

Abschlussbericht

Thema: Untersuchung auf Vorkommen von Furan in wärmebehandelten Lebensmitteln und Fertiggerichten

Aktenzeichen 314-06.01-2812HS012

Auftraggeber: Im Auftrag der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE)
für das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)

Auftragnehmer: Eurofins WEJ Contaminants GmbH,
Neuländer Kamp 1, 21079 Hamburg

Laufzeit und Berichtszeitraum: Juli 2013 bis Juli 2015

Unterauftragnehmer Eurofins Analytik GmbH Wiertz Eggert, Jörissen
(Einkauf und Zubereitung)

Inhaltsverzeichnis

1. Ziele und Aufgabenstellung	6
2. Planung und Ablauf	6
3. Wissenschaftlicher und technischer Stand	8
3.1 Allgemeines	8
3.2 Vorkommen in Lebensmitteln	8
3.3 Entstehung	9
3.4 Toxikologie	10
3.5 Analytik	11
4. Material und Methoden	12
4.1 Probeneinkauf	12
4.2 Material und Geräte	13
4.3 Chemikalien	13
4.4 Standardlösungen	14
4.5 Qualitätssicherung	14
4.6 Probenvorbereitung/ Zubereitung	15
4.6.1 Kaffee (M1)	15
4.6.2 Popcorn (M3)	18
4.6.3 Fertiggerichte, Suppen, Soßen (M6)	19
4.6.4 Toastbrote (M7)	20
4.7 Probenhomogenisierung	21
4.7.1 Trockene Proben	21
4.7.2 Feuchte Proben	21
4.8 Analyse Kaffee	22
4.8.1 Feste Proben	22
4.8.2 Flüssige Proben	22
4.9 Analyse Lebensmittel (ausgenommen Kaffee)	22
5. Ausführliche Darstellung der Ergebnisse	23
5.1 Arbeitspaket 1: M2 Kaffee	23
5.2 Arbeitspaket 2: M3 Brot I, Snacks und Knabbergebäck	28
5.2.1 Knäckebrot/ Knusperbrot	29
5.2.2 Zwieback	29

5.2.3	Reiswaffeln/ Puffreis/ Puffweizen	30
5.2.4	Popcorn.....	31
5.2.5	Chips.....	32
5.2.6	Getrocknete Früchte	33
5.3	Arbeitspaket 3: M6 Fertiggerichte, Suppen, Soßen	33
5.3.1	Fertiggerichte (Konserven)	35
5.3.2	Suppen (Konserven).....	36
5.3.3	Instantsoßen und Instantsuppen	38
5.3.4	Fertigsoßen (Glas, Tetrapak).....	38
5.3.5	TK-Fertiggerichte	40
5.4	Arbeitspaket 4: M7 Brot II (Toastbrot)	41
6.	Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse	43
6.1	Arbeitspaket 1: M2 Kaffee	43
6.1.1	Vergleich der Ergebnisse mit Daten anderer Institutionen	43
6.1.2	Transferrate - geschlossene / offene Systeme	43
6.1.3	Verbraucherexposition	44
6.2	Arbeitspaket 2: M3 Brot I, Snacks und Knabbergebäck	45
6.2.1	Vergleich der Ergebnisse mit Daten anderer Institutionen	45
6.2.2	Verbraucherexposition	46
6.3	Arbeitspaket 3: M6 Fertiggerichte, Suppen, Soßen	47
6.3.1	Vergleich der Ergebnisse mit Daten anderer Institutionen	47
6.3.2	Verbraucherexposition	47
6.3.3	Einfluss der Verpackung und der Herstellung auf den Furan Gehalt	49
6.3.4	Einfluss der Zubereitung	50
6.4	Arbeitspaket 4: M7 Brot II (Toastbrot)	53
6.4.1	Vergleich der Ergebnisse mit Daten anderer Institutionen	53
6.4.2	Bräunungsgrad	53
6.4.3	Verbraucherexposition	54
7.	Zusammenfassung.....	55
8.	Gegenüberstellung „geplante/ erreichte Ziele“	58
8.1	Arbeitspaket 1: M2 Kaffee	58
8.2	Arbeitspaket 2: M3 Brot I, Snacks und Knabbergebäck	59

8.3	Arbeitspaket 3: M6 Fertiggerichte, Suppen, Soßen	59
8.4	Arbeitspaket 4: M7 Brot II (Toastbrot)	60
9	Literaturverzeichnis	61

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Beispiel für Herstellerangabe auf der Verpackung.....	19
Abbildung 2:	Röststufen.....	20
Abbildung 3:	Furangehalt [$\mu\text{g}/\text{kg}$] in Knäckebrötchen/ Knusperbrötchen.....	29
Abbildung 4:	Furangehalt [$\mu\text{g}/\text{kg}$] in Zwieback.....	30
Abbildung 5:	Furangehalt [$\mu\text{g}/\text{kg}$] in Reiswaffeln/ Puffreis/Puffweizen.....	30
Abbildung 6:	Furangehalt [$\mu\text{g}/\text{kg}$] in Popcorn.....	31
Abbildung 7:	Furangehalt [$\mu\text{g}/\text{kg}$] in Chips.....	32
Abbildung 8:	Furangehalt [$\mu\text{g}/\text{kg}$] in getrockneten Früchten.....	33
Abbildung 9:	Furangehalt [$\mu\text{g}/\text{kg}$] in Fertiggerichten (Konserven, Zubereitung Mikrowelle).....	35
Abbildung 10:	Furangehalt [$\mu\text{g}/\text{kg}$] in Fertiggerichten (Konserven, Zubereitung Herd).....	35
Abbildung 11:	Furangehalt [$\mu\text{g}/\text{kg}$] in Suppen (Konserven, Zubereitung Mikrowelle).....	36
Abbildung 12:	Furangehalt [$\mu\text{g}/\text{kg}$] in Suppen (Konserven, Zubereitung Herd).....	37
Abbildung 13:	Furangehalt [$\mu\text{g}/\text{kg}$] in Instantsoßen/ Instantsuppen.....	38
Abbildung 14:	Furangehalt [$\mu\text{g}/\text{kg}$] in Fertigsoßen (Glas/Tetrapak, Zubereitung Mikrowelle).....	39
Abbildung 15:	Furangehalt [$\mu\text{g}/\text{kg}$] in Fertigsoßen (Glas/Tetrapak, Zubereitung Herd).....	39
Abbildung 16:	Furangehalt [$\mu\text{g}/\text{kg}$] in Fertiggerichten (TK, Zubereitung Mikrowelle und Backofen).....	40
Abbildung 17:	Furangehalt [$\mu\text{g}/\text{kg}$] in Toastbröten (unzubereitet, niedrige/mittlere/hohe Röststufe).....	42
Abbildung 18:	Beispiel Toastbrötchenscheiben (ungetoastet, drei Röststufen).....	54

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Projektübersicht.....	7
Tabelle 2: Zubereitungsarten Kaffee-/Espressogetränke (M1).....	15
Tabelle 3: Zubereitungsart Popcorn (M3).....	18
Tabelle 4: Zubereitung Fertiggerichte, Suppen, Soßen (M6).....	19
Tabelle 5: Übersicht Arbeitspakete.....	23
Tabelle 6: Zusammenfassung Furangehalte [$\mu\text{g}/\text{kg}$] in Kaffeebohnen und –pulvern.....	25
Tabelle 7: Zusammenfassung Furangehalte [$\mu\text{g}/\text{kg}$] in zubereiteten Kaffeegetränken.....	25
Tabelle 8: Mittelwert der Kaffee- und Getränkemenge [g] in den Brühungen je Brühsystem.....	26
Tabelle 9: Zusammenfassung Transferrate [%] in zubereiteten Kaffeegetränken	27
Tabelle 10: Zusammenfassung Furangehalte [$\mu\text{g}/\text{kg}$] in Knäckebrot, Zwieback, Snacks und Knabbergebäck.....	28
Tabelle 11: Zusammenfassung Furangehalte [$\mu\text{g}/\text{kg}$] in Fertiggerichten, Suppen und Soßen.....	34
Tabelle 12: Zusammenfassung Furangehalte [$\mu\text{g}/\text{kg}$] in Toastbrot.....	41
Tabelle 13: Verbraucherexposition aus zubereiteten Kaffeegetränken [$\mu\text{g}/\text{Tag}$] bei 241,69 g Kaffee und 50 g Espresso	45
Tabelle 14: Verbraucherexposition M3 [$\mu\text{g}/\text{Tag}$] auf Basis der täglichen Verzehrsmenge (EFSA 2013).....	46
Tabelle 15: Verbraucherexposition M6 [$\mu\text{g}/\text{Tag}$] auf Basis der täglichen Verzehrsmenge (EFSA 2013).....	48
Tabelle 16: Vergleich des Furangehaltes gepaart gemessener Proben M6 vor und nach Zubereitung [$\mu\text{g}/\text{kg}$ Furan].....	50
Tabelle 17: Verbraucherexposition M7 [$\mu\text{g}/\text{Tag}$] auf Basis der täglichen Verzehrsmenge (EFSA 2013).....	54
Tabelle 18: Übersicht Arbeitspaket 1(M2).....	58
Tabelle 19: Übersicht Arbeitspaket 2 (M3).....	59
Tabelle 20: Übersicht Arbeitspaket 3 (M6).....	60
Tabelle 21: Übersicht Arbeitspaket 4 (M7).....	60

1. Ziele und Aufgabenstellung

Die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) führt für das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) eine umfassende Status-Quo-Analyse über Vorkommen und Konzentrationen von Furan in wärmebehandelten Lebensmitteln durch. Furan zählt zu den in Verordnung (EWG) Nr. 315/93 geregelten Kontaminanten, deren Vorkommen im Lebensmittel auf ein Minimum zu begrenzen ist (ALARA-Prinzip: as low as reasonably achievable).

Zielstellung des Projektes ist die Erfassung des Status Quo zur Überprüfung dieses ALARA-Grundsatzes für Furan.

Hierfür sollten die mittleren Furangehalte für definierte Lebensmittelgruppen in verzehrfertigem oder zubereitetem Zustand ermittelt werden. Durch Bestimmung der Furangehalte der unzubereiteten Lebensmittel ist der Einfluss der unterschiedlichen Zubereitungsverfahren auf die Furangehalte zu ermitteln.

2. Planung und Ablauf

Das Projekt wird über den gesamten Projektzeitraum von zwei Jahren in vier Arbeitspakete und neun Meilensteine gegliedert.

Ein Arbeitspaket umfasst die komplette Bearbeitung einer oder mehrerer der definierten Lebensmittelgruppen vom Einkauf der Lebensmittelproben, über die Zubereitung, Vorbereitung, Analyse bis zur Auswertung und Interpretation der Daten. Die Fertigstellung eines kompletten Arbeitspaketes stellt jeweils einen Meilenstein dar (4 Meilensteine), hinzukommen Fachgespräche mit dem Auftraggeber (3 Meilensteine) sowie Zwischen- und Abschlussbericht (2 Meilensteine).

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Gliederung des Projektes in die einzelnen Meilensteine und Arbeitspakete. In der rechten Spalte wird der aktuelle Status dargestellt.

Tabelle 1: Projektübersicht

Meilenstein	Inhalt	Ausführungsfristen	Status
1. Projektjahr			
M1	Fachgespräch (Auftaktgespräch)	19.08.2013	√
M2	Kaffee	bis März 2014	√
Arbeitspaket 1			
M3	Brot I, Snacks, Knabbergebäck	bis Juni 2014	√
Arbeitspaket 2			
M4	Zwischenbericht	bis 22.07.2014	√
M5	Fachgespräch (Zwischengespräch)	Termin am 02.07.2014	√
2. Projektjahr			
M6	Fertiggerichte, Suppen, Soßen	bis Februar 2015	√
Arbeitspaket 3			
M7	Brot II (Toastbrot)	bis April 2015	√
Arbeitspaket 4			
M8	Abschlussbericht	bis 22.07.2015	√
M9	Fachgespräch (Abschlussgespräch)	bis 22.09.2015	folgt

3. Wissenschaftlicher und technischer Stand

3.1 Allgemeines

Furan ist eine aromatische, leichtflüchtige, entflammbare, farblose und wasserunlösliche Verbindung, die bereits 1938 erstmals in Kaffee chemisch nachgewiesen und 1963 chromatographisch in Kaffee detektiert werden konnte (Kuballa, 2007, Stadler und Lineback, 2010). In der chemischen Industrie wird Furan für eine Vielzahl von Anwendungen wie z.B. für die organische Synthese von Lacken, Harzen, Stabilisatoren, Insektiziden, Pharmazeutika und Lösungsmitteln eingesetzt (Stadler und Lineback, 2010). Hingegen ist Furan in der Lebensmittelindustrie aufgrund seiner toxikologischen Eigenschaften eine der bedeutendsten Prozesskontaminanten, die bei der Erhitzung von Lebensmitteln entstehen kann (Chaichi et al., 2013). Allerdings ist Furan auch ein wesentlicher Bestandteil für das Aroma und den Geschmack vieler Lebensmittel und Getränke (Vranová und Ciesarová 2009). In das Interesse der Öffentlichkeit rückte Furan im Jahr 2004 nach einem Bericht der FDA (Food and Drug Administration) über die Furangehalte in diversen Lebensmitteln. Basierend auf diesem Bericht erfolgten weitere Monitoring-Studien, u.a. initiiert von der EFSA (European Food Safety Authority) und zahlreichen staatlichen Einrichtungen, um mehr Informationen über das Vorkommen von Furan in verschiedenen Lebensmittelkategorien und Getränken, die Furanentstehung, die Toxikologie und die Exposition des Menschen zu sammeln. Dennoch besteht in diesen Bereichen weiterhin grundlegender Forschungsbedarf.

3.2 Vorkommen in Lebensmitteln

Furan wurde in einer Vielzahl von Lebensmitteln (u.a. Gemüse, Obst, Fleisch, Fisch, Suppen, Soßen, Bier, Säften, Backwaren, Kaffee und Babynahrung) mit Konzentrationen von bis zu 3400 µg/kg bestimmt. Besonders hoch sind die Furankonzentrationen, wenn der Erhitzungsprozess in einem geschlossenen System stattfindet, Furan nicht entweichen kann und das gebildete Furan im Lebensmittel akkumuliert. Dies trifft insbesondere für Lebensmittel zu, die in Dosen oder Gläsern erhitzt werden wie z.B. Babynahrung (EFSA, 2009).

Die EFSA berichtete im Jahr 2009 Furankonzentrationen von 2908 Lebensmittelproben, die im Zeitraum zwischen 2004 und 2009 untersucht wurden. Die Gehalte schwankten im Mittel zwischen 6 µg/kg für Bier und bis zu 2272 µg/kg für geröstete Kaffeebohnen. Zu den

Lebensmittelkategorien mit Furangehalten über 100 µg/kg zählen Getreideprodukte, Fleisch, Suppen, Bratensoßen, Kaffee, Karamell und Sojasoßen. Die hohen Furangehalte in gerösteten Kaffeebohnen sind wahrscheinlich auf den Röstungsprozess bei hohen Temperaturen zurückzuführen, da Furan in grünen Kaffeebohnen nahezu nicht nachweisbar ist. Durch das Mahlen gerösteter Kaffeebohnen verringert sich der Furangehalt im Kaffee abhängig von der Mahlgröße um bis zu 60%. Ebenso das Entgasen verringert die Furankonzentration um bis zu 10%. Hierbei gehen allerdings auch wichtige Aromakomponenten verloren. Zur Abschätzung der täglichen Furanaufnahme durch Kaffee ist es wichtig, die Gehalte im fertigen Getränk zu bestimmen, da durch die Zubereitung die Furangehalte deutlich reduziert werden. Die höchsten Furangehalte in zubereiteten Kaffeegetränken sind in Aufgüssen automatischer Kaffeemaschinen zu finden (EFSA, 2009).

In Backwaren reichert sich Furan vor allem in der Kruste an, d.h., der Furangehalt korreliert mit dem Bräunungsgrad. Tendenziell sind die Furankonzentrationen in Roggen- und Vollkornbackwaren höher als in anderen Backwaren (Wegener und López-Sánchez 2010).

3.3 Entstehung

Allen bedeutenden Entstehungsmechanismen von Furan geht ein Erhitzungsprozess voraus. In der Literatur sind zahlreiche Bildungsmechanismen ausgehend von natürlich vorkommenden Lebensmittelinhaltsstoffen wie z.B. Kohlenhydraten, Aminosäuren, Fettsäuren und Carotinoiden beschrieben (Nie et al. 2013, Vranová und Ciesarová 2009). Der Bildung von Furan in Lebensmitteln liegen nach aktuellem Forschungsstand im Wesentlichen sechs Mechanismen zu Grunde:

1. Thermische Zersetzung von Kohlenhydraten (z.B. Glukose, Fruktose und Laktose)
2. Maillard-Reaktion
3. Thermische Zersetzung von Aminosäuren (z.B. Serin und Cystein)
4. Thermische Oxidation von mehrfach ungesättigten Fettsäuren oder Triglyceriden
5. Zersetzung von Ascorbinsäure und ihren Derivaten
6. Thermische Oxidation von Carotinoiden (Nie et al. 2013, Vranová und Ciesarová 2009).

Fromberg et al. (2007) untersuchten den Unterschied zwischen frisch zubereiteter und fertiger Nahrung. Hierbei stellte sich heraus, dass Furan in selbst gekochter Nahrung nicht nachweisbar war, auch wenn es in den Grundzutaten enthalten war. Untersuchungen für Fertignahrung zeigten, dass durch das Erhitzen der Furangehalt nahezu halbiert wird. Allerdings sinkt die Furankonzentration nach Zubereitungsende nicht weiter. Zudem wird ein Unterschied bei der Verwendung unterschiedlicher Zubereitungsmethoden wie z.B. Erhitzung im Topf und Mikrowellenerhitzung beschrieben. So enthielten Lebensmittel, die im Topf zubereitet wurden weniger Furan. Des Weiteren zeigte diese Studie eine Korrelation zwischen der Zubereitungstemperatur und der Furankonzentration.

Ein Zusammenhang zwischen der Dosenbeschichtung und der Entstehung von Furan konnte laut Hasnip et al. (2006) nicht nachgewiesen werden.

3.4 Toxikologie

Furan wurde 1993 nach umfassenden toxikologischen Studien im Rahmen des National Toxicology Projektes als karzinogen, genotoxisch und zytotoxisch im Tierversuch eingestuft. Des Weiteren zeigt Furan hepatotoxische Effekte in Mäusen und Ratten. Basierend auf diesen Untersuchungen wurde Furan 1995 von der IARC (International Agency for Research on Cancer) als möglicherweise krebserregend für den Menschen in Gruppe 2B eingestuft. Zudem wurde Furan vom HHS (United States Department of Health and Human Services) als humanpathogen klassifiziert (Altaki et al., 2007).

