

## Einsatz von Antioxidantien zur Stabilisierung von Fisch- und Sojaöl

Dr. Heiko Stöckmann (Kiel) und Dr. Antje Holthausen (Cuxhaven)

### Einführung

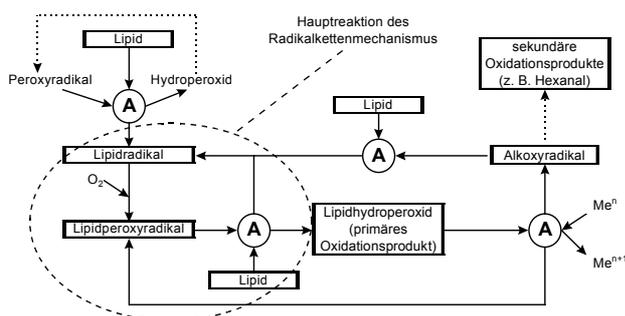
In vielen Halbfabrikaten und Endprodukten in Form von z. B. Lebensmitteln, Futtermitteln und Kosmetika sind Lipide in unterschiedlichster Art und Konzentration enthalten. Die Beschaffenheit der Lipidfraktion ist häufig ein charakteristisches Merkmal für derartige Erzeugnisse. Neben der Herkunft der Lipide (pflanzlichen oder tierischen Ursprungs) ist die Zusammensetzung der enthaltenen Fettsäuren ein wesentliches Qualitätskriterium. Sowohl für die Humanernährung als auch für die Ernährung von Heimtieren sind Erzeugnisse mit einem hohen Gehalt an ungesättigten Fettsäuren wünschenswert. Besonders bedeutsam sind Lipide, die sich durch einen erhöhten Anteil an  $\omega$ -3 Fettsäuren auszeichnen. Neben pflanzlichen Quellen (z. B. Raps-, Soja- und Leinöl), die im wesentlichen  $\alpha$ -Linolensäure als  $\omega$ -3 Fettsäure enthalten, kann Fischöl durch den Gehalt an langkettigen, hochungesättigten Fettsäuren (LC-PUFA) einen wichtigen Beitrag zur Versorgung mit essenziellen  $\omega$ -3 Fettsäuren wie Eicosapentaensäure (EPA) und Docosahexaensäure (DHA) leisten.

### Lipidoxidation

Fischöl unterliegt aufgrund des Gehaltes an LC-PUFA einer besonders hohen Anfälligkeit gegenüber oxidativen Schädigungen (Lipidoxidation), die zur Ausbildung von „ranzigen“ Fehlgerüchen führen und damit die Qualität und Lagerfähigkeit vom Fischöl deutlich einschränken. Eine möglichst hohe und langanhaltende Produktqualität ist somit nur durch eine effektive Stabilisierung der oxidationsempfindlichen Lipide gegeben.

Um einen ausreichenden Oxidationsschutz zu gewährleisten, sind umfassende Kenntnisse über die Mechanismen der Lipidoxidation und potenzielle Maßnahmen zu deren Verhinderung notwendig (FRANKEL, 1998). Im Hinblick auf die Unterdrückung der Lipidoxidation kommt dem Einsatz von Antioxidantien eine besondere Bedeutung zu (SCHWARZ, 1998). Zur Übersicht über die komplexen Zusammenhänge sind in Abbildung 1 die grundlegenden Reaktionswege der Lipidoxidation sowie die Eingriffsmöglichkeiten für Antioxidantien dargestellt.

