

Abhängigkeit des F-Wertes von der Sensorplatzierung

Effect of sensor's placement on detected F-values at canning

P. NITSCH und Flavia OLIVEIRA¹

¹Prolacteos Industria e Comercio LTDA, Brasilien

Zusammenfassung

Allgemein wird die Wiederholbarkeit der Erfassung von Kerntemperaturverläufen bei Fleischwarenkonserven in Frage gestellt. Verantwortlich sollen dafür kleinste Abweichungen bei der Sensorplatzierung sein. Da aus den so gemessenen Temperaturwerten über die Berechnung des F-Wertes Rückschlüsse auf die biologische Sicherheit der Erhitzung in Kombination mit dazu angepassten Haltbarkeitsangaben und Lagerungsbedingungen gezogen werden, sind jedoch genaue Kenntnisse über eine eventuelle Beeinflussung dieser Aussagen durch Fehlplatzierungen im Bezug auf die Produktsicherheit sehr wichtig. An einer Reihe von Konserven unterschiedlicher Geometrie wurden daher Sensoren definiert fehlplatziert und daraus resultierende Abweichungen im Temperaturverlauf im Bezug zu korrekt platzierten Kontrollen untersucht. Es zeigte sich, dass sich Kerntemperaturverläufe bei Anwendung moderner, hochgenauer Messtechnik problemlos hochexakt reproduzieren lassen. Fehlplatzierungsbedingte Abweichungen im F-Wert waren nur in Phasen höherer Temperaturdynamik während Aufheizen und Kühlen zu beobachten, wobei diese zudem erstaunlich gering in ihrer Höhe ausfielen. F-Werte und Fehlplatzierungen zeigten dabei in ihrer Höhe einen Zusammenhang in prozentualer Hinsicht, was eine Abschätzung zu erwartender Fehlmessungen grob zulässt.

Summary

The problem of getting reproducible temperature data from the inside of the containers during the heating process is an often discussed problem of canning. It is concluded that even smallest deviations from the ideal centralpoint are causing respectable deviations in acquired temperature data. It seems that found deviations at repeated measurings are caused by electronical reasons and not by thermo-physical effects depending on different sensor-placements. Systematical investigations about these aspects have never been reported, so it was decided to investigate the impact of differing positioning of sensors in cans on detected temperatures over time and recorded F-Values. We found that the deection of temperature is reproducible with high accuracy. F-value deviations caused by displacement of the sensors are very small and additionally they correlate in percent with the deviating position of the sensors. This allows to estimate a failure in F-value-detection depending on a known displacement.

Schlüsselwörter Konserven – Messung – Kerntemperatur – F-Wert – Temperaturfühler

Key Words canning – F-value – detection of internal temperature – deviation – placement

Einleitung

Erfahrene Konserventechnologen berichten in persönlichen Gesprächen der vergangenen Jahrzehnte immer wieder von

der Problematik der mangelnden Wiederholbarkeit von ihnen durchgeführter Kerntemperaturmessungen an Fleisch- und Wurstkonserven. Sie führen dies darauf zurück, dass selbst minimalste Abwei-

chungen vom idealen Messpunkt, der bei diesem Typ von Füllgütern in deren geometrischem Mittelpunkt liegt, die Ursache dafür waren. Zu dieser Zeit war die ausschließliche Nutzung von Thermoelementfühlern bei derartigen Messungen üblich. Neuere Arbeiten zeigen jedoch, dass man mit Thermoelementen Temperaturen in Autoklaven nicht in der Genauigkeit erfassen kann wie bisher allgemein angenommen. Auch bei Nutzung neuerer Sensortypen wie z. B. dem Pt100 ist es schwierig, Auflösungen besser $0,5\text{ °C}$ reproduzierbar zu realisieren. Es scheint, dass die beobachteten Abweichungen in den Ergebnissen wiederholter Messungen elektronische und nicht thermo-physikalische Ursachen haben, welche auf unterschiedlichen, räumlichen Platzierungen beruhen. Systematische Untersuchungen zu diesem Thema sind aus dem wissenschaftlichen Schrifttum bisher nicht bekannt. Daher galt es zu untersuchen, welchen Einfluss unterschiedliche resp. voneinander abweichende Sensorplatzierungen auf die erfassten Temperatur-Zeit-Verläufe und die daraus berechneten F-Werte als Maß zur Bestimmung der Keimabtötung haben.