Auf Grund der geringen Polarität kann Furan biologische Membrane passieren und in Organe eindringen. Tierversuche haben gezeigt, dass Furan schnell und umfangreich von Darm und Lunge resorbiert und weitgehend metabolisiert wird. *In vitro* und *in vivo* Studien wiesen nach, dass die Toxizität von Furan vermutlich auf metabolischer Aktivierung durch Cytochrom P450 Enzymen beruht. Diese Enzyme ermöglichen die Bildung von hochreaktiven, elektrophilen Furanmetaboliten, die irreversibel an Proteine und Nukleoside binden. Als Hauptmetabolit wurde *cis*-2-Buten-1,4-dial identifiziert (Vranová und Ciesarová, 2009).

Im Rahmen des National Toxicology Projektes wurde ein NOEL (no observed effect level) im Tierversuch mit Mäusen von 2 mg/kg Körpergewicht bestimmt. Jedoch liegen keine Daten über die Wirkung unterhalb der NOEL vor (Kuballa, 2007).

Die aktuellen Daten reichen nicht aus, um die Gesamtbelastung des Verbrauchers mit Furan aus Lebensmitteln und anderen Quellen abzuschätzen. Zudem besteht Klärungsbedarf

bezüglich der Wirkung im niedrigen Dosisbereich als auch des Wirkungsmechanismus bevor eine umfassende Gefährdungsabschätzung aufgestellt werden kann.

3.5 Analytik

Die Analyse von Furan in Lebensmitteln ist bedingt durch die hohe Flüchtigkeit, die niedrige Molmasse und die geringen Konzentrationen in Lebensmitteln anspruchsvoll. Aufgrund der Flüchtigkeit von Furan ist die ideale Analysenmethode Headspace-Gaschromatographie in Verbindung mit einem selektiven Massendetektor (HS-GC/MS). Headspace ist eine einfache und lösungsmittelfreie Probenvorbereitungstechnik, die seit langem für die Analyse flüchtiger Verbindungen eingesetzt wird (Chaichi et al., 2013).

In der Literatur sind zahlreiche Methoden zum Nachweis von Furan in Lebensmitteln beschrieben. Jedoch sind nur zwei Techniken von größerer Bedeutung: a) statische HS-Analyse und b) HS-SPME (solid phase microextraction) (Chaichi et al., 2013). Beide Methoden liefern vergleichbare Ergebnisse, allerdings sind die Präzision und die Nachweisgrenze mittels HS-SPME etwas besser (Altaki et al., 2013). Bei thermisch induzierten Kontaminanten wie Furan ist es wichtig darauf zu achten, dass sich diese nicht während der Analyse als Artefakte aus Vorläuferverbindungen bilden und somit zu falsch positiven Werten führen (Adams et al., 2012). Insbesondere die Desorption der HS-SPME-Methodik erfolgt bei Temperaturen über 200 °C und ist somit prädestiniert für eine erhöhte Bildung an Furan. Adams et al. (2012) haben in ihren Studien gezeigt, dass der Furangehalt drastisch mit zunehmender Desorptionszeit und -temperatur ansteigt. Daher ist die statische HS-Analyse besser geeignet zur Analyse von Furan.

Im Jahr 2004 veröffentlichte die FDA eine statische HS-GC/MS-Methode zur Quantifizierung von Furan mittels Standardadditionsverfahren. Die Inkubation erfolgte zunächst bei 80 °C. Jedoch haben Studien gezeigt, dass sich analog zur HS-SPME-Methode Furan während der Analyse bildet. Daher wurde die Inkubationstemperatur von 80°C auf 60 °C gesenkt und somit die Artefaktbildung eliminiert (Ridgway et al., 2010, Altaki et al., 2009).

Weitere Analyseverfahren sind u.a. HS-LPME (liquid phase microextraction), SPDE (solid phase dynamic extraction), SBSE (stir bar sorptive extraction), Purge & Trap sowie Mikrodestillation (Kuballa 2007; Chaichi et al., 2013; Ridgway et al., 2010).

4. Material und Methoden

4.1 Probeneinkauf

Die Lebensmittelproben wurden zeitnah vor der geplanten Zubereitung/Analyse eingekauft. Der Einkauf wurde von der Eurofins Analytik GmbH Wiertz Eggert, Jörissen durchgeführt. Pro Lebensmittelprobe wurden drei Pakete eines Loses für die Lebensmittelproben, die nicht zubereitet wurden, eingekauft und sechs Pakete eines Loses für die zuzubereitenden Lebensmittel. Auf diese Weise wurde sichergestellt, dass ausreichend Probenmaterial für die Analyse, mögliche Wiederholungen sowie Rückstellmuster zur Verfügung standen.

Beim Einkauf wurden folgende Kriterien berücksichtigt:

- verschiedene Hersteller und Supermärkte
- Markenprodukte und Eigenmarkenprodukte
- konventionelle Produkte und Bioprodukte
- niedrig- und hochpreisige Produkte

Darüber hinaus wurden bei der Untersuchung von Kaffee auch *koffeinfreie* Kaffeesorten berücksichtigt.

In Absprache mit der BLE wurden auch gepuffte Weizen- und Dinkelprodukte in die Produktgruppe Reiswaffeln/ Puffreis mit aufgenommen.

Generell wurde auf eine Vielfalt der Produkte (verschiedene Zusammensetzungen und Geschmacksrichtungen) geachtet.

So befanden sich bei den Fertiggerichten Kartoffel-, Nudel-, Reisgerichte mit Fisch, Fleisch und/oder Gemüse im Warenkorb.

In die Kategorie Suppe fielen nur Produkte, die auch das Wort „Suppe“ in der Bezeichnung enthielten. Dazu zählten auch *Eintopfsuppen* oder *Suppeneintöpfe*. Es wurden klare Suppen und stückige Suppen mit Gemüse und/oder Fleisch berücksichtigt.

4.2 Material und Geräte

- 20 mL Headspace Ampullen
- Kühlschrank
- Gefrierschrank
- Oberschalenwaage ($\pm 0,01$ g)
- Analysenwaage ($\pm 0,1$ mg)
- Mikroliterspritzen (10 – 250 μ L)
- Vollpipetten (5 – 20 mL)
- Plot-Kapillarsäule Rt-Q-Bond (30 m, ID 0,32 mm, FD 10 μ m)
- Varian GC 3900; MS Saturn 2100; Iontrap mit CTC Headspace Autosampler
- Agilent GC 7890; MS MSD5973; Quadrupol mit CTC Headspace Autosampler
- Grindomix GM 200
- Grindomix GM 300
- klassische Filterkaffeemaschine
- Kaffeefullautomat
- Kaffeepadmaschine
- Kaffeekapselmaschine Typ 1
- Kaffeekapselmaschine Typ 2
- haushaltsüblicher Elektroherd/ Backofen
- haushaltsübliche Mikrowelle
- Toaster (3 Geräte)

4.3 Chemikalien

- Furan, mind. 99%
- *d*4-Furan, mind. 99%
- Wasser
- Methanol
- Stickstoff (flüssig)

4.4 Standardlösungen

- Furan-Stammlösung (2,5 mg/mL in Methanol), Lagerung bei -20 °C, Haltbarkeit 2 Wochen
- Furan-Standardlösung (30,9 µg/mL in Wasser), täglich frisch hergestellt
- *d4*-Furan-Stammlösung (2,5 mg/mL in Methanol), Lagerung bei -20 °C, Haltbarkeit 2 Wochen
- *d4*-Furan interne Standardlösung (30,9 µg/mL in Wasser), täglich frisch hergestellt

4.5 Qualitätssicherung

Blindwert

5 mL Wasser werden in eine 20 mL Headspace Ampulle eingewogen und diese dicht verschlossen. Anschließend wird durch das Septum 10 µL interne Standardlösung hinzugefügt, die Probe gut geschüttelt und zur Messung gegeben.

Dotierprobe

Je Probenserie wird eine beliebige Probe zusätzlich dreimal eingewogen und wie unter Kapitel 4.8 oder 4.9 beschrieben vorbereitet. Diese Lösungen werden mit drei verschiedenen Volumina der Standardlösung dotiert, gut geschüttelt und zur Messung gegeben.

Referenzprobe

Je Probenserie wird eine Probe mit bekanntem Gehalt wie unter Kapitel 4.8 oder 4.9 beschrieben aufgearbeitet und gemessen.

4.6 Probenvorbereitung/ Zubereitung

Die Proben wurden vor der Homogenisierung und Einwaage mindestens vier Stunden gekühlt gelagert.

4.6.1 Kaffee (M1)

Die Zubereitung des Kaffees (Tabelle 2) erfolgte durch die Eurofins WEJ Contaminants GmbH.

Tabelle 2: Zubereitungsarten Kaffee-/Espressogetränke (M1)

Produkt	Zubereitungsart	Anzahl
Kaffeepulver	Klassische Filterkaffeemaschine	30
Kaffeepulver	Kaffee-Vollautomat	15
Espressopulver	Kaffee-Vollautomat	15
Kaffeebohnen	Kaffee-Vollautomat	15
Espressobohnen	Kaffee-Vollautomat	15
Kaffeepads	Kaffeepad-Maschine	10
Kaffeekapseln	Kaffeekapsel-Maschine Typ 1	10
Kaffeekapseln	Kaffeekapsel-Maschine Typ 2	10

Alle Kaffeegetränke wurden aus verschlossenen Originalverpackungen direkt nach Öffnung zubereitet. Unmittelbar nach Fertigstellung des ersten Brühganges wurde die Temperatur des Getränks gemessen und dokumentiert.

Die Lagerung der Originalverpackungen erfolgte im Kühlschrank/ Kühlraum bei einer Temperatur von ca. 4 °C bis zum Beginn der Analyse. Für alle Maschinen wurde Leitungswasser verwendet.

Die Kaffee- bzw. Espressoherstellung mit dem Vollautomaten, der Pad- und Kapselmaschinen erfolgte jeweils nach Herstellerangabe. Nach jeder Zubereitung eines Getränks wurde eine automatische Reinigung des Geräts durchgeführt.

Fertiggestellte Kaffeegetränke bedurften keiner weiteren Probenvorbereitung.

a) Zubereitung des Kaffees (klassische Kaffeemaschine)

Kaffeemenge: ca. 24 g (im Kaffeefilter)

Wassermenge: ca. 450 ml (ca. 8 g Kaffeepulver pro 150 ml Tasse)

b) Zubereitung Kaffee und Espresso (Kaffee-Vollautomat)

Kaffeepulver, zubereitet

Nach Herstellerangabe wurde mit einem Maßlöffel des Vollautomaten in den Pulverbehälter der Maschine gefüllt.

Kaffeemenge:

1 Maßlöffel (= Kaffeelot) Kaffeepulver je Brühgang; entspricht ca. 7,5 g.

Zubereitung:

3 x ca. 150 ml Kaffeegetränk (3 Brühgänge) - in einem Becherglas vereint.

Stärke des Getränks:

„normal (mittel)“ - über diese Einstellung bestimmt der Vollautomat die jeweils erforderliche Kaffeepulvermenge.

Kaffeebohnen, zubereitet

Zunächst wurde der Bohnenbehälter der Maschine mit Kaffeebohnen voll befüllt; entspricht ca. 10 g Kaffeebohnen je Brühgang.

Zubereitung:

3 x ca. 150 ml Kaffeegetränk (3 Brühgänge) - in einem Becherglas vereint.

Stärke des Getränks:

„normal (mittel)“ - über diese Einstellung bestimmt der Vollautomat die jeweils erforderliche Kaffeebohnenmenge.

Vermahlungsgrad der Bohnen:

mittel (sowohl bei hellen als auch bei dunklen Bohnen)

Espressopulver, zubereitet

Nach Herstellerangabe wurde mit einem Maßlöffel des Vollautomaten Espressopulver in den Pulverbehälter der Maschine gefüllt.

Espressomenge:

1 Maßlöffel (= Kaffeelot) Espressopulver je Brühgang; entspricht ca. 7,5 g.

Zubereitung:

5 x ca. 50 ml Espressogetränk (5 Brühgänge) - in einem Becherglas vereint.

Stärke des Getränks:

„normal (mittel)“; über diese Einstellung bestimmt der Vollautomat die jeweils erforderliche Espressopulvermenge.

Espressobohnen, zubereitet**Zubereitung:**

Zunächst wurde der Bohnenbehälter der Maschine mit Espressobohnen voll befüllt; entspricht ca. 10 g Espressobohnen je Brühgang.

5 x ca. 50 ml Espressogetränk (5 Brühgänge) - in einem Becherglas vereint.

Stärke des Getränks:

„normal (mittel)“ - über diese Einstellung bestimmt der Vollautomat die jeweils erforderliche Espressobohnenmenge.

Vermahlungsgrad der Bohnen:

Mittel

c) Zubereitung Kaffeepads (Kaffeepad-Maschine)

Zubereitung:

3 x je 1 Kaffeepad; entspricht ca. 7,1 g Kaffeepulver je Brühgang; ein Brühgang entspricht ca. 126 ml.

Tastenwahl:

„kleine Tasse“, die drei Brühgänge wurden in einem Becherglas vereint.

d) Zubereitung Kaffeekapseln (Kapselmaschine Typ 1)

Zubereitung:

3 x 1 Kaffeekapsel; entspricht ca. 5,1 g Kaffeepulver je Brühgang; ein Brühgang entspricht ca. 59 ml.

Tastenwahl:

„kleine Tasse“, die drei Brühvorgänge wurden in einem Becherglas vereint.

e) Zubereitung Kaffeekapseln (Kapselmaschine Typ 2)

Das Gerät erkennt anhand eines Strichcodes auf der Kapsel, um welche Kaffeeart es sich jeweils handelt und wählt Wassermenge sowie Temperatur automatisch.

Zubereitung:

3 x 1 Kaffeekapsel, automatisches Programm, die drei Brühvorgänge wurden in einem Becherglas vereint. Die Kaffeepulvermenge und Getränkemenge variieren je Produkt.

4.6.2 Popcorn (M3)

Tabelle 3: Zubereitungsart Popcorn (M3)

Produkt	Zubereitungsart	Anzahl
Popcorn (verzehrshfertig)	---	15
Popcorn (Mikrowelle)	Mikrowelle	15

15 Popcornproben („Mikrowellenpopcorn“) wurden durch Eurofins Analytik GmbH Wiertz, Eggert, Jörissen nach Herstellerangaben in einer Mikrowelle zubereitet (Tabelle 3), in gasdicht verschließbare Glasgefäße überführt und gekühlt gelagert bevor sie der Analyse zugeführt wurden.

4.6.3 Fertiggerichte, Suppen, Soßen (M6)

Fertiggerichte (Konserven), Suppen (Konserven), Instantsoßen, Instantsuppen, Fertigsoßen (Glas/ Tetrapak) sowie Fertigprodukte (TK = Tiefkühlkost) wurden im unzubereiteten und zubereitem Zustand untersucht, um den Einfluss unterschiedlicher Zubereitungsverfahren auf den Furangehalt feststellen zu können.

Je Produktgruppe (Tabelle 4) wurden jeweils 50 Produkte im zubereiteten Zustand und nur 30 Produkte zusätzlich im unzubereiteten Zustand untersucht (= 30 „gepaarte Proben“, 20 Proben nur zubereitet).

Tabelle 4: Zubereitung Fertiggerichte, Suppen, Soßen (M6)

Produktgruppe	Zubereitungsart 1	Anzahl	Zubereitungsart 2	Anzahl
Fertiggerichte (Konserven)	Herd	25	Mikrowelle	25
Suppen (Konserven)	Herd	25	Mikrowelle	25
Instantsoßen/Instantsuppen	Herd	50	---	---
Fertigsoßen(Glas/ Tetrapak)	Herd	25	Mikrowelle	25
TK-Produkte	Backofen	25	Mikrowelle	25

Die Zubereitung erfolgte nach Herstellerangabe (Verpackung) durch Eurofins Analytik GmbH Wiertz, Eggert, Jörissen.

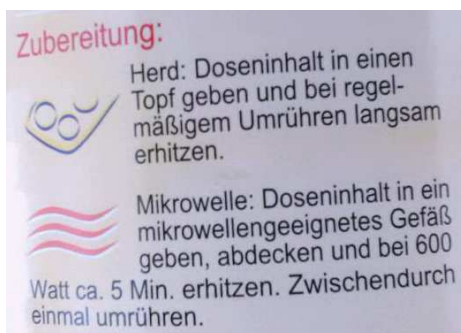


Abbildung 1: Beispiel für Herstellerangabe auf der Verpackung

a) Zubereitung Herd

Die Zubereitung erfolgte auf einem Elektroherd in Edelstahltöpfen ohne Deckel.

b) Zubereitung Mikrowelle

Die Zubereitung erfolgte in der Mikrowelle in einem Porzellangefäß. Als Abdeckung diente ein handelsüblicher Porzellanteller.

c) Zubereitung Backofen

Die TK-Produkte wurden in einem haushaltsüblichen Backofen zubereitet. Die jeweiligen Arbeitsschritte und Zubereitungsbedingungen (wie z.B. die Dauer der Erhitzung, Herdeinstellung, Temperatur) wurden für jede Probe auf einem Begleitschein detailliert dokumentiert.

Alle Begleitscheine befinden sich in Anhang 1.

4.6.4 Toastbrote (M7)

Insgesamt wurden 30 verschiedene Toastbrotsorten analysiert. Jede Toastbrotmarke wurde einmal im unzubereiteten Zustand sowie dreimal im zubereiteten Zustand (→ drei verschiedene Röststufen) untersucht.

Die drei Toaster wurden auf die nachfolgenden Röststufen eingestellt:



2 = niedrige Röststufe

4 = mittlere Röststufe

6 = hohe Röststufe

Abbildung 2: Röststufen

Die Einstellungen wurden während der gesamten Zeit der Zubereitung nicht verändert.

Die Toaster wurden zunächst vorgewärmt (1x Toasten ohne Toastbrotsscheiben).

Die Röstung der Toastbrotsscheiben erfolgte immer bei voller Beladung des Toasters: zwei Toastbrote, jeweils eine Scheibe pro Schlitz.

4.7 Probenhomogenisierung

4.7.1 Trockene Proben

Zu den trockenen Proben gehörten folgende Lebensmittel:

- Kaffee- und Espressobohnen
- Knäckebrot, Zwieback, Reiswaffeln/Puffreis, Popcorn, Chips
- Instantpulver (Instantsoßen/ Instantsuppen)
- Toastbrot

Die trockenen Proben wurden unmittelbar nach Öffnen einer verschlossenen Originalverpackung (bzw. beim Toastbrot direkt nach der Zubereitung) unter Kühlung mit flüssigem Stickstoff homogenisiert und im Anschluss in gasdicht verschließbare Glasgefäße überführt.

Die Lagerung der Glasgefäße erfolgte im Kühlschrank/ Kühlraum bei einer Temperatur von max. 4 °C bis zum Beginn der Analyse.

4.7.2 Feuchte Proben

Zu den feuchten oder zähen Proben zählen:

- Trockenfrüchte
- Fertiggerichte (Konserven), Suppen (Konserven), Fertigsoßen (Glas/Tetrapak), TK-Fertiggerichte sowie Instantsoßen/-suppen (zubereitet)

Die feuchten Proben wurden unmittelbar nach Zubereitung bzw. nach Öffnen einer verschlossenen Originalverpackung (unzubereitete Proben) gekühlt homogenisiert und im Anschluss in gasdicht verschließbare Glasgefäße überführt.

