

FISCH ALS LEBENSMITTEL

Aluminium in Fisch und Fischereierzeugnissen

Reiner Ranau und Jörg Oehlenschläger, Institut für Biochemie und Technologie

Aluminium, ein weitverbreitetes und häufiges Element, galt bis in die jüngste Zeit u.a. wegen seiner geringen Bioverfügbarkeit als harmloses und für die menschliche Ernährung unbedeutendes Element. Aber durch die Industrialisierung und damit verbunden die negativen Umwelteinflüsse wurde Aluminium aus schwerlöslichen Verbindungen teilweise herausgelöst und in gelöster bzw. verfügbarer Form in biologische Kreisläufe vermehrt eingetragen. So haben sich in den letzten Jahren aus zahlreichen Untersuchungen die Meldungen gehäuft, die Aluminium mit toxischen Wirkungen sowohl bei Pflanzen als auch bei Fischen und Menschen in Verbindung bringen.

Ein niedriger pH-Wert in Gewässern, beeinflusst durch sauren Regen und menschliche Aktivitäten, hat einen beachtlich steigenden Anteil an wasserlöslichem Aluminium zur Folge und kann zu toxischen Wirkungen bei aquatischen Lebewesen führen (Candrian 1985, Ganrot 1986, Meinelt et al. 1996). Beim Menschen werden am häufigsten neurologische Krankheiten wie die Enzephalopathie und die Alzheimer'-Krankheit genannt, desweiteren aber auch die Knochenerkrankung Osteomalazie mit Aluminium in Verbindung gebracht. Unter diesem Gesichtspunkt ist die Untersuchung des Aluminiumgehaltes von Seefischen, einem beliebten und für die Ernährung bedeutsamen Lebensmittel, sowie von Fischereierzeugnissen, die in Aluminiumdosen verpackt im Handel angeboten werden, von Interesse.

Methode

Erstes Ziel dieser Untersuchungen war die Entwicklung einer routinemäßigen Methode zur Analyse des Aluminiumgehaltes in verschiedenen aquatischen Lebewesen und Fischereierzeugnissen. Die Probennahme aquatischer Lebewesen erfolgte auf Forschungsreisen des FFS „Walter Herwig III“, sowie in den Küstengebieten nordwestlich vor Stavanger (Norwegen) und in Gewässern um Fehmarn (Ostsee). Die Proben wurden bearbeitet, eingefroren und anschließend gefriergetrocknet. Im Anschluß daran wurden die gefriergetrockneten Proben mit einer Kugelmühle zu einem feinen Pulver homogenisiert. Das erhaltene Probenpulver wurde darauf in einem Plasmaverascher verascht, anschließend in verdünnter Salpetersäure aufgenommen und direkt oder nach Verdünnung am Graphitrohrföfen-Atomabsorptions-Spektrometer auf seinen Aluminiumgehalt in Anlehnung an das STPF-Konzept (STPF stabilized temperature platform furnace technique) gemessen. (Müller et al. 1995, Winnefeld et al. 1993, Völlkopf und Grobnski 1983, Riedel und Küllmer 1987, L'vov 1978).

Ergebnisse und Diskussion

In Abbildung 1 und 2 sind die Aluminiumgehalte von beprobten aquatischen Lebewesen aus den untersuchten Seegebieten aufgeführt.

Aluminium in fish and fishery products

Recent reports associating aluminium with several skeletal (osteomalacia) and neurological disorders (encephalopathy and Alzheimer's disease) in humans suggest that exposure to aluminium may pose a hazard to health. This requires the examination of aluminium-content in different foodstuffs. Therefore, an analytical method for the determination of aluminium in fish and fishery products, especially in fishery products packaged in aluminium cans, was developed using graphite furnace atomic absorption spectrometry.

Fillets of lean and fatty fish showed aluminium levels lower than 1mg/kg wet weight, muscle of crustacean, molluscan and shellfish had apparently higher aluminium levels (up to 20 mg/kg wet weight). The aluminium content in some aluminum-canned herring was much higher than the content found in herring caught in the North Sea.

These results indicate that aluminium is taken up by the herring fillets in aluminium cans, presumably through the slight and slow dissolution of aluminium from the can wall, due to some defects in the protective lacquer layer.

A comparison of the aluminium levels measured in canned herring with the average aluminium-intake (normally between 3 and 5 mg/day) or with the provisional tolerable daily intake of 1mg/kg body weight per day (WHO 1989) indicated, that the aluminium content of the edible part of aquatic food does not play a significant role. High consumption of fish fillets does not pose any health risk.