**Abbildung 1: Vereinfachte Darstellung der Lipidoxidation mit den Reaktionsmöglichkeiten der Antioxidantien (A) (STÖCKMANN, 2001)**



Wie aus Abbildung 1 zu erkennen ist, wird die Lipidoxidation initiiert, indem vorhandene Radikale (Peroxyradikal) aufgrund ihrer hohen Reaktionsfähigkeit durch Abstraktion von Wasserstoff der Fettsäuren (Lipid) reduziert werden. Dieser Prozess ist energetisch begünstigt und abhängig von den Kohlenstoff-Wasserstoff-Bindungsenergien der Fettsäure. Da die Bindungsenergie aufgrund der Resonanzstabilisierung im Allgemeinen mit zunehmender Anzahl an Doppelbindungen innerhalb der Fettsäure sinkt, sind hoch ungesättigte Fettsäuren von dieser Reaktion besonders betroffen und daher sehr oxidationsanfällig. Das aus dieser Reaktion hervorgehende Fettsäureradikal (Lipidradikal) reagiert schnell mit vorhandenem Luftsauerstoff zum sehr reaktionsfähigen Lipidperoxyradikal. Dieses oxidiert dann unmittelbar weitere Fettsäuren durch Wasserstoffabstraktion und entfacht so die Radikalkettenreaktion. Als Endprodukt des Radikalkettenmechanismus entstehen Lipidhydroperoxide als primäre Lipidoxidationsprodukte, die im weiteren Verlauf über verschiedene Spalt- und Zerfallsreaktionen abgebaut werden.

Der Abbau der Lipidhydroperoxide wird durch Licht, Temperatur und insbesondere Schwermetallionen (Me) oder Eisenverbindungen (Häm-Verbindungen) katalysiert. Die dabei entstehenden Alkoxyradikale können wieder in den Radikalkettenmechanismus eingreifen oder zu sekundären Oxidationsprodukten weiter reagieren, die letztendlich für das Entstehen flüchtiger Abbauprodukte und somit für die sensorisch wahrnehmbaren Oxidationsphänomene („Off-Flavour“) verantwortlich sind (SCOTT, 1993). Im Gegensatz dazu tragen die primären Oxidationsprodukte nur geringfügig zum sensorischen Gesamteindruck des Erzeugnisses bei.

### Eigenschaften von Antioxidantien

Um die Bildung dieser unerwünschten Oxidationsprodukte zu verhindern bzw. einzuschränken, können Antioxidantien einen wichtigen Beitrag leisten. Grundsätzlich handelt es sich dabei um eine Gruppe von Verbindungen, die in der Lage sind, die Lipidoxidation zu verzögern bzw. zu unterdrücken. Aufgrund der verschiedenen Wirkungsweise werden die Antioxidantien in zwei Hauptkategorien unterteilt.

Die erste Kategorie (primäre Antioxidantien) beinhaltet Verbindungen, die eine ausgeprägte radikalreduzierende Eigenschaft aufweisen. Dazu sind entsprechende Molekülgruppierungen, wie z. B. eine Phenolgruppe, erforderlich, die durch Abspaltung eines Wasserstoffatoms zur Reduktion des Radikals führen (SCOTT, 1993). Je einfacher das Wasserstoffatom abstrahiert werden kann und umso stabiler bzw. reaktionsträger das resultierende oxidierte Antioxidans bzw. Antioxidansradikal ist, desto effektiver ist die Radikalfängereigenschaft und damit die antioxidative Wirkung. Da im Rahmen der Lipidoxidation unterschiedliche Radikale (Alkyl-, Alkoxy- und Peroxyradikale) gebildet werden, können derartige Antioxidantien auf unterschiedliche Weise in die Lipidoxidation eingreifen und durch Reduktion von Radikalen bestimmte Prozessschritte im Rahmen der Lipidoxidation selektiv verlangsamen. Da die Geschwindigkeit des Oxidationsprozesses im wesentlichen durch den Radikalkettenme-

chanismus bestimmt wird, ist die Effektivität primärer Antioxidantien sehr eng mit der Möglichkeit verbunden, in den Radikalkettenmechanismus eingreifen zu können.