Die Lagerung der Glasgefäße erfolgte im Kühlschrank/ Kühlraum bei einer Temperatur von max. 4 °C bis zum Beginn der Analyse.

4.8 Analyse Kaffee

Die Furananalyse in Kaffee und zubereitetem Getränk erfolgte in Anlehnung an die FDA-Methode für Furan mittels Standardaddition (3x undotiert, 2 x 0,5-fache, 1x 1-fache, 1x 2-fache Addition in Bezug auf den zuvor in Einfachbestimmung ermittelten Orientierungswert). Als interner Standard wurde *d4*-Furan eingesetzt.

4.8.1 Feste Proben

Ca. 0,5 g Probe wurden in eine 20 mL gasdichte Headspace Ampulle eingewogen. Nach Zugabe von 4,5 mL Wasser wurde die Ampulle verschlossen und durch das Septum 10 µL interne Standardlösung (*d4*-Furan) hinzugefügt. Anschließend wurde die Probe gut geschüttelt und zur Messung gegeben.

4.8.2 Flüssige Proben

Je 5 mL der fertigen Kaffeegetränke wurden unmittelbar nach der Herstellung in 20 mL Headspace-Vials abgefüllt, mit internem Standard (*d4*-Furan) versetzt und bis zur Analyse gekühlt bei ca. 4 °C im Kühlschrank/ Kühlraum gelagert.

4.9 Analyse Lebensmittel (ausgenommen Kaffee)

Zur Analyse wurden 0,5 g der homogenisierten Probe in Headspace-Vials abgefüllt, mit 4,5 mL Wasser verdünnt und mit internem Standard (*d4*-Furan) versehen.

Die Furananalyse in den Lebensmitteln dieses Arbeitspakets erfolgte in Doppelbestimmung.

5. Ausführliche Darstellung der Ergebnisse

Im nachfolgenden Kapitel sind die Mittelwerte aller Furanergebnisse für die einzelnen Produktgruppen dargestellt.

Die ausführlichen Einzelergebnisse sind in Tabellen zusammengefasst und befinden sich im Anhang (Anhänge 2 – 5):

Tabelle 5: Übersicht Arbeitspakete

Anhang	Arbeitspaket
2	Ergebnisse M2 Kaffee (inkl. Temperaturen und Transferraten der zubereiteten Kaffeegetränke)
3	Ergebnisse M3 Brot I, Snacks und Knabbergebäck
4	Ergebnisse M6 Fertiggerichte, Suppen, Soßen
5	Ergebnisse M7 Brot II (Toastbrot)

5.1 Arbeitspaket 1: M2 Kaffee

Im Rahmen dieser Prüfung wurden zum einen die Ergebnisse der zubereiteten Kaffeegetränke untereinander verglichen, zum anderen ein Abgleich der Pulver- bzw. Bohnenproben mit dem daraus zubereiteten Getränk durchgeführt. Die erweiterte Messunsicherheit ($k=2$; 95%) der Einzelergebnisse liegt bei 25 – 40% je nach Zubereitung und Furangehalt.

Die untersuchten Kaffeeproben wurden in drei Gruppen unterteilt:

1. Kaffee
2. Espresso („Vollautomat“)
3. „Convenience-Produkte“

Bei den Kaffeepulvern und -bohnen (Tabelle 6) lagen die Furangehalte zwischen 1300 und 5100 $\mu\text{g}/\text{kg}$, der Mittelwert bei 2600 $\mu\text{g}/\text{kg}$ und der Median bei 2500 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Für espressopulver und -bohnen (Vollautomat) konnten Gehalte zwischen 1900 und 7200 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ermittelt werden mit einem Mittelwert von 4200 $\mu\text{g}/\text{kg}$ und einem Median von 3900 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Die Furangehalte der Convenience-Produkte lagen zwischen 790 und 3400 $\mu\text{g}/\text{kg}$, der Mittelwert sowie der Median bei 2000 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

Für die untersuchten Getränke (Tabelle 7) konnten Furangehalte im Kaffeegetränk zwischen 27 und 260 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ermittelt werden, der Mittelwert lag bei 95 $\mu\text{g}/\text{kg}$ und der Median bei

69 µg/kg. Die Gehalte im Espressogetränk lagen zwischen 110 und 550 µg/kg mit einem Mittelwert von 330 µg/kg und einem Median von 320 µg/kg und somit deutlich über denen der Kaffeegetränke. Bei den Getränken, welche aus den Convenience-Produkten zubereitet wurden, wurde Furan zwischen 25 und 210 µg/kg nachgewiesen. Der Mittelwert lag hier bei 100 µg/kg, der Median bei 78 µg/kg. Hierbei wiesen wiederum diese, welche mit der Kaffeekapsel-Maschine Typ 1 zubereitet wurden, die höchsten Werte auf. Mit dieser Maschine wurden ausschließlich Espresso-Getränke zubereitet.

Bei den Kaffee- und Espressobohnen konnten höhere Maximalwerte (5100 µg/kg respektive 7200 µg/kg) an Furan nachgewiesen werden als in den Pulvern (3900 µg/kg respektive 4600 µg/kg), sowie höhere Mittel- und Medianwerte (Tabelle 6). Auch im Getränk (Tabelle 7) konnten für die Zubereitung aus den Kaffeebohnen ein höherer Maximalwert von 260 µg/kg im Gegensatz zur Zubereitung aus dem Pulver von 130 µg/kg ermittelt werden sowie höhere Mittel- und Medianwerte. Beim Espressogetränk hingegen lagen sowohl für Pulver als auch Bohnen die Maximalwerte in gleicher Größenordnung (550 µg/kg respektive 510 µg/kg), die Mittel- und Medianwerte waren in den Bohnen jedoch um 36 und 40% erhöht. Anhand der Daten aus Tabelle 7 für die zubereiteten Getränke ist zu erkennen, dass die mit dem Vollautomaten hergestellten Kaffeegetränke höhere Maximalwerte für Furan aufweisen (Kaffeebohne 260 µg/kg, Kaffeepulver 130 µg/kg) als die Kaffeegetränke, die mit der klassischen Kaffeemaschine (95 µg/kg) zubereitet wurden, welches sich auch in den Mittel- und Medianwerten widerspiegelt.

Tabelle 6: Zusammenfassung Furangehalte [$\mu\text{g}/\text{kg}$] in Kaffeebohnen und -pulvern

	N = n	Min	Max	Mittelwert	Median
Kaffee	60	1300	5100	2600	2500
Kaffeepulver (Kaffeemaschine + Vollautomat)	45	1300	3900	2300	2200
Kaffeebohne (Vollautomat)	15	2000	5100	3400	3400
Espresso	30	1900	7200	4200	3900
Espressopulver (Vollautomat)	15	1900	4600	2900	2700
Espressobohnen (Vollautomat)	15	4300	7200	5500	5100
"Convenience-Produkte"	30	790	3400	2000	2000
Kaffeepad-Maschine	10	1300	2600	2000	2000
Kaffeekapsel-Maschine Typ 1	10	2000	3400	2700	2700
Kaffeekapsel-Maschine Typ 2	10	790	1900	1300	1300

N = Anzahl aller untersuchten Proben

n = Anzahl Proben in Statistik

Tabelle 7: Zusammenfassung Furangehalte [$\mu\text{g}/\text{kg}$] in zubereiteten Kaffeegetränken

	N (= n)	Min	Max	Mittelwert	Median
Kaffee	60	27	260	95	69
Kaffeepulver (Kaffeemaschine)	30	27	95	55	53
Kaffeepulver (Vollautomat)	15	54	130	81	80
Kaffeebohne (Vollautomat)	15	110	260	190	190
Espresso	30	110	550	330	320
Espressopulver (Vollautomat)	15	110	550	270	280
Espressobohnen (Vollautomat)	15	190	510	380	380
"Convenience-Produkte"	30	25	210	100	78
Kaffeepad-Maschine	10	36	130	64	58
Kaffeekapsel-Maschine Typ 1	10	110	210	160	170
Kaffeekapsel-Maschine Typ 2	10	25	180	73	57

N = Anzahl aller untersuchten Proben

n = Anzahl Proben in Statistik

Nach einer Bestimmung der mittleren Kaffee- und der zugehörigen Getränkemenge wurden die Transferraten des Furans vom Kaffee in das Getränk berechnet.

Tabelle 8: Mittelwert der Kaffee- und Getränkemenge [g] in den Brühungen je Brühsystem

	Kaffeemenge [g]	Getränkemenge [g]
Kaffee		
Kaffeepulver (Kaffeemaschine)	24	382
Kaffeepulver (Vollautomat)	7,5	147
Kaffeebohne (Vollautomat)	10	146
Espresso		
Espressopulver (Vollautomat)	7,5	49
Espressobohnen (Vollautomat)	10	49
"Convenience-Produkte"		
Kaffeepad-Maschine	7,1	126
Kaffeekapsel-Maschine Typ 1	5,1	59
Kaffeekapsel-Maschine Typ 2	variabel	variabel

Die Transferrate beschreibt die prozentuale Menge an Furan, die aus dem Kaffee in das Getränk übergegangen ist. Die erweiterte Messunsicherheit ($k=2$; 95%) der Transferrate liegt bei > 40 %, da sie auf Basis von 4 Werten errechnet wird, die jeweils eine Messunsicherheit aufweisen: Furangehalt im Kaffee, Furangehalt im Getränk, Kaffeemenge und Getränkemenge.

Die Transferraten (Tabelle 9) der automatisierten Kaffeesysteme lagen im Mittelwert bei 34% (Espressobohnen Vollautomat) bis 88% (Kaffeekapsel-Maschine Typ 2). Die Raten bei der klassischen Kaffeemaschine zeigten mit 37% im Mittel vergleichsweise niedrige Werte. Die höchsten mittleren Transferraten wurden bei der Zubereitung von Vollautomatenkaffee (Pulver 75% / Bohne 86%) und Convenience-Kapsel-Systemen erreicht (Typ 1 72% /Typ 2 88%).

Einzig die Transferrate der Espressobohnen aus dem Vollautomaten ist mit 34% vergleichbar mit dem klassischen Filterkaffee.

Tabelle 9: Zusammenfassung Transferrate [%] in zubereiteten Kaffeegetränken

	n	Min	Max	Mittelwert	Median
Kaffee (N = 60)	60	23	140	59	53
Kaffeepulver (Kaffeemaschine)	30	23	66	37	38
Kaffeepulver (Vollautomat)	15	58	105	75	73
Kaffeebohne (Vollautomat)	15	48	140	86	76
Espresso (N = 30)	30	16	86	48	39
Espressopulver (Vollautomat)	15	33	86	62	65
Espressobohnen (Vollautomat)	15	16	49	34	34
"Convenience-Produkte" (N = 30)	30	25	112	70	69
Kaffeepad-Maschine	10	26	101	59	57
Kaffeekapsel-Maschine Typ 1	10	47	99	72	72
Kaffeekapsel-Maschine Typ 2	5	50	112	88	93

N = Anzahl aller untersuchter Proben

n = Anzahl Proben in Statistik

5.2 Arbeitspaket 2: M3 Brot I, Snacks und Knabbergebäck

Die Proben dieses Pakets wiesen – im Vergleich zu Kaffee – niedrige bzw. keine Furangelhalte auf.

Im Nachfolgenden werden die einzelnen Produktgruppen in einer Übersicht dargestellt. Die erweiterte Messunsicherheit ($k=2$; 95%) der Einzelergebnisse liegt je nach Zubereitung, Produktart und Furan-Konzentration bei 40 – 60%.

Tabelle 10: Zusammenfassung Furangelhalte [$\mu\text{g}/\text{kg}$] in Knäckebröt, Zwieback, Snacks und Knabbergebäck

	n	Min	Max	Mittelwert	Median
Knäckebröt/Knusperbröt (N = 30)	30*	9,9	220	42	23
Knäckebröt (N = 27)	27*	9,9	61	26	22
Knusperbröt (N = 3)	3*	150	220	180	170
Zwieback (N = 30)	26*	6,9	48	16	13
	30**	5,0	48	14	11
Reiswaffeln/Puffreis/Puffweizen (N = 30)	27*	6,0	110	36	30
	30**	5,0	110	33	26
Popcorn, verzehrfertig (N = 15)	15*	6,9	120	50	47
Popcorn, zubereitet (N = 15)	15*	34	130	64	60
Chips (N = 30)	26*	5,1	22	11	9,3
	30**	5,0	22	11	8,3
Getrocknete Früchte (N = 50)	11*	5,0	24	11	7,8
	50**	5,0	24	6,3	5,0

N = Anzahl aller untersuchten Proben

n = Anzahl Proben in Statistik

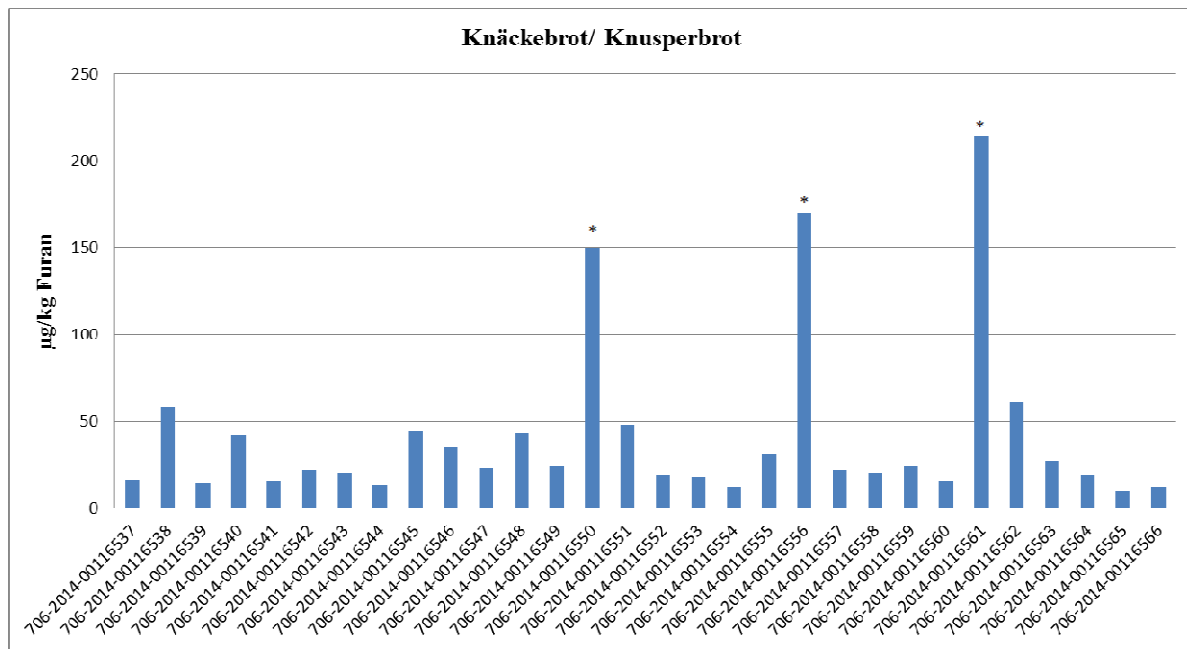
* Anzahl Proben mit positivem Furangelhalt

** Anzahl aller untersuchten Proben inkl. Bestimmungsgrenze von 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$

In der Tabelle sind sowohl die statistischen Werte für Proben mit einem Furangelhalt oberhalb der Bestimmungsgrenze (= *Anzahl Proben mit positivem Furangelhalt) als auch für alle Proben, in denen Furan untersucht wurde (= **Anzahl aller untersuchten Proben inkl. Bestimmungsgrenze von 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$), dargestellt. Hier wurde jeder nicht quantifizierbare Furanwert der Bestimmungsgrenze gleichgesetzt.

5.2.1 Knäckebrot/ Knusperbrot

Bei den Knäckebrotproben lagen die Furangehalte zwischen 9,9 und 61 µg/kg mit einem Mittelwert von 26 µg/kg sowie einem Median von 22 µg/kg. Die drei untersuchten „Knusperbrote“ wiesen im Gegensatz dazu höhere Furangehalte zwischen 150 und 220 µg/kg (Mittelwert 180 µg/kg und Median 170 µg/kg) auf.



* Knusperbrot

Abbildung 3: Furangehalt [µg/kg] in Knäckebrot/ Knusperbrot

5.2.2 Zwieback

Bei den Zwiebackproben lagen die Furangehalte zum Teil unterhalb der Bestimmungsgrenze (BG) (< 5 µg/kg) bis hin zu 48 µg/kg. Der ermittelte Mittelwert von 14 µg/kg (= Anzahl aller untersuchten Proben inkl. Bestimmungsgrenze von 5 µg/kg) als auch der Median von 11 µg/kg sind vergleichbar mit den ermittelten Werten für die Anzahl der Proben mit positivem Furangehalt (16 respektive 13 µg/kg).

Neben den klassischen Zwiebackproben wurden auch mit Schokolade und anderen Glasuren überzogene Zwiebacksarten untersucht. Ein Zusammenhang der Überzüge zum Furangehalt stellte sich nicht dar.