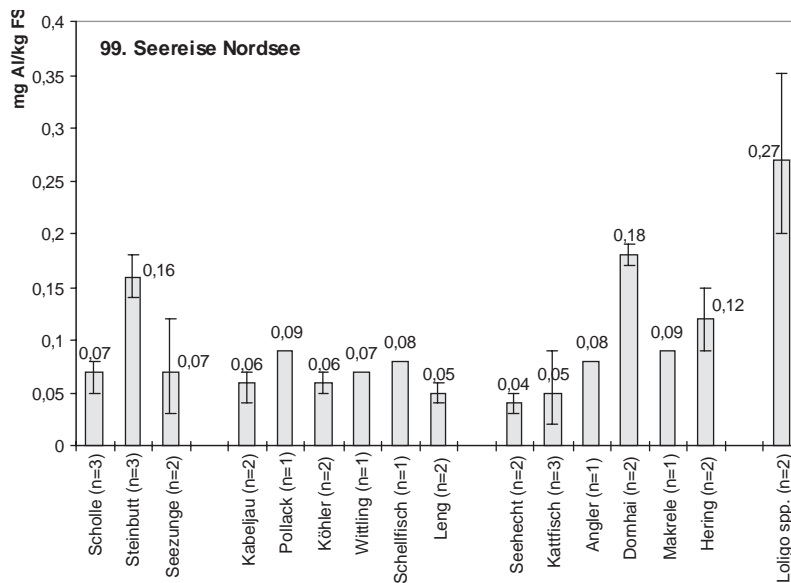


Abb. 1: Aluminiumgehalte einiger Seefische und vom Tintenfisch (*Loligo sp.*) aus der Nordsee

Aluminium content in marine fish and squid (*Loligo sp.*) from the North Sea

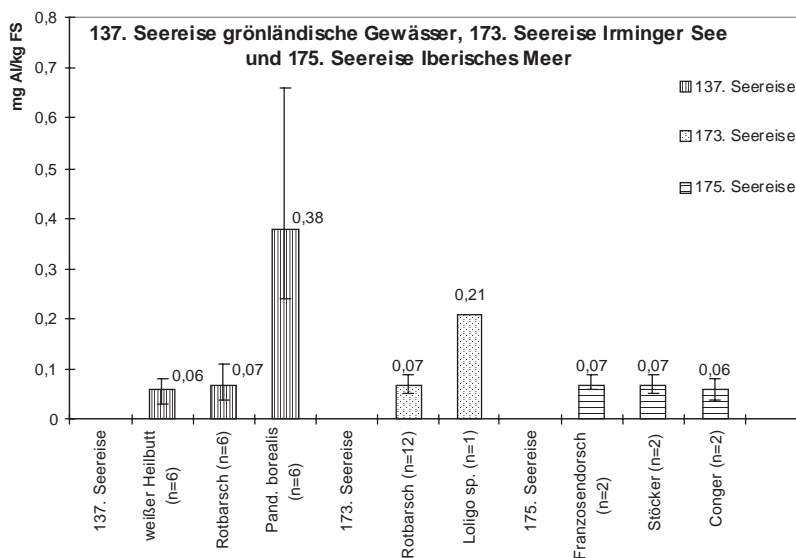


Abb. 2: Aluminiumgehalte aquatischer Lebewesen aus verschiedenen Seegebieten
Aluminium content in marine species from different areas

Alle Gehalte beziehen sich auf den eßbaren Anteil, angegeben in mg Al/kg Frischgewicht.

Während die meisten Aluminiumgehalte der Fische, die auf hoher See gefangen wurden, sich innerhalb eines relativ niedrigen Bereiches zwischen 0,04-0,09 mg Al/kg Frischgewicht bewegen, sind die Aluminiumgehalte der Tiefseegarnele (*Pandalus borealis*), vom Tintenfisch (*Loligo sp.*), des Dornhais, des Steinbutts und des Hering teilweise deutlich höher. Krebstiere und Tintenfische weisen wahrscheinlich aufgrund ihrer anderen

Biologie und Lebensweise, generell höhere Aluminiumgehalte als Fische auf. Die Gründe für die erhöhten Aluminiumgehalte von Dornhai, Steinbutt und Hering könnten in ihrer Nahrung (Krebstiere, Muscheln), in der Lebensweise (pelagisch, Grundfisch, standort-treu) oder aber mit dem Aluminiumgehalt des in ihrem Lebensraum befindlichen Seewassers zusammenhängen.

Eine Korrelation zwischen der Größe bzw. dem Alter der Fische und dem Aluminiumgehalt konnte bisher nicht festgestellt werden.