Zur zweiten Kategorie (sekundäre Antioxidantien) zählen verschiedene Gruppen von Verbindungen, die nicht direkt in die Lipidoxidation eingreifen, aber deren Fortschritt auf unterschiedliche Weise hemmen können. Eine der wichtigsten Reaktionen ist die Möglichkeit zur Komplexbildung und damit Inaktivierung katalytisch wirkender Metallionen. Weiterhin lassen sich in diese Gruppe Substanzen einordnen, die in der Lage sind, oxidierte und damit bereits verbrauchte primäre Antioxidantien durch Reduktion zu regenerieren. Auch Verbindungen, die Sauerstoff als wichtiges Substrat der Lipidoxidation durch Oxidation dem System entziehen, zählen zu dieser Kategorie.

Aufgrund des komplexen Reaktionsablaufs der Lipidoxidation ist eine Differenzierung der antioxidativen Wirkungen erforderlich, da Antioxidantien zu unterschiedlichen Zeitpunkten die Lipidoxidation unterdrücken können. Einerseits können sie durch Abfangen von Peroxyradikalen im frühen Stadium der Lipidoxidation die Entstehung von Lipidhydroperoxiden verhindern und andererseits im fortgeschrittenen Stadium insbesondere z. B. durch Reduktion der Alkoxyradikalen, Regenerierung verbrauchter Antioxidantien oder Komplexbildung von Metallionen der Bildung sekundärer Oxidationsprodukte entgegen wirken.

### Wirksamkeit von Antioxidantien

Die verschiedenen Reaktionsmöglichkeiten der Antioxidantien stehen nicht unmittelbar miteinander in Zusammenhang, so dass die antioxidative Wirkung das Resultat sehr komplexer Reaktionsphänomene ist. Da ein Antioxidans aufgrund seiner Eigenschaften im Wesentlichen nur einer der Kategorien zuzuordnen ist, sind für eine effektive Stabilisierung häufig Kombinationen aus primären und sekundären Antioxidantien sinnvoll bzw. vorteilhaft. Bei der Verwendung von Antioxidantien ist weiterhin zu berücksichtigen, dass die Wirksamkeit nicht unmittelbar mit der Antioxidanskonzentration korreliert. Die maximale Effektivität ist im Regelfall nur über einen bestimmten Konzentrationsbereich gegeben, der seinerseits stark von der Art und Beschaffenheit des Produktes abhängig ist. Weitere Konzentrationserhöhungen haben im Allgemeinen nur noch geringe Effektivitätssteigerungen zur Folge oder können im Einzelfall auch zu pro-oxidativen Effekten führen.

Aufgrund der zahlreichen Einflussgrößen und komplexen Zusammenhänge ist eine Prognostizierbarkeit des Ablaufes der Lipidoxidation und der Effektivität von Antioxidantien nicht bzw. nur sehr schwer möglich. Um die Effektivität von Antioxidantien hinreichend untersuchen bzw. bestimmen zu können, sind daher Lagerstudien unter möglichst realen (praxisähnlichen) Bedingungen oder in relevanten Modellsystemen notwendig (STÖCKMANN et al., 2000). Zur Charakterisierung sind geeignete analytische Verfahren erforderlich, die eine Quantifizierung charakteristischer Oxidationsprodukte in regelmäßigen Abständen über einen entsprechenden Lagerungszeitraum ermöglichen und somit wichtige Instrumente der Bewertung darstellen.

### Methoden zur Bestimmung des Oxidationszustands

Der Verlauf des Oxidationsprozesses kann über den Gehalt der beteiligten Reaktionsprodukte oder -edukte ver-

folgt werden, wobei die Zunahme der Konzentration an Oxidationsprodukten im Allgemeinen empfindlicher und damit besser geeignet ist. Um die verschiedenen Stadien der Lipidoxidation und die unterschiedliche Wirkungsweise der Antioxidantien erfassen zu können, ist die Bestimmung primärer und auch sekundärer Oxidationsprodukte erforderlich (FRANKEL et al., 1994). Zur Bestimmung der Lipidhydroperoxide als primäre Oxidationsprodukte steht eine Vielzahl an unterschiedlichen Methoden zur Verfügung, die sich in ihrer Spezifität und Selektivität deutlich unterscheiden. Für die routinemäßige Kontrolle sollte weiterhin eine einfache und schnelle summarische Erfassung mit ausreichender Genauigkeit ohne beträchtlichen apparativen Aufwand im Vordergrund stehen.