Material und Methode

Bekanntlich gibt es eine große Anzahl von Konservenbehältertypen unterschiedlicher Formate und Geometrie mit Einfluss auf das Erhitzungsverhalten. In der Theorie beeinflusst der geringste Abstand resp. Weg zwischen Oberfläche und Füllgutmittelpunkt dessen thermodynamisches Verhalten über die Zeit am stärksten. Daher ist es vom Konservenformat abhängig, ob Abweichungen in longitudinaler oder horizontaler Achse eine Wirkung auf das Messergebnis zeigen. Um derartige Effekte zu untersuchen, wurden Konservenbehälter herangezogen, bei denen bei gleichem Durchmesser die Behälterhöhe geringer als dieser bzw. größer als dieser ausfiel. Im einzelnen wurden folgende Konservenbehälter benutzt: $73 \times 58\text{ mm}$, $73 \times 210\text{ mm}$, $99 \times 63\text{ mm}$ und $99 \times 199\text{ mm}$ (Erstes Maß = Konservendurchmesser, zweites Maß = Höhe). Für die Untersuchungen wurde feinzerkleinertes Brüh-

wurstbrät genutzt. Zur weitestgehenden Elimination etwaiger Störvariablen wurde die für die Untersuchungen benötigte gesamte Füllgutmenge auf einmal hergestellt und portioniert gefroren bevorratet. Vor dem Befüllen wurde die benötigte Menge Füllgut für minimal 12 Stunden bei 2 °C auftauen gelassen. Bei einer definierten Füllguttemperatur von 2 °C wurden anschließend die Konservenbehälter gemäß ihrem Standardvolumen befüllt.

In Abhängigkeit der Einzelversuchsanordnung wurden die Konserven zur Aufnahme der Messfühler in unterschiedlicher Weise präpariert. Dabei wurden die Messfühler an jeweils drei parallel genutzten Messdosen einmal im Idealpunkt und an den beiden anderen Behältern in definierter Abweichung platziert. Abhängig von der Behältergeometrie erfolgte dies entweder in longitudinaler oder in horizontaler Richtung. Um etwaige, aber unwahrscheinliche Störeinflüsse des Datenerfassungssystems zu minimieren, wurden je Versuchswiederholung die Messkanäle in ihrer Positionierung zueinander vertauscht.

Als Sensoren dienten wasserdampfdichte und hoch hitzefeste Pt100-Sensoren zusammen mit einem rechnergestützten Messdatenerfassungssystem. Mit dieser Messanordnung ist nach Kalibrierung mittels mikroprozessorbasiertem Präzisionstemperaturkalibrator vom Typ SIKA TP28800 eine Messgenauigkeit von reproduzierbar $\pm 0,3\text{ °C}$ über den gesamten Temperaturbereich beim Autoklavieren garantiert. Die Messdaten wurden dabei in Echtzeit in ASCII-Format abgelegt und einer weiteren Bearbeitung mittels NCSS2002, einem führenden Softwarepaket zur statistischen Datenanalyse, unterzogen.

Die verschiedenen Messanordnungen sind in folgender Tabelle 1 aufgeführt. Wie bereits o. a. erfolgte die Variation des Sensorsitzes dabei in Abhängigkeit der Behältergeometrie entweder axial oder longitudinal. Jede Anordnung wurde 10mal repliziert, wobei aus Gründen der Praktikabilität als Raumtemperatur 115 °C für einen Zeitraum von 60 min gewählt

wurde. Dieses Regime stellt zum einen einen guten Kompromiss zu den in der Praxis genutzten Erhitzungstemperaturen dar. Zum anderen treten hier die zu beobachtenden Effekte am deutlichsten zu Tage.