Von den unmittelbar in Küstennähe, nordwestlich von Stavanger (Norwegen), gefangenen Seefischen wurden die Aluminiumgehalte in den Filets untersucht (Abb. 3). Ein Vergleich der Aluminiumgehalte von Seefischen aus der Familie der Gadiden, z.B. Kabeljau, Leng, Schellfisch in der Nordsee (Abb. 1) und in den beprobten küstennahen Gebieten (Abb. 2) mit den aus küstennahen Gebieten (Abb. 3) zeigt, daß die Aluminiumgehalte der in küstennähe gefangenen Gadiden etwa um den Faktor 2 höher sind. Eine mögliche Erklärung dafür könnten erhöhte Aluminiumgehalte des küstennahen Seewassers sein. Denn nach Aufnahme des im Seewasser gelöstem Aluminium über die Kiemen sind erhöhte Aluminiumgehalte im Seefischmuskel durchaus vorstellbar. Um festzustellen, ob eine Aluminiumakkumulation in einigen Seefischorganen vorliegt, wurden zusätzlich die Aluminiumgehalte von einigen Organen des Ostseedorsches, gefangen in unmittelbarer Nähe von Fehmarn, bestimmt.

Die mit den norwegischen Proben (Abb. 3) vergleichbaren Ergebnisse zeigen, daß in den Filets von küstennah (Fehmarn) gefangenen Fischen (Abb. 4) die Aluminiumgehalte höher sind als die in Fischfilets der hohen See (Abb. 1 und 2). Eine Ursache dafür könnte auch hier wieder ein hoher Gehalt an gelöstem Aluminium im küstennahen Seewasser sein.

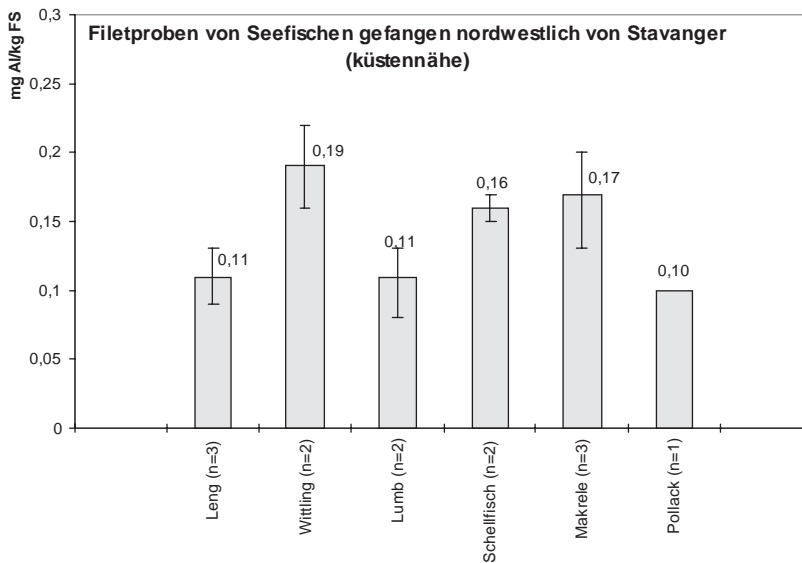


Abb. 3: Aluminiumgehalte von Seefischfilets aus dem Küstengebiet nordwestlich von Stavanger (Norwegen)

Aluminium content in fillet of marine fish from coastal area northwest Stavanger

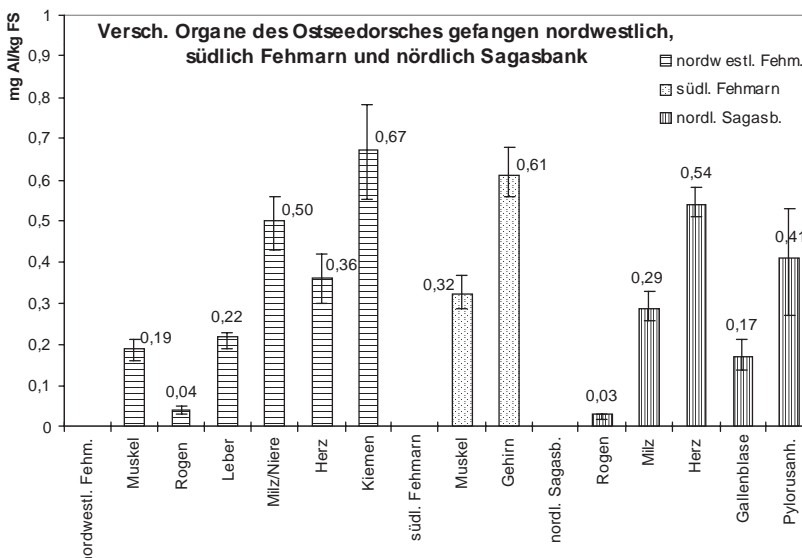


Abb. 4: Aluminiumgehalte verschiedener Organe des Ostseesardes (*Gadus morhua*)