Im Vergleich zur klassischen Bestimmung der Peroxidzahl (POZ) durch jodometrische Titration erfüllen unterschiedliche spektralphotometrische Bestimmungen diese Voraussetzungen sehr gut. Ein derartiges photometrisches Verfahren ist die Bestimmung von Lipidhydroperoxiden nach der Thiocyanat-Methode. Dieses Verfahren beruht auf der Oxidation von Eisen(II)-Ionen zu Eisen(III)-Ionen, die dann mit Ammoniumthiocyanat einen rötlich gefärbten Komplex ausbilden (PARDUN, 1976). Für reine Öle besteht eine sehr gute Korrelation zwischen den Ergebnissen der Thiocyanat-Methode und der Bestimmung der Peroxidzahl (POZ).

Zur Bestimmung sekundärer Oxidationsprodukte ist die gaschromatographische Dampfraumanalyse (*Head-Space-Gaschromatography, HSGC*) sehr gut geeignet, da die im fortgeschrittenen Stadium des Lipidoxidationsvorgangs ablaufenden Spalt- und Zerfallsreaktionen überwiegend zu flüchtigen Reaktionsprodukten (Aldehyde, Ketone, etc.) führen (FRANKEL et al., 1994). Durch diese sensorisch relevanten „Off-Flavour“-Produkte besteht über die HSGC-Analyse auch die Möglichkeit, die Ergebnisse mit sensorischen Bewertungen zu korrelieren. Dazu ist jedoch an die Auswahl geeigneter Markersubstanzen eine hohe Anforderung zu stellen. Diese Marker müssten einerseits das spezifische Fehl aroma hinreichend charakterisieren und andererseits analytisch gut zu erfassen sein. Bei Lipiden mit hohem Anteil an Linolsäure führt der Abbau überwiegend zur Bildung von Hexanal, das somit für derartige  $\omega$ -6-Fettsäuren eine gute Markerverbindung darstellt. Für Lipide mit Anteilen an  $\omega$ -3-Fettsäuren ist entsprechend Propanal als Marker geeignet.

### Untersuchungen zur Wirksamkeit von Antioxidantien in Fischöl und Sojaöl

In der Tierernährung werden zahlreiche unterschiedliche Antioxidantien zum Schutz vor Lipidoxidation eingesetzt, wobei der überwiegende Anteil synthetischer Natur ist. Ein klassisches Beispiel ist Ethoxyquin, das häufig in Reinform auf vielfältige Weise eingesetzt wird. Die Verwendung von Ethoxyquin ist auch in Pflanzenölen sowie Fischölen und Fischmehlen weit verbreitet, wird aber insbesondere im Bereich des Heimtierfutters zunehmend kritischer bewertet, so dass die Nachfrage nach Alternativen zu Ethoxyquin ständig steigt.

Um diesem Bedürfnis nachkommen zu können, muss zunächst der Einfluss unterschiedlicher Antioxidantien auf die Lipidoxidation in den relevanten Matrices geprüft werden. Dazu wurden unterschiedliche Antioxidantien bzw. Antioxidansmischungen (Tab. 1) auf der Basis von natürlichen oder synthetischen Antioxidantien in verschiedenen Ölen (Fischöl, Sojaöl) dahingehend untersucht, ob

ein ähnlich effektiver Schutz vor Lipidoxidation gewährleistet oder der Einsatz von Ethoxyquin zumindest verringert werden kann.

