 °C erhitzter Forellmuskulatur erhalten werden, nur

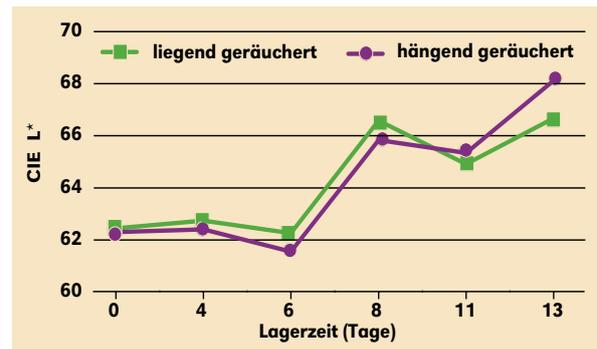


Abbildung 5: Veränderung der Helligkeit von Räucherforellen aus ökologisch erzeugter Rohware während der Lagerung bei 2 bis 4 °C in Abhängigkeit von der Art der Räucherung.

Figure 5: Changes in lightness of smoked trout from organically farmed raw material during storage at 2 to 4 °C dependent on the style of smoking.

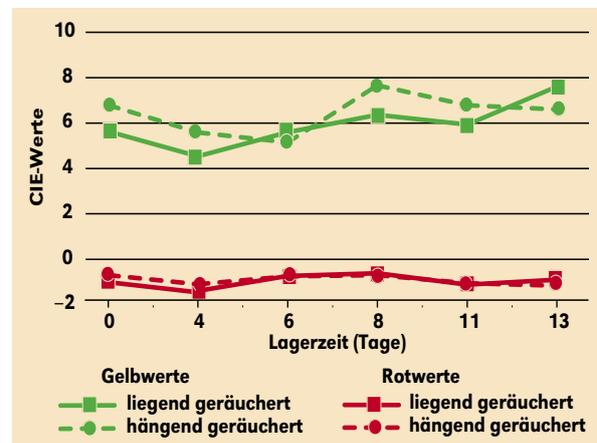


Abbildung 6: Veränderung der Rot- und Gelbwerte von Räucherforellen aus ökologisch erzeugter Rohware während der Lagerung bei 2 bis 4 °C in Abhängigkeit von der Art der Räucherung.

Figure 6: Changes in redness and yellowness of smoked trout from organically farmed raw material during storage at 2 to 4 °C dependent on the style of smoking.

noch den Aktinpeak enthalten, während alle anderen vorgelagerten Peaks aufgrund der vollständigen Denaturierung der ihnen zugrundeliegenden Proteine nicht mehr sichtbar sind. Abbildung 7 verdeutlicht diese Aussage. Die einzelnen Peaks der thermisch nicht behandelten Probe (Rohware) können Myosin (I), den Bindegewebs- und Sarkoplasmproteinen (II, III) sowie Aktin (IV) zugeordnet werden. Damit kann vorausgesetzt werden, dass DDK-Kurven von heißgeräucherten Forellen, die entsprechend der Forderung der relevanten Deutschen Leitsätze (Deutsches Lebensmittelbuch 2003) während des Räucherns auf eine Kerntemperatur von mindestens 60 °C erhitzt wurden, außer dem Aktinpeak keinen weiteren sichtbaren Peak aufweisen (Abbildung 10).

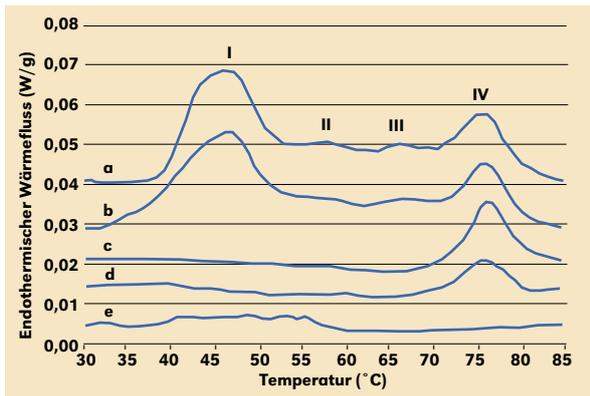


Abbildung 7: DDK-Kurven der hellen Muskulatur von Regenbogenforelle, beeinflusst durch die Erhitzungstemperatur; a: unbehandelt, frisch, b: unbehandelt, gefroren/aufgetaut, c: 60 °C, d: 65 °C, e: 70 °C (Schubring 2006b).