Aluminium content in different organs of Baltic cod (*Gadus morhua*)

Die höchsten Aluminiumgehalte liegen in den Kiemen und dem Gehirn vor. Während Aluminium hauptsächlich durch das Wasser über die Kiemen in den Fisch gelangt und ein hoher Aluminiumgehalt in den Kiemen zu erwarten war, scheint im Gehirn, ähnlich wie beim Menschen, eine stärkere Aluminiumakkumulation als in anderen Organen vorzuliegen. Die Aluminiumgehalte der anderen Organe wie Milz, Niere, Herz, Leber und Pylorusanhänge sind ebenfalls höher als der Gehalt im Filet, während der im Rogen vergleichsweise dazu deutlich niedriger ist.

Dennoch bleibt festzustellen, daß alle bisher in Fischen gefundenen Aluminiumgehalte, im Vergleich zu den in Abbildung 5 dargestellten Gehalten von Muscheln und Krebstieren sehr niedrig sind.

Bei allen hier untersuchten Muschel- und Krebstier-Proben handelt es sich um verarbeitete Produkte. Vier aus Kanada importierte, im Salzwasserblock tiefgefrorene Hummer wurden vom Handel zur Verfügung gestellt und vor der Untersuchung in Schere, Vorder-, Mittel- und Hinterteil sowie Eingeweide unterteilt. Bei den Riesengarnelen aus dem Pazifik, den „Black Tiger“ Garnelen aus Thailand sowie den Cocktail-Shrimps aus Ostasien handelte es sich um geschälte, in Salzwasser glasierte, tiefgefrorene und im Beutel verpackte Produkte. Die Tiefseekrabben waren zusätzlich mit E 210 Benzoesäure konserviert. Der Kaisergranat (*Nephrops norvegicus*) aus dem Nordatlantik war glasiert, tiefgefroren, in einer Plastikschaale verpackt und mit E 220 Schwefeldioxid behandelt.

Die anderen wertbestimmenden Bestandteile der untersuchten Muschelerzeugnisse (Muscheln nach Seemannsart, Seemuschel-salat, Fjordmuscheln in katalanischer Gemüsesauce und Seemus-cheln in Salzlake) wurden von den Muscheln abgetrennt und nur die Aluminiumgehalte der Muscheln selbst bestimmt.

Abgesehen von den Aluminiumgehalten einiger Hummertei-le sind die auf der Abbildung 5 angegebenen Aluminiumgehalte wesentlich höher als die in Seefischen. Dabei könnten die erhöhten Gehalte in Muscheln z.T. auch von unterschiedlichen Sandgehalten resultieren. Zudem kann eine Beeinflussung des Aluminiumgehaltes durch die Herstellung und Zubereitung dieser Erzeugnisse nicht ausgeschlossen werden.

Ein für die Fischindustrie nicht unbedeutender und für die Aluminiumbestimmung interessanter Bereich sind

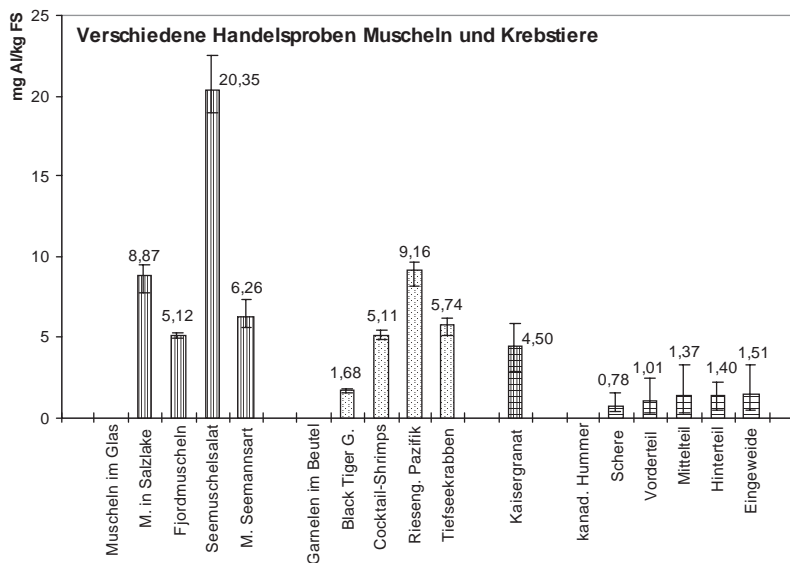


Abb. 5: Aluminiumgehalte einiger Handelsproben von Muscheln und Krebstieren
Aluminium content of commercial samples of shellfish and crustaceans