Die Antioxidansformulierungen (Blends) wurden beim Fischöl in Konzentrationen von 800 mg/kg in ein handelsübliches Fischöl eingebracht und homogen verteilt. Beim Sojaöl wurde entsprechend eine Antioxidanskonzentration von 250 mg/kg verwendet. Als Kontrolle diente das handelsübliche Fischöl bzw. Sojaöl ohne Antioxidanzzusatz. Die Gehalte an primären und sekundären Oxidationsprodukten wurden nach unterschiedlichen Lagerzeiträumen (dunkel) bei 40 °C bestimmt.

**Tabelle 1: Übersicht über die verwendeten Antioxidantien bzw. Antioxidansmischungen (Blend) zur Stabilisierung von Fischöl und Sojaöl**

Blend	Zusammensetzung
Äthoxyquin	98 % Äthoxyquin
Loxidan TL 400	26 % Äthoxyquin, 7 % Propylgallat, 4 % Zitronensäure
Blend A (synthetisch)	12 % BHT, 12 % BHA, 5 % Propylgallat, 2 % Zitronensäure
Blend B (natürlich)	13 % Tocopherole, 7 % Rosmarin
Blend C (synthetisch)	10 % Äthoxyquin, 20 % BHT, 2 % BHA

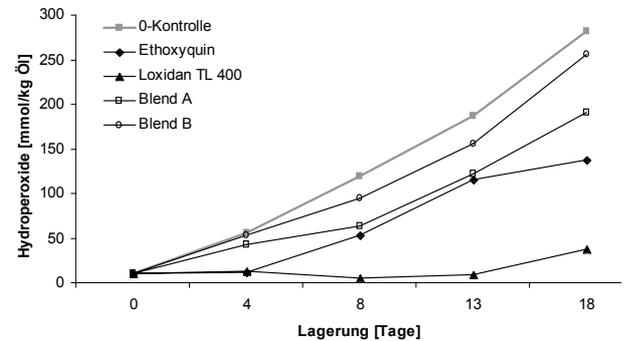
## Fischöl

Bei den Ansätzen zur Stabilisierung des Fischöls zeigte sich, dass der Zusatz von Antioxidantien bzw. Antioxidansmischungen sowohl die Bildung primärer Lipidhydroperoxide (Abb. 2) als auch die Bildung von Propanal als typischem sekundären Oxidationsprodukt (Abb. 3) hemmen konnte. Das Ausmaß der antioxidativen Effekte war bei beiden Oxidationsprodukten vergleichbar, wobei die Wirksamkeit in der Rangfolge Loxidan TL 400 > Ethoxyquin > Blend A > Blend B abnahm. Der Blend B mit ausschließlich natürlichen Antioxidantien (Tocopherol, Rosmarin) ist in dieser Zusammensetzung für eine Stabilisierung des eingesetzten Fischöls somit eher ungeeignet. Im Vergleich zu reinem Ethoxyquin stellt der synthetische, Ethoxyquin-freie Blend A nur eine Alternative hinsichtlich der Hemmung der Lipidhydroperoxide (Abb. 2) dar, da dort eine in etwa vergleichbare Wirksamkeit festzustellen war. Die Propanalbildung (Abb. 3) wurde durch den Blend A nur in deutlich geringerem Ausmaß unterdrückt. Eine sehr effektive Hemmung der Lipidoxidation zeigte die Ethoxyquin-haltige Formulierung Loxidan TL 400, die zusätzlich Propylgallat und Zitronensäure beinhaltet. Die gegenüber reinem Ethoxyquin wesentlich höhere Aktivität von Loxidan TL 400 stellt damit eine sehr gute Alternative dar, um den Einsatz von Ethoxyquin zu reduzieren.