Figure 7: DSC curves of ordinary muscle of rainbow trout as a function of heating temperature; a: untreated, fresh, b: untreated, frozen/thawed, c: 60 °C, d: 65 °C, e: 70 °C (Schubring 2006b).

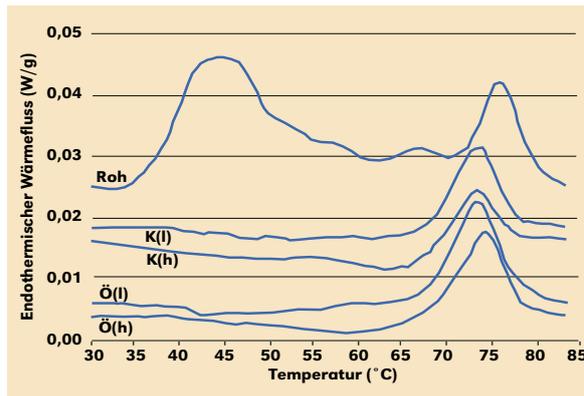


Abbildung 9: DDK-Kurven von ökologisch erzeugter Rohware sowie den daraus hergestellten liegend (Ö (l)) und hängend (Ö (h)) geräucherten Forellen und die entsprechenden Muster konventionell erzeugter Räucherproben (K (l)) und (K (h)) am 2. Lagertag.

Figure 9: DSC curves of organically farmed raw material and horizontal smoked (Ö (l)) and hanging smoked (Ö (h)) organically farmed trout as well as curves of conventionally farmed trout horizontal smoked (K (l)), and hanging smoked (K (h)) at day 2 of storage.

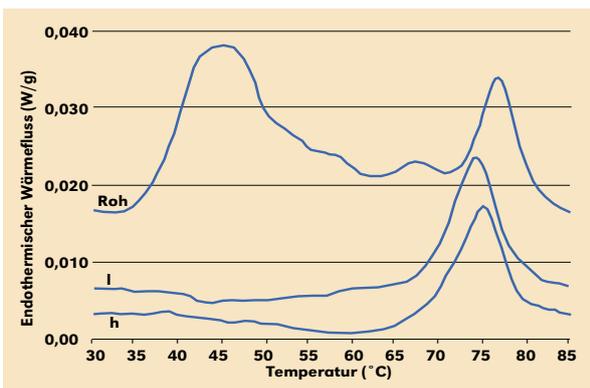


Abbildung 8: DDK-Kurven von ökologisch erzeugter Rohware sowie daraus hergestellten liegend (l) und hängend (h) geräucherten Forellen am 2. Lagertag.

Figure 8: DSC curves of organically farmed raw material and of the horizontal smoked (l) and hanging smoked (h) trout at day 2 of storage.

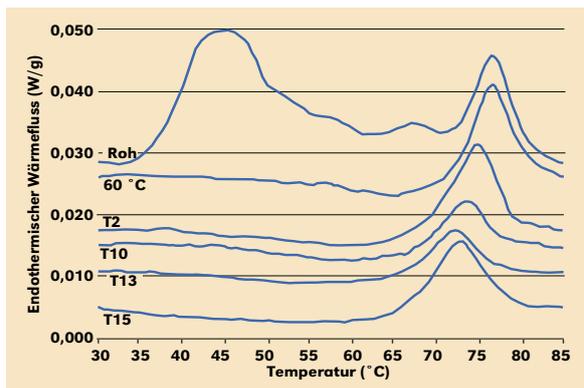


Abbildung 10: DDK-Kurven von Räucherforellen in Abhängigkeit von der Dauer der Kühlagerung. T2, T10, T13, T15 = 2, 10, 13 bzw. 15 Tage. Zum Vergleich sind die Kurven von unbehandeltem Muskel und auf 60 °C erhitztem Muskel aufgeführt.