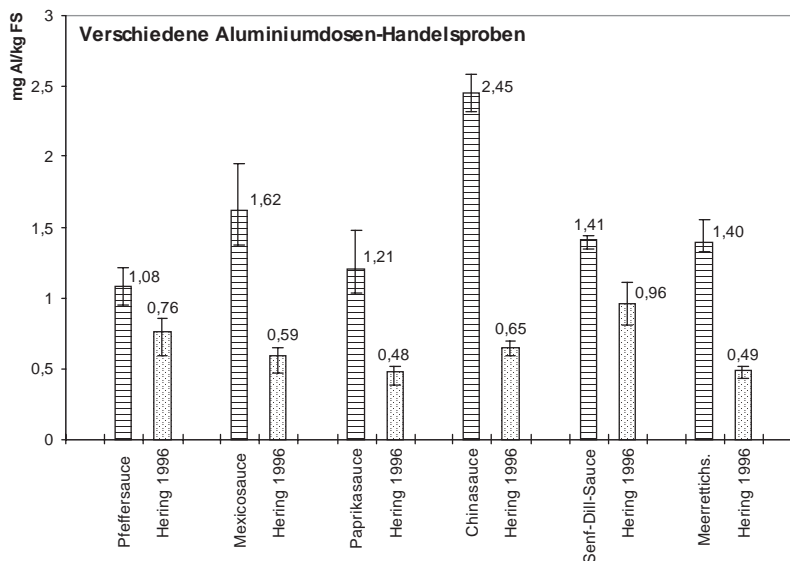


Abb. 6: Aluminiumgehalte von in Aluminiumdosen hergestellten Dauerkonserven
Aluminium content in canned fishery products

Fischerzeugnisse, die in Aluminiumdosen hergestellt und verpackt werden. Dies sind überwiegend Fischdauerkonserven. Dabei sind nicht nur die Aluminiumgehalte der Doseninhalte von großem Interesse, sondern auch die Frage nach einer Aluminium-Migration aus der Aluminiumdose in das Lebensmittel.

Zu ersten orientierenden Untersuchungen wurden einige 1996/97 gekaufte Handelsproben (Heringsfilets in

verschiedenen Saucen) verschiedener Hersteller auf ihren Aluminiumgehalt untersucht. Die Heringsfilets wurden von den Saucen weitestgehend getrennt und die Aluminiumgehalte der Filets und Saucen getrennt bestimmt.

Vergleicht man die Aluminiumgehalte der Heringsfilets aus den Aluminiumdosen (Abb. 6) mit dem mittleren Gehalt der in der Nordsee gefangenen unverarbeiteten Heringe von 0,12 mg Al/kg (Abb. 1), so sind die Aluminiumgehalte im Schnitt etwa um den Faktor 5 höher. Neben der Herkunft der Heringe liegen die Gründe dafür teils in der Verarbeitung und/oder in dem die Heringsfilets umgebenden Medium (Soßen, Tunken, Cremes, Öl), durch die Aluminium über die Zutaten in die Heringsfilets gelangen könnte. Zudem ist nicht auszuschließen, daß geringe Mengen Aluminium aus der Aluminiumdose über direktem Kontakt in die Heringsfilets übergegangen ist.

Die Aluminiumgehalte der jeweiligen Saucen waren stets höher als die der Heringsfilets, wobei ein Aluminiumbeitrag aus anderen Zutaten, wie z.B. Gewürzen oder Gemüse, stammen könnte. Vergleichbare Aluminiumgehalte zeigen die auf der Abbildung 7 dargestellten in Aluminiumdosen verpackten Heringsfilets in Tomaten-Cremes bzw. Saucen.

Während die Aluminiumgehalte der Heringsfilets (rechte Säule) in allen untersuchten Erzeugnissen annähernd gleich sind, unterscheiden sich die Aluminiumgehalte der Tomaten-Cremes bzw. Saucen deutlich.