Ergebnisse und Diskussion

Temperatur und Platzierungen

Wiederholbarkeit. Bezüglich der Frage der Wiederholbarkeit identischer Versuchsanordnungen beim Erhitzen von Konserven zeigte sich, dass die stets behaupteten Abweichungen und Schwierigkeiten für den Erhalt vergleichbarer Wärmegänge sich nicht halten lassen. Vielmehr weisen alle Vergleichsmessungen eine überaus hohe Deckung der Einzeldaten zueinander auf. Die Ge-

nauigkeit und gute Wiederholbarkeit zeigte sich in den geringen Median-Mittelwertsabweichungen der Einzeldaten über den gesamten Erhitzungsbereich. Die folgende Abbildung 1 stellt die Medianwerte für jeden einzelnen Temperaturmesswert beispielhaft für alle untersuchten Regime anhand des Konservenformates 73 x 58 für den Idealmesspunkt und Abweichungen von ihm von 5 mm und 10 mm dar. Wie ersichtlich, sind die hier auftretenden Abweichungen marginal und liegen unter den Bereichen der Messauflösung in der Praxis eingesetzter Systeme. Besonders im F-Wertrelevanten Temperaturbereich der Haltephase streben sie nahezu gegen 0. Zu beachten ist hierbei außerdem, dass die Platzierung der Sensoren ohne besondere Genauigkeitserhöhende Maßnahmen wie z.B. Einsatz von Schablonen oder Lehren etc. erfolgte.

Tab. 1: Auflistung der untersuchten Designs

Behältergröße [mm] (Durchmesser x Höhe)	Art der Abweichung	Abweichung vom Zentrum [mm]	Abweichung vom Zentrum [mm]	Abweichung vom Zentrum [mm]
73x210	AXIAL	0	2,5	5
73x210	AXIAL	0	5	10
73x58	LONGITUDINAL	0	2,5	5
73x58	LONGITUDINAL	0	5	10
99x63	LONGITUDINAL	0	2,5	5
99x63	LONGITUDINAL	0 <td 5	10	
99x119	AXIAL	0	5	10
99x119	AXIAL	0	7,5	15

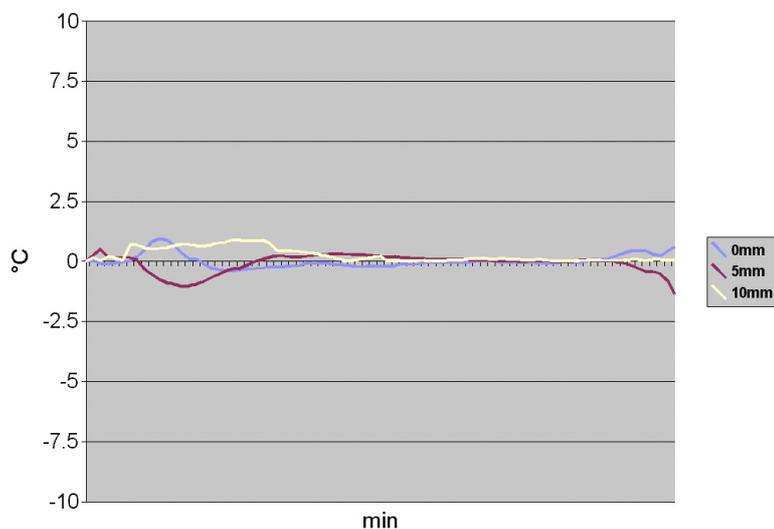


Abb. 1: Median-Mittelwertsabstände der Temperaturdaten für 100 Einzelwerte (n = 10)

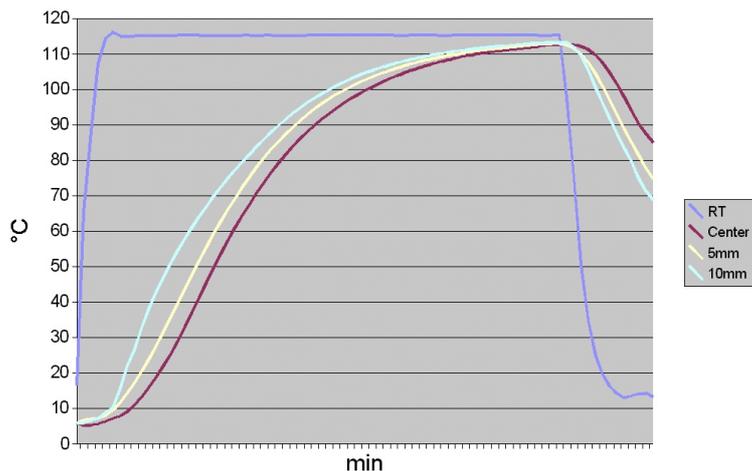


Abb 2: Temperatur-Medianwerte des Konservenbehälterformates 73 x 58 (Abweichungen vom Zentralpunkt = 5 mm bzw. 10 mm)