Figure 10: DSC curves of smoked trout dependent on the duration of chilled storage. T2, T10, T13, T15 = 2, 10, 13, resp. 15 days. For comparison curves derived from untreated raw material and muscle heated to 60 °C are shown too.

Tabelle 3: Umwandlungstemperaturen ( $T_{onset}$ ,  $T_{max}$ ) und -enthalpien ( $\Delta H$ ) gemessen an heißgeräucherten Regenbogenforellen in Abhängigkeit von der Kühlagerzeit. Rw=Rohware, T2, T10, T13, T15: = 2, 10, 13 bzw. 15 Tage Lagerzeit).

Figure 10: Transition temperature ( $T_{onset}$ ,  $T_{max}$ ) and -enthalpies ( $\Delta H$ ) measured on hot smoked rainbow trout as a function of chilled storage. Rw = raw material; T2, T10, T13, T15 = 2, 10, 13, resp. 15 days of storage.

	Peak I			Peak II			Peak III			Peak IV		
	$T_{max}$	$T_{onset}$	$\Delta H$									
Rw	44,1	37,2	1,123	58,3	55,9	0,015	67,4	66,5	0,039	76,7	72,8	0,422
T2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	74,8	69,6	0,469
T10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	73,5	68,5	0,298
T13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	72,2	66,7	0,293
T15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	72,8	67,0	0,486

Anhand der DDK-Kurven (Abbildung 8) ist ersichtlich, dass deren Profil nicht davon beeinflusst wird, ob unter ansonsten identischen Bedingungen die Fische hängend oder liegend geräuchert werden und ob konventionell oder ökologisch erzeugte Regenbogenforellen zum Räuchern verwendet wurden (Abbildung 9).

Vergleicht man die DDK-Kurven der Räucherforellen nach verschiedenen Zeiten der Kühlung, so wird offensichtlich, dass diese zwar nicht das generelle DDK-Muster beeinflusst, jedoch offensichtlich die thermische Stabilität des Aktinpeaks verringert (Abbildung 10). Dieses wird an der Verschiebung der Peakmaxima zu niedrigeren Temperaturen deutlich, d. h. die Denaturierungstemperatur der Aktinfraktion verringert sich mit zunehmender Dauer der Kühlung (Tabelle 3).

Die DDK wird häufig verwendet, um Wirkungen technologischer Einflussfaktoren, wie z. B. Erhitzen, Gefrieren und Druckanwendung auf die Muskelproteine zu verdeutlichen (Schubring 2005; Schubring et al. 2003). Ausgehend von Ergebnissen, die an wärmebehandeltem Rindfleisch erzielt wurden, sollte es nach Ellekjær (1992) möglich sein, die DDK unter Anwendung multivariater Regressionstechniken zu einer automatischen Methode für die Bestimmung der bei der Erhitzung erreichten Maximaltemperatur mit einer Vorhersagegenauigkeit von 0,6 °C im Temperaturbereich 50 bis 72 °C zu entwickeln. Damit werden frühere Ergebnisse von Parsons et al. (1986) bestätigt, die zeigten, dass beim Erhitzen von Fleischproben die Peaks in der DDK-Kurven graduell verschwinden und die Variation der DDK-Muster der vorherigen Behandlung der Proben zugeordnet werden können.

Auch zur Überprüfung des nativen Charakters der Muskelproteine des Lachses und ihrer Veränderungen unter dem Einfluss von geringfügiger Erwärmung während des Kalträucherns und anschließender Kühlung wurden DDK-Kurven aufgenommen (Schubring 2006a). Die DDK-Kurven von Farm- und Wildlachs wiesen keine markanten Unterschiede auf. Gegenüber dem Salzen und Räuchern erweist sich besonders das Myosin als empfindlich. Erstaunlicherweise wird es bereits beim Prozess der Graved-Lachs-Herstellung vollständig denaturiert. Als Hauptursache für die dramatische Veränderung der DDK-Kurve des kaltgeräucherten Lachses dürfte jedoch der Kochsalzeinfluss anzusehen sein.

## Schlussfolgerungen

Ziel der Untersuchungen war es, mittels physikalischer Methoden heißgeräucherte Forellen aus konventioneller und ökologischer Aufzucht hinsichtlich qualitätsrelevanter Unterschiede im Aussehen und ihrer thermischen Stabilität zu bewerten.