Obwohl alle Aluminiumdosen lackiert sind, ist ein zeitabhängiger Übergang von Aluminium aus der Dose in das Lebensmittel wahrscheinlich. Ein weiterer entscheidender Faktor beim Übergang des Aluminiums in das Lebensmittel ist neben der Qualität der Lackierung und dem Zeitfaktor der pH-Wert des jeweiligen Lebensmittels,

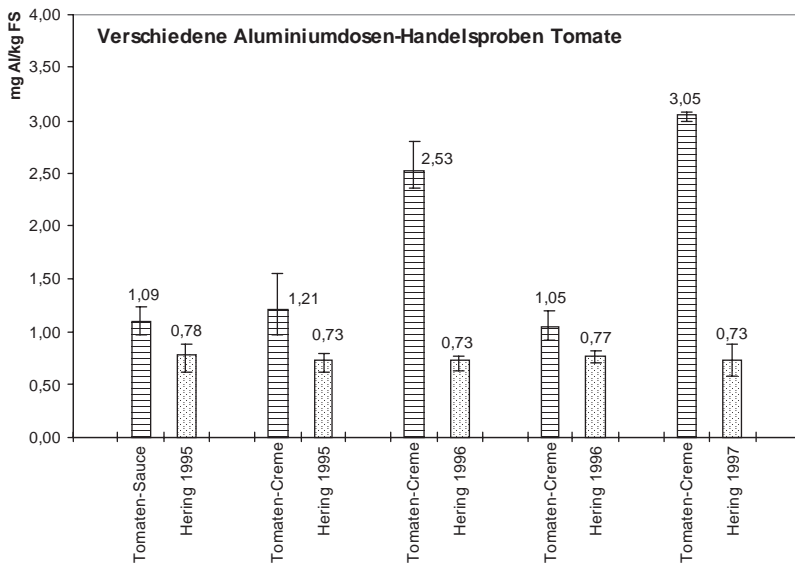


Abb. 7: Aluminiumgehalte von in Aluminiumdosen hergestellten Dauerkonserven, Heringsfilets in Tomaten-Cremes bzw. Sauce verschiedener Hersteller, getrennt in Tomatencreme und Heringsfilets

Aluminium content in canned herring products produced in tomato sauce or creme

da die Löslichkeit des Aluminiums und dessen Verbindungen sowohl bei niedrigem als auch bei hohem pH-Wert zunimmt.

Wie aus anderen Untersuchungen, die sich mit dem Aluminium-Übergang in Aluminiumgefäßen gekochter Lebensmittel befaßten, hervorgeht, wird der Aluminium-Übergang ins Lebensmittel im Wesentlichen durch den pH-Wert beeinflusst und durch den Einfluß von Wärme noch verstärkt. Dabei erhöhten sich nach dem Kochvorgang die Aluminiumgehalte bei stark sauren Lebensmitteln teilweise um über 1000 % (Pennington 1987).

Neuere Untersuchungen von Seruga et al. 1994 und 1997 über den Aluminiumgehalt der in Aluminiumdosen verpackten Erfrischungsgetränke und von verschiedenen Dosenbieren können die vorgestellten Ergebnisse bestätigen. Dabei konnten Seruga und Mitarbeiter bei einigen sauren Erfrischungsgetränken eine Steigerung des Aluminiumgehaltes über ein Zeitraum von einem Jahr von mehreren 100 % feststellen. Der Aluminiumgehalt in den Dosenbieren stieg dabei während der Lagerungszeit von einem Jahr linear an und verdoppelte sich innerhalb dieses Zeitraumes.

Zusammenfassung

Die Aluminiumgehalte in bisher untersuchten Seefischfilets von mageren und fetten Fischen der hohen See waren gering (0,04-0,18 mg/kg Frischgewicht). Die Aluminiumgehalte von Seefischen, die in unmittelbarer

Küstennähe gefangen wurden, waren im Vergleich dazu höher (0,10-0,32 mg/kg Frischgewicht). Dabei lag der Verdacht nahe, daß die Ursachen in den höheren Aluminiumgehalten des küstennahen Seewassers zu finden sind. Die Untersuchungen verschiedener Organe des Ostseedorsches auf ihren Aluminiumgehalt ergab die höchsten Gehalte in den Kiemen und dem Gehirn. Auch hier werden die Gehalte vermutlich durch die Umwelteinflüsse, z.B. den pH-Wert und damit verbunden dem Gehalt des im Seewasser gelösten Aluminiums, am stärksten beeinflusst. Da die Kiemen mit dem Seewasser in ständigem Kontakt stehen, ist der zunächst vermutete höhere Aluminiumgehalt in den Kiemen im Vergleich zu anderen Organen bestätigt worden. Während im Vergleich zu den anderen Organen der höhere Aluminium-

gehalt im Gehirn wahrscheinlich auf einer stärkeren Akkumulation des Aluminiums basiert.