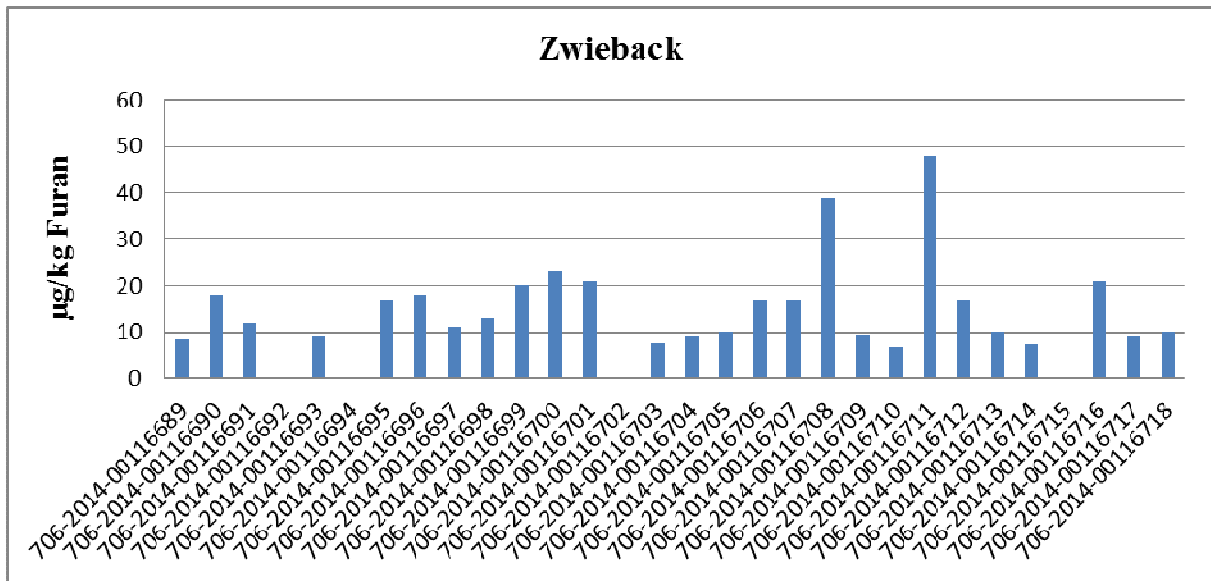


Abbildung 4: Furangehalt [µg/kg] in Zwieback

5.2.3 Reiswaffeln/ Puffreis/ Puffweizen

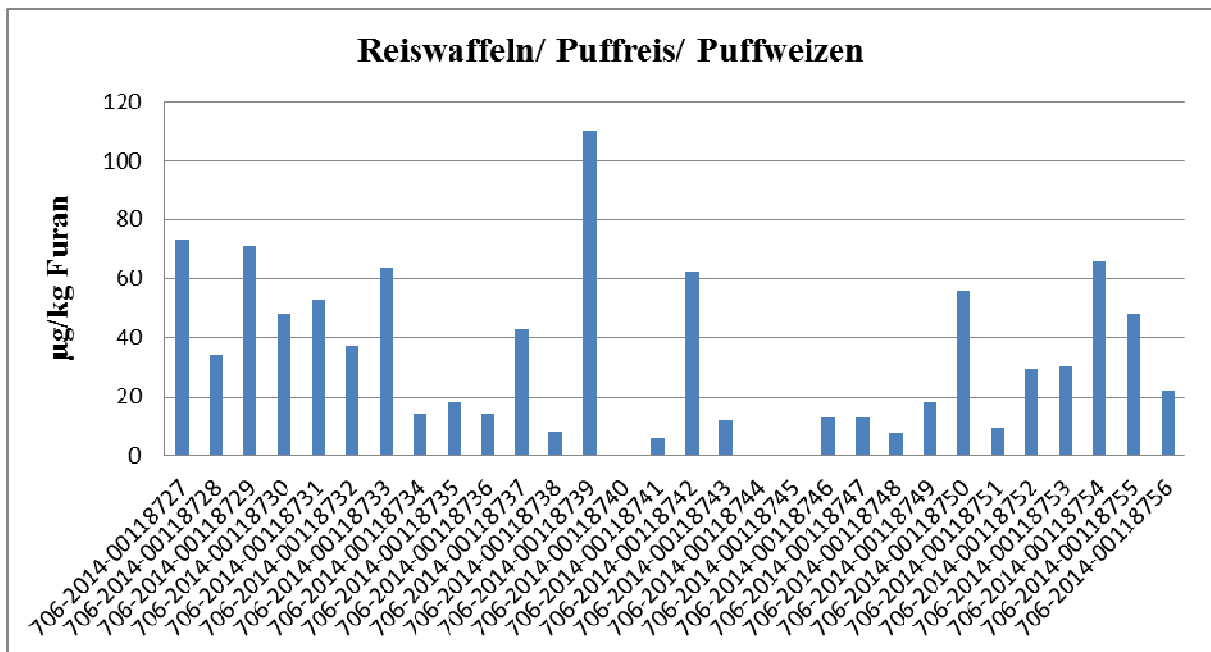


Abbildung 5: Furangehalt [µg/kg] in Reiswaffeln/ Puffreis/Puffweizen

Bei den Reiswaffel-/ Puffreis-/ und Puffweizenproben lagen die Furangehalte ebenfalls zum Teil unterhalb der BG (< 5 µg/kg) bis zu einem Maximalwert von 110 µg/kg in gepufftem Weizen. Der ermittelte Mittelwert von 33 µg/kg (= Anzahl aller untersuchten Proben inkl. Bestimmungsgrenze von 5 µg/kg) als auch der Median von 26 µg/kg sind vergleichbar mit

den ermittelten Werten für die Anzahl der Proben mit positivem Furangehalt (36 respektive 30 µg/kg).

5.2.4 Popcorn

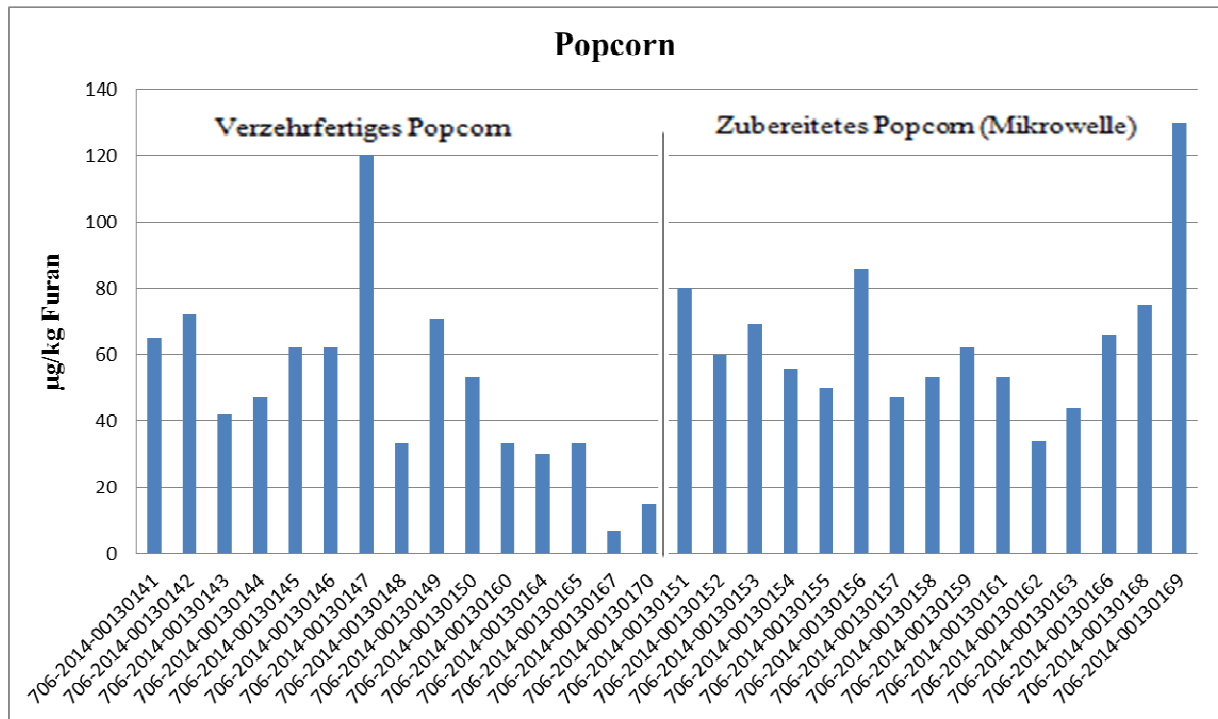
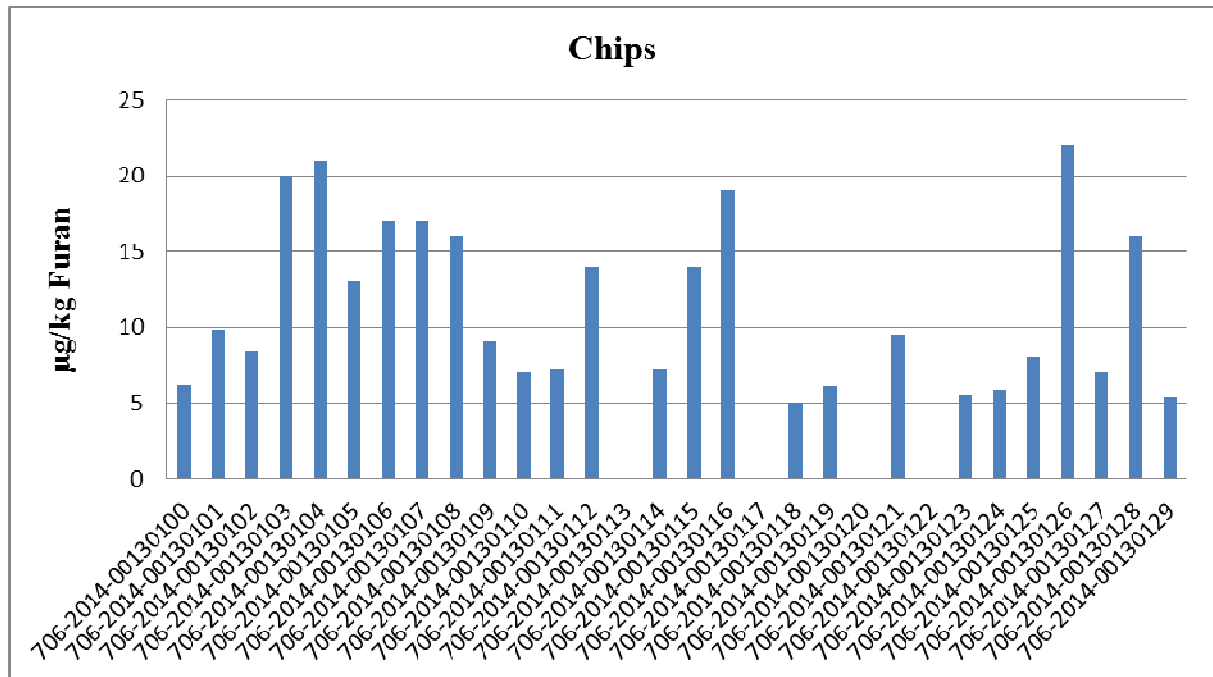


Abbildung 6: Furangehalt [µg/kg] in Popcorn

Bei den Popcornproben lagen die Furangehalte zwischen 7 µg/kg und 130 µg/kg. Popcornproben, die in der Mikrowelle frisch zubereitet wurden, wiesen im Mittelwert 22% höhere Furangehalte auf als das verzehrfertig gekaufte Popcorn (64 respektive 50 µg/kg). Der Bräunungsgrad der Popcornproben wurde mittels Fotodokumentation festgehalten, die Fotos sind in Anhang 4 zu finden. Eine Korrelation zwischen Furangehalt und dem Bräunungsgrad konnte nicht festgestellt werden.

5.2.5 Chips

Abbildung 7: Furangehalt [µg/kg] in Chips

Bei den Kartoffelchips wurden Werte von unterhalb der BG (< 5 µg/kg) bis hin zu 22 µg/kg ermittelt. Auch hier konnten keine Unterschiede zwischen dem ermittelten Mittelwert von 11 µg/kg (= Anzahl aller untersuchten Proben inkl. Bestimmungsgrenze von 5 µg/kg) als auch Median von 8 µg/kg im Vergleich zu den ermittelten Werten für die Anzahl der Proben mit positivem Furangehalt (11 respektive 9 µg/kg) festgestellt werden.

5.2.6 Getrocknete Früchte

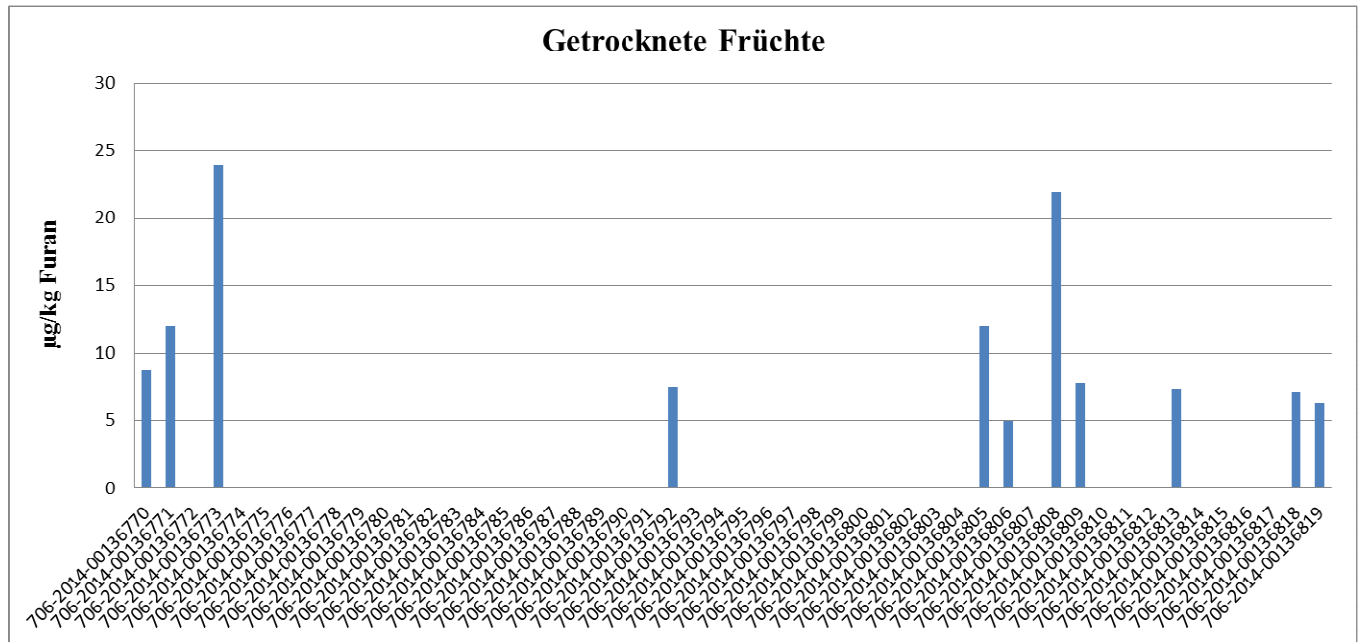


Abbildung 8: Furangehalt [µg/kg] in getrockneten Früchten

Bei den getrockneten Früchten wurde Furan nur in 11 von 50 Proben oberhalb der Bestimmungsgrenze bestimmt, der höchste Wert lag bei 24 µg/kg für Probe 706-2014-00136773 (Physalis). Auch hier waren die nach beiden Berechnungsmethoden bestimmten Mittel- und Medianwerte vergleichbar.

5.3 Arbeitspaket 3: M6 Fertiggerichte, Suppen, Soßen

Im Nachfolgenden werden die einzelnen Produktgruppen des Arbeitspakets 3 in einer Übersicht dargestellt. Die erweiterte Messunsicherheit (k=2; 95%) der Einzelergebnisse liegt je nach Zubereitung, Produktart und Furan-Konzentration bei 40 – 60%. Die erweiterte Messunsicherheit nahe der Bestimmungsgrenze von 5 µg/kg liegt bei 50 - 80%.

In der Tabelle sind sowohl die statistischen Werte für Proben mit einem positivem Furangehalt (= Anzahl der Proben mit positivem Furangehalt) als auch Proben, in denen kein Furan bestimmt werden konnte (= Anzahl aller untersuchten Proben inkl. Bestimmungsgrenze von 5 µg/kg), dargestellt. Produkte in Konserven wiesen mit 17 bis 40 µg/kg im Mittel höhere Gehalte auf als alle anderen untersuchten Produkte mit <5 (Bestimmungsgrenze) bis 13 µg/kg im Mittel. Die niedrigsten mittleren Gehalte zeigten die Gruppe der Instantprodukte (max. 8,8 µg/kg) und die Gruppe der TK Fertiggerichte (max. 8,1 µg/kg).

Tabelle 11: Zusammenfassung Furangelhalte [$\mu\text{g}/\text{kg}$] in Fertiggerichten, Suppen und Soßen

	n	Min	Max	Mittelwert	Median
Fertiggerichte (Konserven) (N = 80)	80*	5,3	140	36	31
unzubereitet	30*	8,9	110	37	34
Herd	25*	5,3	99	32	27
Mikrowelle	25*	9,3	140	40	31
Suppen (Konserven) (N = 80)	78*	6,7	130	35	27
	80**	5,0	130	34	26
unzubereitet	30*	8,9	130	53	50
	30**	8,9	130	53	50
Herd	23*	7,5	37	19	16
	25**	5,0	37	17	15
Mikrowelle	25*	6,7	77	28	23
	25**	6,7	77	28	23
Instantsoßen (N = 40)	5*	5,3	14	8,8	7,5
	40**	5,0	14	5,5	5,0
unzubereitet	5*	5,3	14	8,8	7,5
	15**	5,0	14	6,3	5,0
Herd	0*	-	-	-	-
	25**	5,0	5	5,0	5,0
Instantsuppen (N = 40)	4*	5,4	13	8,4	7,6
	40**	5,0	13	5,3	5,0
unzubereitet	4*	5,4	13	8,4	7,6
	15**	5,0	13	6,8	5,0
Herd	0*	-	-	-	-
	25**	5,0	5,0	5,0	5,0
Fertigsoßen (Glas/ Tetrapak) (N = 80)	70*	5,0	44	12	9,1
	80**	5,0	44	11	8,4
unzubereitet	27*	6,1	41	13	9,1
	30**	5,0	41	13	9,3
Herd	20*	6,2	44	13	9,3
	25**	5,0	44	11	7,9
Mikrowelle	23*	5,0	30	11	8,4
	25**	5,0	30	10	8,2
Fertiggerichte (TK) (N = 80)	5*	5,6	10	6,8	6,2
	80**	5,0	10	5,1	5,0
unzubereitet	3*	5,6	6,6	5,9	5,6
	30**	5,0	6,6	5,1	5,0
Backofen	2*	6,2	10	8,1	8,1
	25**	5,0	10	5,2	5,0
Mikrowelle	0*	-	-	-	-
	25**	5,0	5,0	5,0	5,0

N = Anzahl aller untersuchter Proben

n = Anzahl Proben in Statistik

* Anzahl Proben mit positivem Furangelhalt

** Anzahl aller untersuchten Proben inkl. Bestimmungsgrenze von $5 \mu\text{g}/\text{kg}$

5.3.1 Fertiggerichte (Konserven)

In allen untersuchten Fertiggerichten konnten Furangehalte oberhalb der BG von 5 µg/kg nachgewiesen werden.