Die Farbmessungen weisen deutliche Farbunterschiede zwischen ökologisch und konventionell erzeugten Forellen auf, die hauptsächlich durch die größere Helligkeit letzterer bedingt waren. Diese Unterschiede bleiben auch nach dem Heißräuchern bestehen und bewirken, dass geräucherte Forellen aus konventioneller Erzeugung signifikant heller sind. Während der anschließenden Kühlung gleichen sich die Helligkeitsunterschiede nahezu aus. Rot- und Gelbwerte erweisen sich dagegen als nicht signifikant beeinflusst durch die Art der Rohwarenerzeugung. Während der Kühlung war in beiden Fällen eine leichte Zunahme für  $a^*$  und  $b^*$  zu beobachten. Technische Variationen des Räucherprozesses beeinflussten die Heißräucherung der Forelle in liegender und in hängender Form und beeinflussten die Helligkeit der Räucherforellen aus konventioneller Erzeugung signifikant. Mit fortschreitender Dauer der Kühlung nimmt  $L^*$  der liegend geräucherten Forellen zwar leicht ab, bleibt aber immer noch deutlich größer als  $L^*$  der hängend geräucherten. Dagegen übt die Art der Räucherung bei ökologisch erzeugten Forellen keinen Einfluss auf deren  $L^*$ -Werte aus, die mit fortschreitender Dauer der Kühlung jedoch signifikant zunehmen. Weitgehend unbeeinflusst von der Rohwarenerzeugung, der Dauer der Kühlung und der Räuchervariante erweisen sich dagegen  $a^*$  und  $b^*$ .

Basierend auf den Ergebnissen von Untersuchungen zum Einfluss des Erhitzens von Regenbogenforellen auf deren thermische Stabilität mittels DDK kann aus den DDK-Kurven abgeleitet werden, dass die für heißgeräucherte Erzeugnisse geforderte Kerntemperatur von mehr als 60 °C bei der Herstellung der Räucherware aus ökologisch und konventionell erzeugter Rohware eingehalten wurde. Die resultierende DDK-Kurve weist lediglich noch den Aktinpeak auf. Alle anderen Proteinfraktionen mit geringerer thermischer Stabilität sind offensichtlich denaturiert. Weiterhin hatte die Variation des Räucherprozesses (liegend oder hängend) keinen merklichen Einfluss auf die DDK-Kurven. Dagegen ist die Kühlung der heißgeräucherten Forellen mit einer Verringerung der thermischen Stabilität der einzig noch nicht denaturierten Aktinfraktion verbunden. Dieses äußert sich mit einer nahezu linearen Abnahme der Denaturierungstemperatur.

## Zitierte Literatur

- Baker, R.; Günther, C., 2004: The role of carotenoids in consumer choice and the likely benefits from their inclusion into products for human consumption. *Trends Food Sci. Technol.* 15: 484–488.
- Cardinal, M.; Knockaert, C.; Torrissen, O.; Sigurgisladottir, S.; Morkore, T.; Thomassen, M.; Vallet, J.L., 2001: Relation of smoking parameters to the yield, colour and sensory quality of smoked salmon (*Salmo salar*). *Food Res. Int.* 34: 537–550.