Einfluss einer Fehlplatzierung. Durch eine Abweichung vom Idealpunkt wird vornehmlich das dynamische Verhalten eines Wärmeganges beeinflusst. Die Geschwindigkeit der Temperaturänderung (ausgedrückt durch die Steilheit des Kurvenverlaufes) steht dabei in Zusammenhang mit der Größe der Abweichung vom Idealpunkt resp. Zentrum des Füllgutes. Je weiter sich der Messpunkt der Füllgutoberfläche nähert, desto schneller fallen Temperaturanstieg aber auch -abfall während Heiz- und Kühlphase aus. Abbildung 2 veranschaulicht dies. Während hier die blaue Linie den „idealen“ Kerntemperaturverlauf des Füllgutmittelpunktes darstellt, zeigt die rote Linie hierzu eine im Vergleich einen etwas schnelleren, weil steileren Abfall bei Erhitzung und Kühlung. Dies ist bedingt durch die Abweichung dieses Messpunktes von 5 mm zum Mittelpunkt in Richtung des kürzesten Ab-

standes zur Füllgut- resp. Behälteroberfläche (in diesem Fall longitudinal mit $58/2 \text{ mm} = 29 \text{ mm}$ entgegen horizontal mit $73/2 \text{ mm} = 36,5 \text{ mm}$). Der Sensor hatte daher nur einen Abstand von 24 mm zur Oberfläche. Das dynamische Verhalten wird weiter beschleunigt durch eine größere Abweichung in der Sensorplatzierung, wie die gelbe Kurve in Abbildung 2 zeigt, welche für eine Abweichung von 10 mm steht. Hier befindet sich der Sensor nur noch 19 mm von der Oberfläche entfernt.

Bei der Betrachtung von Abbildung 2 drängt sich der Eindruck auf, als ob die unterschiedlichen Kurvenverläufe lediglich auf einer Parallelverschiebung zueinander beruhen. Schnelleren Kurvenanstiegen stehen schnellere Kurvenabfälle in der Kühlphase gegenüber. Abbildung 3 soll diesen Effekt besser sichtbar machen.

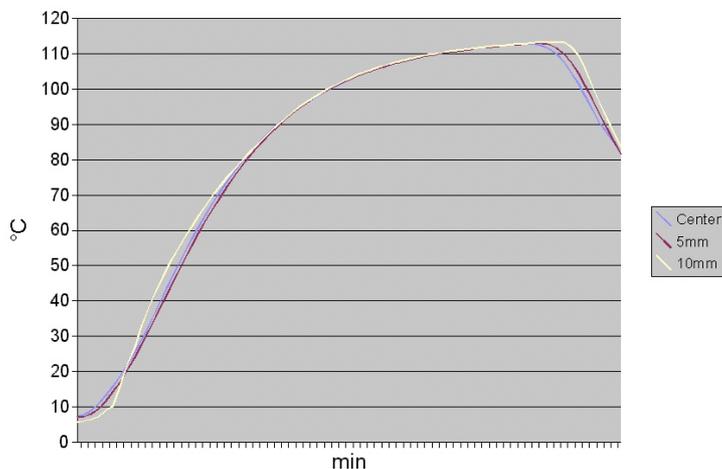


Abb. 3: Adaption der Kurvenverläufe aus Abbildung 2 auf das erstmalige Erreichen von 90 °C

Es handelt sich hierbei um eine modifizierte Darstellung der Werte aus Abbildung 2 dahingehend, dass als Referenzpunkt der Kurvenverläufe nicht mehr der Erhitzungsbeginn sondern das Erreichen von der zur Berechnung der Keim abtötenden Wirkung einer Konservenerhitzung wichtigen 90°C-Marke definiert wird. Hierdurch erst werden rein dynamikbedingte Unterschiede in der Kurvenform deutlicher sichtbar.