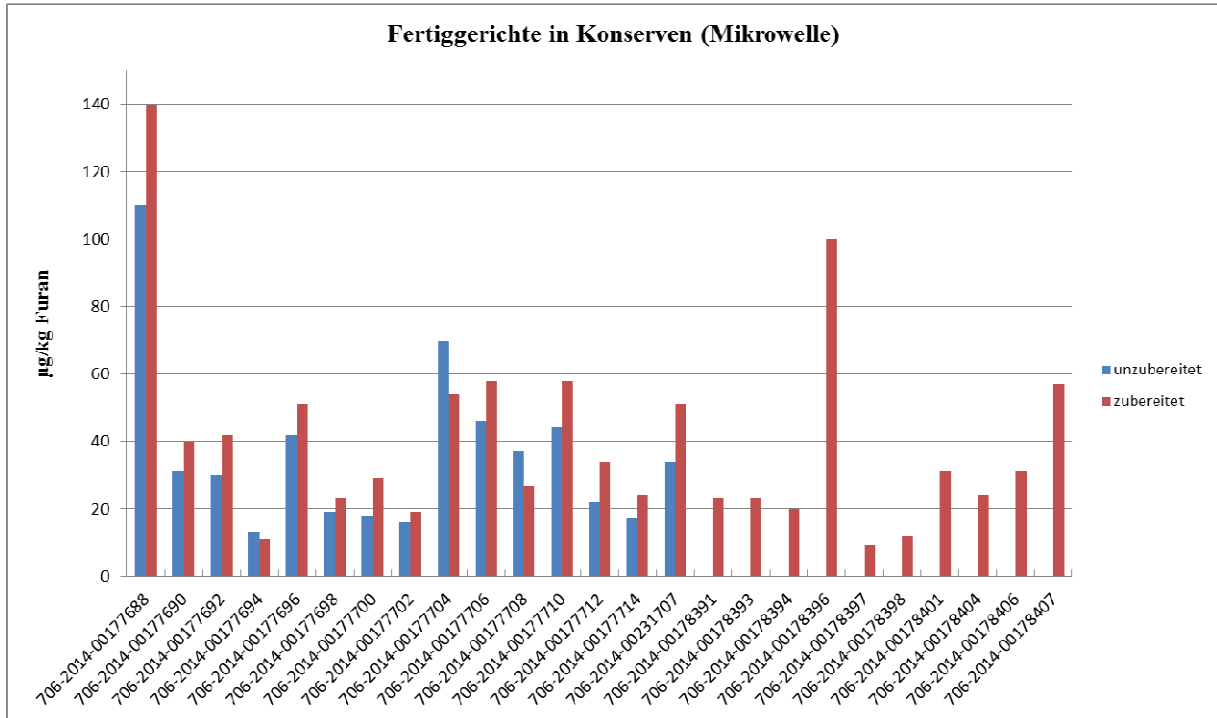


Abbildung 9: Furangehalt [µg/kg] in Fertiggerichten (Konserven, Zubereitung Mikrowelle)

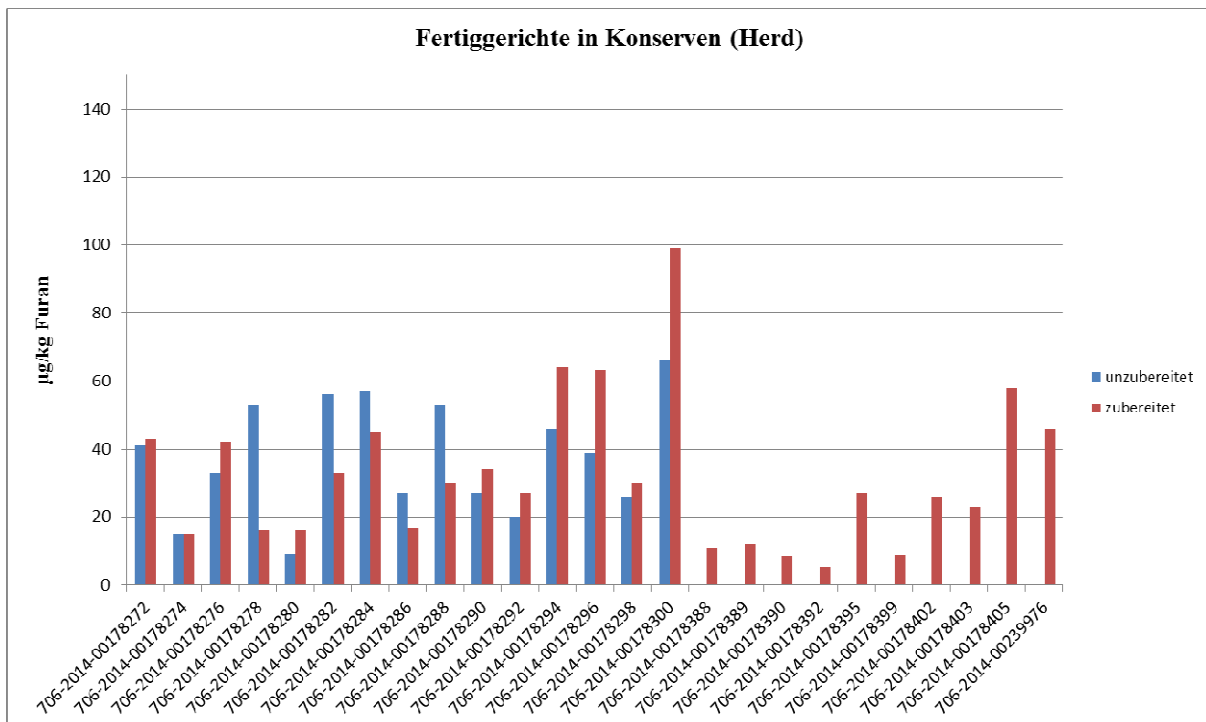


Abbildung 10: Furangehalt [µg/kg] in Fertiggerichten (Konserven, Zubereitung Herd)

Bei den Fertiggerichten aus der Konserve lagen die Furangelhalte in nicht zubereiteten Produkten zwischen 8,9 µg/kg und 110 µg/kg, der Mittelwert bei 37 und der Median bei 34 µg/kg. Ergebnisse in zubereiteten Proben in der Mikrowelle lagen zwischen 9,3 µg/kg und 140 µg/kg, der Mittelwert bei 40 und der Median bei 31 µg/kg. Zubereitete Produkte auf dem Herd zeigten leicht niedrigere Werte von 5,3 µg/kg bis 99 µg/kg mit einem Mittelwert bei 32 und einem Median von 27 µg/kg.

5.3.2 Suppen (Konserve)

In fast allen untersuchten Suppen konnten Furangelhalte oberhalb der BG von 5 µg/kg nachgewiesen werden.

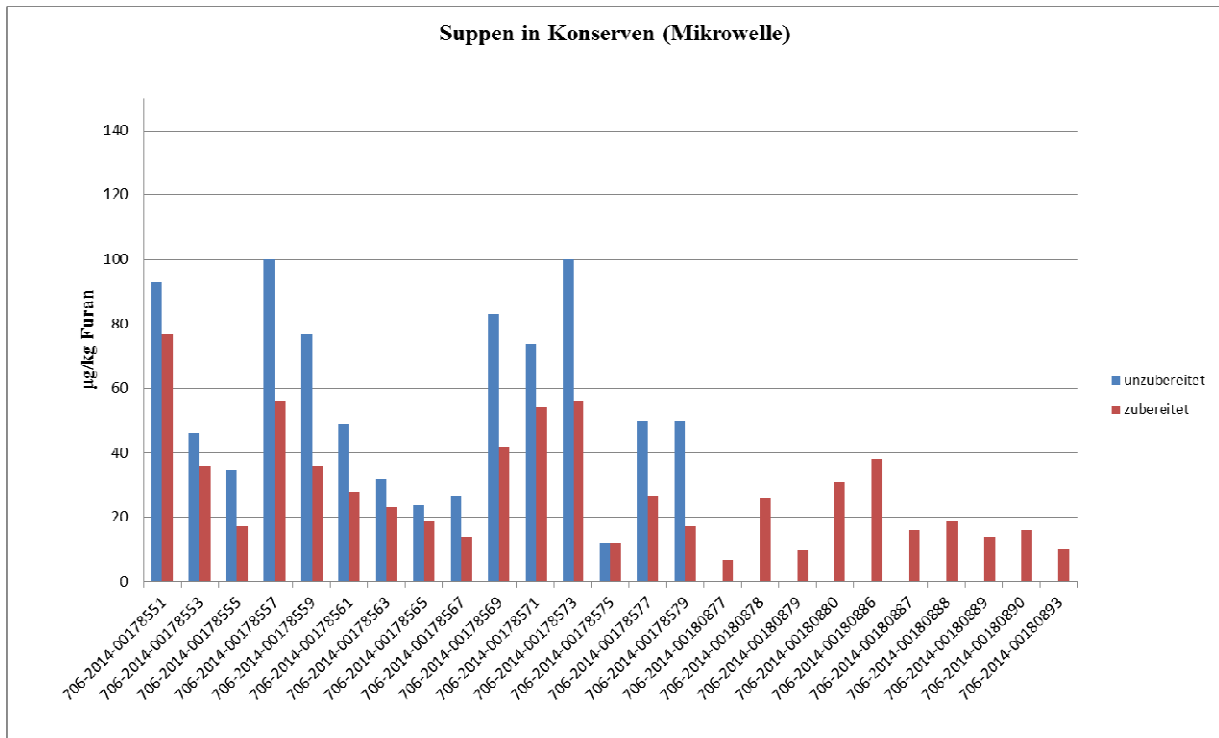


Abbildung 11: Furangelhalt [µg/kg] in Suppen (Konserve, Zubereitung Mikrowelle)

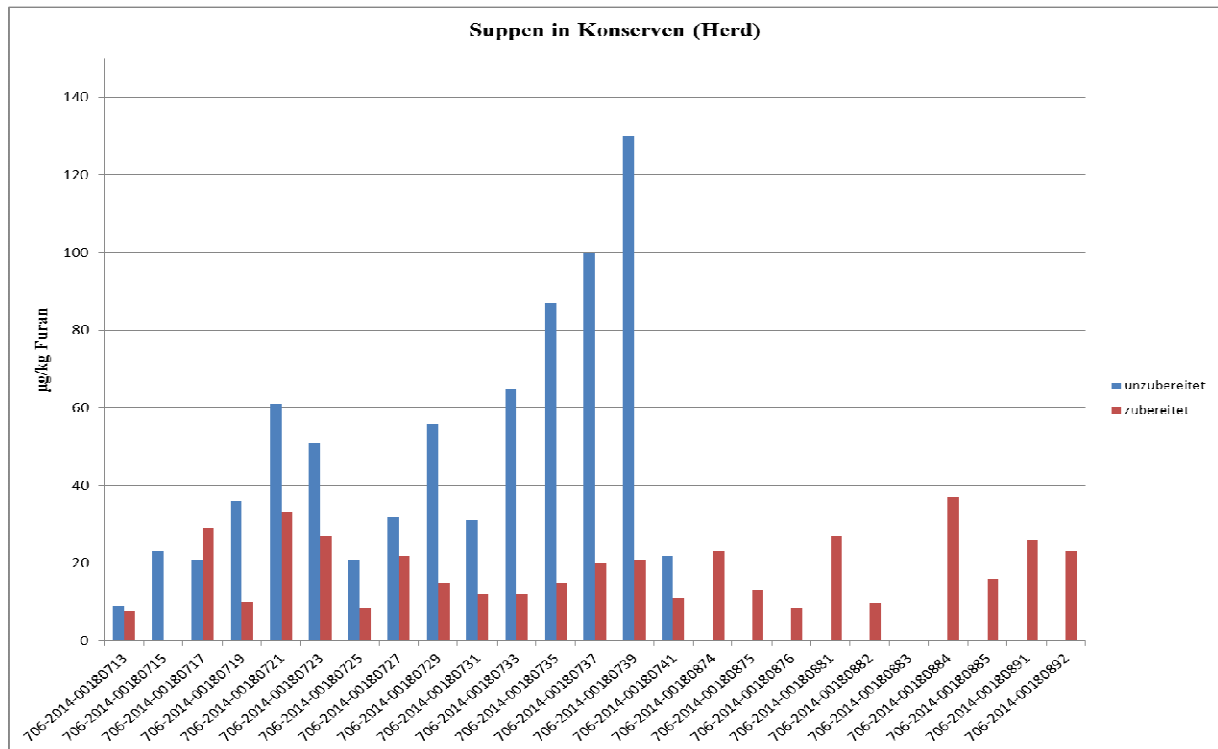


Abbildung 12: Furangehalt [$\mu\text{g}/\text{kg}$] in Suppen (Konserven, Zubereitung Herd)

Bei den Suppen aus der Konserven lagen die Furangehalte in nicht zubereiteten Produkten zwischen $8,9 \mu\text{g}/\text{kg}$ und $130 \mu\text{g}/\text{kg}$, der Mittelwert bei 53 und der Median bei $50 \mu\text{g}/\text{kg}$. Ergebnisse in zubereiteten Proben in der Mikrowelle lagen zwischen unter der BG und $77 \mu\text{g}/\text{kg}$, der Mittelwert bei 28 und der Median bei $23 \mu\text{g}/\text{kg}$.

Zubereitete Produkte auf dem Herd zeigten Werte von kleiner BG bis $37 \mu\text{g}/\text{kg}$ mit einem Mittelwert von 17 und einem Median von $15 \mu\text{g}/\text{kg}$ (= Anzahl aller untersuchten Proben inkl. Bestimmungsgrenze von $5 \mu\text{g}/\text{kg}$).

5.3.3 Instantsoßen und Instantsuppen

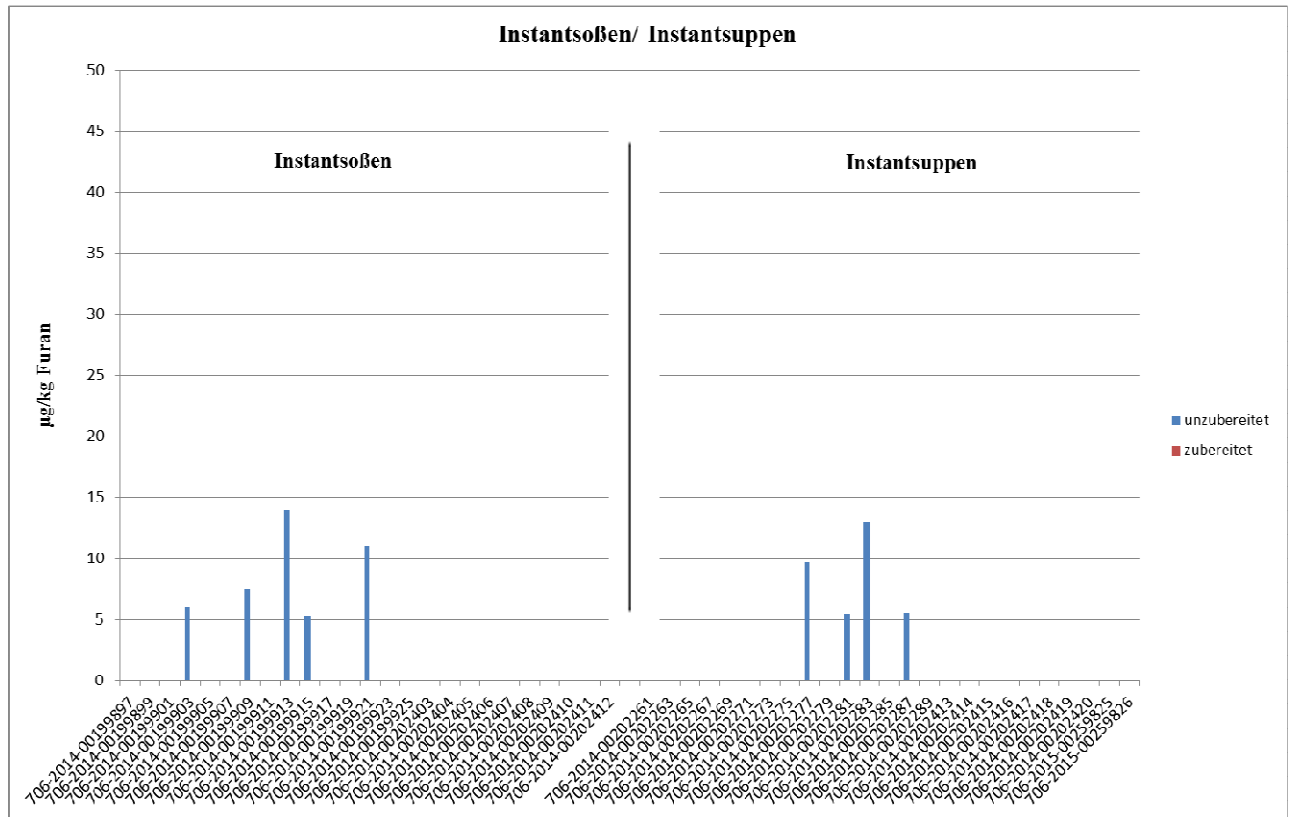


Abbildung 13: Furangehalt [µg/kg] in Instantsoßen/ Instantsuppen

In den meisten Instantsoßen- und Instantsuppen-Proben konnte kein Furan oberhalb der BG von 5 µg/kg bestimmt werden. Proben mit positiven Werten wiesen nur sehr geringe Furangehalte auf (5 bis maximal 14 µg/kg). Der Mittelwert lag für Instantsoßen bei 9 µg/kg und der Median bei 8 µg/kg. Für die Instantsuppen konnte ein Mittelwert sowie Median von 8 µg/kg ermittelt werden. In zubereiteten Proben wurde kein Furan oberhalb der Bestimmungsgrenze detektiert.

5.3.4 Fertigsoßen (Glas, Tetrapak)

In fast allen untersuchten Fertigsoßen konnten Furangehalte oberhalb der BG nachgewiesen werden.