- Choubert, G.; Blanc J.-M.; Valle, F., 1997: Colour measurement, using the CIELCH colour space, of muscle of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), fed astaxanthin: effects of family, ploidy, sex, and location of reading. *Aquacult. Res.* 28: 15–22.
- Choubert, G.; Blanc, J.-M.; Courvalin, C., 1992: Muscle carotenoid content and colour of farmed rainbow trout fed astaxanthin or canthaxanthin as affected by cooking and smoke-curing procedures. *Int. J. Food Sci. Technol.* 27: 277–284.
- Choubert, G.; Dentella, E.; Atrgié, C.; Baccaunaud, M., 2005: Effect of light on colour stability of sliced smoked rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* fed astaxanthin. *Food Res. Int.* 38: 949–952.
- Deutsches Lebensmittelbuch, 2003: Leitsätze für Fische, Krebs- und Weichtiere und Erzeugnisse daraus. In: Deutsches Lebensmittelbuch – Leitsätze 2003 – Verkehrsbezeichnung, Qualität und Zusammensetzung. Köln: Bundesanzeiger, S. 117–188.
- Ellekjaer, M.R., 1992: Assessment of maximum cooking temperatures in previously heat treated beef. Part 2: differential scanning calorimetry. *J. Sci. Food Agric.* 60: 255–261.
- Espe, M.; Kiessling, A.; Lunestad, B.-T.; Torrissen, O.J.; Rørå, A.M.B., 2004: Quality of cold smoked salmon collected in one French hypermarket during a period of 1 year. *Lebensm.-Wiss. Technol.* 37: 627–638.
- Gormley, T.R., 1992: A note of consumer preference of smoked salmon colour. *Irish J. Agric. Food Res.* 31: 199–202.
- Jensen, C.; Birk, E.; Jokumsen, A.; Skibsted, L.H.; Bertelsen, G., 1998: Effect of dietary levels of fat,  $\alpha$ -tocopherol and astaxanthin on colour and lipid oxidation during storage of frozen rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and during chill storage of smoked trout. *Z. Lebensm. Unters. Forsch. A* 207: 189–196.
- Jittinandana, S.; Kenney, P.B.; Slider, S.D.; Hankins, J.A., 2006a: Effect of high dietary vitamin E on lipid stability of oven-cooked and hot-smoked trout fillets. *J. Food Sci.* 71: C130–C136.
- Jittinandana, S.; Kenney, P.B.; Slider, S.D.; Kamireddy, N.; Hankins, J.A., 2006b: High dietary vitamin E affects storage stability of frozen-refrigerated trout fillets. *J. Food Sci.* 71: C91–C96.
- Lin, M.; Mousavi, M.; Al-Holy, M.; Cavinato, A.G.; Rasco, B.A., 2006: Rapid near infrared spectroscopic method for the detection of spoilage in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillet. *J. Food Sci.* 71: S018–S023.
- Manthey-Karl, M., 2005: Untersuchungen zur Qualitätsveränderung bei der Verarbeitung und Lagerung von ausgewählten Erzeugnissen aus Bioforellen und konventionell erzeugten Forellen als Voraussetzung für die Erstellung einer Handlungsanweisung für Handwerkliche Forellenzuchtbetriebe. Projekt BIFOLA, Zwischenbericht Dezember 2005, unveröffentlicht.
- Nickell, D.C.; Bromage, N.R., 1998: The effect of dietary lipid level on variation of flesh pigmentation in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 161: 237–251.
- Parsons, S.E.; Patterson, R.L.S., 1986: Assessment of the previous heat treatment given to meat products in the temperature range 40° – 90 °C. Part 2: differential scanning calorimetry, a preliminary study. *J. Food Technol.* 21: 123–131.
- Schubring, R., 2003: Colour measurement on skin during storage of wet and frozen fish. In: Luten, J.B.; Oehlenschläger, J.; Olafsdottir, G., (eds.): Quality of fish from catch to consumer: labelling, monitoring & traceability. Wageningen: Wageningen Acad. Publ.: 251–263.
- Schubring, R., 2005: Characterizing protein changes caused by application of high hydrostatic pressure on muscle food by means of DSC. *J. Therm. Anal. Calorim.* 82: 229–237.
- Schubring, R., 2006a: Thermal stability, texture, liquid holding capacity and colour of smoked salmon on retail level. *Thermochim. Acta* 445: 168–178.
- Schubring, R., 2006b: DSC study on the heating of fish muscle. *J. Food Process. Preserv.* (submitted for publication).
- Skrede, G.; Storebakken, T.; Naes, T., 1989: Color evaluation in raw, baked and smoked flesh of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed astaxanthin or canthaxanthin. *J. Food Sci.* 55: 1574–1578.
- Wedekind, H., 2003: Vergleich eines konventionellen mit einem "ökologischen" Forellenfuttermittel. *Fisch. Teichwirt* 54: 443–444.
- Wills, C.C.; Zampacavallo, G.; Poli, B.-M.; Proctor, M.R.M.; Henehan, G.T.M., 2006: Nitrogen stunning of rainbow trout. *Int. J. Food Sci. Technol.* 41: 395–398.