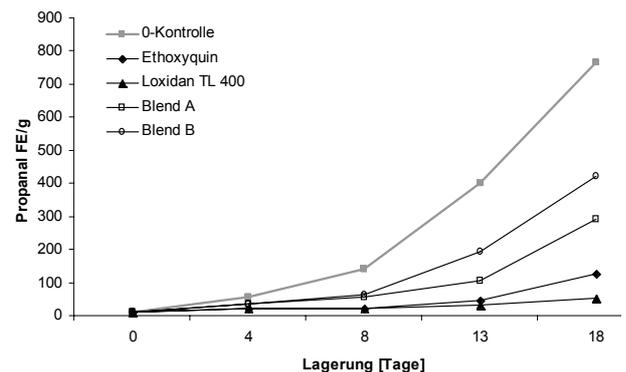
## Dosis-Wirkungs-Beziehung von Antioxidantien in Fischöl

Neben der Art des Antioxidans bzw. der Zusammensetzung der Antioxidansmischung spielt die Antioxidansdo-

**Abbildung 2: Verlauf der Lipidoxidation von Fischöl bei 40 °C unter Zusatz verschiedener Antioxidantien (800 mg/kg) anhand der Gehalte an Lipidhydroperoxiden, die nach der Thio-cyanatmethode bestimmt wurden**



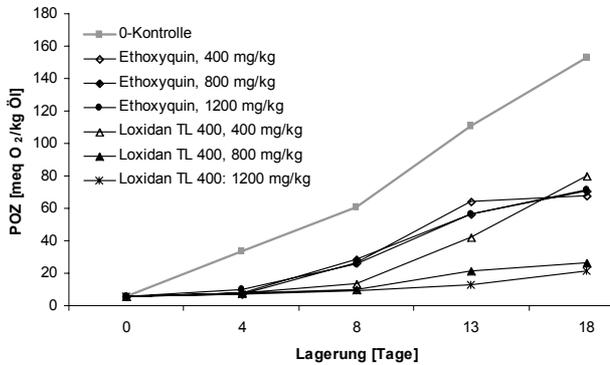
**Abbildung 3: Verlauf der Lipidoxidation von Fischöl bei 40 °C unter Zusatz verschiedener Antioxidantien (800 mg/kg) anhand der normierten Flächeneinheiten an Propanal, die über HSGC bestimmt wurden**



sierung für die Wirksamkeit eine wichtige Rolle. Sowohl aus Sicht der Aktivität als auch aus ökonomischer Sicht sollte die Dosierung so hoch wie nötig aber so gering wie möglich ausfallen. Um die Effizienz des Einsatzes von Antioxidantien weiter zu untersuchen bzw. zu optimieren, wurden Lagerstudien zur Überprüfung der Dosis-Wirkungs-Beziehung für die Stabilisierung des Fischöls durchgeführt. Dazu wurden Ethoxyquin und Loxidan TL 400 in Konzentrationen von 400 mg/kg, 800 mg/kg und 1200 mg/kg eingesetzt und das Ausmaß der Lipidoxidation durch Bestimmung der primären Lipidhydroperoxyde nach der offiziellen DGF-Methode durch jodometrische Titration (POZ) bestimmt (Abb. 4).

Für den Einsatz von Ethoxyquin konnten sowohl für die Bildung der Hydroperoxide (Abb. 4) als auch für die Bildung von Propanal keine Unterschiede zwischen den Dosierungen festgestellt werden. Eine Erhöhung der Dosierung von 400 mg/kg auf 800 mg/kg bzw. 1200 mg/kg führte zu keiner weiteren Steigerung der Wirksamkeit. Im Gegensatz dazu ergab sich in Systemen mit Loxidan TL 400 eine deutlich bessere Aktivität bei Steigerung der Dosierung von 400 mg/kg auf 800 mg/kg. Eine weitere Konzentrationserhöhung auf 1200 mg/kg hatte keine Effektivitätssteigerung zur Folge.