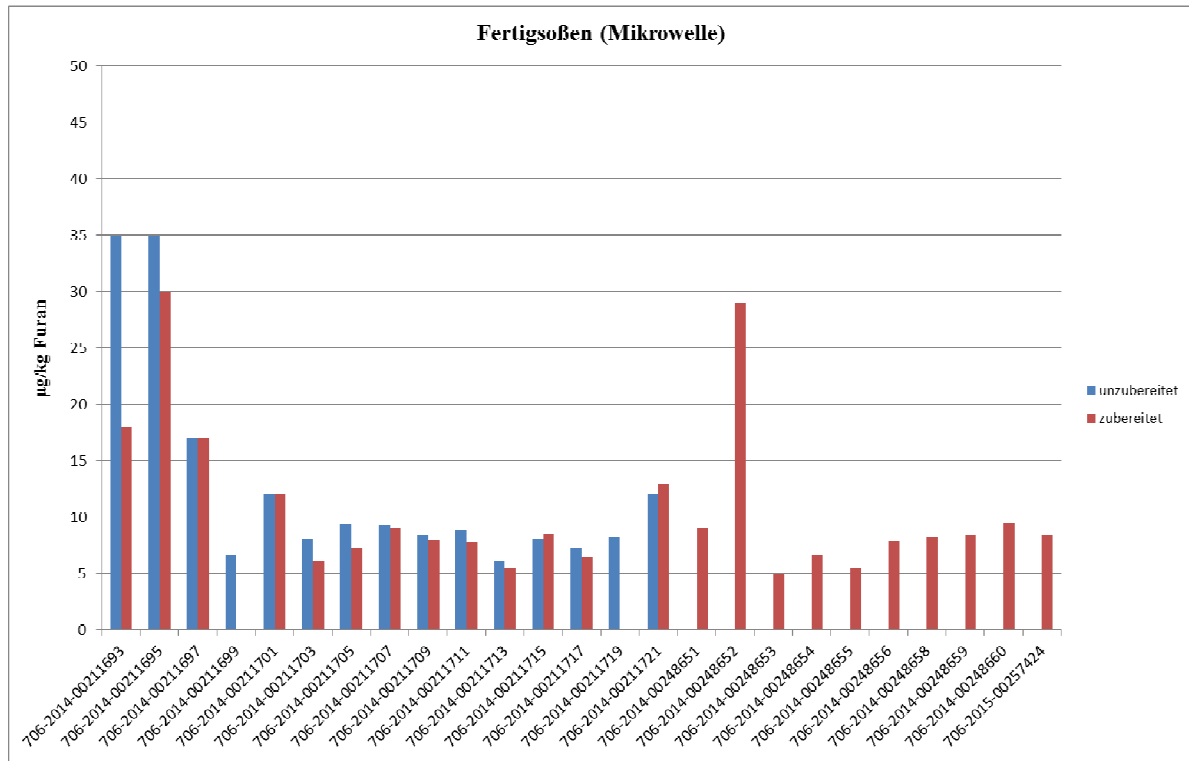


Abbildung 14: Furangehalt [µg/kg] in Fertigsoßen (Glas, Tetrapak, Zubereitung Mikrowelle)

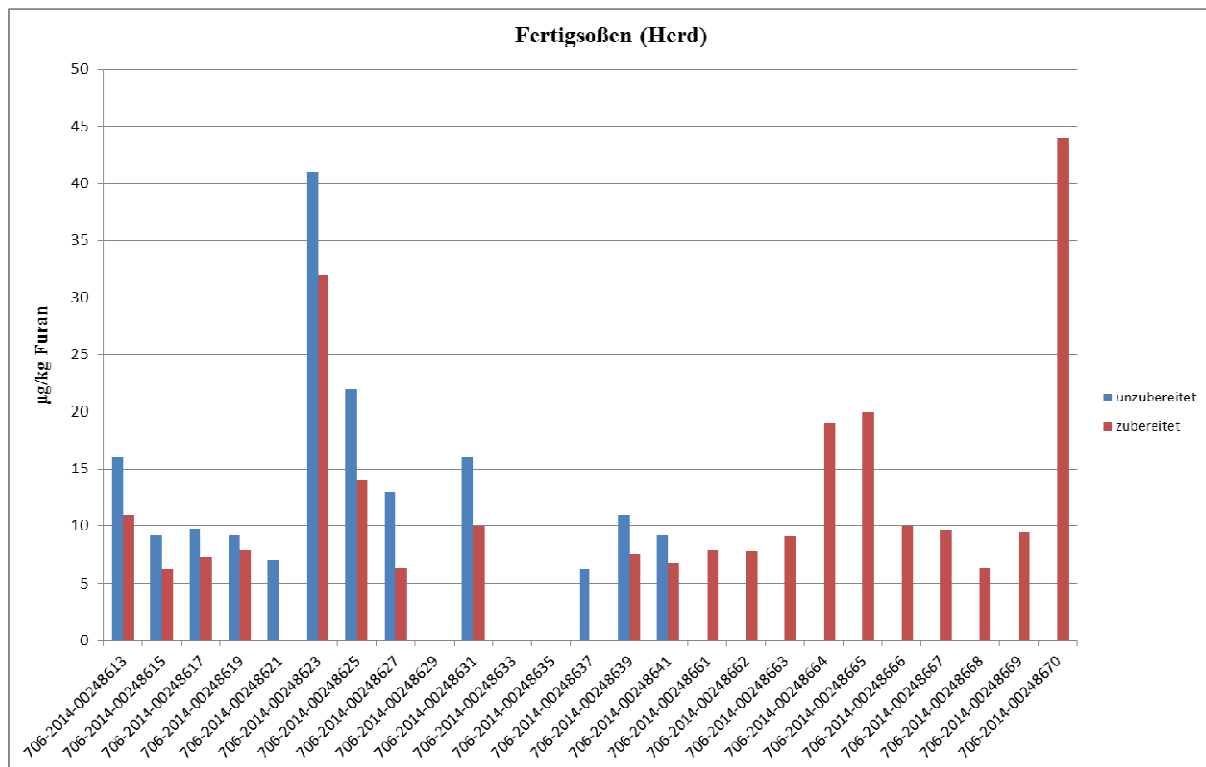


Abbildung 15: Furangehalt [µg/kg] in Fertigsoßen (Glas, Tetrapak, Zubereitung Herd)

Bei den Fertigsoßen aus dem Glas/Tetrapak lagen die Furangehalte in nicht zubereiteten Produkten zwischen 6,1 µg/kg und 41 µg/kg, der Mittelwert aller untersuchten Proben (inkl. Bestimmungsgrenze von 5 µg/kg) bei 13 und der Median bei 9,1 µg/kg. Ergebnisse in zubereiteten Proben in der Mikrowelle lagen zwischen < 5 (Bestimmungsgrenze) und 30 µg/kg, der Mittelwert aller untersuchten Proben (inkl. Bestimmungsgrenze von 5 µg/kg) bei 11 und der Median bei 8,4 µg/kg. Zubereitete Produkte auf dem Herd zeigten Werte < 5 (Bestimmungsgrenze) bis 44 µg/kg mit einem Mittelwert von 13 und einem Median von 9,3 µg/kg.

5.3.5 TK-Fertiggerichte

Bei den TK-Produkten konnten nur bei insgesamt 5 von 80 untersuchten Proben Werte oberhalb der Bestimmungsgrenze gemessen werden. Die Werte lagen zwischen 6 und 10 µg/kg.

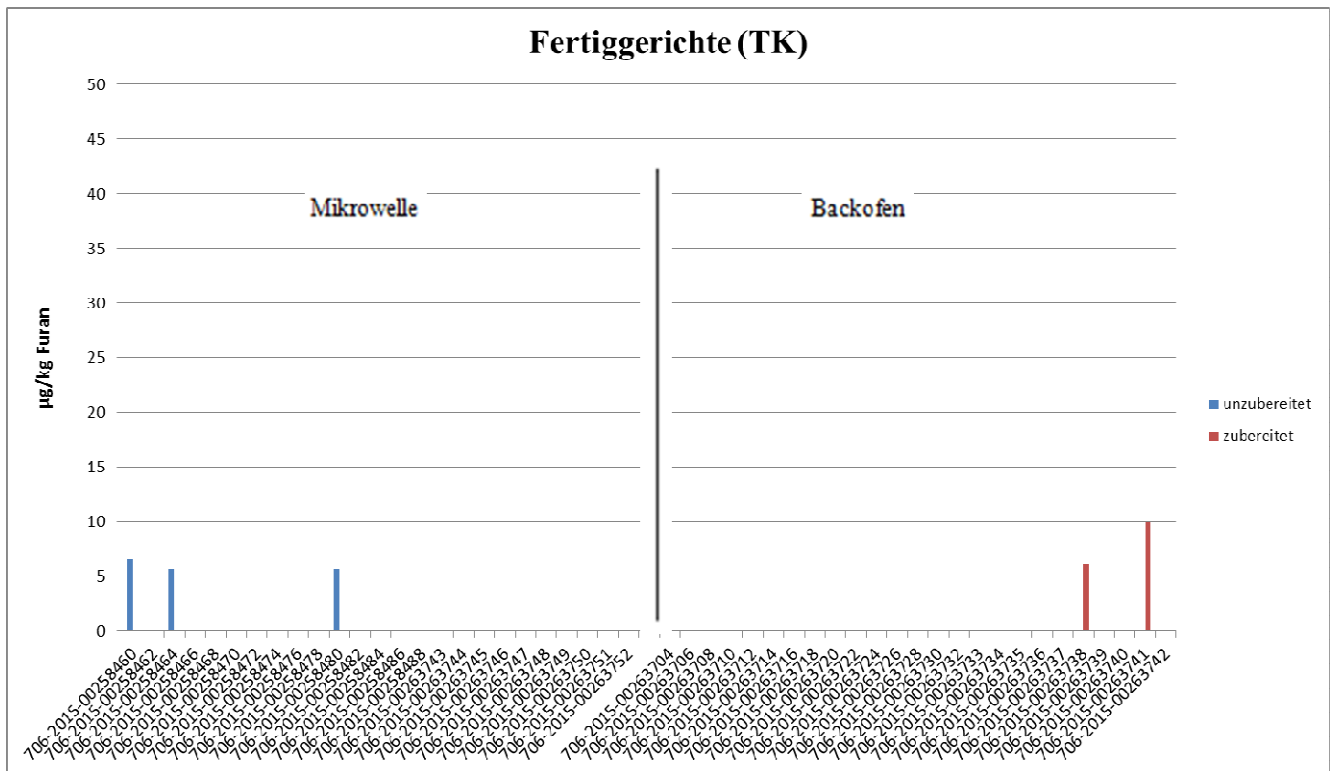


Abbildung 16: Furangehalt [µg/kg] in Fertiggerichten (TK, Zubereitung Mikrowelle und Backofen)

5.4 Arbeitspaket 4: M7 Brot II (Toastbrot)

Im nachfolgenden sind die Ergebnisse des Arbeitspakets 4 in einer Übersicht (Tabelle 12) dargestellt.

In der Tabelle sind sowohl die statistischen Werte für Proben mit einem Furangehalt oberhalb der Bestimmungsgrenze von 5 µg/kg (= Anzahl der Proben mit positivem Furangehalt) als auch Proben, in denen kein Furan bestimmt werden konnte (= Anzahl aller untersuchten Proben inkl. Bestimmungsgrenze von 5 µg/kg), dargestellt. Die erweiterte Messunsicherheit (k=2; 95%) der Einzelergebnisse liegt je nach Furan-Konzentration bei 40 - 60%. Die erweiterte Messunsicherheit nahe der Bestimmungsgrenze von 5 µg/kg liegt bei 50 - 80%.

	n	Min	Max	Mittelwert	Median
Toastbrot (N = 120)	41*	5,2	190	61	49
	120**	5	190	24	5
Unzubereitet (N = 30)	1*	8	8	8	8
	30**	5	8	5	5
niedrige Röststufe (2) (N = 30)	0*	< 5	< 5	< 5	< 5
	30**	5	5	5	5
mittlere Röststufe (4) (N = 30)	11*	5,2	18	8	6
	30**	5	18	6	5
hohe Röststufe (6) (N = 30)	30*	11	190	80	83

Tabelle 12: Zusammenfassung Furangehalte [µg/kg] in Toastbrot

N = Anzahl aller untersuchter Proben

n = Anzahl Proben in Statistik

* Anzahl Proben mit positivem Furangehalt

** Anzahl aller untersuchten Proben inkl. Bestimmungsgrenze von 5 µg/kg

Die ermittelten Furangehalte in Toastbrot lagen zwischen kleiner BG bis hin zu maximal 190 µg/kg. Die Werte zeigen, dass im unzubereiteten Toastbrot sowie dem auf niedriger und mittlerer Röststufe zubereiteten Toastbrot kein oder nur ein geringer Furangehalt von maximal 18 µg/kg (mittlere Röststufe) bestimmt werden konnte, die Mittel- und Medianwerte lagen hier bei maximal 8 µg/kg .

In allen Proben die auf hoher Röststufe zubereitet wurden, wurde Furan nachgewiesen, die Werte lagen sich zwischen 11 µg/kg und 190 µg/kg mit einem Mittelwert von 80 µg/kg und einem Median von 83 µg/kg. Der Bräunungsgrad der Toastbrotproben wurde mittels Fotodokumentation festgehalten, die Fotos sind in Anhang 4 zu finden.

In der nachfolgenden Abbildung 17 sind die einzelnen Röststufen (unzubereitet, niedrige, mittlere und hohe) dargestellt.

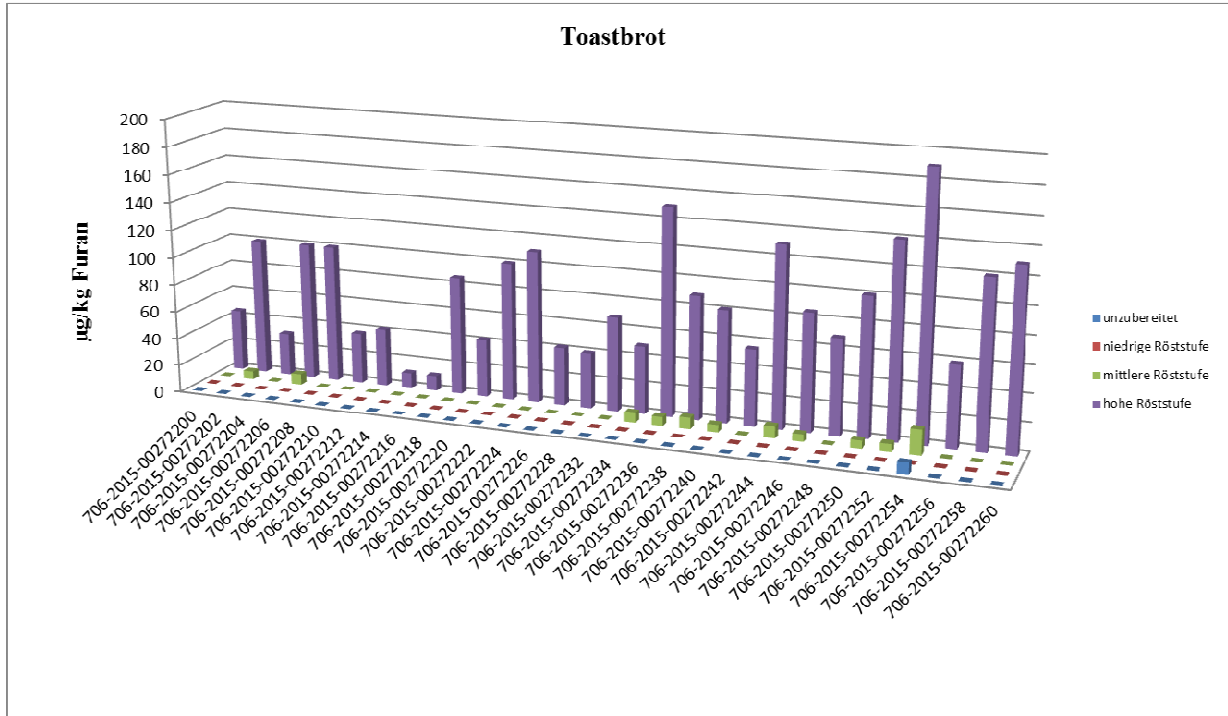


Abbildung 17: Furangehalt [µg/kg] in Toastbroten (unzubereitet, niedrige/mittlere/hohe Röststufe)

6. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Im folgenden Abschnitt werden die ermittelten Ergebnisse interpretiert und mit erwarteten Ergebnissen abgeglichen. Des Weiteren werden Abschätzungen zur Verbraucherexposition erstellt, welche die Grundlage einer Empfehlung zur Verwertung der Ergebnisse darstellen.

6.1 Arbeitspaket 1: M2 Kaffee

6.1.1 Vergleich der Ergebnisse mit Daten anderer Institutionen

Die in Kapitel 5 dargestellten Furangehalte bestätigen Messungen anderer Institutionen, die aufzeigen, dass Kaffee zu den Lebensmittelgruppen mit den höchsten Furangehalten gehört (EFSA 2009, Kuballa 2009). Auch in dieser Studie wurden in Kaffeebohnen, insbesondere jedoch in Espressobohnen, Werte bis zu 7200 µg/kg gemessen. Studien der EFSA 2009 zeigten Maximalgehalte von 6500 µg/kg. Auch der Mittelwert von 2271 µg/kg korreliert sehr gut mit den erhaltenen Ergebnissen dieser Studie von 2300 µg/kg im Mittel und 2200 µg/kg im Median von allen 45 untersuchten Kaffeepulvern. In Untersuchungen von Kuballa 2009 wurden in frisch gemahlene Kaffeebohnen Werte bis zu 6100 µg/kg Furan gemessen. Der Mittelwert aller untersuchten Kaffeepulver lag bei 1900 µg/kg und bestätigt damit ebenfalls die Größenordnung der Ergebnisse der vorliegenden Studie.

6.1.2 Transferrate - geschlossene / offene Systeme

Die höchsten Furangehalte in zubereiteten Kaffeegetränken sind in Aufgüssen automatischer Kaffeemaschinen zu finden (EFSA, 2009). Zur Überprüfung der Aussage wurde neben der Messung von Furangehalten in Bohne, Pulver und Getränk auch eine Auswertung der Transferrate in den verschiedenen Kaffeebrühsystemen durchgeführt. Die Transferraten der automatisierten (geschlossenen) Kaffeesysteme lagen im Mittelwert mit 34 (Espressobohnen Vollautomat) bis 88% (Kaffeekapsel-Maschine Typ 2) höher als die Raten bei der klassischen Kaffeemaschine (offenes System) mit 37% im Mittel. Dies kann dadurch erklärt werden, dass die flüchtige Verbindung Furan bei der langsamen, offenen Zubereitung entweichen kann. Bei geschlossenen Systemen hingegen ist der Verlust durch Verdunstung erschwert. Die höchsten mittleren Transferraten werden bei der Zubereitung von Vollautomatenkaffee (Pulver 75% / Bohne 86%) und Convenience-Kapsel-Systemen erreicht (Typ 1 72% / Typ 2 88%).

Einzig die Transferrate der Espresso-Bohnen aus dem Vollautomaten ist ebenfalls vergleichbar niedrig zum klassischen Filterkaffee. Eine Begründung hierfür kann im hohen Verhältnis von Espresso zu Wasser (10g/49g), sowie in den hohen Furan Ausgangsgehalten der Espresso-Bohnen liegen. Beide Faktoren erschweren eine erschöpfende Extraktion. Bei niedrigerer Espresso-Menge wie z.B. beim ESPRESSOPULVER im Vollautomaten (7,5g/49g) werden höhere, mittlere Transferraten (62%) erreicht.

Die hohen Schwankungsbreiten sowie Werte über 100% können mit der erweiterten Messunsicherheit begründet werden, da in die Berechnung der Transferrate 2 Messwerte (Getränk + Kaffee) einfließen. Des Weiteren muss auch die Ungenauigkeit der Geräte in Bezug auf Wasser und Kaffeemenge beachtet werden.

6.1.3 Verbraucherexposition

Zur Berechnung der Verbraucherexposition werden erhobene Verzehrsmengen der EFSA (2013) zugrunde gelegt. Für Kaffeegetränke wurde eine chronische, tägliche Aufnahmemenge im Mittel von 241,69 g erhoben. Dies entspricht der Menge von 1-2 Tassen à 150 g pro Tag. Für die Gruppe der Vielverzehrer (P95) liegt der Wert bei 1117,60 g pro Tag, was etwa 8 Tassen pro Tag entspricht. Für Espressogetränke liegen keine Daten vor. Es wird daher mit einer geschätzten Verzehrsmenge von 1 Tasse pro Tag à 50 g gerechnet (Tabelle 13).

Die höchste, mittlere Verbraucherexposition von 46 µg pro Tag wird bei dem Konsum von Kaffee aus Kaffeebohnen zubereitet im Vollautomaten erreicht. Die Exposition durch alle anderen Produkte und Zubereitungsarten liegt nicht einmal halb so hoch. Dies gilt auch für die deutlich höher belasteten Espressogetränke, was auf die geringer angesetzte Verzehrsmenge zurückzuführen ist.