Die Aluminiumgehalte der untersuchten Muscheln und Krebstiere lagen im Vergleich zu den Seefischen deutlich höher und mit Ausnahme des Hummers deutlich über 1mg Al/kg Frischgewicht. Beeinflusst wird der Aluminiumgehalt offenbar neben den Umwelteinflüssen auch durch die verschiedene Lebensweise und Biologie der Muscheln und Krebstiere sowie durch die Verarbeitungsverfahren.

Untersuchungen der in Aluminiumdosen hergestellten und gelagerten Fischereierzeugnisse, wie Heringsfilets in verschiedenen Zubereitungen, ergaben im Vergleich zu unverarbeiteten Heringsfilets deutlich höhere Werte. Ein Übergang des Aluminiums aus der Dose in das Lebensmittel ist somit nicht auszuschließen, wobei dieser vom pH-Wert des Lebensmittels, den sonstigen Zutaten, der Zeit und auch von der Qualität der Dosenlackierung abhängt.

Ein Vergleich der aufgeführten Werte mit der durchschnittlichen, täglichen Aluminiumaufnahme, die in der Regel zwischen 3 und 5 mg/Tag liegt (Rickenbacher 1984, Candrian 1985, Ganrot 1986, Armstrong et al. 1996, Greger 1985, Jorhem und Haegglund 1992, Müller et al. 1995, Pennington 1987, Schlettwein-Gsell und Mommsenstraub 1973, Treier und Kluthe 1988, Yang et al. 1994, Zimmerli et al. 1989, Treptow und Askar 1987), oder dem von der WHO 1989 veröffentlichten,

vorläufigen, tolerierbaren Wert von 1mgAl/kg Körpergewicht und Tag (Becker et al. 1990) zeigt, daß der eßbare Anteil aquatischer Lebewesen generell einen unbedeutenden Beitrag zur täglichen Aluminiumaufnahme leistet. Selbst ein sehr hoher Verzehr, insbesondere von Seefischfilets, stellt somit keinerlei Gesundheitsrisiko dar und schließt ernährungstoxikologische Gefährdungen durch oral zugeführtes Aluminium nach gegenwärtigen Kenntnissen aus.

Vor dem Hintergrund aktueller Diskussionen, in denen Aluminium als Verpackungsmaterial, aber auch als Material in lebensmittelverarbeitenden Maschinen, in den Mittelpunkt gerückt ist, soll in Zukunft eine Untersuchung über die Migration des Aluminiums aus Aluminiumdosen in das Lebensmittel unter genau definierten Bedingungen, wie Herstellungsdatum und Lagerzeit, durchgeführt werden.