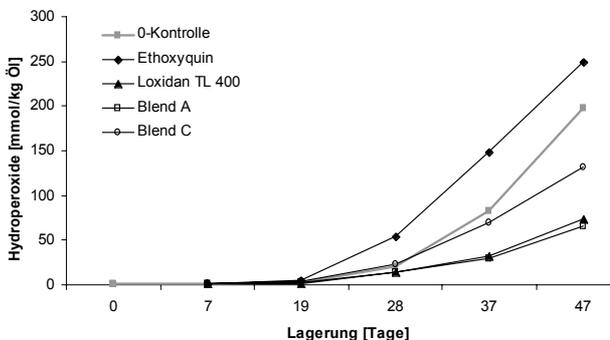
**Abbildung 4: Vergleich des Verlaufs der Lipidoxidation von Fischöl bei 40 °C und unterschiedlicher Antioxidansdosierung anhand der Bildung von Lipidhydroperoxiden bestimmt als Peroxidzahl (POZ)**



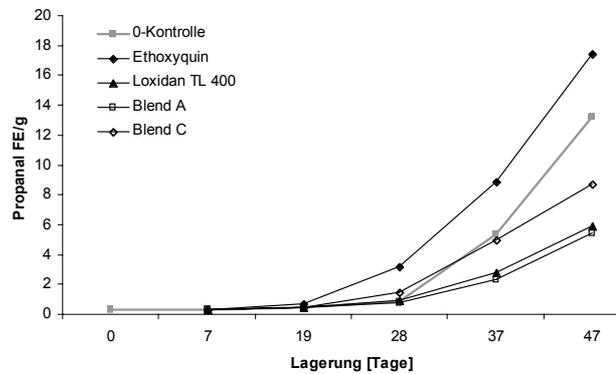
**Sojaöl**

Analog zum Fischöl wurden zur Stabilisierung von Sojaöl verschiedene Antioxidantien in einer Konzentration von 250 mg/kg (Tab. 1) eingesetzt. Die Wirksamkeit der unterschiedlichen synthetischen Antioxidantien Blends auf den Verlauf der Lipidoxidation von Sojaöl zeigte deutlich abweichende Aktivitäten, wobei die Rangfolge bei Inhibierung der Bildung primärer Lipidhydroperoxide (Abb. 5) und Propanal (Abb. 6) als Marker sekundärer Oxidationsprodukte vergleichbar war. Bei der Gegenüberstellung der Resultate war auffällig, das Ethoxyquin in der eingesetzten Konzentration im Vergleich zur Kontrolle keinen antioxidativen, sondern eher einen gegenteiligen pro-oxidativen Effekt aufwies. Während Loxidan TL 400 und Blend A die Lipidoxidation etwa in gleichem Ausmaß recht gut hemmen konnten, war die Reduktion der Lipidoxidation durch Blend C nur gering.

**Abbildung 5: Verlauf der Lipidoxidation von Sojaöl bei 40 °C unter Zusatz verschiedener Antioxidantien (250 mg/kg) anhand der Gehalte an Lipidhydroperoxiden, die nach der Thiocyanatmethode bestimmt wurden**



**Abbildung 6: Verlauf der Lipidoxidation von Sojaöl bei 40 °C unter Zusatz verschiedener Antioxidantien (250 mg/kg) anhand der normierten Flächeneinheiten an Propanal, die über HSGC bestimmt wurden**



**Fazit**

Am Beispiel der verwendeten Antioxidantien konnte die Problematik der Stabilisierung von Fisch- und Sojaöl dahingehend aufgezeigt werden, dass der effektive Einsatz von Antioxidantien durch systematisch durchgeführte Lagerstudien ermöglicht und optimiert werden kann. So ergab sich im Hinblick auf einen Ersatz oder eine deutliche Reduzierung von Ethoxyquin, dass die eingesetzten Ethoxyquin-freien Blends den Verlauf der Lipidoxidation von Fischöl bei gleicher Dosierung nur geringfügig unterdrücken konnten. Der Ethoxyquin-haltige Antioxidantien Blend Loxidan TL 400 zeigte bei deutlich geringerem Einsatz von Ethoxyquin (26 %) einen besseren Schutz vor Lipidoxidation im Fischöl. Somit kann durch die Verwendung von geeigneten Formulierungen der Einsatz von Ethoxyquin, bei deutlich besserer Effektivität, erheblich verringert werden.