Tabelle 13: Verbrauchereexposition aus zubereiteten Kaffeegetränken [$\mu\text{g}/\text{Tag}$] bei 241,69 g Kaffee und 50 g Espresso

	n	Min	Max	Mittelwert	Median
Kaffee (N = 60)	60	6,5	63	23	17
Kaffeepulver (Kaffeemaschine)	30	6,5	23	13	13
Kaffeepulver (Vollautomat)	15	13	31	20	19
Kaffeebohne (Vollautomat)	15	27	63	46	46
Espresso (N = 30)	30	5,5	28	16	16
Espressopulver (Vollautomat)	15	5,5	28	14	14
Espressobohnen (Vollautomat)	15	10	26	19	19
"Convenience-Produkte" (N = 30)	30	6,0	44	14	12
Kaffepad-Maschine (Kaffee)	10	8,7	31	16	14
Kaffeekapsel-Maschine Typ 1 (Espresso)	10	5,5	11	8,2	8,5
Kaffeekapsel-Maschine Typ 1 (variabel - berechnet als Kaffee)	10	6,0	44	18	14

N = Anzahl aller untersuchter Proben

n = Anzahl Proben in Statistik

6.2 Arbeitspaket 2: M3 Brot I, Snacks und Knabbergebäck

6.2.1 Vergleich der Ergebnisse mit Daten anderer Institutionen

Die Furanhalte dieser Studie bestätigen bislang veröffentlichte Werte, die aufzeigen, dass Furan in erhitzten Lebensmitteln auf Getreide- und Kartoffelbasis eine Rolle spielt (EFSA 2009), (BfR 2005) und Gehalte bis zu $100 \mu\text{g}/\text{kg}$ Lebensmittel erreicht werden können. Maximalwerte in Getreideprodukten (EFSA 2009) von bis zu $168 \mu\text{g}/\text{kg}$ wurden in der vorliegenden Arbeit in Knusperbrot (max. $220 \mu\text{g}/\text{kg}$) und Popcorn (max. $130 \mu\text{g}/\text{kg}$) erreicht. In Trockenfrüchten wurden trotz eingesetzter Trocknungsprozesse bei der Herstellung bisher nur niedrige Furanhalte festgestellt (EFSA 2009). Die überwiegende Anzahl der Messwerte lag unterhalb der Bestimmungsgrenze von $5 \mu\text{g}/\text{kg}$.

6.2.2 Verbraucherexposition

Zur Berechnung der Verbraucherexposition wurden erhobene Verzehrsmengen der EFSA (2013) zugrunde gelegt. Folgende mittlere, chronische Verzehrsmengen wurden anhand der Produktgruppe abgeleitet:

- Knäckebrot/Knusperbrot = 118,58 g/ Tag (EFSA 2013 – Brot und Brötchen)
- Zwieback = 44,40 g/ Tag (EFSA 2013 – Feine Backware)
- Reiswaffel/Puffreis = 3,67 g/ Tag (EFSA 2013 – Snacks)
- Popcorn = 3,67 g/ Tag (EFSA 2013 – Snacks)
- Chips = 3,67 g/ Tag (EFSA 2013 – Snacks)
- Trockenfrüchte = 2,38 g / Tag (EFSA 2013 – Trockenfrüchte)

Tabelle 14: Verbraucherexposition M3 [μg / Tag] auf Basis der täglichen Verzehrsmenge (EFSA 2013)

	n	Min	Max	Mittelwert	Median
Knäckebrot/ Knusperbrot (N = 30)	30	1,2	26	4,9	2,7
Knäckebrot	27	1,2	7,2	3,1	2,6
Knusperbrot	3	18	26	21	20
Zwieback (N = 30)	26	0,31	2,1	0,70	0,56
Reiswaffeln/Puffreis/Puffweizen (N = 30)	27	0,02	0,40	0,13	0,11
Popcorn (N = 30)	30	0,03	0,48	0,21	0,20
Popcorn (verzehrfertig)	15	0,03	0,44	0,18	0,17
Popcorn (zubereitet)	15	0,12	0,48	0,24	0,22
Chips (N=30)	26	0,02	0,08	0,04	0,03
Getrocknete Früchte (N = 50)	11	0,01	0,06	0,03	0,02

N = Anzahl aller untersuchter Proben

n = Anzahl Proben in Statistik

Im Zusammenhang mit der erhöhten Belastung von gepufften oder extrudierten Snacks, kann für Hersteller empfohlen werden, die Herstellungstechnologie und die Temperaturbelastung der Produkte zu prüfen und gegebenenfalls zu optimieren.

6.3 Arbeitspaket 3: M6 Fertiggerichte, Suppen, Soßen

6.3.1 Vergleich der Ergebnisse mit Daten anderer Institutionen

Die in Kapitel 5 dargestellten Furan Gehalte bestätigen Messungen anderer Institutionen, die aufzeigen, dass Furan in Fertiggerichten, Suppen und Soßen relevant ist und Gehalte über 100 µg/kg in Convenience-Produkten erreicht werden können (BfR 2005). Maximale Furan Gehalte in Suppen und Soßen liegen nach EFSA (2009) ebenfalls bei Werten über 100 µg/kg und im Mittel bei 16 µg/kg (Soßen) und 24 µg/kg (Suppen).

In der vorliegenden Arbeit wurde in unzubereiteten Suppen-Konserven ein mittlerer Gehalt von 34 µg/kg und in Fertigsoßen von 11 µg/kg in vergleichbarer Konzentration bestätigt. Auch wurden Maximalgehalte von 130 µg/kg in Suppen-Konserven gemessen.

6.3.2 Verbraucherexposition

Zu Berechnung der Verbraucherexposition wurden erhobene Verzehrsmengen der EFSA 2013 zugrunde gelegt. Folgende mittlere, chronische Verzehrsmengen wurden anhand der Produktgruppe abgeleitet. Sofern keine offiziellen Verzehrsmengen vorlagen, wurden diese geschätzt:

- Fertiggerichte (Konserven) = 23,09 g/ Tag (Schätzung analog Fertigsuppen)
- Suppen (Konserven) = 23,09 g/ Tag (EFSA 2013 – Fertigsuppen)
- Soßen (Instant) = 8,79 g/ Tag (EFSA 2013 – Pikante Soßen)
- Suppen (Instant) = 23,09 g/ Tag (EFSA 2013 – Fertigsuppen)
- Soßen (fertig) = 8,79 g/ Tag (EFSA 2013 – Pikante Soßen)
- Fertiggerichte (TK) = 23,09 g/ Tag (Schätzung analog Fertigsuppen)

Tabelle 15: Verbrauchereexposition M6 [µg/ Tag] auf Basis der täglichen Verzehrsmenge (EFSA 2013)

	n	Min	Max	Mittelwert	Median
Fertiggerichte (Konserve) (N = 80)	80*	0,12	3,2	0,84	0,70
unzubereitet	30*	0,21	2,5	0,86	0,77
Herd	25*	0,12	2,3	0,74	0,62
Mikrowelle	25*	0,21	3,2	0,92	0,72
Suppen (Konserve) (N = 80)	78*	0,15	3,0	0,81	0,61
	80**	0,12	3,0	0,79	0,60
unzubereitet	30*	0,21	3,0	1,2	1,1
	-				
Herd	23*	0,17	0,85	0,43	0,37
	25**	0,12	0,85	0,40	0,35
Mikrowelle	25*	0,15	1,8	0,65	0,53
	-	-	-	-	-
Instantsoßen (N = 80)	5*	0,05	0,12	0,08	0,07
	40**	0,04	0,12	0,05	0,04
unzubereitet	5*	0,05	0,12	0,08	0,07
	15**	0,04	0,12	0,05	0,04
Herd	0*				
	25**	0,04	0,04	0,04	0,04
Instantsuppen (N = 40)	4*	0,12	0,30	0,19	0,18
	40**	0,12	0,30	0,12	0,12
unzubereitet	4*	0,12	0,30	0,19	0,18
	15**	0,12	0,30	0,16	0,12
Herd	0*				
	25**	0,12	0,12	0,12	0,12
Fertigsoßen (Glas/ Tetrapak) (N = 40)	70*	0,04	0,39	0,11	0,08
	80**	0,04	0,39	0,10	0,07
unzubereitet	27*	0,05	0,36	0,12	0,08
	30**	0,04	0,36	0,11	0,08
Herd	20*	0,05	0,39	0,11	0,08
	25**	0,04	0,39	0,10	0,07
Mikrowelle	23*	0,04	0,26	0,09	0,07
	25**	0,04	0,26	0,09	0,07
Fertiggerichte (TK) (N = 40)	5*	0,13	0,23	0,16	0,14
	80**	0,12	0,23	0,12	0,12
unzubereitet	3*	0,13	0,15	0,14	0,13
	30**	0,12	0,15	0,12	0,12
Backofen	2*	0,14	0,23	0,19	0,19
	25**	0,12	0,23	0,12	0,12
Mikrowelle	0*				
	25**	0,12	0,12	0,12	0,12

N = Anzahl aller untersuchter Proben

n = Anzahl Proben in Statistik

* Anzahl Proben mit positivem Furangehalt

** Anzahl aller untersuchten Proben inkl. Bestimmungsgrenze von 5 µg/kg

6.3.3 Einfluss der Verpackung und der Herstellung auf den Furangehalt

Produkte in Konserven und andere luftdicht verschlossene Produkte wiesen durchschnittlich höhere Gehalte auf als Produkte, welche nicht luftdicht oder steril verpackt waren.

Die höchsten Gehalte bis zu 130 µg/kg wurden in Konserven festgestellt, die üblicherweise einer Hitzesterilisierung in der Verpackung unterzogen werden. Messwerte oberhalb der Bestimmungsgrenze von 5 µg/kg, die aber deutlich niedriger als bei Konserven liegen (max. 44 µg/kg), wurden in Fertigsoßen aus dem Glas, TetraPak oder Plastikfolie festgestellt. Bei diesen Produkten erfolgt üblicherweise keine Hitzesterilisierung in der Verpackung, sondern eine Heißabfüllung oder Pasteurisierung bei niedrigeren Temperaturen. Ein Einfluss der Verpackung Glas, TetraPak oder Plastikfolie auf den Furangehalt konnte in der Produktgruppe Fertigsoßen nicht nachgewiesen werden.

Die niedrigsten Gehalte wurden in Instantprodukten (max. 13 µg/kg) und Tiefkühlprodukten (max. 10 µg/kg) gemessen.

Diese Abstufungen erscheinen logisch, da Furan in geschlossenen, erhitzten Systemen angereichert wird, wie dies insbesondere bei Konserven und luftdicht abgeschlossenen Produkten der Fall ist. Des Weiteren erfolgt die starke Erhitzung zur Sterilisierung von Konserven im geschlossenen System, so dass neu gebildetes Furan nicht entweichen kann.

Bei Heißabfüllungen wird das bei der Herstellung gebildete Furan eingeschlossen. Tiefkühlgerichte werden oft nur teilgegart in den Handel gebracht und die Verpackungen sind nicht immer luftdicht (z.B. Pappschachtel). Da sowohl wenig Furan bei der Herstellung gebildet wird, als auch ein Teil entweichen kann, ist der Furangehalt im Produkt niedrig. Der niedrige Gehalt in trockenen Instantprodukten kann nicht auf die Verpackung zurückgeführt werden, da diese meist in luftdichten, aluminiumkaschierten Tüten in den Verkehr gebracht werden. Die niedrige Belastung ist wahrscheinlich auf die eingesetzten trockenen Rohwaren (z.B. Kräuter/Gemüse, Würze, Verdickungsmittel) zurückzuführen. Die Abfüllung erfolgt nicht heiß, zudem ist die Oberfläche der Produkte hoch, so dass Furan im Prozess der Abfüllung nicht vermehrt gebildet wird, sondern eher reduziert werden kann.

6.3.4 Einfluss der Zubereitung

Produkte des M6 wurden, sofern vorhanden, nach Herstellerangabe auf dem Herd (Topf), in der Mikrowelle (Schüssel) oder im Backofen zubereitet.

Durch keine der genannten Zubereitungsarten wurde der Furangehalt deutlich erhöht. Einzelne Messwerte liegen nach Zubereitung höher als vor der Zubereitung, dies kann jedoch mit der erweiterten Messunsicherheit ($k=2$; 95%) der Einzelergebnisse von 40 - 60% erklärt werden. In dieser Auswertung (Tabelle 17) werden anders als in Kapitel 5.3 dargestellt nur die gepaart gemessenen Proben (unzubereitet/zubereitet) betrachtet.

Tabelle 16: Vergleich des Furangehaltes gepaart gemessener Proben M6 vor und nach Zubereitung [$\mu\text{g}/\text{kg}$]

	n*	Min	Max	Mittelwert	Median
Fertiggerichte (Konserve) (N=60)					
unzubereitet	15	9	66	38	39
Herd	15	15	99	38	33
unzubereitet	15	13	110	37	31
Mikrowelle	15	11	140	44	40
Suppen (Konserve) (N=60)					
unzubereitet	15	9	130	50	36
Herd	15	8	33	17	15
unzubereitet	15	12	100	57	50
Mikrowelle	15	12	77	34	28
Instantsoßen (N=30)					
unzubereitet	5	5	14	9	8
Herd	0	-	-	-	-
Instantsuppen (N=30)					
unzubereitet	4	5	13	8	8
Herd	0	-	-	-	-
Fertigsoßen (Glas/ Tetrapak) (N=60)					
unzubereitet	12	6	41	14	10
Herd	10	6	32	11	8
unzubereitet	15	6	35	13	9
Mikrowelle	13	5	30	11	9
Fertiggerichte (TK) (N=60)					
unzubereitet	0	-	-	-	-
Backofen	0	-	-	-	-
unzubereitet	3	6	6	6	6
Mikrowelle	0	-	-	-	-

* Anzahl Proben mit positivem Furangehalt

Herd (Topf):

Die Zubereitung im offenen Kochtopf auf dem Herd hatte je nach Produktgruppe unterschiedlich starken Einfluss auf den Furangehalt.

Der Einfluss der Zubereitung variierte im Mittel von einem gleichbleibenden Furangehalt (+/- 0%) für Fertiggerichte (Konserven), über eine geringfügige Reduzierung (-21%) bei Fertigsoßen und einer deutlichen Reduzierung (-66%) bei Suppen (Konserven). Auch bei Instantprodukten war eine deutliche Reduzierung festzustellen, diese kann auf den Verdünnungsprozess bei der Zubereitung zurückgeführt werden und weniger auf den Erhitzungsprozess bei der Zubereitung.

Eine eindeutige Erklärung für die unterschiedlichen Reduzierungsraten kann aufgrund der Heterogenität der Produkte innerhalb der Produktgruppen nicht gegeben werden.

Ein Einfluss der erreichten Zubereitungstemperatur sowie des Umrührens wurde stichpunktartig geprüft. Ein deutlicher Zusammenhang ergab sich nicht. Auch ein Zusammenhang zu fleischhaltigen und fleischlosen Produkten zeigte sich nicht.

Dass die Textur einen Einfluss auf die Freisetzung von Furan haben kann ist zu vermuten, da Furan aus stückigen Bestandteilen schlechter entweichen kann als aus flüssigen Bestandteilen. Dafür spricht dass Suppen eine höhere mittlere Abnahme zeigen als Fertiggerichte. Auch könnte die Zusammensetzung der Produkte z.B. hinsichtlich Protein-, Kohlenhydrat- und Fettgehalt eine Rolle spielen, all diese Faktoren müssten jedoch in weiteren Untersuchungen systematisch auf ihren Einfluss hinsichtlich des Furangehaltes untersucht werden, um einen Zusammenhang auszuschließen oder herzustellen.

Mikrowelle (Schüssel):

Die Zubereitung in der Mikrowelle in einer abgedeckten Porzellanschüssel hatte je nach Produktgruppe unterschiedlich starken Einfluss auf den Furangehalt. Generell fiel die Änderung des Furangehaltes bei der Zubereitung in der Mikrowelle etwas niedriger aus als bei der Zubereitung auf dem Herd (Topf).

Der Einfluss der Zubereitung variierte im Mittel von einer leichten Zunahme im Furangehalt (+19%) für Fertiggerichte (Konserven), über eine geringfügige Reduzierung (-15%) bei Fertigsoßen und einer mittelstarken Reduzierung (-40%) bei Suppen (Konserven). Fertiggerichte (TK) zeigten ebenfalls eine Reduzierung, diese muss aber vor allem auf die

geringen Gehalte im unzubereiteten Produkt zurückgeführt werden und weniger auf die Form der Zubereitung. Ein Zusammenhang kann daher nicht festgestellt werden.

Eine eindeutige Erklärung für die unterschiedlichen Reduzierungsraten kann aufgrund der Heterogenität der Produkte innerhalb der Produktgruppen nicht gegeben werden.

Ein Einfluss der erreichten Zubereitungstemperatur sowie des Umrührens wurde stichpunktartig geprüft. Ein deutlicher Zusammenhang ergab sich nicht. Auch ein Zusammenhang zu fleischhaltigen und fleischlosen Produkten zeigte sich nicht.

Dass die Textur einen Einfluss auf die Freisetzung von Furan haben kann ist zu vermuten, da Furan aus stückigen Bestandteilen schlechter entweichen kann als aus flüssigen Bestandteilen. Dafür spricht, dass Fertiggerichte in der Mikrowelle eine Zunahme zeigen und Suppen ein Abnahme - sowohl in der Mikrowelle als auch auf dem Herd. Die leichte Zunahme im Furangehalt bei Fertiggerichten legt nahe, dass sich bei der Zubereitung ein Gleichgewicht zwischen Furan-Neubildung und Furan-Reduzierung (Verdunstung) einstellt. Folgende Zusammenhänge können vermutet werden: Da die Erhitzung in der Mikrowelle vor allem im Inneren des Produktes geschieht, kann auch hier in stückigen Bestandteilen neues Furan durch punktuell hohe Temperaturen gebildet werden und sich anreichern. Die Neubildung läge in dem Fall im Mittel höher als die Verdunstung. Die Erhitzung im Topf findet dagegen am Boden und den Seiten statt, so dass flüssige Bestandteile des Produktes stärker erwärmt werden als stückige Bestandteile. Auch könnte die Zusammensetzung der Produkte z.B. hinsichtlich Protein-, Kohlenhydrat- und Fettgehalt eine Rolle spielen.

Des Weiteren kann vermutet werden, dass Furan aus dem offenen System „Topf ohne Deckel“ besser entweichen kann als aus dem System „abgedeckte Schüssel in geschlossener Mikrowelle“, so dass die Reduzierung des Furangehaltes im Topf deutlicher ausfällt. Die Zubereitungsdauer in der Mikrowelle ist meist kürzer als auf dem Herd, was ebenfalls dazu führen kann, dass weniger Furan entweicht als aus dem zubereiteten Produkt im Topf. All diese Faktoren müssten jedoch in weiteren Untersuchungen systematisch auf ihren Einfluss hinsichtlich des Furangehaltes untersucht werden, um einen Zusammenhang auszuschließen oder herzustellen.

Backofen:

Die Zubereitung im Backofen erfolgte nur für TK Fertiggerichte.

Die nach Herstellerangabe zubereiteten Produkte wiesen nach der Zubereitung keine erhöhten Furangehalte auf. Mögliche Erklärungen wären hierfür, dass bei produktgemäßer Zubereitung die Bildung von Furan keine Rolle spielt oder/und, dass das an der Oberfläche gebildete Furan im Backofen gut entweichen kann. Es wurden keine Produkte mit verlängerter Backzeit und damit stärkerer Bräunung untersucht. Ein reduzierender Einfluss der Zubereitung auf das Produkt konnte nicht geprüft werden, da die Produkte bereits im ungegarten Zustand kaum mit Furan belastet waren. Ein Unterschied zwischen den Zubereitungsformen als auch ein Einfluss der Zubereitung auf den Furangehalt konnte nicht festgestellt werden.

6.4 Arbeitspaket 4: M7 Brot II (Toastbrot)

6.4.1 Vergleich der Ergebnisse mit Daten anderer Institutionen

Die oben gezeigten Furangehalte bestätigen Messungen des National Food Institute, Denmark (DTU 2009), die aufzeigen, dass Furan in geröstetem Brot eine Rolle spielt und abhängig vom Röstgrad Gehalte über 100 µg/kg gebildet werden können. Durch das DTU (2009) wurden maximale Furangehalte in schwarz geröstetem Toast von 179 µg/kg gemessen. In der vorliegenden Arbeit zeigten sich Gehalte von bis zu 190 µg/kg Furan und bestätigen damit die Ergebnisse aus dem Jahr 2009.

6.4.2 Bräunungsgrad

Von zentraler Bedeutung für die Bildung von Furan in Brot ist die Bräunungsreaktion. Eine deutliche Bildung von Furan setzt erst bei starker, dunkel-brauner Röstung auf hoher Röststufe ein. In der vorliegenden Arbeit konnte ein Zusammenhang vom Furangehalt im gerösteten Toast und dessen Bräunungsgrad festgestellt werden.



Abbildung 18: Beispiel Toastbrotsscheiben (ungetoastet, drei Röststufen)

6.4.3 Verbraucherexposition

Zu Berechnung der Verbraucherexposition wurden erhobene Verzehrsmengen der EFSA (2013) zugrunde gelegt. Folgende mittlere, chronische Verzehrsmengen werden anhand der Produktgruppe abgeleitet:

- Toastbrot = 118,58 g/Tag (EFSA 2013 – Brot und Brötchen)

Tabelle 17: Verbraucherexposition M7 [$\mu\text{g}/\text{Tag}$] auf Basis der täglichen Verzehrsmenge (EFSA 2013)

	n	Min	Max	Mittelwert	Median
Toastbrot (N = 120)	41*	0,62	23	7,2	5,8
	120**	0,59	23	2,9	0,59
Unzubereitet (N = 30)	1*	0,97	0,97	0,97	0,97
	30**	0,59	0,97	0,61	0,59
niedrige Röststufe (2) (N = 30)	0*	-	-	-	-
	30**	0,59	0,59	0,59	0,59
mittlere Röststufe (4) (N = 30)	11*	0,62	2,1	0,90	0,74
	30**	0,59	2,1	0,70	0,59
hohe Röststufe (6) (N = 30)	30*	1,3	23	9,5	9,8

N = Anzahl aller untersuchter Proben

n = Anzahl Proben in Statistik

* Anzahl Proben mit positivem Furangehalt

** Anzahl aller untersuchten Proben inkl. Bestimmungsgrenze von 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$

Die Aufnahme von Furan aus geröstetem Toastbrot ist einfach reduzierbar. Daher kann für alle Altersgruppen empfohlen werden auf den Konsum von dunkel-braun bis schwarz geröstetem Toast zu verzichten und stattdessen niedrige bis mittlere Röststufen (hell bis mittelbraun) zu bevorzugen.

7. Zusammenfassung

Im Auftrag der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) für das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) führte die Eurofins WEJ Contaminants GmbH Analysen auf Furanhalte in verschiedenen Lebensmittelgruppen durch. Furan zählt zu den in Verordnung (EWG) Nr. 315/93 geregelten Kontaminanten, deren Vorkommen im Lebensmittel auf ein Minimum zu begrenzen sind (ALARA-Prinzip: as low as reasonably achievable).

Gemäß der Zielstellung des Projektes wurden die mittleren Furanhalte für definierte Lebensmittelgruppen in verzehrfertigem bzw. zubereitetem Zustand bestimmt, interpretiert und der Einfluss der unterschiedlichen Zubereitungsverfahren auf die Furanhalte beschrieben. Dem Bundesministerium wurden damit Entscheidungshilfen zur Überprüfung des ALARA-Grundsatzes für Furan geliefert.

Im ersten Projektjahr wurden die Arbeitspakete „Kaffee (M2)“ und „Brot I, Snacks und Knabbergebäck (M3)“ in Einhaltung des vorgegebenen Zeitplans bearbeitet. Dies umfasste den Einkauf der Lebensmittelproben, die Zubereitung und Vorbereitung sowie die Analyse bis zur Auswertung und Interpretation der Daten.

Kaffeeprodukte wiesen in Übereinstimmung mit Literaturangaben hohe Furanhalte auf. Bei der Zubereitung von Kaffee- und Espressogetränken ging ein Anteil von 30% bis zu näherungsweise 90% des Furans in Abhängigkeit von Zubereitungsart und Wasser-Kaffee-Verhältnis in das Getränk über. Geschlossene Zubereitungssysteme wie Vollautomaten und Kapselsysteme wiesen eine höhere Transferrate auf als offene Systeme (klassische Filterkaffeemaschine). Generell waren Bohnen höher mit Furan belastet als vergleichbare im Handel erhältliche vorgemahlene Pulver. Das Übergangspotential für Furan zeigte sich somit bei Espresso-/Kaffeebohnen höher als bei Pulver. Bei der Kombination von Kaffeebohnen zubereitet in einem Vollautomaten wurden somit die höchsten Expositionsraten für Verbraucher erreicht.

Brot, Snacks und Knabbergebäck auf Getreide- und Kartoffelbasis zeigten überwiegend Furanhalte oberhalb der Bestimmungsgrenze, wiesen aber je nach Herstellungsverfahren unterschiedlich hohe Gehalte auf. Die höchsten Gehalte mit bis zu 220 µg/kg Furan konnten in gepufften oder extrudierten Produkten (Knusperbrot, Popcorn, Reiswaffeln) festgestellt werden. Andere Produkte der Gruppe M3 auf Getreide- und Kartoffelbasis wiesen deutlich

niedrigere Gehalte bis maximal 61 µg/kg Furan auf. Trockenfrüchte waren nur gering oder nicht belastet.

Die Erstellung des Zwischenberichts erfolgte anhand der geforderten Gliederung und innerhalb der Frist bis zum 22.07.2014.

In dem geführten Zwischengespräch am 02.07.2014 in Bonn wurden u.a. der aktuelle Bearbeitungsstand, die bisher gewonnenen Ergebnisse sowie der weitere Verlauf des Projekts erörtert.

Im zweiten Projektjahr wurden nach Absprache (u.a. über die Zubereitung) mit der BLE/ dem BMEL die Arbeitspakete „Fertiggerichte, Suppen, Soßen (M6)“, Brot II, Toastbrot (M7) sowie die 15 Popcornproben (M3), die in der Mikrowelle zubereitet wurden, bearbeitet. Dies umfasste den Einkauf der Lebensmittelproben, die Zubereitung und Vorbereitung sowie die Analyse bis zur Auswertung und Interpretation der Daten.

Bei der Untersuchung der Gruppe M6 Fertiggerichte, Suppen, Soßen zeigten sich große Unterschiede im Furangehalt abhängig vom Herstellungsprozess, der Verpackung und der Zubereitung. Da insbesondere die Gruppe der Fertiggerichte ein breites Spektrum an verfügbaren Produkten am Markt abdecken sollte, war diese sehr heterogen zusammengesetzt. Aus diesem Grund müssten einige Schlussfolgerungen z.B. zum Einfluss der Zusammensetzung der Produkte oder der Textur in weiteren Untersuchungen systematisch auf ihren Einfluss hinsichtlich des Furangehaltes untersucht werden, um einen Zusammenhang auszuschließen oder herzustellen.

Die höchsten Furangehalte mit bis zu 140 µg/kg wiesen Fertiggerichte und Suppen in Konserven auf. Geringere Gehalte zeigten Fertigsoßen. Instantprodukte sowie TK Fertiggerichte waren sehr gering oder nicht belastet. Hier ist ein Zusammenhang mit der Hitzebelastung bei der Herstellung im offenen System (z.B. Instantprodukt) oder geschlossenen System (Konserve) wahrscheinlich. Die Zubereitung stückiger Produkte in der Mikrowelle führt vermutlich zu einem geringen Anstieg im Furangehalt, wohingegen bei einer Zubereitung auf dem Herd der Gehalt nahezu unverändert bleibt.

Überwiegend flüssige Produkte zeigten im Mittel ausschließlich eine Reduktion des Furangehaltes bei der Zubereitung. Im Mittel wurden Abnahmen von bis zu 66% beobachtet. Die Reduktion bei der Zubereitung auf dem Herd (Topf) fiel im Mittel etwas höher aus als bei der Zubereitung in der Mikrowelle. Bei einer Zubereitung von TK Fertiggerichten im Backofen als auch in der Mikrowelle wurde keine Bildung von Furan beobachtet. Eine

Reduktion konnte aufgrund der niedrigen Ausgangsbelastung der Produkte nicht festgestellt werden.

Die Untersuchungen von Toastbrot nach Zubereitung zeigten deutliche Einflüsse der Röstung und der Bräunung auf den Furangehalt. Eine Bildung von Furan bis zu Werten von 190 µg/kg erfolgte erst bei hoher Röststufe und braun-schwarzer Färbung des Toasts. Daher kann empfohlen werden Toast nur auf mittlerer Röststufe zu toasten. Eine Schwarzfärbung sollte vermieden werden.

Die Erstellung des hier vorliegenden Abschlussberichts erfolgte anhand der geforderten Gliederung und innerhalb der Frist bis zum 22.07.2015.

8. Gegenüberstellung „geplante/ erreichte Ziele“

Im Folgenden werden die erreichten Ziele für jedes Arbeitspaket einzeln dargestellt. Abweichungen vom Plan werden genannt und begründet. Um der BLE eine vereinfachte Eintragung der gewonnenen Daten in die Datenbank des BVL zu ermöglichen, wurde fristgerecht bis zum 15. Juni 2015 eine separate Exceldatei mit allen im Eurofins LIMS (Laboratory Information Management System) erfassten und gemessenen Probandaten an die BLE übermittelt.

8.1 Arbeitspaket 1: M2 Kaffee

Im ersten Projektjahr wurde das Arbeitspaket Kaffee (M2) in Einhaltung des vorgegebenen Zeitplans bearbeitet und die Ergebnisse an die BLE berichtet.

Zur Erfassung der Transferraten wurden im zweiten Projektjahr zusätzliche Daten über eingesetzte Kaffee- und Getränkemengen für den verwendeten Vollautomaten und die Convenience-Produkte erhoben. Da kaum Herstellerangaben vorlagen, wurden die Mengen gemessen oder über Näherungen errechnet. Auch dem Verbraucher ist es daher kaum möglich, die Stärke der Kaffee- und Espresso-Produkte anders als geschmacklich zu vergleichen.

Geplante Ergebnisse, Auswertungen, Bewertungen und Empfehlungen wurden mit dem vorliegenden Abschlussbericht an die BLE übergeben.

Tabelle 18: Übersicht Arbeitspaket 1 (M2)

Produkt	Anzahl vor der Zubereitung	Anzahl nach der Zubereitung	Status
Kaffeepulver (Filterkaffeemaschine)	30	30	√
Kaffeepulver (Vollautomat)	15	15	√
Kaffeebohnen (Vollautomat)	15	15	√
Espressopulver (Vollautomat)	15	15	√
Espressobohnen (Vollautomat)	15	15	√
Kaffeepads (Kaffeepad-Maschine)	10	10	√
Kaffeekapseln (Typ 1)	10	10	√
Kaffeekapseln (Typ 2)	10	10	√

8.2 Arbeitspaket 2: M3 Brot I, Snacks und Knabbergebäck

Im ersten Projektjahr wurde das Arbeitspaket Brot I, Snacks und Knabbergebäck (M3) in Einhaltung des vorgegebenen Zeitplans bearbeitet und die Ergebnisse an die BLE berichtet.

Nach Rücksprache mit der BLE wurden aufgrund geringer Produktvielfalt einige Produktgruppen erweitert. Zugefügt wurden Knusperbrot zur Gruppe Knäckebrötchen, Puffweizenprodukte zur Gruppe Reiswaffeln und Popcorn (zubereitet) zur Gruppe Popcorn (verzehrfertig). Des Weiteren erfolgte in Absprache mit der BLE die Bearbeitung der Produktgruppe Popcorn (zubereitet) erst im zweiten Projektjahr.

Geplante Ergebnisse, Auswertungen, Bewertungen und Empfehlungen wurden mit dem vorliegenden Abschlussbericht an die BLE übergeben.

Tabelle 19: Übersicht Arbeitspaket 2 (M3)

Produkt	Anzahl	Status
Knäckebrötchen/Knusperbrot	30	√
Zwieback	30	√
Reiswaffeln/ Puffreis/Puffweizen	30	√
Popcorn (verzehrfertig)	15	√
Popcorn (zubereitet)	15	√ (2015)
Chips	30	√
Getrocknete Früchte	50	√

8.3 Arbeitspaket 3: M6 Fertiggerichte, Suppen, Soßen

Im zweiten Projektjahr wurde das Arbeitspaket Fertiggerichte, Suppen und Soßen (M6) in Einhaltung des vorgegebenen Zeitplans bearbeitet und die Ergebnisse an die BLE berichtet.

Aufgrund der Heterogenität der Produktgruppen konnten nicht bei allen Gruppen eindeutige Zusammenhänge zwischen Furan Gehalt, Zusammensetzung und Zubereitungsart festgestellt werden.

Geplante Ergebnisse, Auswertungen, Bewertungen und Empfehlungen wurden mit dem vorliegenden Abschlussbericht an die BLE übergeben.

Tabelle 20: Übersicht Arbeitspaket 3 (M6)

Produkt	Anzahl vor der Zubereitung	Anzahl nach der Zubereitung	Status
Fertiggerichte in Konserven	30 ^{***}	50 *	√
Suppen in Konserven	30 ^{***}	50 *	√
Instantsoßen	15 ^{***}	25 (Herd)	√
Instantsuppen	15 ^{***}	25 (Herd)	√
Fertigsoßen (Glas)	30 ^{***}	50 *	√
TK-Fertiggerichte	30 ^{***}	50 **	√

* 25 x Herd, 25 x Mikrowelle

** 25 x Backofen, 25 x Mikrowelle

*** Proben gepaart gemessen

8.4 Arbeitspaket 4: M7 Brot II (Toastbrot)

Im zweiten Projektjahr wurde das Arbeitspaket Brot II (M7) in Einhaltung des vorgegebenen Zeitplans bearbeitet und die Ergebnisse an die BLE berichtet.

Geplante Ergebnisse, Auswertungen, Bewertungen und Empfehlungen wurden mit dem vorliegenden Abschlussbericht an die BLE übergeben.

Tabelle 21: Übersicht Arbeitspaket 4 (M7)

Produkt	Anzahl	Status
Toastbrot (unzubereitet)	30	√
Toastbrot (niedrige Röststufe)	30	√
Toastbrot (mittlere Röststufe)	30	√
Toastbrot (hohe Röststufe)	30	√

9 Literaturverzeichnis

Adams, A.; van Lancker, F.; Meulenaer, B.; Owczarek-Fendor, A.; Kimpe, N. (2012): On-fiber furan formation from volatile precursors: A critical example of artefact formation during Solid-Phase Microextraction, *Journal of Chromatography B* 897, S. 37–41

Altaki, M. S.; Santos, F. J.; Galceran, M. T. (2007): Analysis of furan in foods by headspace solid-phase microextraction–gas chromatography–ion trap mass spectrometry, *Journal of Chromatography A* 1146 (1), S. 103–109

Altaki, M. S.; Santos, F. J.; Galceran, M. T. (2009): Automated headspace solid-phase microextraction versus headspace for the analysis of furan in foods by gas chromatography–mass spectrometry, *Talanta* 78 (4-5), S. 1315–1320

Chaichi, M.; Mohammadi, A.; Hashemi, M. (2013): Optimization and application of headspace liquid-phase microextraction coupled with gas chromatography–mass spectrometry for determination of furanic compounds in coffee using response surface methodology, *Microchemical Journal* 108, S. 46–52

European Food Safety Authority (2009): Results on the monitoring of furan levels in food, *EFSA Scientific Report* 304, 1-23

Fromberg, A.; Fagt, S.; Granby, K. (2007): Furan in heat processed food products including home cooked food products and ready-to-eat products, *The National Food Institute, The Technical University of Denmark*

Hasnip, S.; Crews, C.; Castle, L. (2006): Some factors affecting the formation of furan in heated foods, *Food Additives and Contaminants* 23 (3), S. 219–227

Klaffke, H. (2005): Furan in Lebensmitteln - Nach Acrylamid ein weiteres herstellungsbedingtes Toxin ?!, *Bundesinstitut für Risikobewertung*, Präsentation (http://www.bfr.bund.de/cm/343/furan_in_lebensmitteln_nach_acrylamid_ein_weiteres_herstellungsbedingtes_toxin.pdf, letzter Zugriff 11.07.2015 13:31 Uhr)

Kuballa, T. (2007): Furan in Kaffee und anderen Lebensmitteln, *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit* (2), S.429-433

Nie, S.; Huang, J.; Zhang, Y.; Hu, J.; Wang, S.; Shen, M. (2013): Analysis of furan in heat-processed foods in China by automated headspace gas chromatography-mass spectrometry (HS-GC-MS), *Food Control* 30 (1), S. 62–68

O'Mahony, C.; Vilone, G. (2013): Compiled European Food Consumption Database, *European Food Safety Authority*, EN-415

Ridgway, K.; Lalljie, S.P.D.; Smith, R.M. (2010): The use of stir bar sorptive extraction - A potential alternative method for the determination of furan, evaluated using two example food matrices, *Analytica Chimica Acta* 657 (2), S. 169–174

Stadler, R.H.; Lineback, D.R. (2010): Process-Induced Food Toxicants Occurrence, Formation, Mitigation, and Health Risks, *John Wiley & Sons, Inc.*, S. 117-133

U.S. Food and Drug Administration (2004): Exploratory Data on Furan in Food, *Center for Food Safety and Applied Nutrition*

Vranová, J.; Ciesarová, Z. (2009): Furan in Food – a Review, *Czech Journal of Food Science* 27, S. 1–10

Wegener, J.; López-Sánchez, P. (2010): Furan levels in fruit and vegetables juices, nutrition drinks and bakery products, *Analytica Chimica Acta* 672 (1-2), S. 55–60