Die Kurven zeigen einen erstaunlich hohen Deckungsgrad, dies besonders in dem für den F-Wert, aber auch produktqualitativ relevanten Bereich oberhalb 90 °C. Zu Beginn der Kühlphase zeigen sich deutlich sichtbar Unterschiede im Kühlphasenverlauf in Abhängigkeit der Sensorplatzierung. In diesem Bereich ist ein „Überschießen“ der Kurven feststellbar. Der zunächst paradox anmutende spätere Abfall der Kurven mit einer Sensorplatzierung in geringerer Entfernung zur Behälteroberfläche ist nur ein Ausdruck für einen längeren Kurvenverlauf in der Zone oberhalb 90 °C, welche durch ein früheres Erreichen während der Erhitzungsphase gekennzeichnet ist. Keinesfalls bedeutet dieses Überschießen, dass diese Punkte etwa später einer Kühlung unterzogen würden als das Zentrum. Es ist nur Ausdruck eines grafischen Transformationsprozesses.

Dieses Verhalten konnte bei allen untersuchten Formaten bestätigt werden. Zudem unterlagen die gefundenen Unterschiede bei den verschiedenen Versuchsanordnungen wiederum selbst gewissen Gesetzmäßigkeiten.

So können einige generelle Aussagen gemacht werden: gut aus ist Abbildung 3 ein Zusammenhang zwischen Sensorplatzierung und Stärke des Überschießens während der Kühlphase zu sehen. Je näher an der Oberfläche, desto größer das Überschießen im Bezug zur Idealkurve des Zentrums. Dieser Effekt ist umso stärker, je höher die Dynamik des Erhitzungsprozesses ist. Das bedeutet, dass Erhitzungsregime mit einer zur Erlangung eines definierten F-Wertes benötigten, langen Haltezeit nicht so stark

durch eine Fehlplatzierung beeinflusst werden wie Erhitzungsprozesses mit hoher Dynamik. Hier wird bei kurzer oder gar keiner Haltephase (also noch während des Anstieges der Kerntemperatur) schon die Kühlphase eingeleitet. Von praktischer Bedeutung resp. Einfluss auf den F-Wert ist immer die Differenz zwischen dem Kurvenanteils des Überschießens zur Gesamtkurvenstrecke im Temperaturbereich oberhalb 90 °C. Das bedeutet: Je kleiner der Anteil des Überschießens am gesamten Kurvenverlauf, desto kleiner ist der Einfluss durch Fehlplatzierung auf das Messergebnis. Es zeigte sich zudem, dass je größer das Behältervolumen bzw. der Abstand des Zentrums zur Füllgutoberfläche, desto kleiner dieser Anteil des Überschießens ausgeprägt ist. Die Messkurven derartiger Behälter zeigten eine fast komplette Deckung sogar bei Abweichungen von mehr als 1 cm zum Ideal- bzw. Mittelpunkt, was wirklich augenfällige Abweichungen sind.

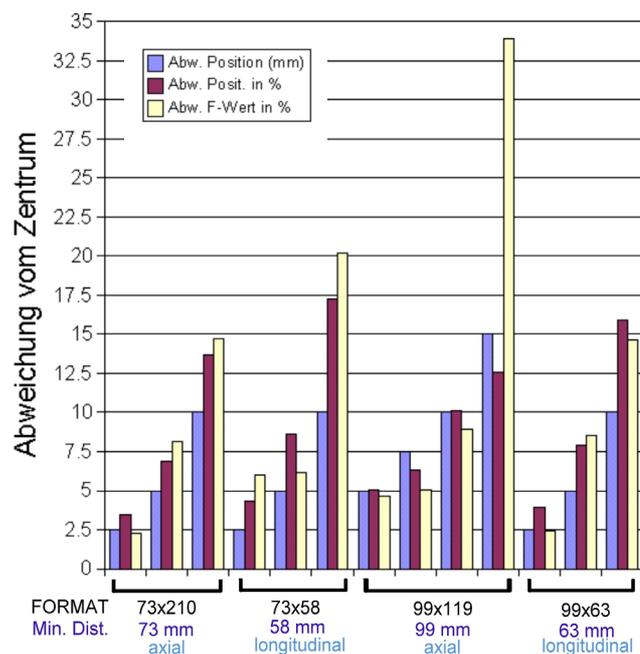


Abb. 4: Prozentuale Abweichungen der Sensorplatzierung und F-Werte im Bezug zum Füllgutzentrum

F-Wert und Platzierung. Das unterschiedliche Überschießen in der Kühlphase zeigt naturgemäß einen Einfluss auf den F-Wert derartiger Messungen, da jede Abweichung oberhalb 90 °C hier in das Ergebnis einfließt. Die Abweichungen in

der Positionierung und die Abweichungen im F-Wert zwischen Mittelpunkt und jeweiligem Messpunkt unterliegen hierbei einer starken Abhängigkeit zueinander. Dies zeigt der hohe Korrelationsgrad von 0,91 (Spearman-Rank, NCSS2000) zwischen der prozentualen Abweichung der Fühlerplatzierung von der Minimalgesamtdistanz im Bezug zur Messachse und der prozentualen Abweichung des jeweiligen F-Wertes vom F-Wert des Füllgutmittelpunktes. Abbildung 4 gibt hier eine Übersicht.

Schlussfolgerungen

Für den zukünftigen Umgang mit Konserven ergeben sich folgende Schlüsse:

1. Die Ansicht, dass selbst geringste Abweichungen vom zentralen Messpunkt im Füllgut zu deutlichen Abweichungen der erfassten Temperaturdaten führen, ist definitiv falsch.
2. Die Abweichungen vom idealen Messpunkt, welcher für feste und zähflüssige Füllgüter bekanntlich im geometrischen Mittelpunkt des Füllgutes liegt, und die dadurch hervorgerufenen Abweichungen im F-Wert entsprachen bei den hier untersuchten Konserven einander weitgehend prozentual, was eine Abschätzung des zu erwartenden Fehlers zulässt. Legt man also beispielhaft bei einem Konservendurchmesser von 99 mm eine 10%ige Abweichung in der Sensorplatzierung voraus, welche mit 1 cm wirklich auffällig wäre, so führt dies bei einer Vollkonserve mit einem F-Wert von 3,00 im ungünstigsten Fall zu einer F-Wertabweichung durch Fehlplatzierung von lediglich ca. 0,3.
3. Bei den üblicherweise für Fleischwaren genutzten Konservenformaten von 200 g bis 400 g Volumen sind F-Wertrelevante Fehlplatzierungen augenfällig. Sorgfältiges, verantwortliches Arbeiten nach Augenmaß kann also Fehlplatzierungen, welche den F-Wert merklich beeinflussen, wirkungsvoll vermeiden. Spezielles Gerät zum Einmessen der Sensoren ist nicht erforderlich.
4. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die bei der Untersuchung angewandten Erhitzungsregime so ausgelegt waren, dass sich Unterschiede möglichst stark auf den F-Wert niederschlagen, also mit geringen bis gar keinen Haltephasen gearbeitet wurde. Bei Erhitzungsregimen, welche eine ausgeprägte Haltephase aufweisen bzw. wo der während der Haltephase erfasste Teil-F-Wert einen höheren Anteil am F-Wert einer Erhitzung hat, reduzieren sich diese Fehler anteilmäßig, da v. a. der während der Aufheiz- und Kühlphasen erfasste F-Wertanteil platzierungsabhängig divergiert. Lange Haltezeiten finden sich bei niedrigeren Raumtemperaturen und Formaten mit großer, spezifischer Oberfläche. Derartige Behälter bzw. Regime sind unempfindlich gegenüber Fehlplatzierungen und diesbezüglich relativ sicher.
5. Je kleiner das Konservenformat ist, desto exakter müssen die Sensoren platziert werden. Bei sehr kleinen Konservenbehältertypen, wie z.B. manchen Portions-Weichpackungen mit lediglich 1 bis 2 cm Höhe, kann schon eine Fehlplatzierung von wenigen Millimetern zu merklichen Beeinflussungen des F-Wertes führen. Hier sollten spezielle Maßnahmen zur Präparation der Messbehälter ausgearbeitet werden.
5. Durch Fehlpositionierungen ergeben sich höhere F-Wert als real. Daher sollte aus Gründen der Sicherheit bei Produktionsbeginn eines neuen Produktes zunächst mit ca. 10 % über den gewünschten F-Wert hinaus erhitzt werden. Möchte man z.B. einen F-Wert von 4 garantiert erreichen, so sollte man am Ende der Kochung F 4,4 gemessen haben. Erst wenn dieser höhere F-Wert mehrmals hintereinander konstant (d.h. wiederholbar) erreicht wurde, sollte das Erhitzungsprogramm reprogrammiert werden, um die Erhitzungsintensität auf den gewünschten F-Wert von 4 anzupassen.