Die Ergebnisse der Untersuchungen in Fischöl und Sojaöl verdeutlichen die bereits dargestellte Komplexität der Lipidoxidation und die matrixabhängige Effektivität von Antioxidantien. Während der Einsatz von reinem Ethoxyquin eine gute Wirksamkeit in Fischöl zeigte, ist Ethoxyquin für Sojaöl nicht zu empfehlen. Dieses ist im wesentlichen darauf zurückzuführen, dass die Aktivität eines Antioxidans in unterschiedlichen Lipiden stark von der jeweiligen Fettsäurezusammensetzung abhängig ist. Es konnte weiterhin gezeigt werden, dass geringe antioxidative Aktivitäten nicht bzw. nur in sehr geringem Ausmaß durch Konzentrationserhöhungen gesteigert werden können. Daher sollte ein Antioxidans immer in der Zielmatrix unter Berücksichtigung der Dosis-Wirkungs-Beziehung überprüft werden, um eine hohe Effizienz zu gewährleisten.

Sowohl in Fischöl als auch in Sojaöl zeigten Blends aus verschiedenen Antioxidantien mit unterschiedlichen Eigenschaften die beste Wirksamkeit, unabhängig davon ob Ethoxyquin enthalten war oder nicht. Die Kombination aus rein phenolischen Antioxidantien mit ausschließlich radikalreduzierenden Eigenschaften (Blend C) zeigte im Vergleich zu den Kombinationen aus primären Antioxidantien und sekundären Antioxidantien mit unterschiedlicher Wirkungsweise (Loxidan TL 400 und Blend A), eine geringere Effektivität. Daraus lässt sich schließen, dass Antioxidantien Blends, die Antioxidantien unterschiedlicher Kategorien enthalten, universeller einsetzbar sind als Einzelsubstanzen und sich somit gut ergänzen können.

## Literatur

- STÖCKMANN, H. (2000): Untersuchungen zum Einfluß des Verteilungsverhaltens auf die Aktivität von Wirkstoffen in dispersen Systemen am Beispiel von Antioxidantien in O/W-Emulsionen. Dissertation Universität Hannover
- SCOTT, G. (1993): Autoxidation and Antioxidants. In: Atmospheric Oxidation and Antioxidants, Amsterdam
- FRANKEL, E.N., HUANG, S.-W., KANNER, J., GERMAN, J.B. (1994): Interfacial Phenomena in the Evaluation of Antioxidants: Bulk Oils vs Emulsions. J. Agric. Food Chem. 42, 1054-1059
- STÖCKMANN, H., SCHWARZ, K., HUYNH-BA, T. (2000): The Influence of Various Emulsifiers on the Partitioning and Antioxidant Activity of Hydroxybenzoic Acids and Their Derivatives in O/W Emulsions, J. Am. Oil Chem. Soc. . 77; 535-542
- PARDUN, H. (1976): Analyse von Nahrungsfetten, Parey Verlag Berlin
- SCHWARZ, K. (1998): Antioxidantien in Lebensmitteln und ihre Bedeutung als Mikronährstoffe, Teil 1: Eigenschaften und Vorkommen von Antioxidantien in Lebensmitteln, AID 43; 340-344
- FRANKEL, E.N. (1998): Lipid Oxidation, The Oily Press Ltd., Vol. 10

## Anschrift der Autoren

Dr. Heiko Stöckmann  
A.C.T. FOODS GmbH  
Heinrich-Hecht-Platz 10  
24118 Kiel

E-Mail: [hstoeckmann@act-foods.de](mailto:hstoeckmann@act-foods.de)

Dr. Antje Holthausen  
Heinz-Lohmann-Straße 4  
27472 Cuxhaven

E-Mail: [antje.holthausen@lah.de](mailto:antje.holthausen@lah.de)