Literatur

- Rickenbacher, U.: Toxikologie von Aluminiumverbindungen. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. 75: 69-76; 1984.
- Candrian, U.: Vorkommen und toxikologische Bedeutung von Aluminium in der Nahrung. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. 76: 570-608; 1985.
- Ganrot, P.O.: Metabolism and Possible Health Effects of Aluminum. Environ. Health Perspect. 65: 363-441; 1986.
- Meinelt, T.; Stüber, A.; Krüger, R.; Steinberg, C.: Wirkungen fischtoxischer Schadmetalle - Fischtoxizität von Aluminium. Fisch. Teichwirt 1: 5-8; 1996.
- Alfrey, A.C.; Legendre, G.R.; Kaehny, W.D.: The Dialysis Encephalopathy Syndrome. Possible Aluminum Intoxication. The New England Journal of Medicine 294: 184-188; 1976.
- Armstrong, R.A.; Winsper, S.J.; Blair, J.A.: Aluminium and Alzheimer's Disease: Review of Possible Pathogenic Mechanisms. Dementia 7: 1-9; 1996.
- Johnstone, T.: Aluminum and Alzheimer's disease. Can. Med. Assoc. J. 146: 431-432; 1992.
- Lamb, B.T.: Making models for Alzheimer's disease. Nature Genetics 9: 4-6; 1995.
- Martyn, C.N.: Aluminium and Alzheimer's disease: An epidemiological approach. Environ. Geochem. Health 12: 169-171; 1990.
- Neri, L.C.; Hewitt, D.: Aluminium, Alzheimer's disease, and drinking water. The Lancet 338: 390; 1991.
- Perl, D.P.: Relationship of Aluminum to Alzheimer's Disease. Environ. Health Perspect. 63: 149-153; 1985.
- Wheater, R.H.: Aluminum and Alzheimer's Disease. J. Amer. Med. Assoc. 253: 2288; 1985.
- Zapatero, M.D.; Garcia de Jalon, A.; Pascual, F.; Calvo, M.L.; Escanero, J.; Marro, A.: Serum Aluminum Levels in Alzheimer's Disease and Other Senile Dementias. Biol. Trace Element Res. 47: 235-240; 1995.
- Blumenthal, N.C.; Posner, A.S.: In vitro Model of Aluminum-Induced Osteomalacia: Inhibition of Hydroxyapatite Formation and Growth. Calcif. Tissue Int. 36: 439-441; 1984.
- Boyce, B.F.; Elder, H.Y.; Elliot, H.L.; Fogelman, I.; Fell, G.S.; Junors, B.J.; Beastall, G.; Boyle, I.T.: Hypercalcaemic Osteomalacia due to Aluminium Toxicity. The Lancet 2: 1009-1013; 1982.
- Bushinsky, D.A.; Sprague, S.M.; Hallegot, P.; Girod, C.; Chabala, J.M.; Levi-Setti, R.: Effects of Aluminum on Bone Surface Ion Composition. J. Bone Mineral Res. 10: 1988-1997; 1995.
- Greger, J.L.: Aluminum Content of the American Diet. Food Technol. 39: 73-78; 1985.
- Jorhem, L.; Haeggglund, G.: Aluminum in foodstuffs and diets in Sweden. Z. Lebensm. Unters. Forsch. 194: 38-42; 1992.
- Müller, M.; Anke, M.; Illing, H.; Hartmann, E.: Aluminiumbestimmung in Lebensmitteln mittels Graphitrohratomabsorptionsspektrometrie. GIT Fachz. Lab. 9: 795-796; 1995.
- Pennington, J.A.T.: Aluminium content of foods and diets. Food Additives Contam. 5: 161-232; 1987.
- Schlettwein-Gsell, D.; Mommsen-Straub, S.: Spuren-elemente in Lebensmitteln: XII. Aluminium. Internat. Z. Vit.-Ern.-Forsch. 43: 251-263; 1973.
- Treier, S.; Kluthe, R.: Aluminiumgehalte in Lebensmitteln. Ernährungs-Umschau 35: 307-312; 1988.
- Yang, Q.; Penninckx, W.; Smeyers-Verbeke, J.: Closed-Vessel Microwave Acid Digestion of Foodstuffs and Trace Aluminum Determination by Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry. J. Agric. Food Chem. 42: 1948-1953; 1994.
- Zimmerli, B.; Bosshard, E.; Knutti, R.: Vorkommen und gesundheitliche Bewertung toxischer Spurenelemente in der Nahrung. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. 80: 490-518; 1989.
- Treptow, H.; Askar, A.: Ernährungsbedingte Aufnahme von Aluminium durch die Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland. Ernährungs-Umschau 34: 364-367; 1987.
- Macdonald, T.L.; Martin, R.B.: Aluminum ion in biological systems. Trends biochem. Sci. 13: 15-19; 1988.
- Winnefeld, K.; Schröter, H.; Weiland, G.: Bestimmung von Aluminium in medizinischen/biologischen Proben mit der AAS. GIT Fach. Lab. 11: 989-990; 1993.
- Völlkopf, U.; Grobowski, Z.: STPF - Ein Konzept zur interferenzfreien Graphitrohr-AAS. Appl. Atomic Spectroscopy 30: 1-17; 1983.
- Riedel, U.; Küllmer, G.: Systematische Methodenentwicklung in der Graphitrohr-Ofen-Atomabsorptions-Spektralphotometrie. CLB Chemie für Labor und Betrieb 38: 298-308; 1987.
- L'vov, B.V.: Electrothermal atomization - the way toward absolute methods of atomic absorption analysis. Spectrochimica Acta 33B: 153-193; 1978.
- Seruga, M.; Grgic, J.; Mandic, M.: Aluminium content of soft drinks from aluminium cans. Z. Lebensm. Unters. Forsch. 198: 313-316; 1994.
- Seruga, M.; Grgic, J.; Grgic, Z.; Seruga, B.: Aluminium content of beers. Z. Lebensm. Unters. Forsch. 204: 221-226; 1997.
- Neumüller, O.-A.: RÖMPPS Chemie Lexikon. Bd. 1: A-Cl, 8. Aufl., Stuttgart: Franckh'sche Verlagshandlung 1979.
- Becker, K.; Nöllke, P.; Hermann-Kunz, E.; Krause, C.; Schenker, D.; Schulz, C.: Umwelt-Survey 1990/91 Band III: Zufuhr von Spurenelementen und Schadstoffen mit der Nahrung (Duplikate und Diet History) in den alten Bundesländern. Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit