

Name	IGF - Zuwendungsbescheid Nr.
Forschungsgemeinschaft für Verpackungs- und Lebensmitteltechnik e.V.	07 03/686 60/915/09/5336/10/5337/11
Aktenzeichen IBS-3621b/180/2-IGF-0811-0004	

Abschlussbericht

Abschätzung der Exposition des bayerischen Verbrauchers durch
Verpackungskomponenten in den Lebensmitteln
Käse und Wurstwaren

(Akronym: Exposition Käse und Wurst)

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS	2
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	5
1 Projektmanagement	7
2 Zusammenfassung	10
3 Aufgabenstellung	13
4 Ziel des Forschungsvorhabens	15
5 Auslösungsgrund und Problembeschreibung	16
6 Ablauf der Arbeiten und Methoden.....	16
6.1 Arbeitsschritt 1 (AS1).....	16
6.1.1 Durchführung der lokalen Marktstudie (München, Jahr 2009)	16
6.1.2 Erfassung der physikalischen Parameter	18
6.2 Arbeitsschritt 2 (AS2).....	19
6.2.1 Analysen der Proben vom Markt	20
6.2.1.1 <i>Bestimmung der Migrantenkonzentration in der Verpackung und Materialidentifizierung</i>	20
6.2.1.2 <i>Bestimmung des Packstoffaufbaus</i>	21
6.2.2 Analysen der Proben von den Projektteammitgliedern	21
6.2.2.1 <i>Informationen zum Packstoffaufbau</i>	21
6.2.2.2 <i>Bestimmung der Migrantenkonzentration in der Verpackung</i>	21
6.2.2.3 <i>Migrationsuntersuchungen</i>	22
6.3 Arbeitsschritt 3 (AS3).....	24
6.3.1 Informationen zu Verzehrsmengen	24
6.3.2 Informationen zum Körpergewicht der Bevölkerung	25
6.3.3 Verbraucherbefragung zum Konsum von Käse und Wurstwaren von der Frischetheke und aus dem Selbstbedienungsbereich	25
6.4 Arbeitsschritt 4 (AS4) und Validierungsschritt.....	26

6.4.1	Ermittlung der stochastischen Verteilungen	28
6.4.2	Berechnung der spezifischen Migration (SM)	29
6.4.2.1	<i>Diffusionskoeffizienten in den Verpackungsmaterialien und Lebensmitteln</i>	30
6.4.2.2	<i>Verteilungskoeffizienten</i>	36
6.4.2.3	<i>Physikalische Parameter</i>	42
6.4.2.4	<i>Chemische Parameter - die Ausgangskonzentrationen Cpo</i>	51
6.4.2.5	<i>Stochastische Berechnung der spezifischen Migration (SM)</i>	54
6.4.3	Validierungsschritt	58
6.5	Arbeitsschritt 5 (AS5)	59
7	Ergebnisse	67
7.1	Arbeitsschritt 1 (AS1)	68
7.1.1	Lokale Marktstudie (München, Jahr 2009)	68
7.1.2	Physikalische Parameter	72
7.1.3	Erfassung des chemischen Parameters Cpo-gesamt	76
7.2	Arbeitsschritt 2 (AS2)	77
7.2.1	Analysen der Proben vom Markt	77
7.2.1.1	<i>Bestimmung der Migrantenkonzentration in der Verpackung und Materialidentifizierung</i> ..	77
7.2.1.2	<i>Bestimmung des Packstoffaufbaus</i>	79
7.2.2	Analysen der Proben von den Projektteammitgliedern	80
7.2.2.1	<i>Informationen zum Packstoffaufbau</i>	80
7.2.2.2	<i>Bestimmung der Migrantenkonzentration in der Verpackung</i>	82
7.2.2.3	<i>Migrationsuntersuchungen</i>	82
7.3	Arbeitsschritt 3 (AS3)	85
7.3.1	Informationen zu Verzehrsmengen	85
7.3.2	Informationen zum Körpergewicht der Bevölkerung	86
7.3.3	Verbraucherbefragung zum Konsum von Käse und Wurstwaren von der Frischetheke und aus dem Selbstbedienungsbereich	87
7.4	Arbeitsschritt 4 (AS4)	90
7.4.1	Eingabeverteilungen für die physikalischen Parameter	90
7.4.2	Eingabeverteilungen der Diffusions- und Verteilungsparameter	94
7.4.3	Eingabeverteilungen für den chemischen Parameter Cpo	98
7.4.4	Verteilungen der spezifischen Migrationen	101
7.4.5	Validierung der berechneten spezifischen Migrationen	104

7.5 Arbeitsschritt 5 (AS5).....	108
8 Diskussion und Schlussfolgerungen	123
8.1 Erhebung und Auswertung der Daten.....	123
8.2 Validierung des Migrations- und Expositionsmodelles.....	136
8.3 Gegenüberstellung der Forschungsziele und der erzielten Ergebnisse.....	137
8.4 Erläuterung der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	137
8.5 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse für die mittelständischen Betriebe dieser Branchen aus Bayern.....	137
9 Anhang.....	139
9.1 Arbeitsschritt 1	139
9.1.1 Marktstudie (München, Jahr 2009).....	139
9.2 Arbeitsschritt 2	146
9.2.1 Analyse der Proben vom Markt: Zusammenfassung der Ergebnisse	146
9.3 Arbeitsschritt 3	147
9.3.1 Fragebogen: Verbraucherbefragung zum Konsum von Käse und Wurstwaren	147
9.3.2 Beispiele für Auswertungen der Verbraucherbefragung	148
9.4 Arbeitsschritt 4	150
9.5 Arbeitsschritt 5	180
10 Literaturverzeichnis	194

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ACN	Acetonitril
AS	Arbeitsschritt
aS	am Stück
ATBC	Acetyltributylcitrat
BVS	Bayerische Verzehrsstudie
BW	Body weight- Körpergewicht
Cpo	Gesamtkonzentration in einem Verpackungsmaterial
Cp1	Gleichgewichtskonzentration in der 1. Schicht einer Mehrschichtverpackung
Df	Diffusionskoeffizient im Lebensmittel
Dp	Diffusionskoeffizient im Polymer
dp	Gesamtdicke einer Verpackung
dp1	Dicke der 1. Schicht einer Mehrschichtverpackung
DEHA	Diethylhexyladipate
DEHM	Di-(ethylhexyl)-maleat
DCM	Dichlormethan
E	Exposition
ESA	Erucasäureamid
F	Food = Lebensmittel
FC	Food Consumption = Lebensmittelverzehr
FS	Fettsäure
HB	Hitzebehandlung (Brühprozess im Kunstdarm)
K	Kunststoff
Kpf	Verteilungskoeffizient Polymer-Lebensmittel
Kpp	Verteilungskoeffizient Polymer-Polymer
K-A	Sonstiger Käse
K-B	Frischkäse
KR	Kühlraum
KK	Kaschierkleber
KKK	Kaschierkleberkomponenten
mE	mit Etikett
MHD	Mindesthaltbarkeitsdatum
MHZ	Kontaktzeit zwischen Verpackung und Füllgut
oD	ohne Druck
OFh	Oberfolie hart
OFw	Oberfolie weich
P	Polymer
Pap	Papier
PA	Polyamid
PE	Polyethylene
PET	Polyethylenterephthalat
PT	Pasteurisations-Temperatur

RT	Raum-Temperatur
ρ	Dichte
SM	Spezifische Migration
SML	Spezifischer Migrationsgrenzwert (specific migration limit)
Sch	in Scheiben oder gerieben
t	Kontaktzeit Verpackung-Lebensmittel
t*	Lagerzeit beim Hersteller und im Handel
tv	Lagerzeit beim Verbraucher
T	Temperatur
UFh	Unterfolie hart
UFs	Summe der harten und weichen Unterfolien
UFw	Unterfolie weich
wK	weicher Kunststoff
W-A	Wurstwaren
W-B	Schinken
W-C	Speck

1 Projektmanagement

Das Forschungsprojekt „Exposition durch Verpackungskomponenten in Käse und Wurst“ wurde von April 2009 bis August 2011 in fünf Arbeitsschritten (AS) sowie einem abschließenden Validierungsschritt bearbeitet.

Während der Projektlaufzeit fanden vier Sitzungen des Projektbegleitenden Ausschusses statt, bei denen die Ergebnisse der laufenden Arbeiten präsentiert wurden sowie die weitere Vorgehensweise erklärt bzw. diskutiert wurde. Dem Projektbegleitenden Ausschuss gehörten fünf kleine und mittlere Unternehmen, fünf größere Unternehmen sowie das Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV an.

Zuwendungsnehmer

Forschungsgemeinschaft für Verpackungs- und Lebensmitteltechnik e.V. (FoGe)
Johann Prager (Vorstandsvorsitzender)
Schragenhofstr. 35
80992 München

Forschungsstelle

FABES Forschungs-GmbH für Analytik und Bewertung von Stoffübergängen
Anja Zülch, Dr. Monika Rüter, Dr. Peter Mercea, Dr. Otto Piringer
Schragenhofstraße 35
80992 München

Projektbegleitender Ausschuss**KMU**

Andechser Molkerei Scheitz GmbH
Gerd-Peter Simon
Biomilchstr. 1
82346 Andechs

Höhenrainer Delikatessen GmbH
Silvia Belgaid
Lauser Str. 1
83620 Großhöhenrain

JUMA GmbH
Nina Jungmayer
Industriestrasse 6
Postfach 10 86
94333 Geiselhöring

Sieber Gesellschaft für Wurst- und Schinkenspezialitäten mbH
Oliver Munz
Böhmerwaldstr. 55
82538 Geretsried

Schmid Folien GmbH & Co. KG
Johannes Schmid
Vornertweg 3
87463 Dietmannsried

Größere Unternehmen

Bayernland eG
Gerhard Hecht
Hauptstr. 71
88161 Lindenberg

CaseTech GmbH
Dr. Heinrich Henze-Wethkamp
Postbox 1653
29656 Walsrode

Constantia Hueck Folien GmbH & Co. KG
Dr. Dirk Kaczmarek
Pirkmühle 14-16
92712 Pirk

Cellpack Packaging GmbH
Oliver Nekola
Saarbrückerstr. 1c
67742 Lauterecken

Südpack Verpackungen GmbH & Co. KG
Peter Brass
Jägerstr. 23
88416 Ochsenhausen

Institut

Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV
Annika Seiler
Giggenhauser Straße 35
85354 Freising

2 Zusammenfassung

Lebensmittelverpackungen werden heutzutage nicht mehr allein für den Transport des Füllgutes eingesetzt, sondern sollen zudem den optimalen Qualitätserhalt der Lebensmittel garantieren, eine verbrauchergerechte Portionierung der Ware ermöglichen und in vielen Fällen die Funktion eines Werbeträgers übernehmen.

Käse und Wurstwaren sind ein wichtiger Bestandteil des Warenkorbes der bayerischen Verbraucher. Diese Waren werden heutzutage zu einem sehr hohen Anteil verpackt hergestellt und im Handel vertrieben. Die dazu verwendeten Verpackungen sind hauptsächlich Mehrschichtverbunde und dadurch eine nicht zu unterschätzende Quelle für die Exposition durch migrierende Substanzen.

Ziel dieses Projektes war, die Exposition der bayerischen Bevölkerung durch Verpackungskomponenten, die durch den Verzehr der Grundnahrungsmittel „Wurstwaren und Käseprodukte“ aufgenommen werden, möglichst realitätsnah abzuschätzen.

Um dieser gegebenen Komplexität der Verpackungen und Lebensmittel gerecht zu werden, wurden geeignete Methoden zur experimentellen Bestimmung der Migranten im Verpackungsmaterial und Füllgut erarbeitet sowie entsprechende Algorithmen zur Abschätzung von Migrations- und Expositionswerte entwickelt.

Im Rahmen der lokalen Marktstudie (AS1) wurden 3775 Käse- und Wurstverpackungen erfasst, wovon 1888 Käseverpackungen und 1887 Wurstverpackungen waren. Nach sorgfältiger Analyse der Daten, die zu den fast 4000 Verpackungen gesammelt wurden, wurden der Verpackungsaufbau und die Funktion der Verpackungen als Hauptkriterien für die Kategorisierung ausgewählt und die erfassten Verpackungen in 12 Typen eingeteilt.

Zur Erfassung der physikalischen Parameter wurden repräsentativ insgesamt 562 Wurst- und Käseverpackungen vom Markt genommen und bzgl. ihrer physikalischen Eigenschaften vermessen.

In Arbeitsschritt 2 (AS2) wurden experimentelle Analysen mit Verpackungen für Käse und Wurstwaren durchgeführt. Ziel dieser Untersuchungen war die Bestimmung des Packstoffaufbaus der Verpackungen und der Konzentration der potentiellen Migranten, C_{po}, in der Verpackung (für fast 450 Verpackungen) sowie im Lebensmittel bzw. im Lebensmittelsimulanz.

In Arbeitsschritt 3 (AS3) wurden Informationen zum Verzehr von Käse und Wurstwaren der Bayerischen Verzehrsstudie (BVS) II entnommen.

Um detaillierte Angaben zum Verzehr industriell verpackter und unverpackter Käse und Wurstwaren zu erhalten, wurde zudem in München eine Verbraucherbefragung zum Konsumverhalten durchgeführt. Auf Grundlage der gesammelten Daten konnte ein Verzehrsmuster differenziert nach den Aspekten Region, Alter und Geschlecht der Bevölkerung sowie Anteil verpackter und unverpackter Lebensmittel aufgestellt werden.

Um die Exposition des Verbrauchers durch Packstoffkomponenten in Käse und Wurst berechnen zu können, musste noch das Körpergewicht der Verbraucher ermittelt werden. Die Daten zum Körpergewicht der deutschen Bevölkerung konnten dem Mikrozensus 2009 entnommen werden.

In Arbeitsschritt 4 (AS4) erfolgte die mathematische Abschätzung der spezifischen Migration, SM, der zwei Leitsubstanzen Caprolactam und Kaschierkleberkomponenten aus den Verpackungen in die Käse- und Wurstwaren. Im Rahmen dieses Projektes wurden spezielle Algorithmen entwickelt, um die gestiegene Komplexität des Verpackungsaufbaus und der Struktur des Füllgutes berücksichtigen zu können und die Abschätzung der spezifischen Migration für jede potentiell migrierfähige Substanz und jeden Lebensmitteltyp zu ermöglichen. Ziel dieses Arbeitsschrittes war es, mit Hilfe der in AS1 und AS2 ermittelten Migrationsparameter die spezifischen Migrationen in den einzelnen Lebensmittelgruppen abzuschätzen. Dabei wurde berücksichtigt, dass alle Migrationsparameter keine fest definierten Werte sind, sondern eine gewisse Streuung zwischen einem Minimal- und Maximalwert haben. Folglich wurden für all diese Migrationsparameter stochastische Verteilungen generiert.

Im Rahmen dieses Berichtes ist es nicht möglich, eine exhaustive Präsentation all dieser Eingabeverteilungen zu machen. Um die SM von Caprolactam und KKK in den drei Wursttypen W-A, W-B und W-C und für Käsewaren K-A zu ermitteln, wurden über 1750 Verteilungen generiert. Aus diesen wurden danach mittels mehr als 140 GoldSim-Schemen (Software für die stochastische Berechnung der Verteilungen von definierten Parametern) die Eingabedaten für „Distribution KW“ stochastisch ausgewählt um letztendlich insgesamt 190 SM-Verteilungen in Käse und Wurst zu berechnen.

Als Schlussfolgerung für AS4 kann gesagt werden, dass die in diesem Projekt entwickelte stochastische Methode für die Abschätzung der SM in Käse- und Wurstverpackungen Ergebnisse liefert, die in einem guten Verhältnis mit der realen Migration stehen. Die Methode berücksichtigt - durch das Monte-Carlo Auswahlverfahren aus den Verteilungen der Eingabedaten - die Tatsache, dass es in der realen Praxis eine Vielfalt von Verpackungstypen und -größen, Lebensmittel-einwaagen, Cpo's, Kontaktbedingungen, usw. für jede einzelne Käse- oder Wurstware gibt. Deswegen erstrecken sich in den meisten Fällen auch die berechneten SM-Verteilungen über einen ziemlich breiten Bereich. Dies wurde auch durch die Validierungsexperimente bestätigt.

In Arbeitsschritt 5 (AS5) wurde auf Grundlage der Daten-Verteilungen zur spezifischen Migration (AS4) und zum Verzehr (AS3) die Verbraucherexposition mittels der speziell für dieses Projekt entwickelten und optimierten Algorithmen und Rechenmodule abgeschätzt.

Mit dieser Methode war es möglich, anhand einer ziemlich großen, aber begrenzten Anzahl von Daten Expositionsszenarien für bestimmte bayerische Bevölkerungsgruppen zu generieren. Die Expositionsabschätzungen wurden in Abhängigkeit von den Parametern Alter und Geschlecht durchgeführt. Diese beeinflussen nicht nur die Verzehrsmenge, sondern auch das Verzehrverhalten in Bezug auf industriell verpackte Ware aus dem Selbstbedienungsbereich sowie der Ware von der Frischetheke. Es war zudem möglich, auch regionale Unterschiede der Verbraucherexposition wie beispielsweise die Unterschiede zwischen Stadt und Land abzuschätzen.

Zusammenfassend lässt sich resummieren, dass die Exposition des bayrischen Verbrauchers mit Caprolactam aus Käse- und Wurstwaren zu über 99 % signifikant unter dem europäischen Grenzwert (SML) von 15 mg/kg Lebensmittel liegt.

Bei den toxikologisch nicht bewerteten Kaschierkleber-Komponenten (KKK) soll nach derzeitigem Wissensstand die tägliche Aufnahme $\leq 10 \mu\text{g/kg}$ Lebensmittel, welches ein EU-Bürger nach der EU-Konvention täglich isst, sein. Die ermittelten Expositionen mit KKK durch

Wurstwaren liegen z.B. für das dargestellte „worst-case-Szenario“ von 50% Speck am gesamten Wurstwarenverzehr für Männer zwischen 50 und 64 Jahren bei 0,426 µg/kg Körpergewicht. Bei einem Körpergewicht von 85 kg bedeutet dies eine KKK-Aufnahme von 36,2 µg, was den EU-Grenzwert von 10 µg/kg für toxikologisch nicht bewertete Substanzen deutlich überschreitet. Zudem sind hier noch Expositionen aus anderen verpackten Lebensmitteln zu erwarten. Für diese Substanzen sollte somit eine Minimierung durch die Verpackungshersteller angestrebt werden.

Die im Rahmen dieses Projektes erarbeiteten Eingabedatenverteilungen und Verteilungen der spezifischen Migrationen und Expositionen beinhalten Daten, die originell in diesem Projekt generiert und in dieser Form noch nie veröffentlicht oder präsentiert wurden. Sie wurden durch Marktstudien, Laborarbeit und Auswertung von Datenbanken und Daten aus internen FABES Projekten speziell für die Abschätzung der Exposition der bayerischen Verbraucher mit Caprolactam und Kaschierkleberkomponenten generiert. Diese Daten können aber auch für die Abschätzung von spezifischen Migrationen und Expositionen anderer Migranten, die sich in Käse- und Wurstverpackungen befinden, benützt werden. Dies kann als ein wichtiger Gewinn des Projektes betrachtet werden, denn auf Anfrage kann FABES nun solche Abschätzungen mit einem deutlich geringeren Aufwand durchführen. Es ist auch möglich, in den Rechenmodellen, die speziell entwickelt wurden, weitere Kriterien für die Auswertungen der Exposition einzubinden. Dies könnten z.B. Auswertungen sein, die gezielte bayerische Verbrauchergruppen betreffen, oder Auswertungen, die sich auf eine spezielle Untergruppe der Käse- und/oder Wurstwaren fokussieren. Die hohe Flexibilität der Algorithmen, die für die Berechnungen entwickelt wurden, ermöglicht es, (fast) alle erdenkbaren Expositionsszenarien berechnen zu können. FABES ist bereit, auf Anfrage solche gezielten Berechnungen durchzuführen.

Das Ziel des Forschungsvorhabens wurde erreicht.

3 Aufgabenstellung

Lebensmittelverpackungen werden heutzutage nicht mehr allein für den Transport des Füllgutes eingesetzt, sondern sollen zudem den optimalen Qualitätserhalt der Lebensmittel garantieren, eine verbrauchergerechte Portionierung der Ware ermöglichen und in vielen Fällen die Funktion eines Werbeträgers übernehmen. Besonders bei Lebensmitteln mit langer Mindesthaltbarkeit bildet das Füllgut mit der Verpackung von der Produktion bis zum Verbrauch über lange Zeit eine Einheit.

Neben der hohen Funktionalität muss zum Schutz des Verbrauchers natürlich auch die gesundheitliche Unbedenklichkeit von Lebensmittelverpackungen gewährleistet sein. Die Gesetzgebung fordert deshalb gemäß § 30 und 31 des Lebensmittel-, Bedarfsgegenstände- und Futtermittelgesetzbuches (LFGB) sowie Artikel 3 der europäischen Rahmenverordnung (EG, Nr. 1935/2004), dass keine Wechselwirkungen der Verpackungen mit den Lebensmitteln auftreten, die geeignet sind,

- die menschliche Gesundheit zu gefährden,
- eine unverträgliche Veränderung der Zusammensetzung der Lebensmittel herbeizuführen und
- eine Beeinträchtigung der organoleptischen Eigenschaften der Lebensmittel herbeizuführen.

Zu den Wechselwirkungen zählt insbesondere die Wanderung (Migration) von gesundheitlich bedenklichen Substanzen aus der Verpackung in das Füllgut. Sowohl aus technologischen als auch aus chemisch-physikalischen Gründen kann jedoch in der Praxis eine Migration von Substanzen aus Lebensmittelverpackungen in das Füllgut nicht vollkommen verhindert werden. Folglich nimmt der Endverbraucher eines verpackten Lebensmittels mit dessen Verzehr auch eine gewisse Menge von aus der Verpackung migrierten Substanzen zu sich. Auf nationaler und EU-Ebene gelten deshalb zum Schutze des Verbrauchers zum Teil klare Grenzwerte für die globale sowie spezifische Migration (SM) aus Verpackungen. Die Konformität von Lebensmittelverpackungen mit dieser Gesetzgebung wird überwiegend mittels experimentell-analytischer Methoden geprüft.

Um den steigenden Anforderungen durch die Gesetzgebung gerecht zu werden, kann neben der zeit- und kostenaufwändigen experimentellen Bestimmung in vielen Fällen auch eine mathematische Abschätzung der SM durchgeführt werden.

Die Migration von Verpackungskomponenten in das Lebensmittel hat eine Exposition des Endverbrauchers durch möglicherweise gesundheitsgefährdende Substanzen zur Folge. Die Höhe der Exposition hängt nicht nur von Menge der migrierenden Substanzen (SM), sondern auch von den Ernährungsgewohnheiten des Konsumenten, die sich aus dem individuellen Warenkorb ergeben (Σ Lebensmittel), sowie dessen Körpergewicht (body weight) ab. Mathematisch lässt sich die Verbraucherexposition durch die migrierenden Verpackungskomponenten mit folgender Gleichung beschreiben:

$$ExpE \left[\frac{mg}{Kg(BW) \cdot Tag} \right] = \frac{\sum LebensmittelverzehrFC \left[\frac{Kg}{Tag} \right] \cdot SM \left[\frac{mg}{kg} \right]}{KörpergewichtBW [kg]}$$

Exp = Exposition
 SM = Spezifische Migration
 Body weight (BW) = Körpergewicht

Gleichung 3-1: Formel zur Berechnung der Verbrauchereexposition

Bisher war eine Abschätzung der Verbrauchereexposition durch Packstoffkomponenten aus Nahrungsmitteln auf Grundlage von verfügbaren bzw. erhobenen Daten zur Verpackung von Lebensmitteln sowie den entsprechenden Verzehrsgewohnheiten der Verbraucher nur in Einzelfällen möglich. Dies lag vor allem daran, dass viele Eingabedaten, die für eine Expositionsabschätzung notwendig sind, nicht verfügbar und die entsprechenden Algorithmen und Computerprogramme noch nicht entwickelt waren.

In einem ersten Schritt konnte in einem vorangegangenen Projekt (Aktenzeichen 3621b-IBS/e-14412/06-IGF-0603-0002) eine Machbarkeitsstudie für ein Bewertungsverfahren hinsichtlich der Verbrauchereexposition durch Packstoffkomponenten aus Getränkeflaschen erfolgreich durchgeführt werden. Die Abschätzungen zur Erarbeitung dieses Konzeptes erfolgten anhand des Sonderfalles der Polyethylenterephthalat (PET) - Kunststoffflasche in Kontakt mit Getränken unterschiedlicher Sorten. Dabei konnte für die Berechnung der spezifische Migration und Auswertung der Exposition ein Zwei-Schichten-System, bestehend aus einer Monoschicht-Verpackung (PET) und einem flüssigen, homogenen Lebensmittel, angenommen werden. Die Ergebnisse dieser Studie zeigten eine gute Übereinstimmung zwischen den experimentellen und abgeschätzten Migrationswerten und erlaubten eine breit gefächerte Darstellung der Verbrauchereexposition nach den Kriterien Alter, Geschlecht und Verzehrsmuster der Getränkekonsumenten.

Auf dem Markt finden sich jedoch zunehmend komplexere Verpackungssysteme für Lebensmittel. Es handelt sich in der Regel um coextrudierte oder kaschierte Mehrschichtverbunde, die bedruckt oder mit Etiketten beklebt werden. Als Quelle potentiell migrierender Substanzen müssten deshalb für eine realitätsnahe Abschätzung der Verbrauchereexposition nicht nur das Verpackungsmaterial selbst, sondern unter anderem auch Schichten wie Kaschierkleber oder Heißsiegellacke, die Druckfarben sowie die Etiketten und deren Kleber in Betracht gezogen werden.

Neben den flüssigen Getränken, die ein relativ einfaches Einphasen-System darstellen, verzehrt der Konsument auch zähflüssige bis feste Lebensmittel, die oft aus mehreren Phasen bestehen. Eine Abschätzung der Verbrauchereexposition durch Stoffübergänge aus diesen komplexen und vielfältigen Verpackungssystemen in inhomogene, feste bis zähflüssige Lebensmittel wurde bis zu diesem Zeitpunkt noch nicht durchgeführt.

4 Ziel des Forschungsvorhabens

Käse und Wurstwaren sind ein wichtiger Bestandteil des Warenkorbes der bayerischen Verbraucher. Diese Waren werden heutzutage zu einem sehr hohen Anteil verpackt hergestellt und im Handel vertrieben. Die dazu verwendeten Verpackungen sind hauptsächlich Mehrschichtverbunde und dadurch eine nicht zu unterschätzende Quelle für die Exposition durch migrierende Substanzen aus deren Herstellungsmaterialien.

Ziel dieses Nachfolgeprojektes war, die Exposition der bayerischen Bevölkerung durch Verpackungskomponenten, die durch den Verzehr der Grundnahrungsmittel „Verpackte Wurstwaren und Käseprodukte“ aufgenommen werden, möglichst realitätsnah abzuschätzen.

Bei der Expositionsabschätzung sollte berücksichtigt werden, dass die meisten Verpackungen für Käse und Wurstwaren aus Mehrschichtverbunden bestehen, häufig bedruckt und mit Etiketten beklebt oder wiederverschließbar sind, d. h. mit einer Kleberschicht versehen sind. Deshalb enthalten diese Verpackungen eine Vielzahl an migrierfähigen Substanzen, die nicht nur aus der Kontaktschicht der Verpackung zum Lebensmittel stammen.

Im Unterschied zu den im Vorprojekt untersuchten Getränken erfolgt bei Käse und Wurstwaren der Stoffübergang in einen Festkörper mit zum Teil hohem Fettgehalt. Der größere Fettanteil im Lebensmittel hat zwar höhere Stoffübergänge zur Folge, jedoch läuft die Migration in festen Lebensmitteln langsamer ab als in flüssigen. Welche Parameter die Verbraucherexposition maßgeblich beeinflussen, sollte hierbei untersucht werden.

Die relativ kurzen Lagerzeiten dieser Lebensmittel und die Lagerung bei Kühltemperatur ermöglichen eine realistische Einschätzung der Kontaktzeiten zwischen Lebensmittel und Verpackung sowie eine Erfassung der möglichen Folgen von Temperaturabweichungen, wie beispielsweise durch eine Pasteurisation der Ware in der Verpackung.

Durch den deutschlandweiten Trend zu einem höheren Anteil an Kleinhaushalten steigt neben dem Konsum an Kleinverpackungen auch die Vielzahl an verschiedenen Kunststoff-Verbundverpackungen für die Wurst- und Käseprodukte. Der Anteil an Verpackungsmaterial, welcher zur industriellen Verpackung der Selbstbedienungsware eingesetzt wird, ist innerhalb der letzten zehn Jahre stark angestiegen. So wird im Selbstbedienungsbereich mittlerweile ungefähr sechsmal mehr Verpackung eingesetzt als im Frischethekenbereich (Quelle: Artikel Süddeutsche Zeitung Sa/So 19./20.02.2011, S. V2/4). Dieser Trend hat eine höhere Anzahl von potentiellen Stoffübergängen und dadurch eine zunehmende Verbraucherexposition zur Folge. Außerdem sind durch das große Oberflächen/Volumen-Verhältnis bei Kleinverpackungen größere Stoffübergänge pro Gewichtseinheit zu erwarten als bei Großpackungen.

Um dieser gegebenen Komplexität der Verpackungen und Lebensmittel gerecht zu werden, wurden geeignete Methoden zur experimentellen Bestimmung der Migranten im Verpackungsmaterial und Füllgut erarbeitet sowie entsprechende Algorithmen zur Abschätzung von Migrations- und Expositionswerte entwickelt.

5 Auslösungsgrund und Problembeschreibung

Ein wichtiger Auslösungsgrund für die Beantragung des Projektes war die Notwendigkeit, zusätzlich zu der bereits in der Praxis häufig angewandten experimentellen Bestimmung und Abschätzung der spezifischen Migration Erkenntnisse über die gesundheitliche Belastung des bayerischen Verbrauchers durch die orale Aufnahme von Problemsubstanzen aus Nahrungsmitteln zu sammeln. Dies sollte im Rahmen dieses Projektes am Beispiel der Grundnahrungsmittel Wurst und Käse erfolgen.

Um diese Verbraucherexposition erfassen zu können, mussten verschiedene Teilaspekte untersucht werden. Zunächst mussten alle Substanzen mit toxikologischer Relevanz im Verpackungsmaterial qualitativ bestimmt und gelistet werden. Anschließend musste die Menge der potentiellen Migranten (cp_0) in der Verpackung quantitativ erfasst und der zeitabhängige Übergang (spezifische Migration, SM) der Problemsubstanzen in die Lebensmittel untersucht bzw. abgeschätzt werden. In Verbindung mit den Informationen zum Lebensmittelverzehr und dem Körpergewicht war dann eine Abschätzung der Verbraucherexposition möglich.

6 Ablauf der Arbeiten und Methoden

Im Folgenden werden der Ablauf der Arbeiten und die angewandten Methoden in den einzelnen Arbeitsschritten erläutert. Abgesehen von den Projektteam-Mitgliedern wurde nicht mit anderen Forschungs- und Entwicklungsstellen zusammengearbeitet.

6.1 Arbeitsschritt 1 (AS1)

In AS1 wurden Informationen zur Verpackung von Käse und Wurstwaren gesammelt. Dies war notwendig, weil es z. Z. des Projektbeginns keine für den Zweck des Projektes geeignete Datensammlung vorhanden war.

Hierfür wurde zunächst eine lokale Marktstudie in München durchgeführt und erfasst, welche Verpackungen für Käse und Wurst verwendet werden. Anschließend wurden repräsentativ Proben vom Markt gezogen, um deren physikalische Parameter, die für die Abschätzung der Migration und Exposition benötigt werden, zu erfassen.

6.1.1 Durchführung der lokalen Marktstudie (München, Jahr 2009)

In zehn Filialen verschiedener Supermarktketten, die im Stadtgebiet von München repräsentativ vertreten sind, wurde ermittelt, welche Packstoffe für die Verpackung von Käse und Wurstwaren im Selbstbedienungsbereich eingesetzt werden. Neben vier großen Supermarktketten mit Vollsortiment wurden fünf Discounter sowie ein Bio-Supermarkt ausgewählt.

Für eine Datenerhebung im Supermarkt vor Ort musste die Zustimmung der jeweiligen Geschäftsführung eingeholt werden. Lag keine Einwilligung vor, wurden die Käse- und Wurstprodukte dieses Supermarktes eingekauft und die Daten im Labor der Forschungsstelle erfasst.



Abbildung 6-1: Käse- und Wurstverpackungen vom Markt.

Folgende Parameter wurden im Rahmen der Marktstudie erhoben (siehe Tabelle 6-1).

Tabelle 6-1: Erhebungsparameter der lokalen Marktstudie.

Parameter	Beispiel
Firmenname des Produktes	Firma X
Lagertemperatur	Kühlregal
Verpackungsmaterial	Stülp-Deckel: Kunststoff
	Platine: Aluminium mit Siegelack
	Becher: Polystyrol
Farbe des Verpackungsmaterials	Deckel: durchsichtig
	Becher: weiß
Bedruckung des Verpackungsmaterials in [%]/Oberfläche*	Deckel: 0%
	Platine: 100%
	Becher: 30%
Etikett auf Verpackungsmaterials in [%]/Oberfläche*	Deckel: 40%
	Platine: 0%
	Becher: 50%
Atmosphäre in der Verpackung	keine Angaben
Verschluss der Verpackung	aufgesiegelte Platine + Stülp- Deckel
Art des Füllguts	Frischkäse
Konsistenz des Füllguts	Creme
Fettgehalt [%]	24,5% absolut / 70% i. Tr.
Einwaage [g]	200g
Einkaufsdatum	14.05.2009
Mindesthaltbarkeitsdatum	09.07.2009

* visuell abgeschätzter Wert

Im Rahmen der Marktstudie wurden die oben genannten Parameter für insgesamt 3775 Käse- und Wurstverpackungen erfasst.

Folgende Kategorien wurden für die Beschreibung der Konsistenz des Füllgutes verwendet:

- Creme: cremige und pastöse Füllgüter, z. T. in einem Kunstdarm oder Becher verpackt
- am Stück: Füllgüter in einem Stück
- in Scheiben: in Scheiben geschnittene Füllgüter, inkl. geriebene Füllgüter

Anschließend wurden die Verpackungen entsprechend ihres Verpackungsaufbaus in zwölf Gruppen, die sogenannten Verpackungstypen, eingeteilt. Dies war ein wichtiger Schritt, um die Vielfalt der erhobenen Daten strukturieren zu können und so eine statistische Bearbeitung der Expositionsabschätzungen zu ermöglichen.

6.1.2 Erfassung der physikalischen Parameter

Zur Erfassung der physikalischen Parameter wurden repräsentativ insgesamt 562 Wurst- und Käseverpackungen vom Markt genommen (siehe Abbildung 6-2). Dabei wurde der Schwerpunkt auf das Sortiment einer großen Supermarktkette, eines Discounters sowie des Bio-Supermarktes gelegt.



Abbildung 6-2: Proben vom Markt.

Neben den Parametern, die auch schon im Rahmen der Marktstudie erhoben worden sind (siehe Tabelle 6-1), wurden folgende physikalische Parameter ermittelt: die Kontaktfläche, A (cm^2), zwischen Füllgut und Verpackungsmaterial und die Gesamtdicke des Verpackungsmaterials, d_p (μm). Das Volumen des Füllgutes, V_f (cm^3) wurde anhand der Einwaage, M_f (Gramm) und der Dichte des Lebensmittels, ρ_f (g/cm^3) ermittelt. Einer der Parameter, die für die Berechnung der spezifischen Migration gebraucht werden, ist die sogenannte eindimensionale Dicke des Lebensmittels/Füllgutes, d_f (μm). Diese wurde aus dem Verhältnis $d_f = V_f/A$ berechnet.

Die reale Kontaktzeit, t (Tage), zwischen Füllgut und Verpackung, von der Herstellung der Ware bis zu ihrem Verzehr, spielt eine sehr große Rolle bei der Bestimmung der Größe der SM.

Leider ist in der Praxis diese reale Kontaktzeit nur schwer zu ermitteln, da die notwendigen Informationen vom Hersteller, Händler und Käufer der Waren schwer zu bekommen sind. Folglich wurde im Rahmen dieses Projektes ein Algorithmus vorgeschlagen, mit dem die reale Kontaktzeit, t , mit Hilfe des Mindesthaltbarkeitsdatums (MHD), des Kaufdatums sowie der Lagerzeit beim Kunden abgeschätzt werden kann.

Die Kontaktzeit ist die Zeitspanne von Beginn der Mindesthaltbarkeit, d. h. dem Zeitpunkt des Abfüllens in die Verpackung bis zum Verzehr des Produktes und ist somit die Summe aus Lagerzeit des abgepackten Füllgutes beim Hersteller, Transportzeit und Lagerzeit im Handel sowie beim Kunden.

Das MHD und das Kaufdatum jedes Lebensmittels wurde bei der Probenentnahme erfasst. Für die Abschätzung der Lagerzeit beim Kunden wurde eine firmeninterne Studie durchgeführt. Dabei wurde über einen Zeitraum von zwei Monaten in 1-, 2- und 4-Personenhaushalten erfasst, wie lange und bei welcher Temperatur Wurst- und Käseverpackungen zwischen Einkauf und Verzehr beim Konsumenten gelagert wurden.

Anhand von Angaben der Projektpartner wurde angenommen, dass zwischen Zeitpunkt des Abfüllens von Käse und Wurst in die Verpackung bis zum Eintreffen der Ware im Laden durchschnittlich zehn Tage liegen.

Die Kontaktzeit zwischen Füllgut und Verpackung, MHZ, in Tagen wurde anschließend auf Basis der ermittelten und angenommenen Werte anhand folgender Gleichung abgeschätzt:

$$\text{MHZ [d]} = \frac{10 \text{ Tage} + \text{Lagerzeit ab Einkauf bis MHD}}{2} + \text{Lagerzeit beim Kunden}$$

Gleichung 6-1: Abschätzung der Kontaktzeit zwischen Füllgut und Verpackung MHZ.

Außerdem wurde die Gesamtdicke des Verpackungsmaterials d_p [μm] mittels elektronischer Schublehre, die Kontaktfläche, A , Füllgut-Verpackung [cm^2] und stichprobenartig die Dichte von Füllgütern [g/cm^3] ermittelt.

Die in AS1 erfassten Daten für M_f , A , d_p und t unterscheiden sich z. T. stark von Verpackung zu Verpackung. Betrachtet man einen der zwölf im Rahmen des Projektes definierten Verpackungstypen ergeben diese Unterschiede für jede dieser Daten eine gewisse Streuung, die als eine stochastische Verteilung betrachtet werden kann. Solche Verteilungen wurden anhand der gesammelten Daten für jeden dieser Parameter mathematisch berechnet und anschließend in AS4 als Eingabeparameter zur stochastischen Modellierung der Stoffübergänge in die Lebensmittel verwendet.

6.2 Arbeitsschritt 2 (AS2)

In diesem Arbeitsschritt wurden experimentelle Analysen mit Verpackungen für Käse und Wurstwaren durchgeführt. Ziel dieser Untersuchungen war die Bestimmung des Packstoffaufbaus der Verpackungen und der Konzentration der potentiellen Migranten in der

Verpackung sowie im Lebensmittel bzw. im Lebensmittelsimulanz nach Ablauf des Mindesthaltbarkeitsdatums.

6.2.1 Analysen der Proben vom Markt

Käse- und Wurst-Verpackungen werden häufig aus Polyolefinen (PO's) wie Polyethylen und Polypropylen sowie Polyamid (PA), Polyethylenterephthalat, (PET) und Polystyrol (PS) hergestellt. Zusätzlich können Zusatzstoffe wie zum Beispiel Gleitmittel, Antistatika oder Antibeschlag-Beschichtungen, Klebstoffe oder Druckfarben eingesetzt werden. Diese stellen eine potentielle Quelle für Migranten mit toxikologischer Relevanz und gesetzlich vorgegebenen spezifischen Migrationslimits (SML) bzw. der Forderung nach der Nichtnachweisbarkeit (n.d.) im Lebensmittel dar.

6.2.1.1 Bestimmung der Migrantenkonzentration in der Verpackung und Materialidentifizierung

In einem ersten Teilschritt von AS2 wurden die Konzentrationen der potentiellen Migranten (cpo) in den vom Markt gezogenen sowie von Firmen des Projektausschusses gelieferten Verpackungen bestimmt. Anschließend wurden die identifizierten und quantifizierten Migranten den einzelnen Schichten einer Verpackung zugeordnet.

Um einen Überblick über die eingesetzten Verpackungsmaterialien, den Aufbau der Verpackungen sowie die Bedruckung, Verklebung und die Zusatzstoffe zu erhalten, wurde ein Teil der Verpackungen vom Markt nach Entfernen des Füllgutes analysiert. Hierfür wurde eine definierte Fläche des Packstoffes kleingeschnitten, eingewogen und mit dem Lösemittel Ethanol 95% extrahiert. Anschließend wurden die Extraktionslösungen mittels Gaschromatograph gekoppelt mit Massenspektrometer (GC-MS) gemessen (siehe Abbildung 6-3).



Abbildung 6-3: Bestimmung der Migrantenkonzentration in der Verpackung mittels Extraktion.

Anhand der GC-MS-Chromatogramme wurde ermittelt, welche der detektierten Substanzen Aufschluss über den Aufbau der Verpackung geben und welche Stoffe möglicherweise in relevanten Mengen auf das Füllgut übergehen könnten. Eine Quantifizierung erfolgte semi-

quantitativ über einen internen Standard (Tridecan), der allen Extraktionslösungen vor der GC-MS-Analyse zugegeben wurde.

Insgesamt wurden repräsentativ 174 Wurst- und Käseverpackungen zur Analyse ausgewählt. Unter Berücksichtigung der verschiedenen Verpackungsmaterialien, die für die einzelnen Verpackungen zum Einsatz kamen, wurden insgesamt 379 Einzelproben mittels der oben beschriebenen Methode analysiert und ausgewertet. Die Ergebnisse wurden für jede Probe in insgesamt 379 Worddokumenten zusammengefasst (siehe Abbildung 9-16).

6.2.1.2 Bestimmung des Packstoffaufbaus

Im Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV (Abteilung Materialentwicklung) wurden von 67 Einzelverpackungen Mikrotomschnitte angefertigt, welche mittels Dynamischer Differenz-Kalorimetrie (DSC), Infra-Rot (IR)-Spektroskopie und Licht-Mikroskopie untersucht wurden. Mit diesen Verfahren konnte der genaue Packstoffaufbau sowie die Dicke der einzelnen Packstoffschichten ermittelt werden. Die Mikrotomschnitte wurden zunächst mittels IR-Spektroskopie und DSC analysiert, um die einzelnen Packstoffschichten zu charakterisieren und zu identifizieren. Anschließend wurden lichtmikroskopische Untersuchungen der Mikrotomschnitte durchgeführt, um die Dicke der einzelnen Schichten zu ermitteln. Es handelte sich hierbei um die gleichen Proben, die auch schon in Abschnitt 6.2.1.1 gaschromatographisch analysiert worden sind.

6.2.2 Analysen der Proben von den Projektteammitgliedern

Nachdem anhand der Proben vom Markt Informationen über die verschiedenen Verpackungsaufbauten und die Konzentration der potentiellen Migranten gesammelt worden sind, wurden im nächsten Teilschritt Verpackungen analysiert, die noch keinen Kontakt mit einem Füllgut hatten. Diese Verpackungen konnten die Projektpartner zur Verfügung stellen. Die Laboranalysen dieses Teilschrittes wurden sowohl bei der FABES Forschungs-GmbH als auch im Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV (Abteilung Produktsicherheit und Analytik) durchgeführt.

6.2.2.1 Informationen zum Packstoffaufbau

Zunächst wurden die Projektteammitglieder gebeten, möglichst viele Informationen zu den von ihnen verwendeten oder hergestellten Verpackungen bereit zu stellen. Es wurde eine Datensammlung erstellt, die unter anderem Angaben zu den Packstoffaufbauten und Schichtdicken, zum verwendeten Druckverfahren, zu den möglichen Füllgütern sowie den Temperatur- und Zeitbedingungen der Lagerung der Füllgüter in der Verpackung enthält. Diese Datensätze wurden ebenfalls in AS4 zur Modellierung der Stoffübergänge verwendet.

6.2.2.2 Bestimmung der Migrantenkonzentration in der Verpackung

Anschließend wurden anhand dieser Datensammlung repräsentativ 67 Verpackungen für die Laboranalysen ausgewählt.

Zur Bestimmung der Anfangskonzentration, C_{po} , der potentiellen Migranten in den Proben wurde eine definierte Fläche des Verpackungsmaterial kleingeschnitten, mit dem Lösemittel

Ethanol 95% extrahiert und die Extraktionslösungen mittels Gaschromatograph gekoppelt mit Massenspektrometer (GC-MS) sowie Flammenionisationsdetektor (GC-FID) analysiert. Die Quantifizierung erfolgte wie auch bei den Proben vom Markt semi-quantitativ über einen internen Standard, der allen Extraktionslösungen vor der gaschromatographischen Analyse zugegeben wurde.

Migranten, die in den in AS2 analysierten Verpackungen häufig und in größeren Mengen identifiziert und quantifiziert wurden, wurden als mögliche Leitsubstanzen für die mathematische Abschätzung der Migration und Exposition in AS4 und AS5 ausgewählt.

6.2.2.3 Migrationsuntersuchungen

Migrationsuntersuchungen mit Simulanzmittel Ethanol 95%

Um die theoretischen Migrationsabschätzungen der oben genannten Leitsubstanzen validieren zu können, wurden zudem Migrationsuntersuchungen mit dem Lebensmittelsimulanz für fettige Füllgüter Ethanol 95% durchgeführt (siehe Abbildung 6-4).



Abbildung 6-4: Migrationszellen befüllt mit Lebensmittelsimulanz Ethanol 95%.

Das Probenmaterial wurde mit der Lebensmittelkontaktseite nach oben in die Glaszelle eingespannt und nachdem das Simulanzmittel durch Öffnung (roter Schraubverschluss, Abbildung 6-4) zugegeben worden ist, für zehn Tage bei Raumtemperatur gelagert. Diese Zeit- und Temperaturbedingungen entsprechen einer Lagerung von Käse- und Wurstverpackungen bei Kühltemperatur. Die Kunstdärme wurden in der Regel vor dem Migrationsprozess gewässert, um das Polyamid (PA)-haltige Material zu quellen. Anschließend wurden die Proben in Migrationszellen gespannt, mit Ethanol 95% in Kontakt gebracht und vor der Lagerung bei 20°C zur Simulation des Brühprozesses für zwei bis drei Stunden bei ca. 80°C inkubiert. Die Zeit- und Temperaturbedingungen wurden entsprechend der Herstellerangaben gewählt.

Die Migrationslösungen wurden mittels Gaschromatograph gekoppelt mit Massenspektrometer (GC-MS) sowie Flammenionisationsdetektor (GC-FID) analysiert. Die Quantifizierung erfolgte semi-quantitativ über einen internen Standard, der allen Extraktionslösungen vor der gaschromatographischen Analyse zugegeben wurde.

In ähnlicher Form, wie in Abbildung 9-16 gezeigt, wurden auch die Ergebnisse der experimentellen gaschromatographischen Untersuchungen aus Abschnitt 6.2.2.2 und 6.2.2.3 in Worddokumenten zusammengefasst. Neben der Anfangskonzentration, C_{p0} , der Migranten enthalten die Ergebnistabellen auch die Migrationswerte und jeweils die dazugehörigen Chromatogramme.

Migrationsuntersuchungen mit realen Füllgütern

Zusätzlich sollte in diesem Arbeitsschritt anhand ausgewählter Proben der Gehalt der Leitsubstanzen im Lebensmittel, $C_{F,t}$, am Ende des Mindesthaltbarkeitsdatums bestimmt werden.

Für diese Untersuchungen stellten die Lebensmittelabfüller des Projektteams frisch verpackte Lebensmittel zur Verfügung, welche bis zum Ende ihrer Haltbarkeit gelagert wurden.

Im Rahmen des Projektes war es aus Zeit- und Kostengründen leider nicht möglich, für jede Leitsubstanz eine selektive Methode zu entwickeln. Deshalb wurde vom Fraunhofer Institut IVV eine Screening-Methode für mehrere Leitsubstanzen angewandt. Dabei wurde auf folgende Modell-Migranten gescreent: Caprolactam, Benzophenon, Di-(ethylhexyl)-maleat (DEHM), Acetyltributylcitrat (ATBC), Erucasäureamid (ESA), Irganox 1076, Irgafos 168 und seine oxidierte Form.

Im EU-Projekt QLK1-CT2002-2390 „Foodmigrosure“ wurde gezeigt, dass für aus der Verpackung migrierte Komponenten in festen Füllgütern wie Wurst oder Käse ein Konzentrationsgefälle ausgehend von der direkten Kontaktschicht zur Verpackung vorliegen wird. Je nach Verteilungskoeffizient, K_{pf} , und Diffusionskoeffizient, D_f , im Füllgut kann die Konzentration der Migranten in Richtung Füllgutkern schnell abnehmen.

Daher wurden von den zu analysierenden Lebensmitteln ausgehend von der Verpackungkontaktschicht drei dünnen Schichten (ca. 1mm dick mit einer definierten Fläche) als Probenmaterial entnommen. Zusätzlich wurde eine Probe aus dem Füllgutkern gezogen.

Die Extraktion erfolgte in Anlehnung an die Analysen-Methode für den Migranten Diethylhexyladipate (DEHA) aus dem Projekt „Foodmigrosure“: Die Wurstproben wurden kleingeschnitten und mit einem Gemisch aus Acetonitril und Dichlormethan (ACN/DCM, 1:1) versetzt. Für die Zustockungen wurde die Standardlösung vor der Lösungsmittelzugabe direkt auf die Wurst geben. Die Vials wurden für drei Stunden bei Raumtemperatur im Ultraschallbad extrahiert und danach über Nacht in den Kühlschrank gestellt.

Aus den kalten Lösungen wurde das Lösungsmittel abgenommen und zur Trockene abgeblasen. Der Rückstand wurde mit ACN und Hexan aufgenommen und mehrfach gut geschüttelt. Nach Phasentrennung wurde der unteren ACN-Phase ein Aliquot entnommen und nach Zugabe der internen Standards (BHA und Tinuvin 234) mittels Gaschromatograph gekoppelt FID analysiert. Zur Identifizierung der Hauptkomponenten wurden die Extrakte mittels Kopplung GC/MS untersucht.

Von allen Lebensmittelmustern wurden Referenzmuster zur Verfügung gestellt, welche nach der Produktion direkt in Aluminium verpackt wurden und somit keinen Kontakt zum Verpackungsmaterial selbst hatten. Brühwurst wurde in Aluminium-Behältern zubereitet.

Aluminium ist ein inertes Material, so dass Stoffübergänge der relevanten Substanzen ausgeschlossen werden konnten. Diese Referenzmuster wurden für die Bestimmung der Wiederfindung verwendet. Dazu wurden die Proben mit definierten Mengen der ausgesuchten Modellsubstanzen aufgestockt und mittels der oben beschriebenen Methode aufgearbeitet und analysiert. Aus der zugestockten und der wiedergefundenen Menge wurde die Wiederfindung für jede Modellsubstanz berechnet.

In Abschnitt 6.2.2.2 wurden in den PA-haltigen Kunstdärmen vor dem Befüllen mit dem Füllgut hohe Konzentrationen der Leitsubstanz Caprolactam nachgewiesen. Durch die hohen Temperaturen beim Brühprozess sind die Stoffübergänge aus den Kunstdärmen erwartungsgemäß höher als bei den nur bei Kühltemperatur in der Verpackung gelagerten Produkten. Auf Basis dieser Informationen wurde angenommen, dass die Konzentration des migrierten Caprolactam ausreicht, um es in den Randschichten von Brühwürsten nachzuweisen. Deshalb wurden zunächst die Stoffübergänge aus den Kunstdärmen in gebrühte Wurstwaren untersucht. Die anderen sechs oben genannten Modell-Migranten stammen in der Regel aus Verpackungen, in der das Lebensmittel bei Kühltemperatur gelagert wird. Hier sind geringere Stoffübergänge zu erwarten als beim Brühprozess, so dass eine Nachweisbarkeit im realen Füllgut mittels einer Screening-Methode weniger wahrscheinlich war.

6.3 Arbeitsschritt 3 (AS3)

In AS3 wurden Informationen zum Verzehr von Käse und Wurstwaren der Bayerischen Verzehrstudie (BVS) II entnommen.

Um detaillierte Angaben zum Verzehr industriell verpackter und unverpackter Käse und Wurstwaren zu erhalten, wurde zudem in München eine Verbraucherbefragung zum Konsumverhalten durchgeführt.

Auf Grundlage der gesammelten Daten konnte ein Verzehrmuster differenziert nach den Aspekten Region, Alter und Geschlecht der Bevölkerung sowie Anteil verpackter und unverpackter Lebensmittel aufgestellt werden.

6.3.1 Informationen zu Verzehrsmengen

Sowohl in der Bayerischen Verzehrstudie II (Durchführungszeitraum: September 2002 bis Juli 2003) als auch in der Nationalen Verzehrstudie II (Durchführungszeitraum: November 2005 bis Januar 2007) wurden die Verzehrsmengen für die Lebensmittelgruppen „Käse und Quark“ und „Fleisch- und Wurstwaren“ in Abhängigkeit vom Geschlecht und des Alters der Befragten erfasst. Weil im Rahmen dieses Projektes die Exposition des Verbrauchers aus Bayern abgeschätzt werden soll, wurden jedoch für die Expositionsberechnungen in AS5 die Verzehrsmengen aus der Bayerischen Verzehrstudie zugrunde gelegt.

Die BVS II unterteilt die Wurstprodukte in Wurstwaren, Schinken und Speck und die Käseprodukte in Frischkäse und sonstigen Käse.

Diese Unterteilung wurde auch bei der Erfassung der Daten zu den Füllgütern im Rahmen der Marktstudie in AS1 vorgenommen. Die Kürzel für die Unterteilung der Wurst- und Käseprodukte können Tabelle 6-2 entnommen werden.

Tabelle 6-2: Unterteilung der Füllgüter.

Füllgut	Kürzel
Wurstwaren	W-A
Schinken	W-B
Speck	W-C
Sonstiger Käse	K-A
Frischkäse	K-B

6.3.2 Informationen zum Körpergewicht der Bevölkerung

Um die Exposition des Verbrauchers durch Packstoffkomponenten in Käse und Wurst berechnen zu können, musste noch das Körpergewicht der Verbraucher ermittelt werden. Die Daten zum Körpergewicht der deutschen Bevölkerung konnten dem Mikrozensus 2009 (Mikrozensus – Fragen zur Gesundheit; Statistisches Bundesamt, Zweigstelle Bonn; <http://www.destatis.de>) entnommen werden.

6.3.3 Verbraucherbefragung zum Konsum von Käse und Wurstwaren von der Frischetheke und aus dem Selbstbedienungsbereich

Um zu erfahren, wie viel Prozent der Käse- und Wurstwaren von Frischetheken und wie viel Prozent vom Selbstbedienungsbereich gekauft wird und somit Informationen zum Verzehr industriell verpackter und unverpackter Käse und Wurstwaren zu erhalten, wurde eine Verbraucherbefragung zum Konsumverhalten durchgeführt, an der insgesamt 939 Verbraucher teilnahmen. Die Befragungen wurden vor den Filialen der Münchner Supermärkte durchgeführt, in denen auch die Daten für die Marktstudie aus AS1 erhoben wurden (siehe Kapitel 7.1.1). Zusätzlich wurden Besucher der Fußgängerzone und der Wochenmärkte in München sowie repräsentativ Personen aus dem Bekanntenkreis verschiedener Personengruppen befragt. Auch die Projektteammitglieder beteiligten sich bei der Umfrage. Um möglichst alle Altersgruppen anzutreffen, wurden die Erhebungen auf der Straße sowohl tagsüber als auch abends durchgeführt.

Um beim Erstellen von Verzehrmodellen auch nach Regionen unterscheiden zu können, wurden die Teilnehmer nach ihrem Wohnort befragt.

Zudem sollten die Befragten angeben, welcher Altersgruppe sie angehören, wie viele Personen in ihrem Haushalt leben, wie stark sie in die Haushaltsführung, d. h. in die Beschaffung von Lebensmitteln eingebunden sind, wie oft sie Käse und Wurst pro Woche einkaufen und ob sie die Ware bevorzugt an einer Frischetheke einkaufen oder als Einkaufsform die Selbstbedienung präferieren (siehe 9.3.1 des Anhangs).

6.4 Arbeitsschritt 4 (AS4) und Validierungsschritt

In AS4 erfolgte die mathematische Abschätzung der spezifischen Migration, SM, der Leitsubstanzen aus den Verpackungen in die Käse- und Wurstwaren. Im Rahmen dieses Projektes wurden spezielle Algorithmen entwickelt, um die gestiegene Komplexität des Verpackungsaufbaus und der Struktur des Füllgutes berücksichtigen zu können und die Abschätzung der SM für jede potentiell migrierfähige Substanz und jeden Lebensmitteltyp zu ermöglichen. Dabei musste unter anderem beachtet werden, dass die Verpackung im Falle der Käse und Wurstwaren häufig aus mehreren Schichten besteht. Folglich ist die SM nicht nur von der Natur der einzelnen Schichten, sondern auch vom Verpackungsaufbau und somit von der Reihenfolge der verschiedenen Schichten innerhalb der Verpackung abhängig.

Ziel dieses Arbeitsschrittes war es, mit Hilfe der in AS1 und AS2 ermittelten Migrationsparameter (Anfangsgehalt der Substanzen in der Verpackung, physikalische Eigenschaften der Verpackung und des Füllgutes sowie Dauer und Temperaturbedingung des Kontaktes Lebensmittel mit Verpackung) die spezifischen Migration in den einzelnen Lebensmittelgruppen abzuschätzen. Dabei wurde berücksichtigt, dass alle Migrationsparameter, die für die Berechnung der SM notwendig und im Rahmen des Projektes durch Marktforschung und Laboranalysen bestimmt wurden, keine fest definierten Werte sind, sondern eine gewisse Streuung zwischen einem Minimal- und Maximalwert haben. Folglich wurden für all diese Migrationsparameter – eigentlich Eingabedaten für die Berechnung der SM - stochastische Verteilungen generiert. Diese Verteilungen beinhalten für sich interessante Informationen über die Bereiche in denen in der Praxis die verschiedenen Eigenschaften der Verpackungen und Lebensmittel liegen. Es ist gut möglich diese Informationen auch für die Auswertung/Berechnung anderer stochastischer Eigenschaften als Migration und Exposition in/von Käse- und Wurstwaren einzusetzen.

Die Migration von Packstoffkomponenten in Lebensmittel aufgrund von Wechselwirkung zwischen Füllgut und Verpackung wird durch eine Reihe von Einflussgrößen (oben auch Migrationsparameter genannt) bestimmt. Kennt man diese Größen kann man die Migration aus Kunststoffverpackungen ins Lebensmittel auf der Basis von Diffusionsmodellen berechnen. Dieses Verfahren ist auch gesetzlich in der Kunststoffrichtlinie EC/72/2002, in einem gesonderten Paragraph geregelt. Haben die Einflussgrößen zur Berechnung der Stoffübergänge fest definierte Werte, spricht man von einer deterministischen Abschätzung der Migration. Bei solch einer Abschätzung wird für die SM ebenfalls ein fest definiertes Wert berechnet.

Wie im Rahmen dieses Projekt festgestellt wurde, gibt es in der Praxis (insbesondere in Bayern) sowohl eine sehr große Vielfalt an Käse- und Wurstwaren als auch eine beeindruckend große Vielfalt von Verpackungen für diese Lebensmittel. Zudem gibt es eine breite Spanne von Temperatur- und Zeitbedingungen beim Abpacken der Waren (z. B. Pasteurisation in der Verpackung oder Brühprozess im Kunstdarm) sowie bei der Lagerung der Produkte in der Verpackung (siehe Abschnitt 6.1.2). Hinzu kommt noch die Tatsache, dass es, wie in AS3 beschrieben, in der Bayerischen Bevölkerung unterschiedliche Verzehrsmuster für Käse -und Wurstprodukte in Abhängigkeit von Geschlecht, Alter und Wohnort gibt. All diese Faktoren beeinflussen letztendlich die Exposition der Verbraucher durch Packstoffkomponenten, die aus Käse- und Wurstverpackungen in diese Lebensmittel migrieren können. Eine deterministische

Berechnung, im Sinne der obengenannten EU-Richtlinie, ist bei solch einer Vielfalt von Situationen praktisch unmöglich. Das würde bedeuten, für jede einzelne Kombination Packstoff-Lebensmittel sowie Kontaktbedingung – im Rahmen des Projektes wären es mehrere tausend – eine deterministische Berechnung durchzuführen, um je einen SM-Wert zu ermitteln. Anschließend müsste man die mehreren tausend SM-Werte für die Berechnung der Verbraucherexposition einsetzen. Das Interpretieren dieser Vielfalt von Ergebnissen wäre kaum möglich.

Deshalb wurden in diesem Projekt sogenannte „stochastische“ Methoden für die Berechnung der Migration aus Käse- und Wurstverpackungen bzw. für die Berechnung der Verbraucherexposition vorgeschlagen. Bei der Anwendung einer stochastischen Methode wird berücksichtigt, dass in der Praxis jede Einflussgröße/Migrationsparameter eine gewisse Streuung hat, d. h. eine gewisse Verteilung zwischen einem Minimum- und Maximalwert aufweist. Folglich wird nicht mit fest definierten Einzelwerten der Migrationsparameter, sondern mit deren Verteilungen und der Wahrscheinlichkeit zwischen zwei Grenzwerten gerechnet. Wie diese stochastische Methode bei der Auswertung der Daten angewendet wird, wird im folgenden Abschnitt erläutert.

Für die einfache Situation, in der die Lebensmittelverpackung aus einer Monoschicht besteht, welche in Kontakt mit einem flüssigen Füllgut ist, kann man mit der folgenden analytischen Gleichung die Konzentration $C_{F,t}$ eines Migranten in dem flüssigen Füllgut deterministisch berechnen (Diffusionsmodell):

$$C_{F,t} = C_{P,0} \frac{A d_p \rho_P}{\rho_F (V_F + A d_p K_{P,F})} \left\{ 1 - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{2 \alpha (1 + \alpha)}{1 + \alpha + \alpha^2 q_n^2} \exp \left(-D_P t \frac{q_n^2}{d_p^2} \right) \right\}$$

$$\alpha = d_f / d_p \times 1/K_{P,F}; \tan q_n = -\alpha q_n$$

$C_{F,t}$ = Migrantenkonzentration in Füllgut

$C_{P,0}$ = Migrantenkonzentration in Verpackung

V_F = Volumen Füllgut

A = Kontaktfläche zwischen Füllgut und Verpackung

d_p = Dicke der Packstoffschicht, ρ_P = Dichte des Verpackungsmaterials

d_f = Dicke des Füllgutes = V_F/A , ρ_F = Dichte des Füllgutes

$K_{P,F}$ = Verteilungskoeffizient zwischen Füllgut und Verpackung

D_P = Diffusionskoeffizient für Verpackung

t = Kontaktzeit Füllgut/Verpackung

Gleichung 6-2: Formel zur Berechnung der spezifischen Migration.

Literaturquellen zu diesem Thema sind in Abschnitt 10 (Literaturverzeichnis) gegeben. Die Gleichung 6-2 wird auch in der EU- Kunststoffrichtlinie EC/72/2002 zitiert und verwendet. Die Eingabeparameter für Gleichung 6-2 sind allgemein gültig, und zwar auch für komplexere Systeme wie es die Verpackungen für Käse- und Wurstprodukte sind.

Auch die Migration einer Substanz aus einer polymeren Mehrschichtverpackung in ein Käse- oder Wurstprodukt kann mit Hilfe theoretischer Modelle beschrieben werden. Die Lösung dieser Methoden erfolgt anhand einer Massentransportgleichung, so wie es der Fall auch für

Gleichung 6-2 war. Diese ist eine Differentialgleichung, welche die Änderung der Migrantenkonzentration in Raum und Zeit quantifiziert. Für Systeme, die aus einer Mehrschichtverpackung und einem festen Lebensmittel bestehen, kann die Massentransport-Differentialgleichung nicht durch die Ableitung einer analytische Formel wie aus Gleichung 6-2 lösen. Für solche Systeme wird die Massentransportgleichung nur mit speziellen numerischen Verfahren gelöst. Dazu gibt es in der Fachliteratur ausführliche Informationen (siehe Abschnitt 10). Für dieses Projekt wurde ein numerisches Verfahren entwickelt und angepasst um eindimensionell die Massentransportgleichungen in einem System bestehend aus homogenen Materialien und Lebensmittel zu lösen. Die numerische Berechnung der Migration aus einer Mehrschichtverpackung in ein Käse- oder Wurstprodukt ist ein deterministisches Verfahren. Aus einem Satz von Eingabedaten resultiert nach Modellierung des Stoffüberganges ein spezifischer Migrationswert. Jedoch, wie bereits erwähnt, in der Praxis haben die Migrationsparameter für der Modellierung der Stoffübergänge nicht einen einzigen feste Wert sondern eine Streuung in einem gewissen Bereich. Um diese Situation aus der Praxis simulieren zu können, werden probabilistische Verfahren für die Auswahl der Migrationsparameterwerte eingesetzt. Mit so genannten „Monte Carlo Methoden“ werden aleatorisch aus den Verteilungen der Migrationsparameter Werte ausgewählt. Dieser Prozess wird mehrere tausend Mal von einer speziellen kommerziellen Software und ein für dieses Projekt entwickelten Computerprogramm durchgeführt. Es resultieren so mehrere tausend Sets von Eingabeparameter für die Berechnung der SM-Werte mit dem speziell für dieses Projekt entwickelten numerisches Programm „Distribution KW“.

6.4.1 Ermittlung der stochastischen Verteilungen

Aus den Datenerhebungen vom Markt, den experimentellen Analysen sowie aus Literaturrecherche wurden für die folgende Migrationsparameter stochastische Verteilungen ermittelt:

- Diffusionskoeffizienten in jeder Schicht der Verpackungsmaterialien (D_p),
- Verteilungskoeffizienten, an der Grenze zwischen zwei Schichten einer Mehrschichtverpackung (K_{pp}),
- Diffusionskoeffizienten im Käse- oder Wurstprodukt (D_f),
- Verteilungskoeffizienten an der Grenze zwischen der Verpackung und Lebensmittel (K_{pf}),
- Dicke (d_p) und Dichte (ρ_p) der einzelnen Packstoffschichten (d_p),
- „Dicke“ (d_f) und Dichte (ρ_f) des Füllgutes,
- Kontaktzeiten (t) zwischen Verpackung und Füllgut und
- Migrantenkonzentrationen, C_{po} , in den einzelnen Packstoffschichten.

Wie bereits erwähnt wurden die oben genannten Eingabeparameter (insgesamt mehrere tausend) durch die Markterhebungen und analytische Arbeiten im Rahmen des Projektes

ermittelt. Danach wurden diese Daten, nach den Prinzipien und Gleichungen der stochastischen Mathematik mit der handelsüblichen Software „@Risk4.5“ bearbeitet und in Balkendiagramme umgewandelt. Die Höhe der Balken ist proportional zu der Anzahl der Werte, die in einen Bereich der Balkendiagrammwerte passen. Die gleiche Software ermittelt auch den bestmöglichen Fit zwischen den Werten der experimentellen Daten (Höhe der Balken) mit einer Reihe von analytischen Gleichungen. Diese Gleichungen sind bekannte Darstellungen von stochastischen Kurven (z. B. LogNormal-, Normal-, Weibull-, Beta-, Gamma-Verteilungen). Der beste Fit zwischen den experimentellen Werten (Balken) und einer dieser Gleichungen wird als kontinuierliche Darstellung der Verteilung des Migrationsparameters genommen und für die weiteren Berechnungen eingesetzt.

Die Güte solch einer stochastischen Darstellung ist selbstverständlich von der Anzahl der verfügbaren Daten abhängig. Die Grundregel der Statistik lautet auch hier: „Je größer die Anzahl der Daten, um so genauer wird die Verteilungskurve die Situation aus der Praxis darstellen“. Umgekehrt gibt es auch eine untere Grenze für die Datenmenge unter der keine stochastische Darstellung mehr möglich ist. In unserem Fall liegt diese Grenze bei sechs Einzeldaten.

Eine Möglichkeit für die grafische Darstellung der Verteilungskurven sind die Wahrscheinlichkeitsdichte-Kurven. In solch einer Kurve wird jedem Datenwert (Ox-Achse) eine Wahrscheinlichkeitsdichte, f , (Oy-Achse) zugeteilt. Die Oberfläche, der so erstandenen Kurve ist auf die Einheit genormt, d.h. die Wahrscheinlichkeitsdichte, f , ist an die Größe der Datenwerte gekoppelt. Die „@Risk4.5“ Software berechnet f automatisch in Abhängigkeit von der Größe der Eingabeparameter. Werden beispielsweise die Einheiten für die Verteilung der „Lebensmitteldicken“ df in μm angeben, berechnet „@Risk4.5“ eine Wahrscheinlichkeitsverteilung mit einer Skalierung M in der Oy-Achse. Ändert man die Einheiten für df z.B. in cm , wird „@Risk4.5“ die Skalierung der Oy-Achse mit dem Faktor $M \times 10.000$ ändern. Deshalb ist ein visueller Vergleich der verschiedenen Verteilungskurven nur möglich, wenn auch die Datenwerte auf die Einheit genormt sind. Das würde eine Ox-Achse mit Werten zwischen 0 und 1 bedeuten, wobei die Datenwerte als Verhältnisse zum Maximaldatenwert des jeweiligen Parameters dargestellt werden.

6.4.2 Berechnung der spezifischen Migration (SM)

Die Methodik der Berechnung der spezifischen Migration (SM) aus den Käse- und Wurstverpackungen in dem Füllgut, als wichtigster Teil der Ermittlung der Verbraucherexposition, besteht aus einer Anzahl von Schritten, in denen hauptsächlich die Eingabedaten (Migrationsparameter) bestimmt werden, um danach mittels eines numerischen Algorithmus die SM zu ermitteln. Im Grunde genommen muss man am Anfang, für jede einzelne SM-Berechnung, ein Set von dem oben genannten Migrationsparameter bestimmen. Wie das, im Rahmen dieses Projektes, gemacht wurde, wird zusammenfassend in den folgenden Abschnitten präsentiert.

6.4.2.1 Diffusionskoeffizienten in den Verpackungsmaterialien und Lebensmitteln

Ein wichtiger Migrationsparameter sind die Diffusionskoeffizienten, D_p , der Leitsubstanzen in den Materialien, aus denen die Käse- und Wurstverpackungen hergestellt sind und die Diffusionskoeffizienten, D_f , in Käse und Wurst selbst. Dies betrifft sowohl die D_p 's für Polymere als auch die Klebstoffe und/oder Druckfarbschichten einer Mehrschichtverpackung. Die Diffusionskoeffizienten, D_p bzw. D_f , sind ein Maß der Beweglichkeit der Leitsubstanzenmoleküle in der Matrix des Verpackungsmaterials bzw. Lebensmittels. Hohe D_p 's und/oder D_f 's führen zu hohen Migrationswerten.

Die einzelnen D_p -Koeffizienten sind abhängig von der Natur der Schicht und des Migranten, aber auch von der Temperatur. Am genauesten kann man D_p 's bestimmen, in dem man sie experimentell misst. Nur das ist in der Regel kein einfaches Vorgehen und für die Vielfalt der Materialien, Leitsubstanzen und Temperaturbedingungen, die in diesem Projekt berücksichtigt wurden, wäre solch ein Vorgehen aufgrund des hohen Zeit-, aber auch Kostenaufwandes nicht realisierbar. Folglich wurden im Projekt die D_p -Koeffizienten mit theoretischen Modellen abgeschätzt. In diesem Sinne wurde vor ein paar Jahren von der Firma FABES eine Formel vorgeschlagen mit der ein D_p -Koeffizient abgeschätzt werden kann, Gleichung 6-3:

$$D_p = 10^4 \exp\left(A_p - 0,1351 \cdot M_w^{2/3} + 0,003 \cdot M_w - \frac{10454}{T} \right)$$

- D_p = Diffusionskoeffizient [cm^2/s]
- A_p = $A'_p - \tau_{\text{aup}}/T$ = materialspezifischer Parameter
(τ_{aup} = materialspezifischer Temperaturparameter)
- M_w = relative Molekülmasse [g/mol]
- T = Temperatur [$^\circ\text{K}$]

Gleichung 6-3: „FABES-D Formel“ für die Berechnung der Diffusionskoeffizienten D_p in den Verpackungsmaterialien.

In der Gleichung 6-3 findet man drei Parameter, nämlich A'_p , τ_{aup} und M_w , von denen nur das Molekulargewicht M_w des Migranten leicht zu präzisieren ist. Die anderen zwei Parameter müssen theoretisch, durch statistische Auswertungen von experimentellen Diffusionsdaten, bestimmt werden. Die Methodik wie diese statistischen Auswertungen gemacht werden, war nicht Gegenstand dieses Projektes, sondern ist ein wichtiger Teil des noch nicht abgeschlossenen FACET EU-Projektes. Deswegen werden hier z. Z. noch keine Details über diese Methodik präsentiert, sondern nur deren Ergebnisse, welche für dieses Projekt für die Bestimmung der D_p benutzt worden sind. Diese Ergebnisse sind eigentlich statistische Verteilungen der A'_p und τ_{aup} Parameter für jedes Material, das in der Herstellung von Käse- und Wurstverpackungen eingesetzt wird. Abbildung 6-5 zeigt beispielhaft die Verteilungen für PE-Folien.

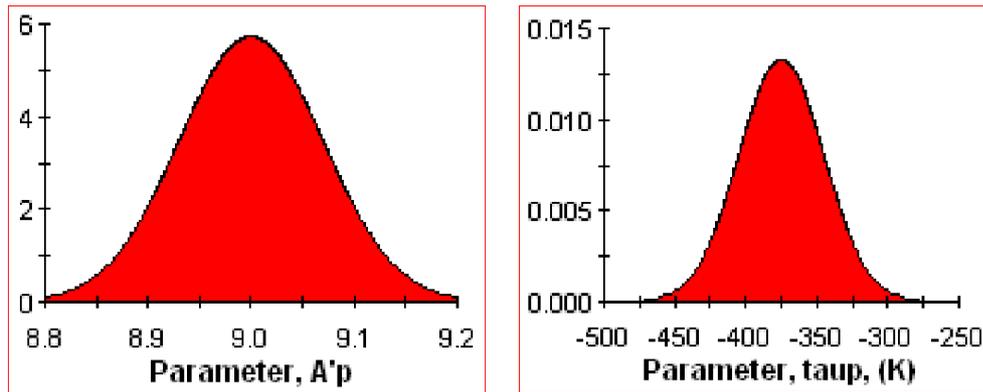


Abbildung 6-5: Verteilungen der Parameter $A'p$ und $taup$ für Polyethylen (PE) .

Mit Hilfe solcher Verteilungen kann man die Gleichung 6-3 stochastisch berechnen, in dem man mit einem speziellen Computerprogramm - kommerzieller Name „GoldSim“ -die Eingabedaten in Gleichung 6-3 nach einem Monte-Carlo Verfahren aus den Verteilungen der Parameter $A'p$ und $taup$ auswählt. Das GoldSim-Schema dieses Verfahrens ist in Abbildung 6-6 gezeigt. In Abbildung 6-6 entspricht die Funktion f_x der „FABES-D Formel. Alle Eingabedaten, nicht nur $A'p$ und $taup$, können als Verteilungen definiert werden. Im Falle der Temperatur, T , würde dies z.B. einer Schwankung der Kühlregaltemperatur mit $\pm 4^\circ\text{C}$ um den Richtwert 6°C entsprechen, siehe Abbildung 6-8. Dieses würde die ungleichmäßige Verteilung der Temperatur in einem realen Kühlregal darstellen.

Der Eingabeparameter Molekulgewicht, M_w , hat normalerweise einen feste Wert, z.B. $M_w = 113 \text{ g/mol}$ für Caprolactam. Das Schema vom Abbildung 6-6 erlaubt aber auch die Eingabe von M_w als Verteilung zwischen einem Minimal- und Maximalwert. Dies ist z.B. der Fall bei speziellen Migranten wie die Gruppe der Kaschierkleberkomponenten, KKK, die nicht ein fixes M_w , sondern eine Verteilung der M_w 's zwischen 200 und 500 g/mol aufweisen, siehe Abbildung 6-8.

Für die Berechnung der D_p -Koeffizienten werden vom Computerprogramm GoldSim, nach einem Monte-Carlo Zufallsprinzip, aus den $A'p$ -, $taup$ -, T - und M_r -Verteilungen Eingabewerte ausgewählt und in die Gleichung 6-3 = f_x eingegeben. Mit diesen Eingabewerten wird dann ein D_p berechnet. Um eine statistisch relevante Streuung für jedem berechneten D_p 's zu erreichen wurde im Rahmen dieses Projektes die Anzahl der Monte-Carlo Auswahlen auf 2500 festgelegt. Folglich produziert das Computerprogramm 2500 D_p -Werte, die eine gewisse Streuung aufweisen. Diese D_p -Werte kann man mit dem kommerziellen statistischen Computerprogramm @Risk4.5 in ein Balkendiagramm umwandeln. Weiterhin kann dasselbe Programm den besten Fit zwischen dem Balkendiagramm und eine bekannte stochastische Formel ermitteln. Das Endergebnis solch einer Bearbeitung der D_p -Werte ist in Abbildung 6-9 präsentiert.

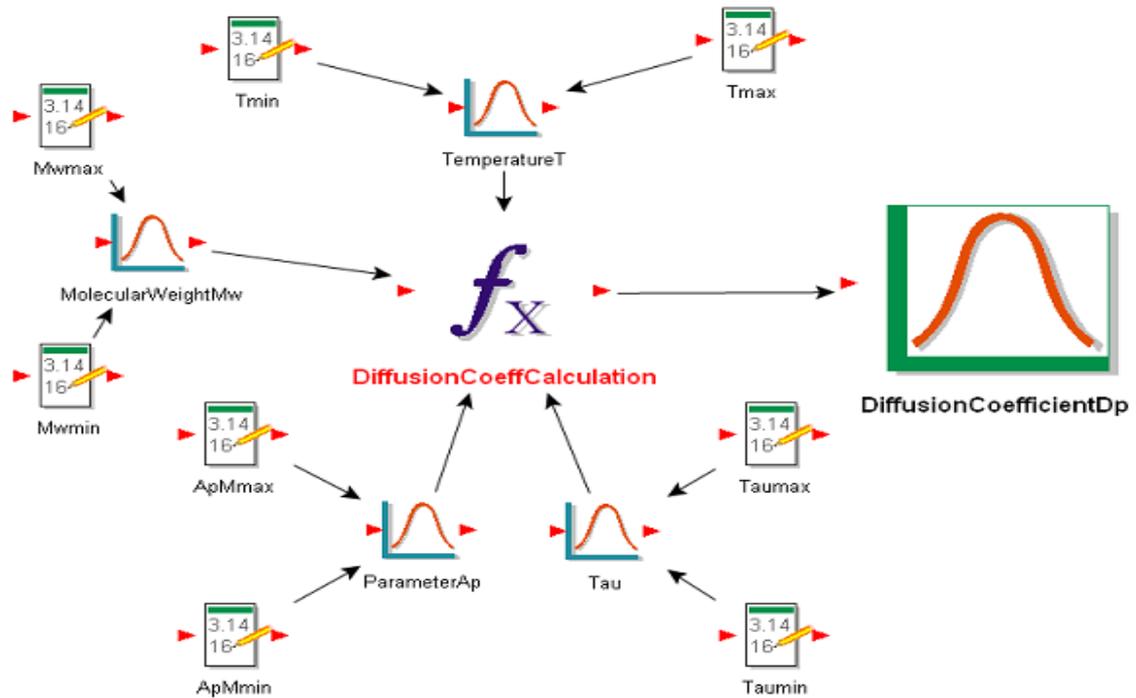


Abbildung 6-6: „GoldSim-Schema“ für die stochastische Berechnung der Dp Koeffizienten.

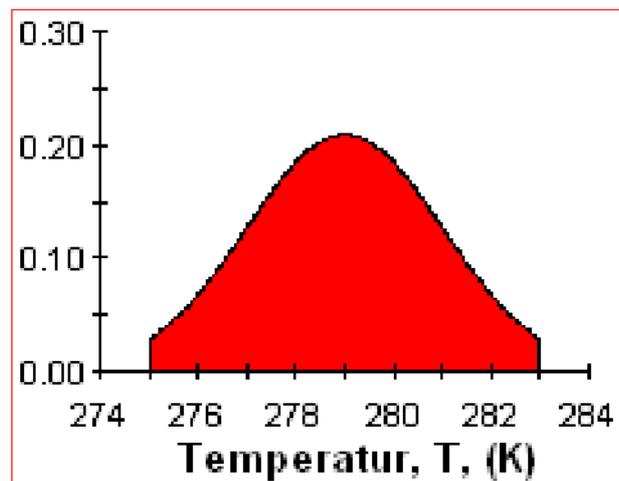


Abbildung 6-7: Verteilung der Kontakttemperatur T im Kühregal (KR) um den Richtwert 6°C = 279°K.

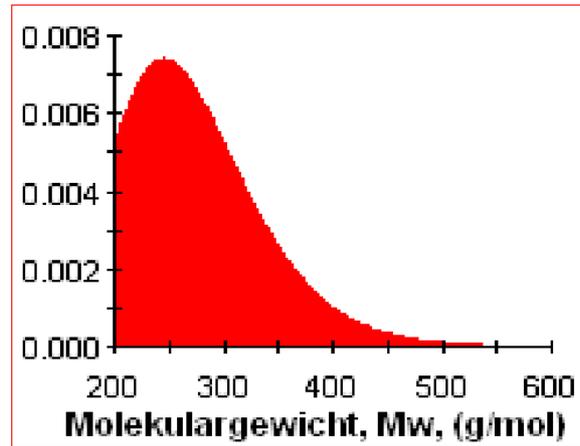


Abbildung 6-8: Verteilung der Molekulargewichte, Mw, der Kaschierkleberkomponenten (KKK).

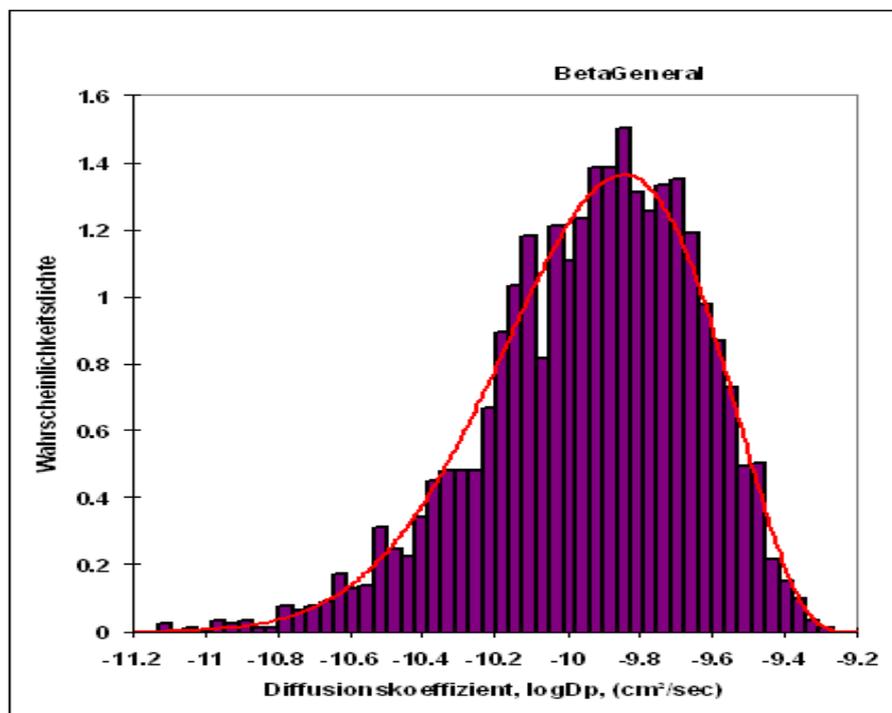


Abbildung 6-9: Diffusionskoeffizientenverteilung, Dp, für Kaschierkleberkomponenten (KKK) in Polyethylen (PE) bei Kühlregaltemperatur (KR).

Eine ähnliche Methode wird für die Berechnung der Verteilungen der Diffusionskoeffizienten, Df, im Lebensmittel (Käse oder Wurst) verwendet. In diesem Fall lautet die „FABES-Formel“:

$$D_F = 10^4 \exp\left(A_F - 0,1351 \cdot M_w^{2/3} + 0,003 \cdot M_w - \frac{10454}{T} \right)$$

- D_p = Diffusionskoeffizient [cm²/s]
- A_f = A'_f·ta_p/T = materialspezifische Parameter
(ta_p = materialspezifische Temperaturparameter)
- M_r = relative Molekülmasse [g/mol]
- T = Temperatur [°K]

Gleichung 6-4: „FABES-D Formel“ zur Abschätzung von Diffusionskoeffizienten Df in realen Lebensmitteln.

In der Gleichung 6-4 findet man jetzt die Parameter, $A'f$ und τ und tauf die durch statistische Auswertungen von experimentellen Diffusionsdaten in realen Lebensmitteln (in diesem Fall Käse und Wurst), bestimmt werden müssen. Auch die Methodik wie diese statistischen Auswertungen gemacht werden, war nicht Gegenstand dieses Projektes, sondern wurde im Rahmen des noch nicht abgeschlossenen FACET EU-Projektes festgelegt. Dafür wurden überwiegend experimentelle Diffusionswerte, Df , in Käse und Wurstwaren, die im Rahmen des EU-Projektes „Foodmigrosure“ gemessen wurden, statistisch ausgewertet. Die Ergebnisse dieser Auswertungen werden in diesem Projekt für die Abschätzung der Df -Werte in den Käse- und Wurstwaren verwendet. Sie sind eigentlich statistische Verteilungen der $A'f$ und τ Parameter für Käse bzw. Wurst, siehe z.B. Abbildung 6-10 für Wurstwaren Typ W-A:

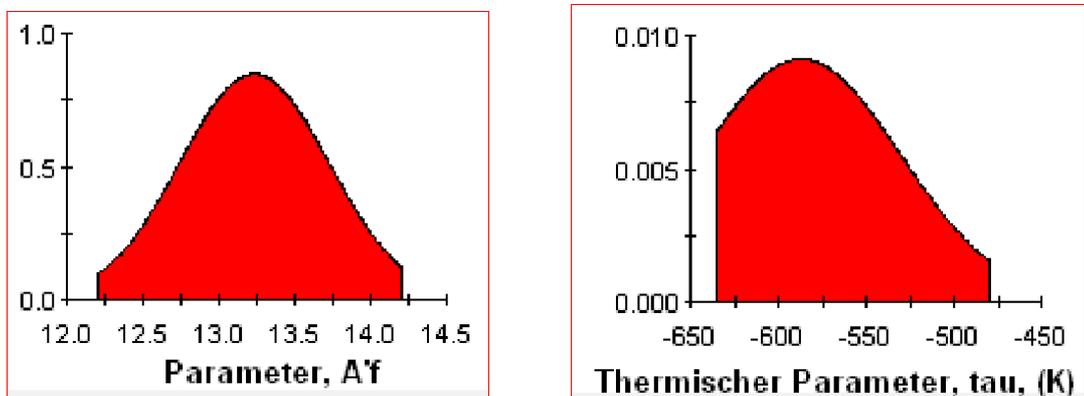


Abbildung 6-10: Verteilungen der $A'f$ und τ Parameter für Wurstwaren Typ A (W-A).

Für die Berechnung der Df -Koeffizienten wird ein ähnliches GoldSim-Schema verwendet wie für die Berechnung der Dp 's, Abbildung 6-11. Das Computerprogramm GoldSim wählt auch in diesem Fall, nach einem Monte-Carlo Zufallsprinzip, aus den $A'f$ -, τ -, T - und M_r -Verteilungen Eingabewerte aus und berechnet mit der Gleichung 6-4 Df -Werte.

Weiterhin kann man mit dem Programm @Risk4.5 ein Balkendiagramm mit den berechneten Df -Werten erstellen und den besten Fit zwischen dem Balkendiagramm und einer bekannten stochastischen Formel ermitteln. Die Anzahl der Monte-Carlo Samplings ist auch in diesem Fall 2500. Diese berechneten 2500 Df -Werte werden mit dem Computerprogramm @Risk4.5 bearbeitet und als anschließend als Abbildung 6-12 präsentiert.

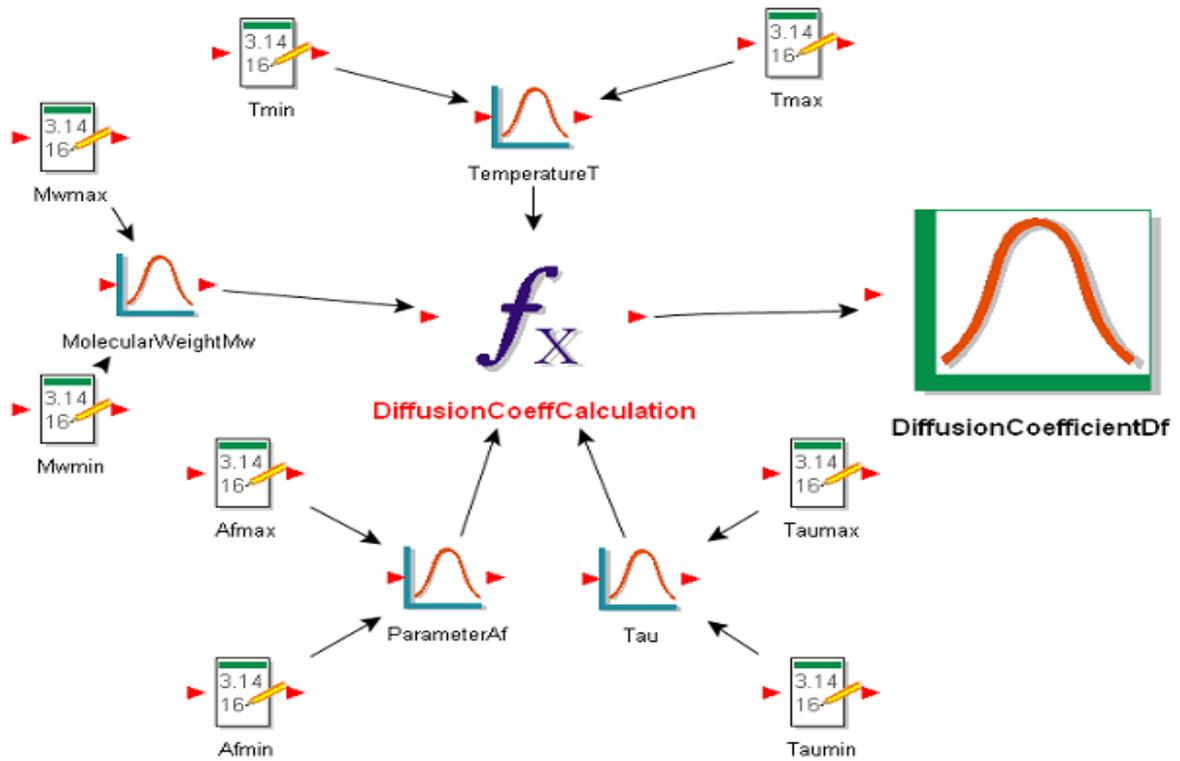


Abbildung 6-11: „GoldSim-Schema“ für die stochastische Berechnung der D_f - Koeffizienten.

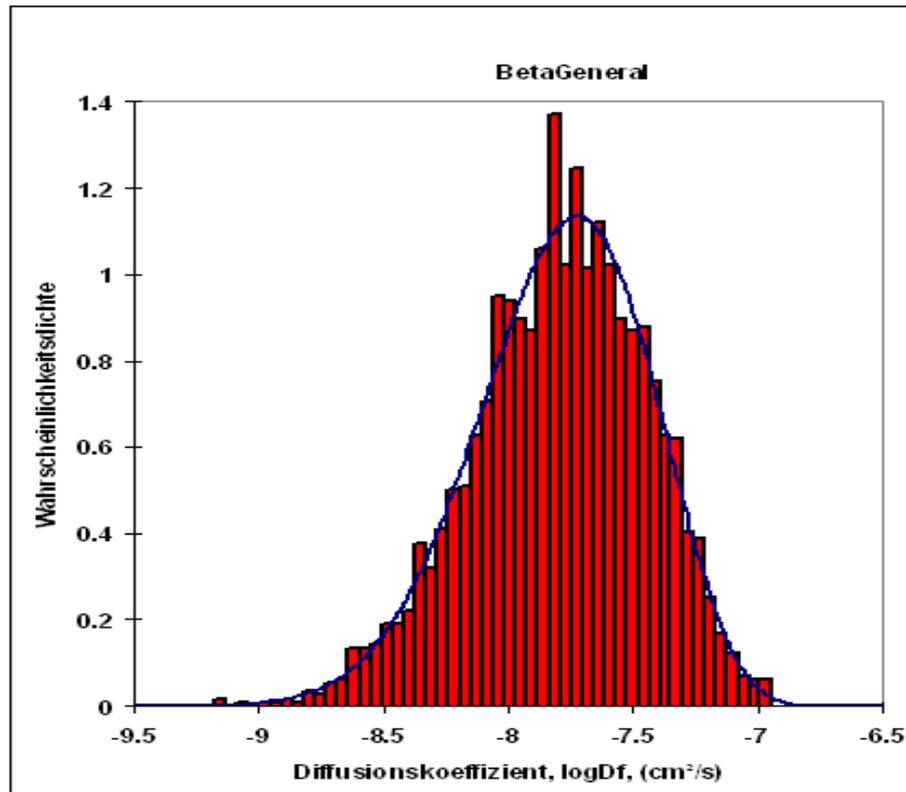


Abbildung 6-12: Diffusionskoeffizientenverteilung, D_f , für Kaschierkleberkomponenten (KKK) in Wurstwaren Typ A (W-A) bei Kühlregaltemperatur (KR).

6.4.2.2 Verteilungskoeffizienten

In einem System, in dem eine Leitsubstanz zwischen zwei unterschiedlichen Matrices migriert, ist der Verteilungskoeffizient das Maß für die unterschiedlichen Löslichkeiten von Leitsubstanzen in den zwei Matrices. Sind die zwei Matrices Polymere (1 und 2) kann man für den Verteilungskoeffizient, K_{P1P2} folgende Gleichung schreiben:

$$K_{P1P2} = \frac{C_{P1(\infty)}}{C_{P2(\infty)}} = \frac{[g / cm^3]}{[g / cm^3]}$$

$C_{P1(\infty)}$ =Konzentration der Leitsubstanz im Polymer 1 bei Gleichgewicht

$C_{P2(\infty)}$ =Konzentration der Leitsubstanz im Polymer 2 bei Gleichgewicht

Gleichung 6-5: Verteilungskoeffizient K_{P1P2} zwischen zwei Polymeren.

Angenommen die Leitsubstanz migriert von Polymer 1 in Polymer 2, dann führen hohe Werte $K_{P1P2} \gg 1$ zu einem niedrigen Übergang der Leitsubstanz in das Polymer 2. Ist $K_{P1P2} \ll 1$, dann wird die Leitsubstanz regelrecht aus Polymer 1 extrahiert und befindet sich am Ende des Migrationsvorganges hauptsächlich in Polymer 2.

Die einzelnen K_{P1P2} -Koeffizienten sind abhängig von der Natur der zwei Polymere sowie der des Migranten, aber auch von der Temperatur. Auch K_{P1P2} kann man am genauesten ermitteln, in dem man ihn experimentell misst. Jedoch das ist in der Regel mit einem hohen experimentellen Aufwand verbunden. Für die Vielfalt der Materialien/Polymere, Leitsubstanzen und Temperaturbedingungen, die in diesem Projekt berücksichtigt worden sind, wäre solch ein Vorgehen aufgrund des hohen Zeit-, aber auch Kostenaufwandes nicht realisierbar. In der Literatur gibt es z. Z. nur wenige konkrete K_{P1P2} -Daten. Zudem beziehen sich diese nur in seltenen Fällen auf die Mehrschichtverpackungen, die in diesem Projekt untersucht wurden.

Folglich wurden im Projekt die K_{P1P2} -Koeffizienten mit einem theoretischen Modell abgeschätzt, welches vor ein paar Jahren von der Firma FABES vorgeschlagen worden ist.

Das Verfahren basiert auf einem so genannten „Dampfdruck –Index“ Prinzip. Das Endergebnis dieses Verfahrens ist eine Gleichung – die sogenannte „FABES-K Formel“ - für K_{P1P2} , die sowohl von bestimmten spezifischen Parametern für Polymer 1 und Polymer 2 als auch von den Eigenschaften der Leitsubstanz anhängig ist. Weiterhin ist diese Gleichung auch von der Temperatur abhängig. Die berechneten K_{P1P2} sind Abschätzwerte, die in einem relativ guten Verhältnis zu den wenigen experimentellen stehen.

Die „FABES-K Formel“ ist in Prinzip eine deterministische Gleichung, mit der man für einen Set von Eingabeparametern einen festen K_{P1P2} -Wert berechnet. In diesem Projekt wurde aber eine Vielzahl von Verpackungen erfasst, in denen die Polymere 1 und 2 verwendet wurden. Somit kann angenommen werden, dass die „FABES-K Formel“-Eingabeparameter für all diese Polymere 1 und 2 nicht gleich sind, sondern wegen gewisser Unterschiede in der Struktur und Chemie der Materialien 1 und 2 und auch in deren Herstellung, eine Streuung aufweisen. Um

diese Annahme zu berücksichtigen, wurde im Projekt eine stochastische Berechnung der „FABES-K“ Formel gemacht, d.h. die Eingabeparameter wurden als Verteilungen definiert und die Kp1p2-Werte stochastisch berechnet. Dafür wurde erneut mit dem GoldSim-Programm ein Schema aufgebaut, siehe Abbildung 6-13.

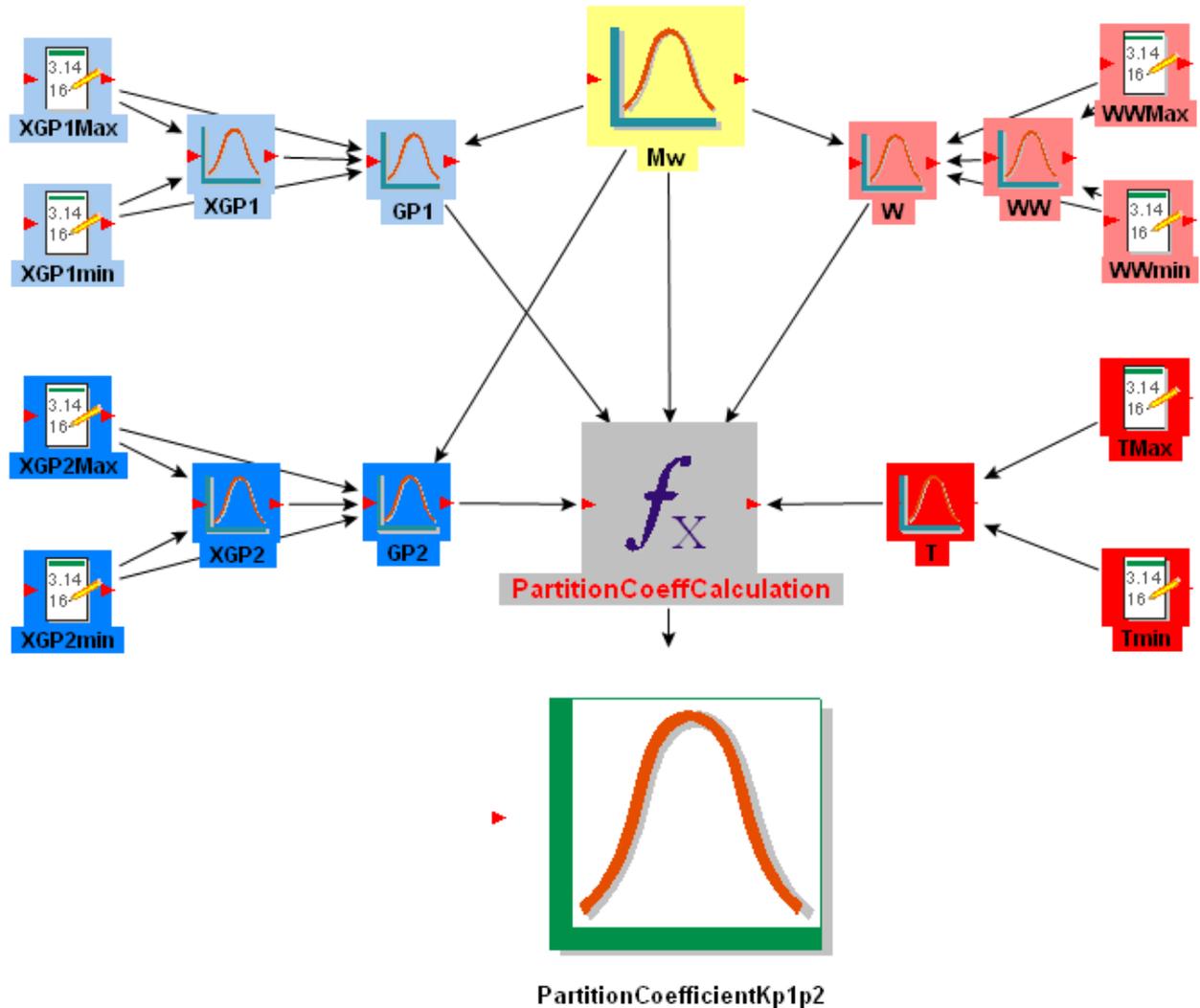


Abbildung 6-13: GoldSim-Schema für die stochastische Berechnung der Verteilungskoeffizienten zwischen Polymer1 und Polymer2.

Auf der linken Seite dieses GoldSim-Schemas sind die Verteilungen der „Dampfdruck-Indices“, GP1 bzw. GP2, für Polymer 1 und Polymer 2 angeordnet. In der Mitte befindet sich als Eingabeparameter das Molekulargewicht, Mw, der Leitsubstanz, als fester Wert oder ggf. als Verteilung. Auf der rechten Seite des Schemas sind die Verteilungen der Dampfdruck-Parameter, W, der Leitsubstanz und der Temperatur, T, angeordnet. Die „FABES-K Formel“ wird in diesem Schema als Gleichung f_x gekennzeichnet, siehe Abbildung 6-13. Das GoldSim Programm wählt nach einem Monte-Carlo Zufallsprinzip Werte aus den Eingabeparameterverteilungen aus, berechnet Kp1p2-Werte mit der „FABES-K“ Formel und speichert diese in einer Datei. Im Projekt wurde dieses Auswahlverfahren 2500 Mal wiederholt; folglich wurden für jedem Kp1p2-Koeffizienten 2500 Werte ermittelt. Diese wurden

anschließend mit dem @Risk4.5 Programm in einem Balkendiagramm dargestellt und mit einer analytisch-stochastischen Formel gefittet. Das Endergebnis ist eine $Kp1p2$ -Verteilung wie in Abbildung 6-14 präsentiert. Das Maximum dieser Verteilung liegt bei ca. $\log Kp2p3=1.49$, was einem Verteilungskoeffizienten $Kp2p3 \sim 31$ entspricht. Das bedeutet, dass sich die KKK wie erwartet, bei KR-Temperatur, besser im Kleber als in Polyethylen lösen.

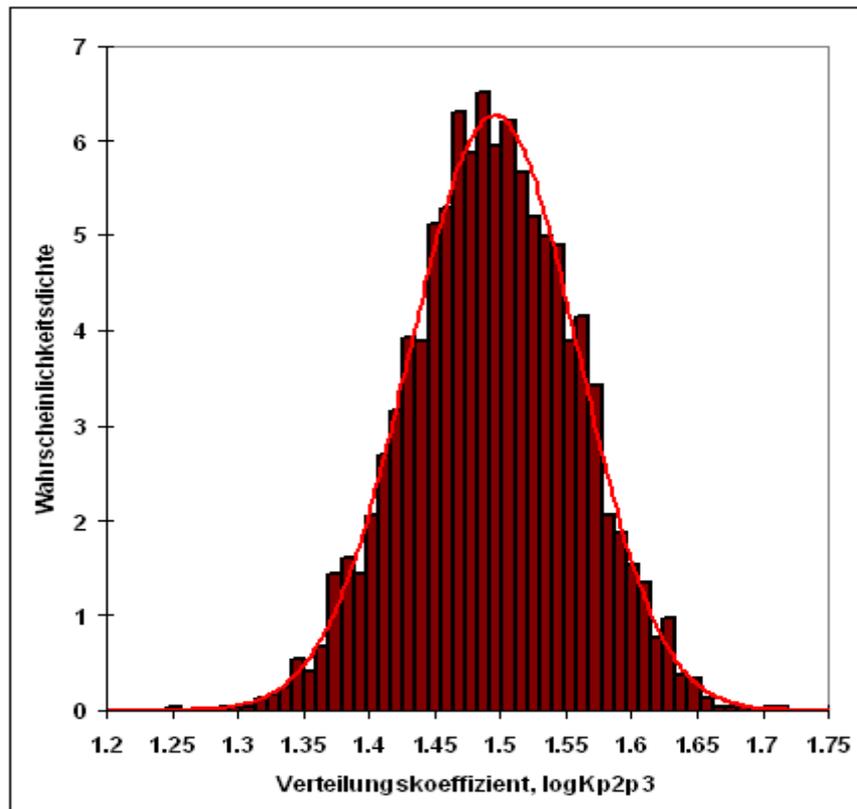


Abbildung 6-14: Verteilungskoeffizient, bei Kühlregaltemperatur, KR, von Kaschierkleberkomponenten, KKK, zwischen einer Kaschierkleberschicht und einer Polyethylenfolie.

Erhöht man die Temperatur, so müsste der Wert des Verteilungskoeffizienten $Kp1p2$ abnehmen, da an zu nehmen ist, dass die Löslichkeit der KKK im Kleber schneller abnimmt als im Polymer. Diese Tendenz wird auch von der „FABES-K Formel“ wiedergegeben. Eine Berechnung der $Kp1p2$ bei z.B. einer Pasteurisation-Temperatur, PT, von 80 bis 85 °C ergibt die Verteilung von Abbildung 6-15. In diesem Fall liegt das Maximum des $\log Kp1p2$ -Verteilung bei ca. 0.775, was einem $Kp1p2 \sim 5.5$ entspricht. Das bedeutet, dass bei PT eine größere Menge KKK von dem Kleber in das Polymer und von dort ins Lebensmittel migrieren kann als bei KR-Temperatur.

Der Verteilungskoeffizient einer Leitsubstanz zwischen der Kontaktschicht einer Mehrschichtverpackung und einem Lebensmittel kann ähnlich der Gleichung 6-5 mit folgender Formel berechnet werden:

$$K_{PF} = \frac{C_p(\infty)}{C_f(\infty)} = \frac{[g / cm^3]}{[g / cm^3]}$$

$C_{P(\infty)}$ = Konzentration der Leisubstanz in der Kontaktschicht bei Gleichgewicht

$C_{F(\infty)}$ = Konzentration der Leisubstanz im Lebensmittel bei Gleichgewicht

Gleichung 6-6: Verteilungskoeffizient K_{PF} zwischen einer (polymeren) Kontaktschicht, p, und dem Lebensmittel, F.

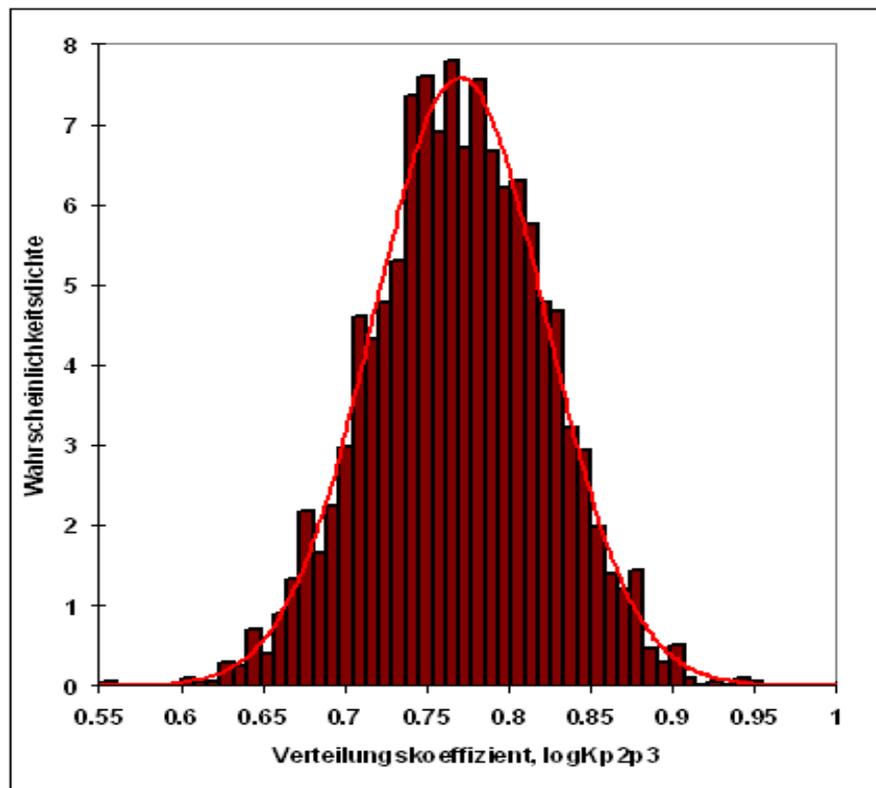


Abbildung 6-15: Verteilungskoeffizient, bei Pasteurisationstemperatur, PT , von Kaschierkleberkomponenten, KKK, zwischen einer Kaschierkleberschicht und einer Polyethylenfolie.

Die einzelnen K_{PF} -Koeffizienten sind abhängig von der Natur der Kontaktschicht – im Fall von Käse und Wurst waren es nur Polymere – der Natur des Lebensmittels und des Migranten. Auch in diesem Fall ist K_{PF} stark von der Temperatur abhängig. K_{PF} 's experimentell zu ermitteln, wäre die exakteste, aber auch eine sehr aufwändige Methode. Angesichts der Vielfalt der Materialien/Polymere, Lebensmittel, Leitsubstanzen und Temperaturbedingungen, die in diesem Projekt berücksichtigt wurden, wäre solch ein Vorgehen nicht realisierbar. In der Literatur gibt es z. Z. nur wenige konkrete K_{PF} -Daten und diese beziehen sich nur selten auf die Fälle, die in diesem Projekt berücksichtigt worden. Folglich wurde auch für die Ermittlung der

Kpf-Koeffizienten ein theoretisches Abschätzmodell angewandt, welches vor ein paar Jahren von der Firma FABES vorgeschlagen worden ist. Dieses Verfahren beruht auf der Erkenntnis, welche im Rahmen des EU-Projektes „Foodmigrosure“ gewonnen wurde, dass aus Sicht der Migration reale Lebensmittel wie Käse- und Wurstprodukten mit Ethanol-Wasser Gemische gleichgesetzt werden können. Anstatt Migrationsexperimente und/oder Abschätzungen mit/für realen Lebensmitteln zu machen, werden diese durch Ethanol-Wasser Gemische ersetzt/simuliert. Mit diesem Konzept kann man die Kpf-Koeffizienten erneut mit einem so genannten „Dampfdruck –Index“ Prinzip abschätzen. Das Endergebnis dieses Verfahrens ist eine Gleichung; die sogenannte „FABES-K Formel“ für Kpf-Koeffizienten. Diese Gleichung ist anhängig sowohl von bestimmten spezifischen Parameter für die Kontaktschicht, P, und Lebensmittel F, als auch von den Eigenschaften der Leitsubstanz. Die „FABES-K Formel“ für Kpf's ist ebenfalls temperaturabhängig. Die berechneten Kpf sind Abschätzwerte, die in einem relativ guten Verhältnis zu den wenigen experimentellen Daten stehen.

Auch die „FABES-K Formel“ für Kpf's ist im Prinzip eine deterministische Gleichung, mit der man für einen Set von Eingabeparametern einen festen Kpf-Wert berechnet. In Rahmen dieses Projektes wurden aber eine Vielzahl von Verpackungen und Käse- und Wursttypen erfasst. Deshalb sind die „FABES-K Formel“ Eingabeparameter für all diese Kontaktschichten und Lebensmittel nicht einheitlich, sondern weisen aufgrund der Unterschiede in der Struktur und Chemie von P und F eine Streuung auf. Um dies zu berücksichtigen, wurde im Projekt eine stochastische Berechnung der „FABES-K“ Formel durchgeführt, d.h. die Eingabeparameter wurden als Verteilungen definiert und die Kpf-Werte stochastisch berechnet. Hierfür wurde erneut mit dem GoldSim-Programm ein Schema aufgebaut, siehe Abbildung 6-16.

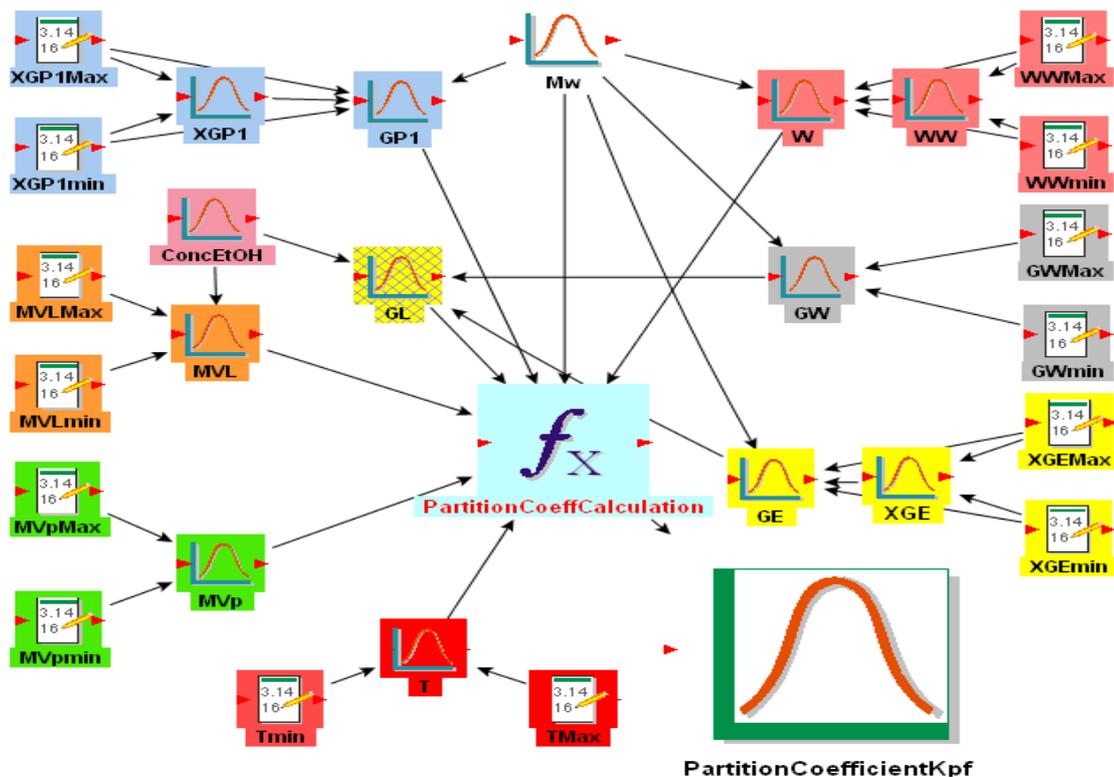


Abbildung 6-16: GoldSim-Schema für die stochastische Berechnung der Verteilungskoeffizienten zwischen einer polymeren Kontaktschicht P und ein Ethanol-Wasser Gemisch F.

Auf der linken Seite dieses GoldSim-Schemas sind die Verteilungen der „Dampfdruck-Indices“, GP1 für die Kontaktschicht P angegeben. Außerdem sind auf dieser Seite Verteilungen der Molarvolumina für das Polymer und das Ethanol-Wasser Gemisch erfasst. In der Mitte befindet sich als Eingabeparameter das Molekulgewicht, M_w , der Leitsubstanz, als fester Wert oder ggf. als Verteilung. Auch die Verteilung der Temperatur, T befindet sich in dem zentralen Bereich des GoldSim-Schemas. Auf der rechten Seite des Schemas sind die Verteilungen der Dampfdruck Parameter, W , der Leitsubstanz und der Parameter GW und GE , angeordnet. Die „FABES-K Formel“ für K_{pf} wird in diesem Schema als Gleichung f_x gekennzeichnet, siehe Abbildung 6-16. Das GoldSim Programm wählt auch in diesem Fall nach einem Monte-Carlo Zufallsprinzip Werte aus den Eingabeparameterverteilungen aus, berechnet K_{pf} -Werte mit der „FABES-K“ Formel und speichert diese in einer Datei. Dieses Auswahlverfahren wurde 2500 Mal wiederholt, so dass für jeden K_{pf} -Koeffizienten 2500 Werte ermittelt wurden. Diese wurden anschließend mit dem @Risk 4.5 Programm als ein Balkendiagramm dargestellt und mit einer analytisch-stochastischen Formel gefittet. Das Endergebnis ist eine K_{pf} -Verteilung wie in Abbildung 6-17 präsentiert. Für diese Berechnungen wurden die Wurstwaren Typ W-A mit einem 50-50% Ethanol-Wasser Gemisch simuliert.

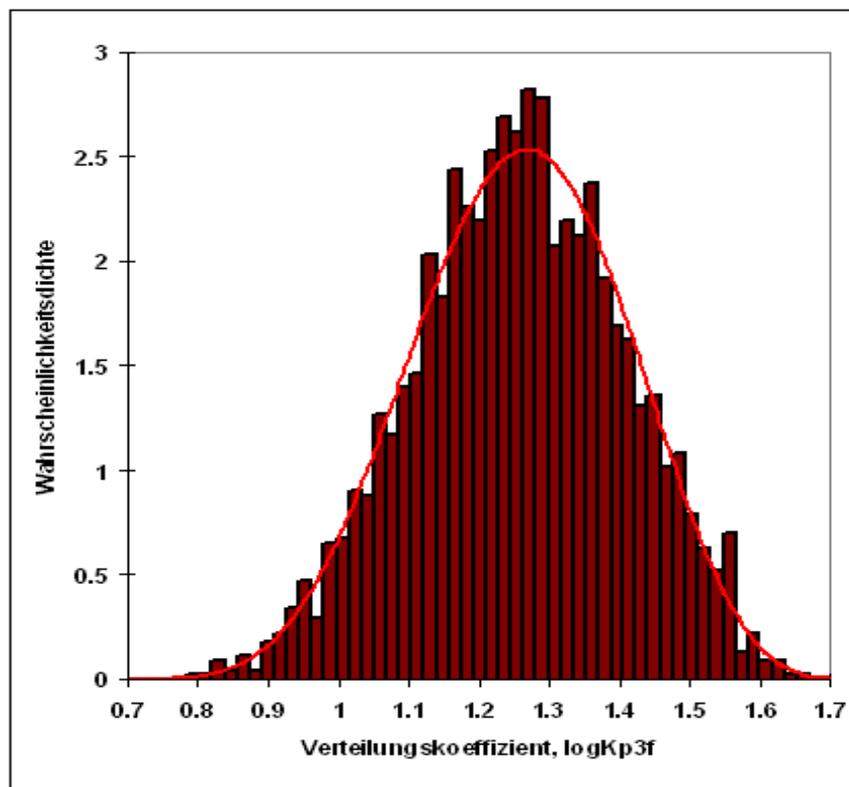


Abbildung 6-17: Verteilungskoeffizient, bei Kühlregaltemperatur, K_R , von Kaschierkleberkomponenten, KKK, zwischen einer Polyethylen Kontaktschicht und Wurstwaren Typ W-A.

Das Maximum dieser Verteilung liegt bei ca. $\log K_{p3f} = 1,25$, was einem Verteilungskoeffizienten von $K_{p3f} \sim 18$ entspricht. Das bedeutet, dass sich die KKK bei K_R -Temperatur besser in Polyethylen als in Wurstwaren W-A lösen. Angesichts der Tatsache, dass Wurstwaren nicht nur

aus Fleisch und Fett, sondern auch aus Wasser bestehen, ist dies ein annehmbares Ergebnis, welches auch durch Experimente, die im Rahmen des EU-Projektes „Foodmigrosure“ durchgeführt wurden, bestätigt wird. Erhöht man die Temperatur, um die Wurst W-A in der Verpackung zu pasteurisieren, ändern sich auch die Kpf's. Das abgeschätzte Ergebnis wird in Abbildung 6-18 präsentiert. Das Maximum der logKpf-Verteilung liegt unter diesen Bedingungen bei ca. -0.175 liegt, was einem Kpf~0.65 entspricht. In diesem Fall ist die Löslichkeit der KKK's in der Wurst W-A größer als in der Kontaktschicht aus Polyethylen.

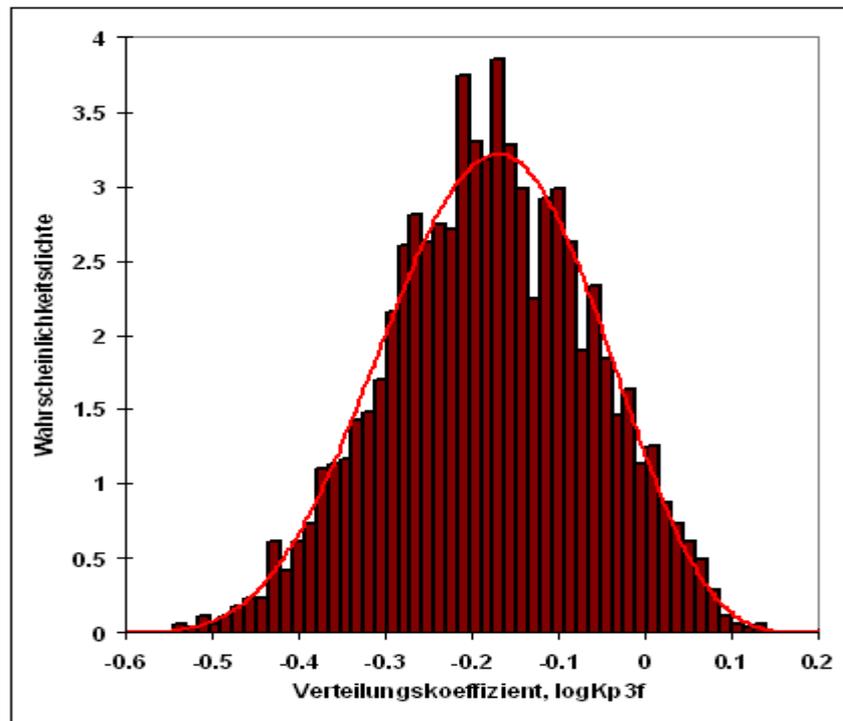


Abbildung 6-18: Verteilungskoeffizient, bei Pasteurisationstemperatur, PT, von Kaschierkleberkomponenten, KKK, zwischen einer Polyethylen Kontaktschicht und Wurstwaren Typ W-A.

6.4.2.3 Physikalische Parameter

Der numerische Algorithmus, mit dem die spezifische Migration berechnet wird, ist ein so genanntes „ein-dimensionelles Model“ - 1-D Model. Das bedeutet, dass die Annahme gemacht wird, dass die Migration aus der Verpackung ins Füllgut nur in einer Richtung/Dimension – senkrecht durch die Kontaktoberfläche - stattfindet. In verpackten Lebensmitteln gibt es einen sehr großen Unterschied zwischen dem Volumen des Füllgutes, V_f , und dessen des Verpackungsmaterials, V_p . Zudem wird das Verpackungsmaterial meistens in Form einer relativ konstant dünnen Folie/Schicht hergestellt. In Anbetracht dieser Merkmale entsteht durch die Annahme einer 1-D Migration nur eine geringfügige Abweichung von der realen dreidimensionalen - 3-D – Bewegung/Migration der Moleküle der Leitsubstanzen aus der Verpackung ins Füllgut. In einem 1-D Migrationsmodell ist die so genannte „Dicke“ des Füllgutes, df , eines der Parameter, die bestimmt werden müssen. Definiert wird df als das Verhältnis zwischen dem Volumen des Füllgutes, V_f , und dessen Gesamtkontaktfläche, A , mit der Verpackung, Gleichung 6-7.

$$d_F = \frac{V_f}{A} = \frac{M_f}{A} = \frac{\frac{[g]}{[cm^3]}}{[cm^2]} = \frac{[cm^3]}{[cm^2]} = [cm] \text{ oder } [\mu m]$$

Gleichung 6-7: Definition der Dicke des Füllgutes, df.

Im Rahmen dieses Projektes wurden die Kontaktflächen, A, der erfassten Verpackungen mit den Käse- und Wurstwaren gemessen. Weiterhin war für jede Verpackung die Einwaage, Mf, der Lebensmittel bekannt.

Für die Dichte der Füllgüter existierten bereits einzelne Messwerte aus dem EU-Projekt „Foodmigrosure“. Zusätzlich wurden auch im Rahmen dieses Projektes stichprobenartig Dichten von Käse- und Wurstwaren bestimmt. So festgestellt, dass für jeden Lebensmitteltyp eine Verteilung der Dichten in einem gewissen Bereich vorliegt. Dies kann als stochastische Verteilung quantifiziert werden, siehe Abbildung 6-19.

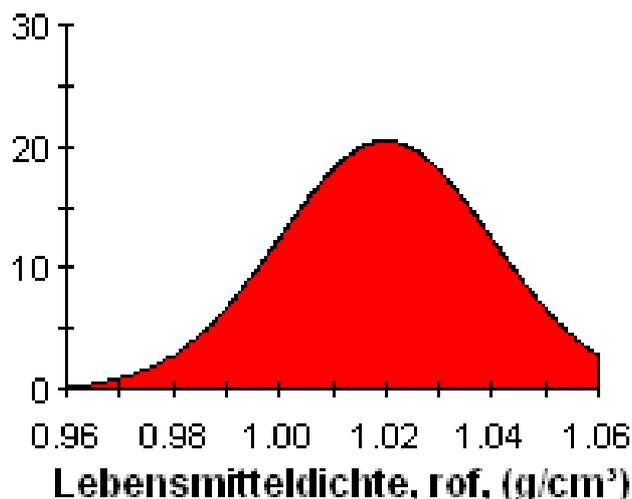


Abbildung 6-19: Verteilung der Dichten von Wurstwaren Typ A.

Weil in der Praxis für eine größere Anzahl von verpackten Käse- und Wurstprodukten die Parameter Mf und A ebenfalls keine feste Werte haben, sondern in gewissen Bereichen streuen, wurde df über Gleichung 6-7 mit stochastischen Methoden berechnet. Dafür wurde zuerst, für jeden Lebensmittel- und Verpackungstyp, aus den Werten des Verhältnisses ihrer Einwaage und Kontaktoberfläche eine Verteilung Mf/A berechnet. Mit den diskreten Mf/A-Werten wurde mit dem Programm @Risk 4.5 ein Balkendiagramm erstellt und der dazu beste Fit berechnet, siehe Abbildung 6-20. Anschließend wurde mit dem Programm GoldSim eine stochastische Berechnung der Gleichung 6-7 durchgeführt. Das GoldSim-Schema für diese Berechnung ist in Abbildung 6-21 präsentiert. Das Programm GoldSim wählt, nach einem Monte-Carlo Zufallsprinzip, Werte aus den Verteilungen Mf/A und der Dichte des Lebensmittels, aus. Dieses Prozedere wird z.B. 2500 Mal durchgeführt. Anschließend werden die berechneten 2500 df- Werte in einer Datei gespeichert und mit dem Programm @Risk 4.5 in ein Balkendiagramm und den dazugehörige beste Fit ungewandelt, siehe Abbildung 6-22.

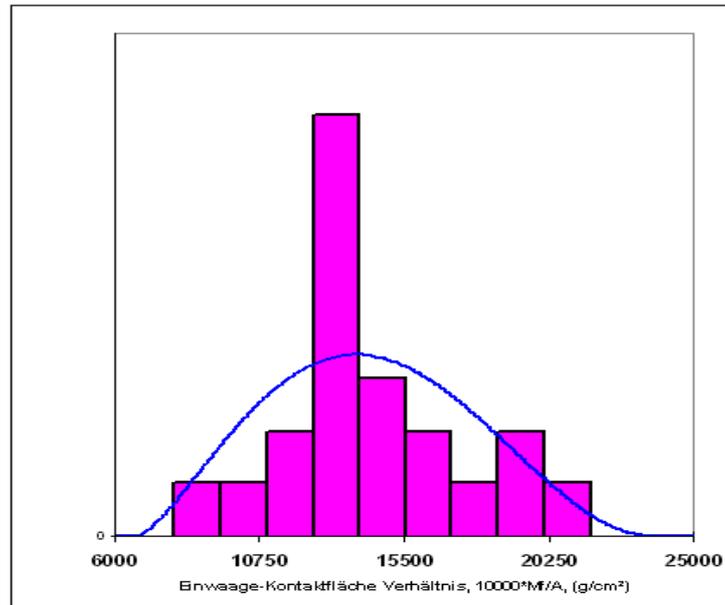


Abbildung 6-20: Verteilung des Mf/A Verhältnisses für Wurstwaren A am Stück verpackt in weicher Oberfolie vom Typ1.

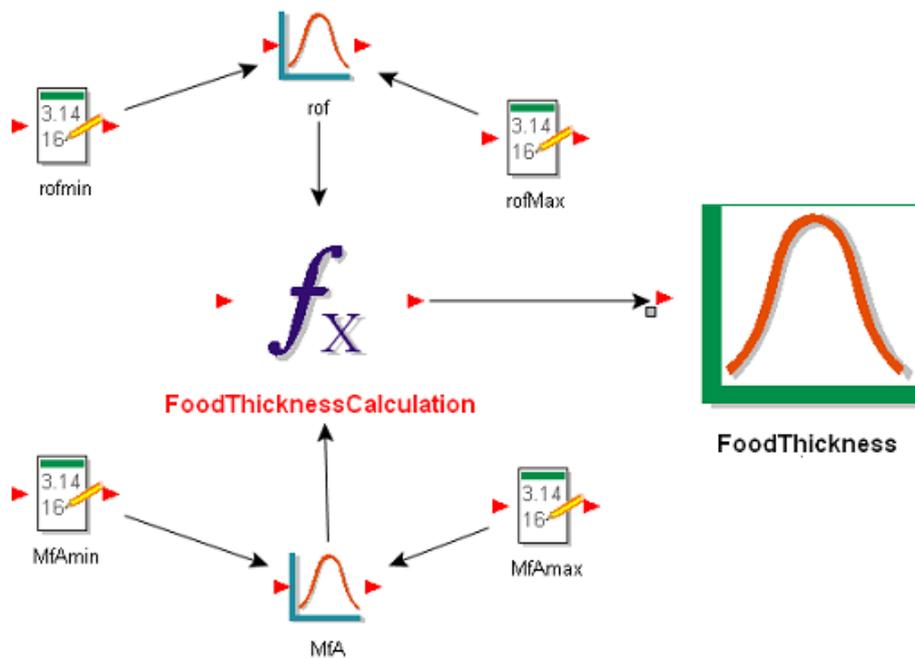


Abbildung 6-21: GoldSim-Schema für die stochastische Berechnung der Lebensmitteldicke, df.

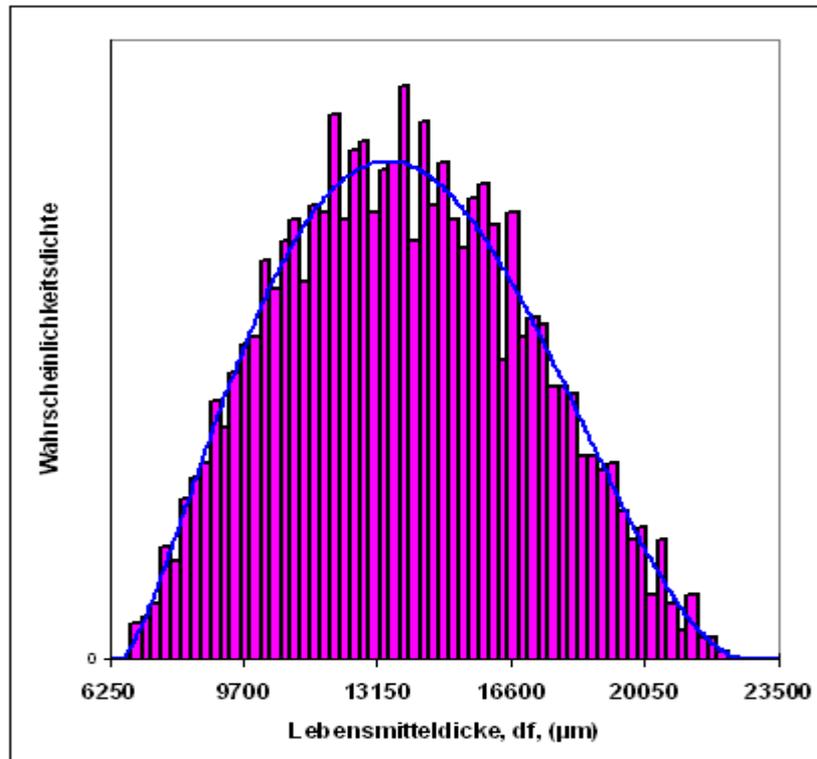


Abbildung 6-22: Verteilung der Lebensmitteldicke, df , für Wurstwaren A am Stück verpackt in weicher Oberfolie, OFw, vom Typ1.

Die Dicke einer Verpackung, dp , hat auch einen gewissen Einfluss auf den spezifischen Migrationswert, SM . Wenn alle anderen Bedingungen gleich bleiben und nur dp zunimmt, ist einerseits mit einer Abnahme der SM zu rechnen. Die Moleküle der Leitsubstanz benötigen längere Zeit, um durch die oder aus der Verpackung ins Lebensmittel zu diffundieren. Andererseits befindet sich in einer dickeren Verpackung mehr Leitsubstanz oder eine dickere Verpackungsschicht kann mehr Leitsubstanz aufnehmen. Beide Phänomene beeinflussen die SM . Folglich ist auch df einer der Parameter, die für die Abschätzung der SM bekannt sein müssen. Im Falle einer Verpackung, die aus einem einzigen Material/Polymer besteht – Monoschichtverpackung - ist das bestimmen des dp 's, mit einem geeigneten Messinstrument, relativ einfach. Aber z. Z. werden kaum mehr Monoschichtverpackungen für Käse und Wurstwaren eingesetzt. Die allermeisten heutigen Käse- und Wurstverpackungen bestehen aus laminierten, kaschierten oder coextrudierten, zwei-, drei- oder mehr Materialien/Schichten. Auch für solche Verpackungen ist die Bestimmung deren Gesamtdicke, dp , relativ einfach. Nur für eine numerische Simulation einer Migration auch einer Mehrschichtverpackung wird nicht die Gesamtdicke dp , sondern die Dicken der Einzelschichte, dp_1 , dp_2 , usw. benötigt. Diese genau zu ermitteln, ist nicht mehr so einfach. Wie die Ermittlung im Rahmen dieses Projektes durchgeführt wurde, wird in im folgenden Abschnitt präsentiert.

Die Gesamtdicke, dp , von über 500 Käse- und Wurstverpackungen, wurde mit Hilfe einer elektronischen Schublehre gemessen. Die meisten dieser Verpackungen waren Mehrschichtfolien, die den verschiedenen, im Rahmen des Projektes definierten, Verpackungstypen zugeordnet werden konnten. Um die Dicke der einzelnen Schichten dieser Verpackungstypen zu ermitteln, wurden sowohl weitere experimentelle Untersuchungen zur

Packstoffaufbau und Schichtdicken durchgeführt, als auch Informationen über die in der Praxis eingesetzten Schichtdicken von den Projektpartnern eingeholt, siehe Abschnitt 6.2.1.2 und 6.2.2.1. Aus diesen Informationen war es möglich für jedem Typ von Verpackungen den prozentualen Wert der Schichtdicken zu ermitteln, siehe Tabelle 7-3. Mit diesen Werten kann man z.B. für eine 3-Schicht Verpackung, welche eine Gesamtdicke, d_p , hat, die einzelnen Schichtdicken d_{p1} , d_{p2} bzw. d_{p3} berechnen:

$$d_p = d_{p1} + d_{p2} + d_{p3} = d_p \cdot pz_1 + d_p \cdot pz_2 + d_p \cdot pz_3$$

wo:

$$pz_1 + pz_2 + pz_3 = 100\%$$

$$d_{p1} = d_p \cdot pz_1, \quad d_{p2} = d_p \cdot pz_2, \quad d_{p3} = d_p \cdot pz_3$$

Gleichung 6-8: Gleichungen für die Berechnung der Einzelschichtdicke in einer Mehrschichtverpackung.

Da prozentualen Werte, pz_1 , pz_2 und pz_3 , Durchschnittswerte sind, wurde angenommen, dass die realen Werte nicht deterministische Festwerte sind, sondern eine gewisse Streuung/Verteilung zwischen einem minimalen und einem maximalen Prozentsatzwert aufweisen. Die Gesamtdicken d_p , die für einen Typ von Verpackung gesammelt worden sind, wurden mit dem Programm @Risk4.5 in einem Balkendiagramm dargestellt, siehe Abbildung 6-23.

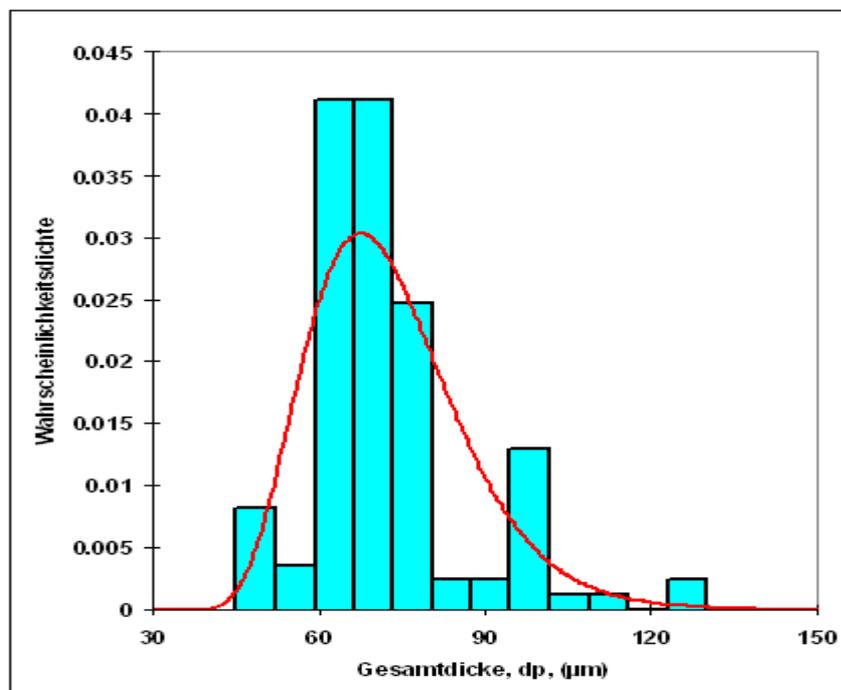


Abbildung 6-23: Balkendiagramm und theoretischer Bestfit für die Gesamtdicke, d_p , von weichen Oberfolien, OFw, Typ 1 für Wurstwaren W-A in Scheiben.

Die dp- und pz-Verteilungen wurden anschließend mit dem Programm GoldSim in ein stochastisches Schema für die Berechnung von dp1, dp2 und dp3 eingegeben, siehe Abbildung 6-24.

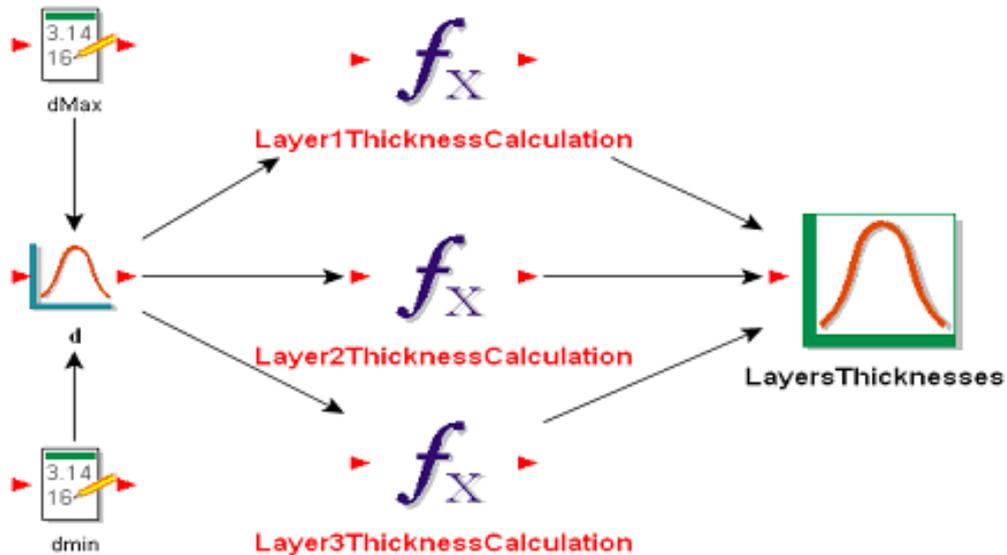
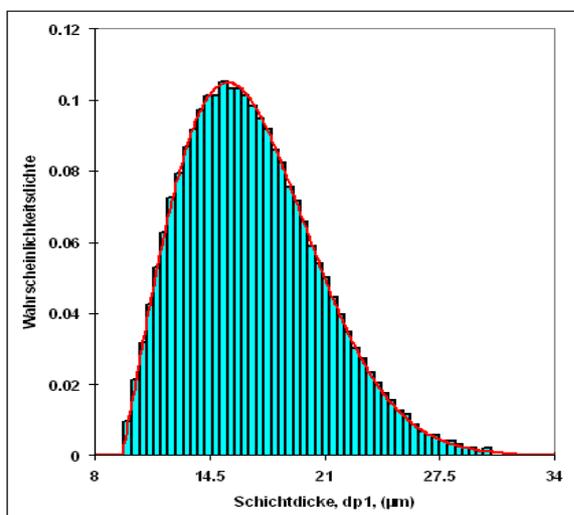
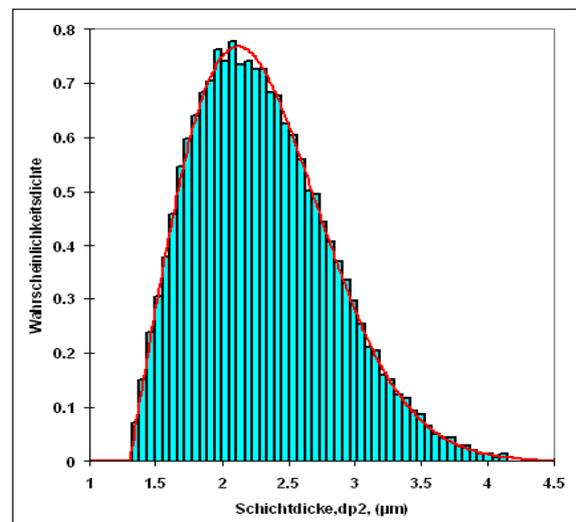


Abbildung 6-24: GoldSim-Schema für die Berechnung der Einzelschichtdicken für eine 3-Schicht Verpackung.

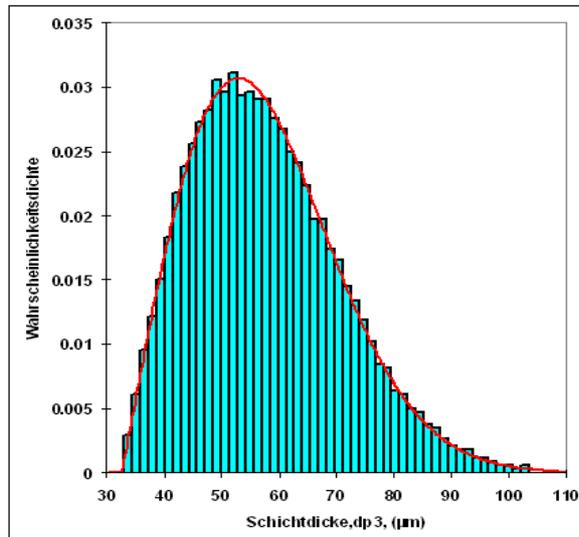
Das GoldSim-Programm wählt 2500 Mal, auch in diesem Fall nach einem Monte-Carlo Zufallsprinzip, Eingabedaten aus den dp-, pz1-, pz2- und pz3-Verteilungen und berechnet 2500 dp1, dp2 und dp3 Werte, die in einer Datei gespeichert werden. Diese Daten werden mit dem Programm @Risk4.5 in Balkendiagrammen verwandelt und theoretisch mit einer analytischen stochastischen Gleichung gefittet. Das Ergebnis, für eine weiche Polyamid/Kaschierkleber/Polyethylen-Folie, PA/KK/PE, die für die Verpackung von Wurstwaren W-A in Scheiben eingesetzt wird, ist in Abbildung 6-25 präsentiert.



a)



b)



c)

Abbildung 6-25: Verteilungen der Schichtdicken, dp1 (a), dp2 (b) und dp3 (c), für eine weiche PA/KK/PE Oberfolie vom Typ1, für die Verpackung von Wurstwaren Typ W-A.

Einer physikalischer Parameter, die einen großen Einfluss auf die spezifische Migration haben, ist die Dauer des Kontaktes, t , zwischen der Verpackung und dem Füllgut. Längere Kontaktzeiten haben logischerweise höhere spezifische Migrationen zur Folge. Wie bereits erwähnt ist es nicht leicht, für die Vielzahl der im Projekt erfassten Verpackungen und Lebensmittel, die genaue Kontaktzeit ab Abpacken bis zum Verzehr durch den Verbraucher zu ermitteln. Deswegen wurde im Rahmen des Projektes die Kontaktzeit als Summe einer Lagerzeit der Waren beim Hersteller und Verkäufer, t^* , und einer Lagerzeit beim Verbraucher, t_v , definiert, (siehe Gleichung 6-1). Es wurde vereinbart, die Zeit t^* als die Summe der Zeit zwischen Einkaufsdatum und MHD plus 10 Tage zu berechnen. In Abbildung 6-26 ist die Lagerzeit t^* für Wurstwaren W-A verpackt in weichen Ober- und Unterfolien, OFw+UFw, gezeigt. Das Balkendiagramm in dieser Abbildung wurde mit dem Programm @Risk 4.5 erstellt und dazu die rote Kurve als Bestfit berechnet.

Die Lagerzeit der Käse und Wurstwaren beim Verbrauchern wurde durch eine firmeninterne Befragung bei FABES GmbH ermittelt und ist in Abbildung 6-27 präsentiert. Das Balkendiagramm und die analytische Kurve aus dieser Abbildung wurden wie oben für t^* erläutert erstellt. Mit der analytischen Verteilungskurve für t^* und t_v und dem Programm GoldSim kann man ein Schema für die Berechnung der Kontaktzeit, t , erstellen, siehe Abbildung 6-28. Die Formel f_x in diesem Schema ist Gleichung 6-1. GoldSim führt 2500 Mal Monte-Carlo Samplingaktionen aus den t^* und t_v Verteilungen durch und berechnet 2500 t Kontaktzeiten, die anschließend mit dem Programm @Risk4.5 in Form von Balkendiagramm und Verteilungskurve dargestellt werden, siehe Abbildung 6-29.

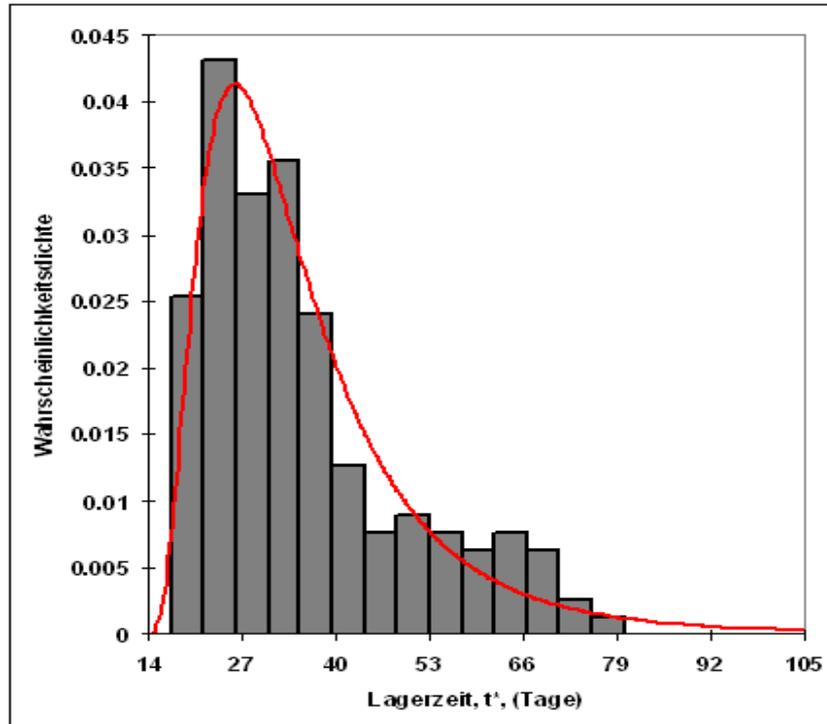


Abbildung 6-26: Lagerzeit t^* von Wurstwaren Typ W-A, am Stück, verpackt in OFw + UFw, und gelagert bei Kühlregal-Temperatur, KR.

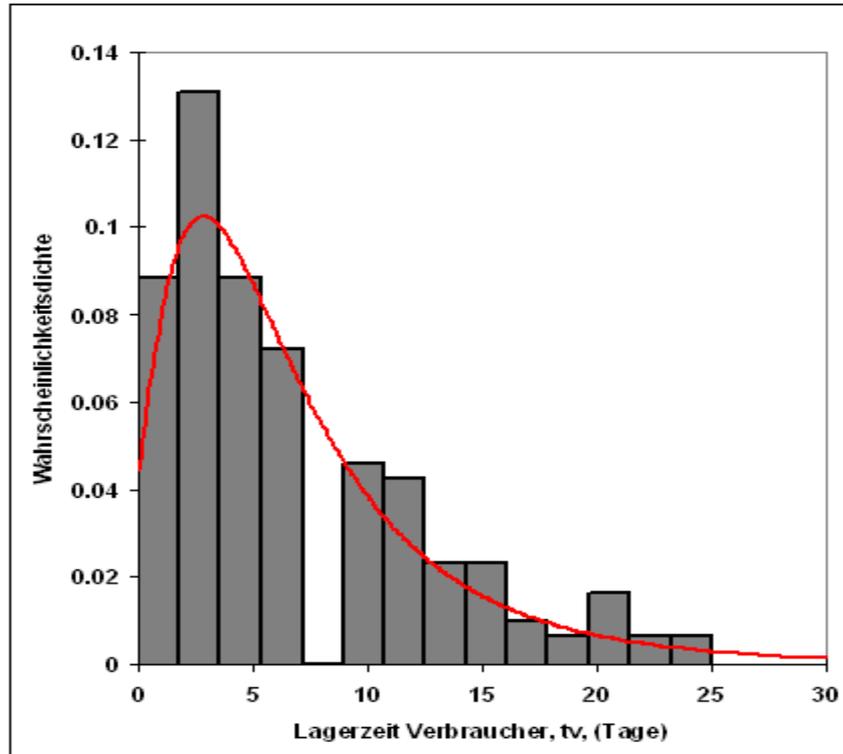


Abbildung 6-27: Verteilung der Lagerzeit von Käse- und Wurstprodukten beim Verbraucher [Tage], firmeninterne FABES-Studie, Jahr 2009.

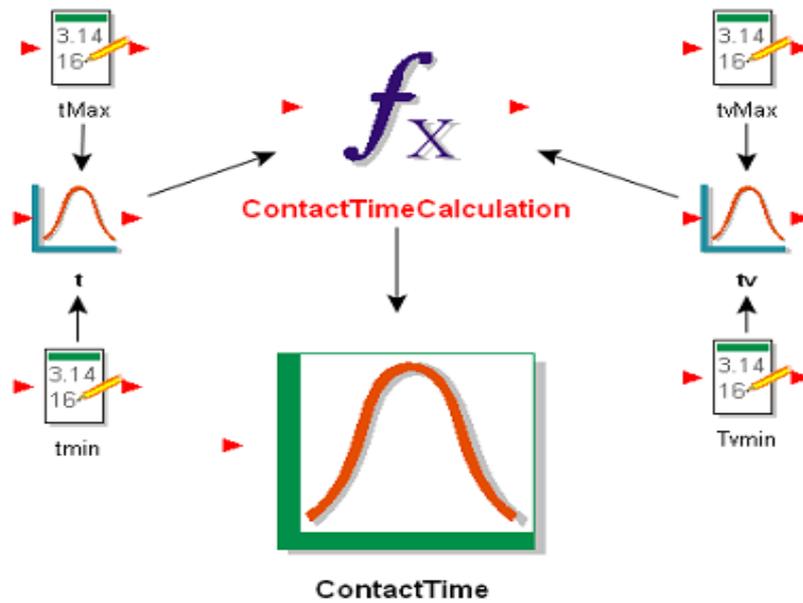


Abbildung 6-28: „GoldSim-Schema“ für die Berechnung der Kontaktzeit, t .

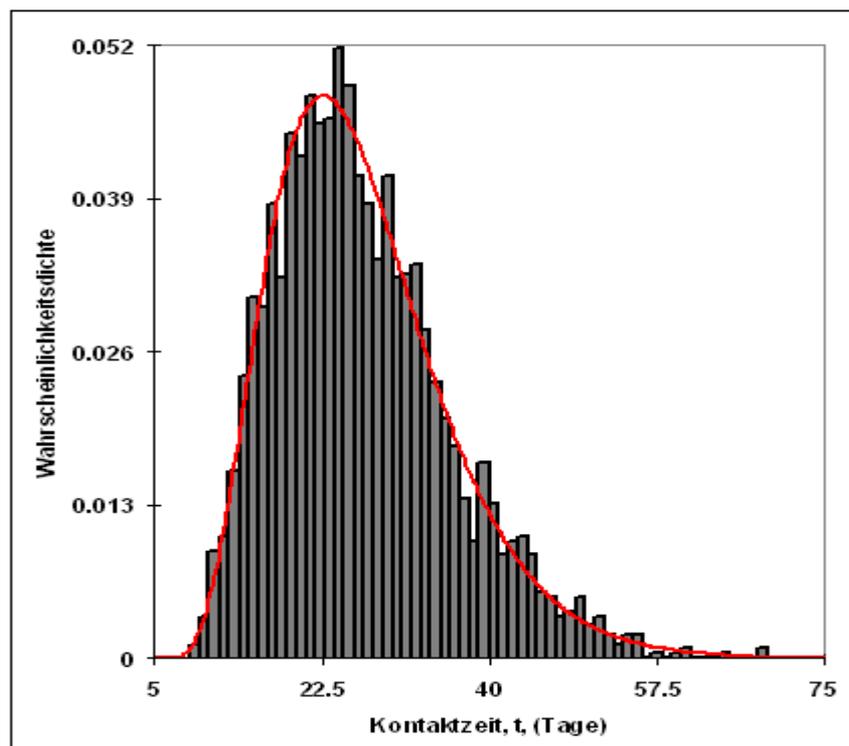


Abbildung 6-29: Berechnete Kontaktzeit, t , zwischen Wurstwaren Typ W-A, am Stück, verpackt in OFw+UFw und gelagert bei KR-Temperatur.

Das oben geschilderte Verfahren wurde für die Ermittlung aller Kontaktzeiten t von Käse- und Wurstwaren verwendet.

6.4.2.4 Chemische Parameter - die Ausgangskonzentrationen C_{po}

Eine Migration von Leitsubstanzen aus einer Verpackung in ein Lebensmittel findet nur statt, wenn in der Verpackung eine gewisse Menge an Leitsubstanzmolekülen vorhanden ist und diese eine gewisse Mobilität aufweisen, d.h. sie nicht fest an die Matrix des Verpackungsmaterials gebunden sind. Die Konzentration der Leitsubstanzmoleküle in der Verpackung, c_{po}, hat einen direkten Einfluss auf die Höhe der spezifischen Migration. Die Bestimmung von C_{po}'s war auch im Rahmen dieses Projektes einer der wichtigen experimentellen Punkte, siehe Abschnitt 6.2.1.1 und 6.2.2.2. Die C_{po}'s, in Konzentrationseinheiten (mg/kg), die im Rahmen dieses Projektes ermittelt wurden, beziehen sich jedoch auf das gesamte Verpackungsmaterial, siehe Abbildung 6-30. Im Falle einer Monoschichtverpackung ist dann dieses C_{po} gleich mit der Ausgangskonzentration der Leitsubstanz. Im Falle der Mehrschichtverpackungen ist die Situation nicht mehr so einfach, da in den meisten Fällen eine Leitsubstanz bei der Herstellung einer Verpackung nicht in allen Schichten der Verpackung eingesetzt wird, sondern in der Regel nur in einzelnen Schichten des Mehrschichtverbundes. Während der Herstellung und Lagerung dieser Verpackung, noch bevor sie mit dem Lebensmittel in Kontakt kommt, kann es aber zu einer Verteilung (Diffusion) von Leitsubstanzen von einer Schicht zu den anderen kommen. Da in der Regel die Verpackungsmaterialien nicht unmittelbar vor der Verpackung der Käse- und Wurstprodukten hergestellt werden, muss man diese Diffusions-/Migrationsvorgänge berücksichtigen. Dafür muss berechnet werden wie die Gesamtkonzentration C_{po} sich auf die einzelnen Schichten einer Mehrschichtverpackung aufteilt. Im Rahmen dieses Projektes wurde, z.B. für eine 3-Schichten Verpackung, die folgende Methodik angewandt.

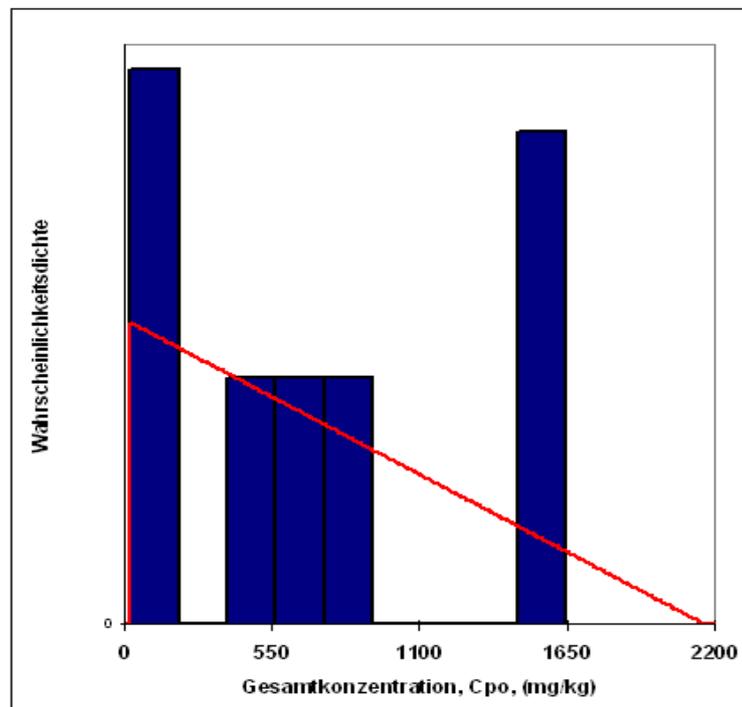


Abbildung 6-30: Gesamtkonzentration von Kaschierkleberkomponenten, KKK, in weichen Oberfolien, OFw, von Typ 1, PA/KK/PE, für die Verpackung von Wurstwaren Typ W-A.

Die Gesamtkonzentration C_{po} einer Leitsubstanz der 3-Schichten Verpackung wird experimentell bestimmt. Diese 3-Schichten Verpackung bestehen aus drei unterschiedlichen Materialien, die die Dicken und Dichten dp_1 , dp_2 und dp_3 bzw. ρ_1 , ρ_2 und ρ_3 haben. Weiterhin ist es möglich, mit den Verfahren, das in Abschnitt 6.4.2.2 präsentiert wurde, die Verteilungskoeffizienten $K_{p_1p_2}$ und $K_{p_2p_3}$ der Leitsubstanz zwischen diesen drei Schichten abzuschätzen. Es wird angenommen, dass die Verpackung bei einer regulären Lagertemperatur, 15 bis 20°C, lange genug gelagert wird (mindestens 20 bis 30 Tage), dass die Leitsubstanz sich bis zum Gleichgewicht in jeder der drei Schichten löst. Mit dieser Annahme kann man folgende Massenbilanzgleichung schreiben:

$$C_{po} (dp_1 \cdot \rho_1 + dp_2 \cdot \rho_2 + dp_3 \cdot \rho_3) = c_{p_1} \cdot dp_1 \cdot \rho_1 + c_{p_2} \cdot dp_2 \cdot \rho_2 + c_{p_3} \cdot dp_3 \cdot \rho_3$$

c_{p_1}, c_{p_2} und c_{p_3} = Gleichgewichtskonzentrationen in den drei Schichten der Verpackung

Gleichung 6-9: Massenbilanzgleichung für die Verteilung einer Leitsubstanz in einer 3-Schichten Verpackung.

Für die Situation des Gleichgewichtes der Lösung der Leitsubstanz in der 3-Schichten Verpackung kann man noch folgende Gleichung schreiben:

$$K_{p_1p_2} = \frac{C_{p_1}}{C_{p_2}} \quad \text{und} \quad K_{p_2p_3} = \frac{C_{p_2}}{C_{p_3}}$$

Gleichung 6-10: Verteilungskoeffizienten in einer 3-Schichten Verpackung.

Die oben genannten Gleichungen lassen sich kombinieren und so kann man die Gleichgewichtskonzentrationen in den drei Schichten der Verpackung ermitteln, Gleichung 6-11.

$$C_{p_1} = \frac{C_{po} (dp_1 \cdot \rho_1 + dp_2 \cdot \rho_2 + dp_3 \cdot \rho_3)}{dp_1 \cdot \rho_1 + \frac{dp_2 \cdot \rho_2}{K_{p_1p_2}} + \frac{dp_3 \cdot \rho_3}{K_{p_1p_2} \cdot K_{p_2p_3}}}$$

$$C_{p_2} = \frac{C_{po} (dp_1 \cdot \rho_1 + dp_2 \cdot \rho_2 + dp_3 \cdot \rho_3)}{dp_1 \cdot \rho_1 \cdot K_{p_1p_2} + dp_2 \cdot \rho_2 + \frac{dp_3 \cdot \rho_3}{K_{p_2p_3}}}$$

$$C_{p_3} = \frac{C_{po} (dp_1 \cdot \rho_1 + dp_2 \cdot \rho_2 + dp_3 \cdot \rho_3)}{dp_1 \cdot \rho_1 \cdot K_{p_1p_2} \cdot K_{p_2p_3} + dp_2 \cdot \rho_2 \cdot K_{p_2p_3} + dp_3 \cdot \rho_3}$$

Gleichung 6-11: Formeln für die Berechnung der Gleichgewichtskonzentrationen in einer 3-Schichten Verpackung.

Die Formeln von Gleichung 6-11 können, mit dem Programm GoldSim, mit stochastischen Verteilungen geschrieben werden, um eine Verteilung der Konzentrationen Cp_1 , Cp_2 und Cp_3 zu berechnen, siehe Abbildung 6-31.

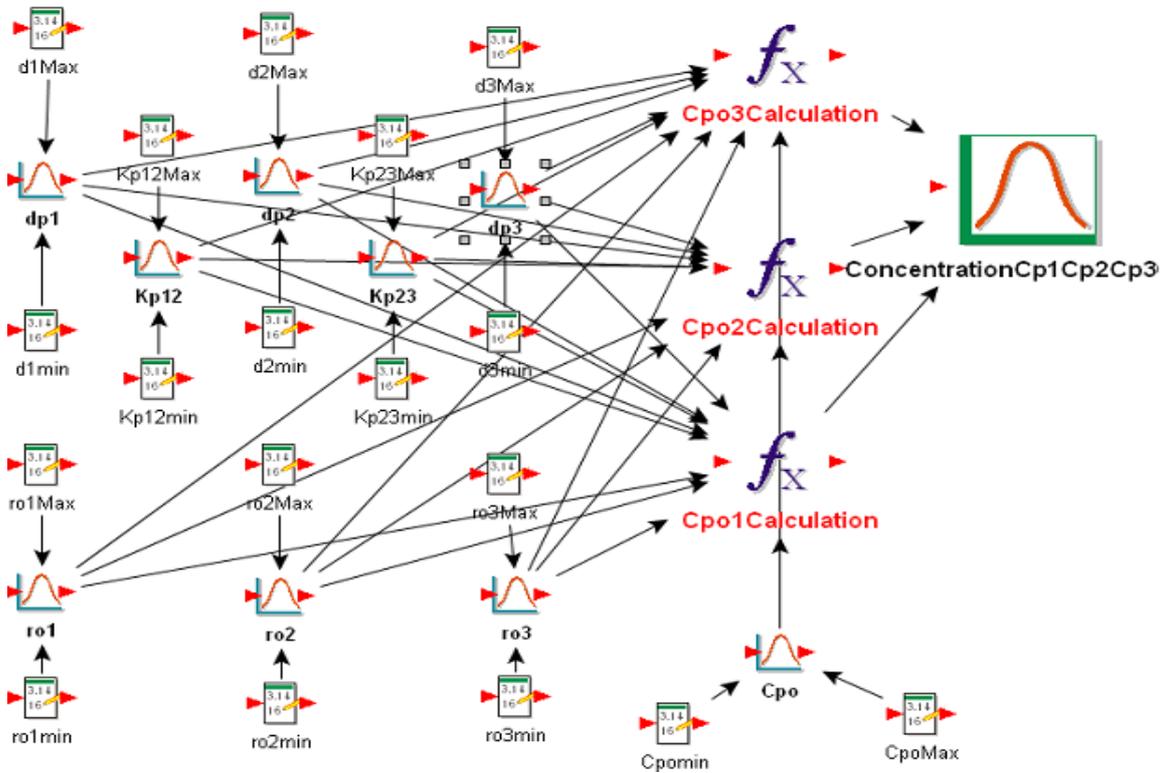
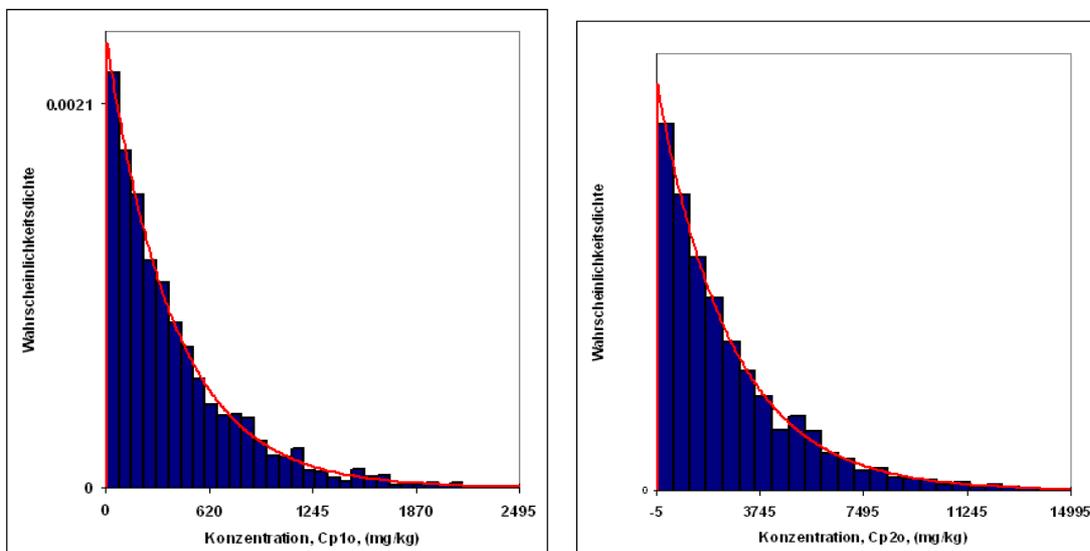


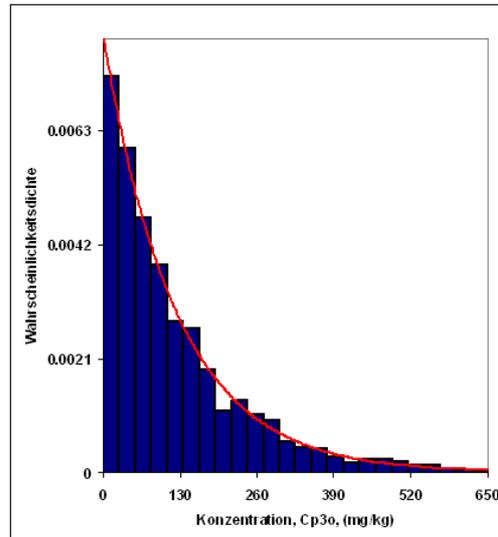
Abbildung 6-31: GoldSim-Schema für die stochastische Berechnung der Gleichgewichtskonzentrationen, cp_1 , cp_2 und cp_3 , einer Leitsubstanz in einer 3-Schichten Verpackung.

Nach dem bereits mehrmals beschriebenen Verfahren werden mit der GoldSim-Schema aus Abbildung 6-31 stochastisch 2500 Mal die Konzentrationen Cp_1 , Cp_2 und Cp_3 berechnet und mit dem Programm @Risk4.5 als Balkendiagrammen und Verteilungen dargestellt, siehe Abbildung 6-32.



a)

b)



c)

Abbildung 6-32: Gleichgewichtskonzentrationen von Kaschierkleberkomponenten in den a) Polyamid,PA, b) Kleber,KKK, und c) Polyethylen,PE-Schichten einer weichen Oberfolie, OFw, vom Typ 1 PA/KK/PE.

In der Abbildung 6-32 ist zu erkennen, dass die berechnete Gleichgewichts-KKK-Konzentration in der Kleberschicht deutlich höher ist als in den anderen zwei Schichten der PA/KK/PE Oberfolie. Das ist normal, da die KKK ursprünglich nur in der Kleberschicht waren und deren Löslichkeit hier normalerweise höher ist als in den angrenzenden Polymeren.

6.4.2.5 Stochastische Berechnung der spezifischen Migration (SM)

Nachdem, für ein Verpackung-Lebensmittel System, alle obengenannten Migrationsparameter, als stochastische Verteilungen ermittelt wurden, kann man diese Daten für die stochastische Berechnung der spezifischen Migration einsetzen. Wie das im Rahmen dieses Projektes gemacht wurde wird in den Folgenden präsentiert.

Für den einfachen Fall einer polymeren Monoschichtverpackung in Kontakt mit einer Flüssigkeit - z.B. eine PET-Flasche gefüllt mit einem Fruchtsaft oder mit Bier – kann man die SM mit einer relativ einfachen analytischen Gleichung berechnen, siehe Gleichung 6-2. Dies ist aber für eine Mehrschichtverpackung in Kontakt mit Käse oder Wurst nicht mehr möglich. Der Grund dafür ist in der Fachliteratur ausführlich geschildert. Die Berechnung der Migration aus einer Mehrschichtverpackung in einem festen und/oder zähflüssigen Lebensmittel – Käse- oder Wurstware – kann man nur mit numerischen Algorithmen machen. In diesem Bericht ist es leider nicht möglich eine, sogar kurze, Präsentation über die Methoden, die speziell für dieses Projekt konzipiert und eingesetzt wurden, um ein numerisches Algorithmus, für SM-Berechnung in Käse- und Wurstwaren, zu entwickel. Es wird einfach behauptet, dass die numerische Berechnung der SM mit dem speziellen Finiten-Differenzen, FD, Algorithmus „DistributionKW“ gemacht wird. Dieser Algorithmus macht, anhand von einem Satz von Eingabeparametern mit festen Werten, eine deterministische Berechnung der SM, d.h. das Ergebnis ist ein fester SM-Wert. In den Abschnitten 6.4.2.1 bis 6.4.2.4 wurde aber gezeigt, dass in diesem Projekt die

Eingabeparameter nicht einzelne Festwerte sind, sondern bestimmte Verteilungen zwischen einem Minimal- und ein Maximalwert aufweisen. Folglich wäre es geeigneter auch die SM aus den Mehrschichtverpackungen in Käse und Wurst als eine stochastische Verteilung und nicht als ein deterministisches Festwert zu ermitteln. Im Rahmen des Projektes wurde dies mit Hilfe des Programmes GoldSim und einer Serie speziell entwickelten Software, genannt „DLL2“ bis „DLL6“, gemacht. Als Beispiel wird, für eine 3-Schichten weiche Oberfolie vom Typ1 und eine Wurstware W-A das Schema dieser Entwicklungen in Abbildung 6-33 , präsentiert. In dieser Abbildung kann man sehen, dass für jeden Eingabeparameter eine Verteilung zugewiesen ist. Das Programm GoldSim wählt aus diesen Verteilungen, nach einem Monte-Carlo Zufallsprinzip, Einzelwerte aus die dann von der Software „DLL4.ddl“ in einer Ausgabetablelle zusammengefasst werden. Gibt man den Befehl dass GoldSim 2500-mal das Monte-Carlo Auswahl durchführt wird die DLL4-Tablelle 2500 Reihen mit Einzelwerten für 15 Eingabeparameter haben, siehe Tabelle 3 .

Im nächsten Schritt liest das numerische Programm „DISTRIBUTION-KW“ aus Tabelle 3 Zeile-für-Zeile ein und berechnet ein SM-Wert. Die Zeit die für 2500 solche Rechnungen gebraucht wird hängt stark von den Eingabewerten ab. Für eine PA/KK/PE Oberfolie und W-A Wurstware bei Kühlregaltemperatur dauert die Berechnung der 2500 SM-Werte zwischen 12 und 24 Stunden, und das mit einem sehr modernen und leistungsfähigen 4-Prozessor Laptop-Computer.

Die 2500 SM-Werte werden anschließend mit dem Programm @Risk4.5 in ein Balkendiagramm und eine Verteilung umgerechnet, siehe Abbildung 6-34.

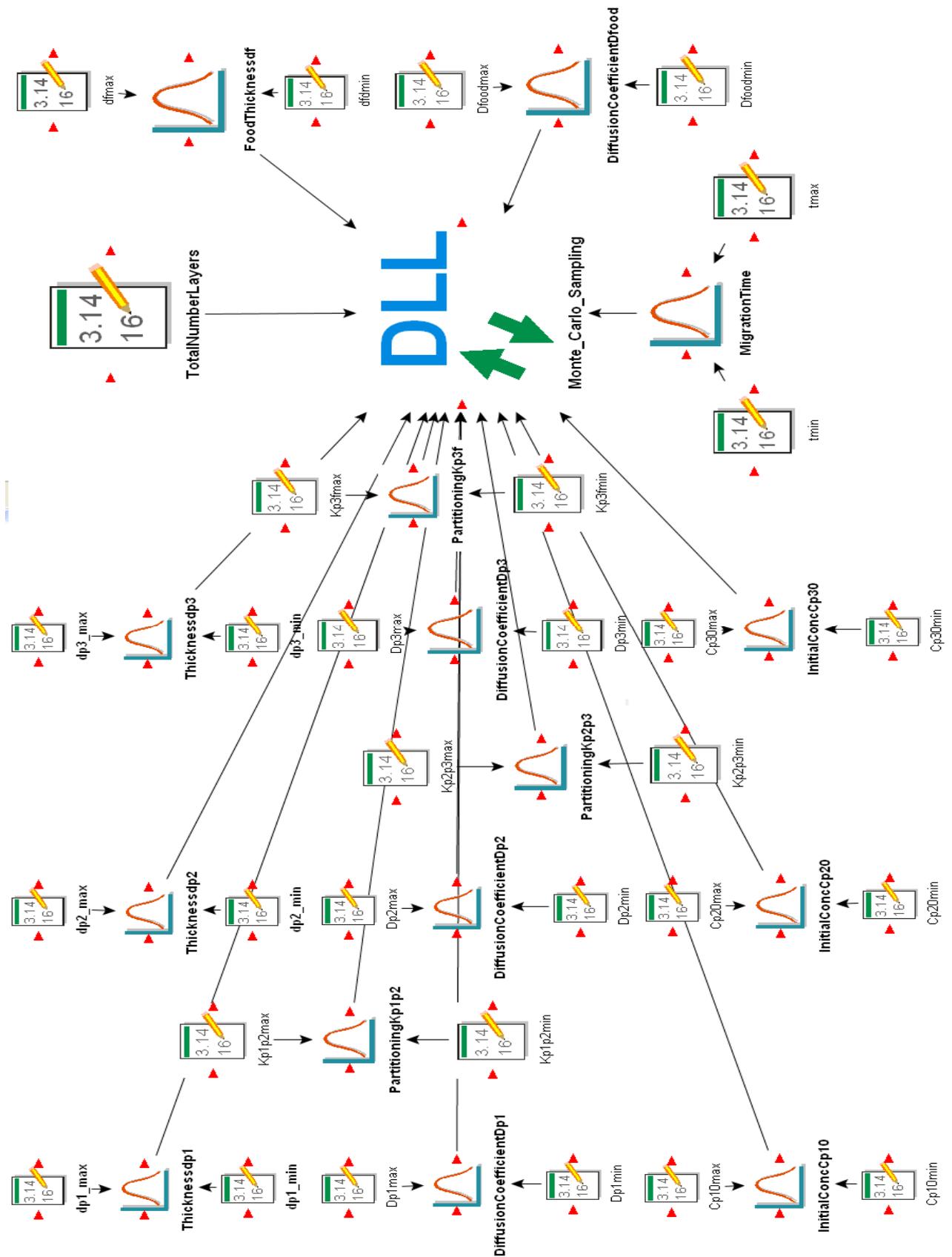


Abbildung 6-33: GoldSim-Schema für die stochastische Berechnung der spezifische Migration, SM, aus einer weichen Oberfolie Typ1, PA/KK/PE in Wurst W-A.

	dp1(µm)	logDp1(cmi ³ s)	Cpo1(mg/kg)	logKp1p2	dp2(µm)	logDp2(cmi ³ s)	Cpo2(mg/kg)	logKp2p3	dp3(µm)	logDp3(cmi ³ s)	Cpo3(mg/kg)	logKp3f	df(µm)	logDf(cmi ³ s)	t (Tage)
1	12.7718	-14.3724	127.655	-0.858775	2.04940	-10.7433	1.663.61	1.57299	79.1204	-10.3772	87.6388	1.39372	18952.6	-8.02948	30.5904
2	16.3011	-15.1345	206.148	-0.856863	3.58396	-11.2896	4269.13	1.45906	62.9598	-9.79095	298.235	1.31692	11009.7	-8.25225	28.8105
3	22.9945	-15.8753	322.905	-0.853726	1.95981	-10.6027	3517.10	1.49810	56.5276	-9.98133	53.3925	1.37975	13762.7	-7.60403	30.4368
4	16.1319	-15.6430	1408.10	-0.820101	3.10638	-11.0861	3493.37	1.46592	56.5603	-9.81110	158.439	1.08017	18342.6	-7.86110	16.2356
5	20.5728	-14.2322	32.9203	-0.825344	2.69321	-11.1470	6541.10	1.44595	54.6493	-10.2531	45.4047	1.54634	9050.91	-8.11844	19.9244
6	19.9335	-14.7394	92.8712	-0.845644	2.52255	-11.0263	6255.62	1.38691	64.4476	-10.5113	14.2541	1.17936	9654.24	-7.85758	29.7215
7	12.1667	-16.1042	123.170	-0.827660	2.56157	-10.9023	3088.47	1.46661	66.3925	-10.6228	134.715	1.29441	15309.7	-8.01448	19.8761
8	14.3094	-15.5903	248.398	-0.830114	2.46986	-10.9998	68.0064	1.55042	49.3816	-10.3012	114.380	1.26937	12580.5	-8.03967	28.2757
9	32.6836	-15.0584	443.494	-0.855644	1.39708	-10.9847	1332.22	1.58651	65.5007	-10.0581	173.010	0.951185	10499.8	-7.54893	8.89679
10	12.8675	-14.1264	347.732	-0.777471	1.91405	-11.0082	3635.55	1.38399	58.9999	-9.75555	307.496	1.35356	16317.5	-8.76322	28.5999
11	18.7428	-15.6418	411.221	-0.859238	1.61569	-10.4477	1718.60	1.45494	41.1761	-9.64555	33.1799	1.26299	16261.5	-7.89774	11.7722
12	16.5986	-14.3294	26.2597	-0.894981	2.33505	-11.5403	7549.64	1.51461	37.9229	-9.94688	145.222	1.03132	15543.5	-7.58789	27.4072
13	10.8165	-14.6351	1309.91	-0.847037	3.08055	-11.2231	2002.96	1.58803	45.1085	-9.99958	57.8403	1.26998	18927.7	-8.22962	23.1034
14	17.9098	-17.2297	309.488	-0.918137	2.10542	-11.5788	14557.6	1.43570	48.0252	-9.99447	395.792	1.16362	15738.1	-8.09079	21.1707
15	18.8902	-16.6736	44.6285	-0.878490	3.21417	-10.5924	34.0980	1.50998	67.0995	-9.58777	87.2784	1.36948	13389.5	-7.31921	12.6105
16	17.6499	-13.7334	201.786	-0.861272	2.04010	-10.8472	6271.76	1.41970	57.1019	-9.95660	128.258	1.22496	15838.2	-7.14944	31.3668
17	24.1745	-16.0958	81.4696	-0.859254	2.62920	-11.2454	2732.11	1.56575	51.3505	-9.48456	45.7407	1.37676	9600.78	-7.41030	18.5370
18	15.8092	-15.1831	713.253	-0.851928	1.83633	-11.0819	1368.25	1.42710	53.1614	-10.3454	21.0235	1.21274	17126.8	-7.86411	21.4362
19	17.3406	-16.3317	395.863	-0.880999	3.52319	-11.4450	3176.74	1.41180	64.3980	-9.42992	411.855	1.17857	12064.1	-7.57018	29.7084
20															
21															
22															
23															
24															
2495	17.5927	-14.1895	82.9090	-0.802772	2.34059	-10.5017	2700.63	1.56775	46.4087	-10.2011	36.2967	1.39746	14422.9	-7.70919	17.4511
2496	16.8157	-15.1380	73.5331	-0.863901	2.11344	-10.4645	2166.31	1.47901	55.5026	-10.2586	191.065	1.53250	15612.9	-7.77227	21.1243
2497	17.5504	-14.8382	64.2558	-0.846970	1.58433	-10.9763	1861.53	1.49425	56.5164	-9.79728	30.6319	1.29802	15961.4	-7.32385	25.1009
2498	15.1012	-15.4936	180.822	-0.786809	1.51049	-10.8855	669.303	1.42123	36.1488	-9.94846	17.0530	1.23159	13614.1	-7.73724	22.0717
2499	11.7745	-15.3310	176.098	-0.832192	2.43664	-11.1203	1533.47	1.46078	56.2065	-10.0166	195.421	1.32321	11061.0	-7.97311	20.3032
2499	13.7884	-14.5338	645.028	-0.862801	3.32816	-10.8395	1376.18	1.38834	63.5342	-10.0986	117.691	1.46133	14856.8	-7.40271	27.3020
2500	24.8899	-15.3175	301.460	-0.869548	2.54115	-11.3163	5343.64	1.59518	41.8435	-10.3554	28.8390	1.34599	13737.0	-8.14742	18.4712

Tabelle 3: Eingabedaten für die stochastische Berechnung der spezifischen Migration.

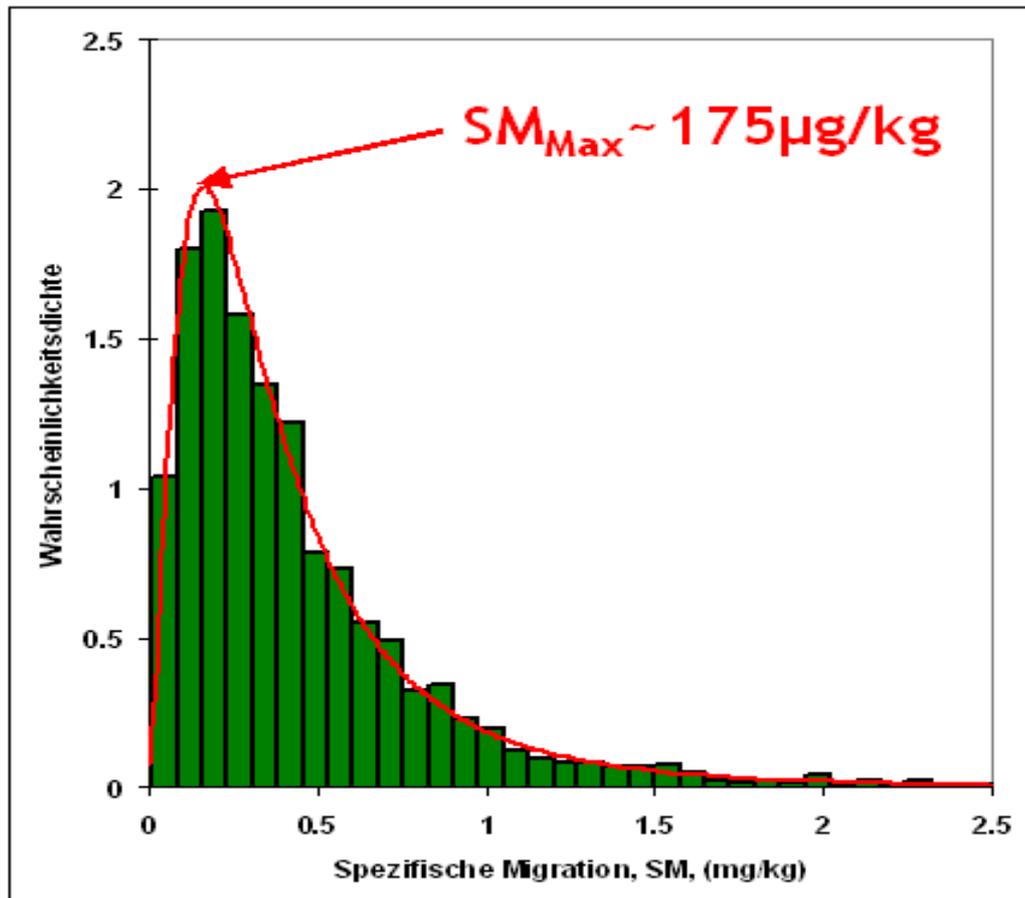


Abbildung 6-34: Verteilung der spezifischen Migration von Kaschierkleberkomponenten aus einer weichen Oberfolie Typ1, PA/KK/PE, in Wurst W-A bei KR-Temperatur.

Solche SM-Verteilungen wurden für jedes Migrationsszenario sowohl für die Käse- als auch Wurstwaren berechnet. Insgesamt wurden so für die Leitsubstanz Caprolactam und die Kaschierkleberkomponenten insgesamt 190 SM-Verteilungen in Käse und Wurst ermittelt. Um diese Berechnungen in einer vernünftig langen Zeitspanne zu realisieren, liefen, rund um die Uhr, zwei und zeitweise sogar drei leistungsfähige Home-Computer über zwei Monate.

6.4.3 Validierungsschritt

Da im Rahmen dieses Projektes keine experimentellen Daten zur Exposition ermittelt wurden, erfolgte die Prüfung und Validierung des Expositionsmodells durch den Vergleich der Verteilungen zur abgeschätzten spezifischen Migration mit den experimentell bestimmten Migrationswerten aus der Studie der am Markt befindlichen in Käse- und Wurst-Verpackungen in AS2. Eine positive Validierung des Verfahrens zur Migrationswertabschätzung lag vor, wenn die experimentellen Werte $c_{F,t}$ innerhalb der Verteilungen der abgeschätzten Werte lagen, d. h. die durch das Abschätzungsverfahren generierten Daten die Messwerte überschätzten oder zumindest gleich groß waren, siehe Abbildung 6-35.

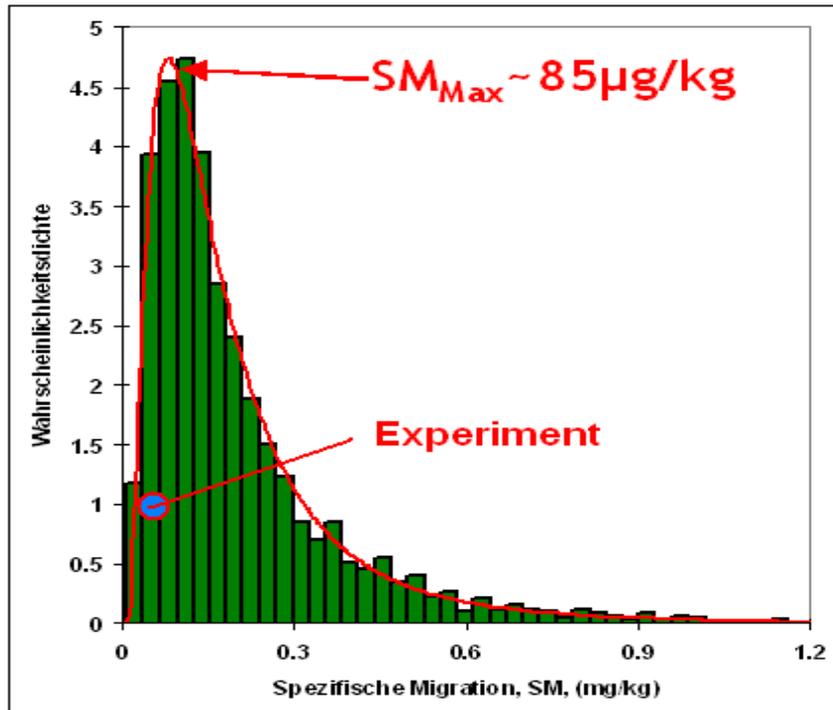


Abbildung 6-35: Vergleich zwischen der abgeschätzten SM für Caprolactam auf OFw für Wurstwaren W-A die im KR gelagert werden mit dem experimentell gemessenen Wert.

6.5 Arbeitsschritt 5 (AS5)

In AS5 wurde auf Grundlage der Daten-Verteilungen zur spezifischen Migration (AS4) und zum Verzehr (AS3) die Verbraucherexposition mittels der speziell für dieses Projekt entwickelten und optimierten Algorithmen und Rechenmodule abgeschätzt.

Die Expositionsabschätzungen wurden in Abhängigkeit von den Parametern Alter und Geschlecht durchgeführt. Diese beeinflussen nicht nur die Verzehrmenge, sondern auch das Verzehrverhalten in Bezug auf industriell verpackte Ware aus dem Selbstbedienungsbereich sowie der Ware von der Frischetheke. Es war zudem möglich, auch regionale Unterschiede der Verbraucherexposition wie beispielsweise die Unterschiede zwischen Stadt und Land abzuschätzen.

Um die Verbraucherexposition ableiten zu können, wurde in diesem Arbeitsschritt das stochastische Migrationsmodell mit den tagesbezogenen Verzehrsgewohnheiten der bayerischen Verbraucher bezüglich Käse- und Wurstwaren verknüpft.

Die Höhe der Exposition eines Verbrauchers mit Substanzen die aus einer Verpackung in einem Lebensmittel migrieren, hängt nicht nur von der Höhe der spezifischen Migration (SM), sondern auch von den Ernährungsgewohnheiten, FC, des Konsumenten, die sich aus dem individuellen Warenkorb ergeben ($\sum FC$ der Lebensmittel), sowie dessen Körpergewicht (Body Weight) ab. Mathematisch lässt sich die Verbraucherexposition durch die einfache Gleichung 3-1 beschreiben. Diese Gleichung kann man deterministisch und/oder stochastisch berechnen in dem man nur feste Werte bzw. Verteilungen für die Eingabeparameter FC, BW und SM

definiert. In diesem Projekt wurden durch die Datenerhebungen vom Markt, Laborarbeiten und theoretischen Abschätzungen Verteilungen für SM ermittelt. Es ist nun logisch auch für die anderen Parameter der Gleichung 3-1 Verteilungen zu definieren. Diese wurden für BW anhand von Ergebnissen aus dem Mikrozensus und für FC aus dem Tabellenband der BVS berechnet. Für dieses Zweck wurde erneut das Programm GoldSim verwendet und zwar wurden durch ein Monte-Carlo Auswahlverfahren BW bzw. CF Verteilungen zwischen den minimal- und maximal Werten dieser Parameter, generiert, siehe Abbildung 6-36.

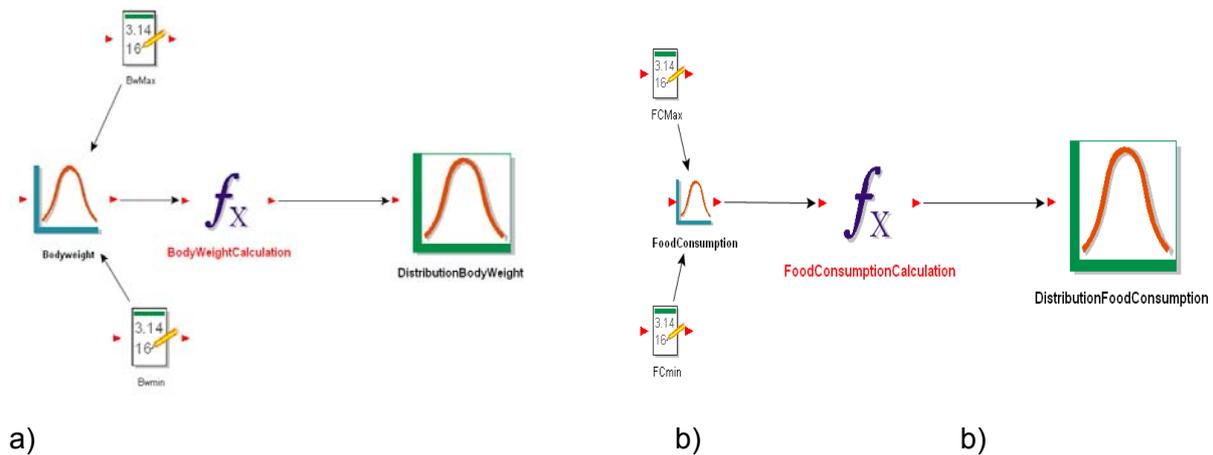
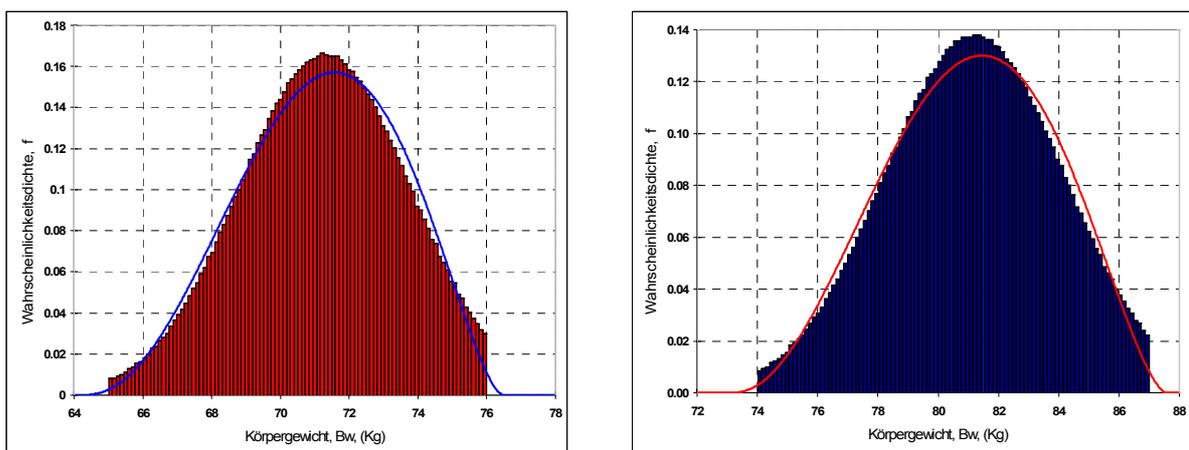


Abbildung 6-36: GoldSim-Schemen für die Berechnung der BW- bzw. FC-Verteilungen

Mit dem Programm @Risk4.5 wurden die jeweils 2500 BW bzw. FC-Werte die GoldSim generiert als Balkendiagrammen und Verteilungen dargestellt, siehe Abbildung 6-37 und Abbildung 6-38.

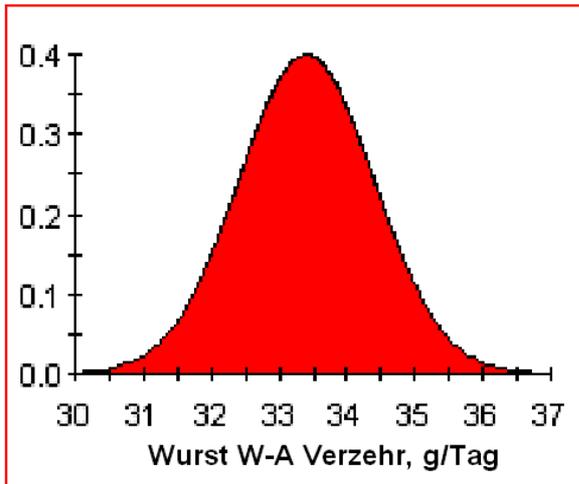
Bei der Berechnung der Exposition wurde auch berücksichtigt, dass die Verbraucher nur einen Teil Ihrer Einkäufe von der Selbstbedienungstheke – wo alle Käse und Wurstwaren verpackt sind - machen. Folglich wurde in den Expositionsberechnungen auch Verteilungen des Einkaufsmusters einbezogen, siehe Abbildung 6-39.



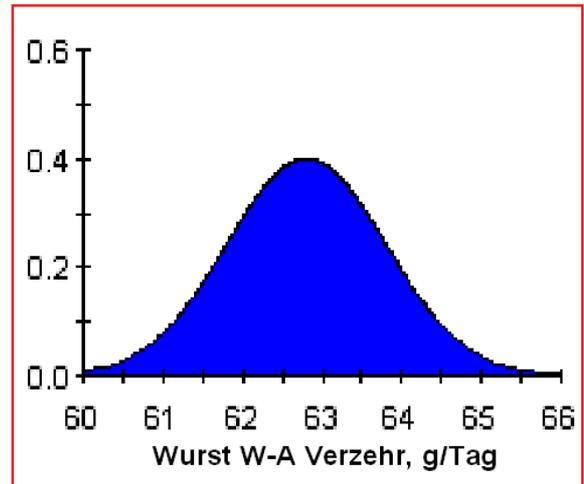
a)

b)

Abbildung 6-37: Verteilungen des Körpergewichtes von a) Frauen und b) Männern im Alter > 64 Jahre.



a)



b)

Abbildung 6-38: Verteilungen der Verzehrmenge von Wurstwaren W-A von a) Frauen und b) Männern im Alter zwischen 50 und 64 Jahre.

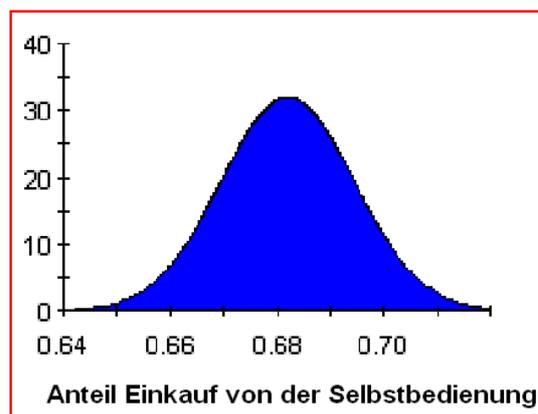


Abbildung 6-39: Verteilung des Anteiles für den Einkauf von der Selbstbedienungstheke bei Männern zwischen 50 und 64 Jahren.

Im Rahmen des Projektes wurde festgestellt, dass sowohl Käse als auch Wurstwaren in vielen Typen von Mehrschichtverpackungen im Handel angeboten werden. Das bedeutet eigentlich, dass ein Verbraucher, der sein Durchschnittsbedarf mit diesen Lebensmitteln deckt, nur eine begrenzte Anzahl von Verpackungen einkauft. Das hat als Ergebnis, dass die Person die Käse oder/und Wurstprodukten verzehrt nur dem Anteil der spezifischen Migrationen ausgesetzt/exponiert wird, die aus den von ihr gekauften Verpackungen stattfinden. Es war aber leider nicht möglich im Rahmen des Projektes, durch Kundebefragung die Einkaufsmuster der Verbraucher, nach Produkt- und Verpackungstyp, zu ermitteln. Folglich war es nicht möglich z.B. für eine gewisse Gruppe von Verbrauchern die Exposition nach ihrem Einkaufsmuster für Käse und Wurst zu berechnen. Solch eine Berechnung wurde aber gemacht mit der Annahme, dass jede Geschlechts und Altersgruppe, die Anteile der einzelnen Käse und Wurstwaren von der Selbstbedienungstheke so einkauft wie diese Anteile in der Marktstudie gefunden wurden. In diesem Sinne wurden für jede Käse und Wurstverpackung Anteilstabellen erstellt, siehe

Tabelle 4, und diese Anteile in der Berechnung der Exposition einbezogen. In dieser Tabelle sind z.B. für die SM von KKK aus UFW Typ1 , PA/KK/PE, in Wurstwaren W-A am Stück die in einer weichen Ober- und Unterfolie Typ1 verpackt sind und im Kühlregal gelagert werden – Datei SM-KKK-OFwTyp1-PA-KK-PE-W-A-aS-OFw+UFW-KR - die folgenden Anteile berücksichtigt (Daten aus der Marktstudie):

- 83,5% der Wurstwaren, die erfasst wurden sind vom Typ W-A
- 67,4% der Wurstwaren W-A werden in Verpackungen vom Typ 1 verpackt
- 29,6% der Verpackungen Typ1 haben eine weiche Unterfolie, UFW
- von allen UFW's sind nur 15% vom Typ PA/KK/PE
- in den UFW's aus PA/KK/PE werden zu 99% Wurstwaren W-A am Stück verpackt und
- von allen Wurstwaren W-A werden 89,7% im Kühlregal gelagert.

Der Gesamtanteil der SM von KKK aus den oben genannten Verpackung- und Lagerkonditionen liegt bei ca. 2,22%.

All diese Anteile werden, im Rahmen eines GoldSim-Schemas, in der stochastischen Berechnung der Exposition berücksichtigt. Solch ein Schema für die Berechnung der Exposition mit KKK, die aus mit Unterfolien UFW und UFH verpackten Wurstwaren W-A stammen, ist in Abbildung 6-40 präsentiert. Durch ein Monte-Carlo Zufallsverfahren werden aus allen Verteilungen Eingabeparameterwerte ausgewählt und Gleichung 6-12 berechnet. Für Männer im Alter von 50 bis 64 Jahren ist die berechnete Expositionsverteilung in Abbildung 6-41 präsentiert. Ähnliche Verteilungen werden für die anderen Typen von Verpackungen (Oberfolien Typ1 und Folien Typ 3) für Wurst W-A berechnet und am Ende zu einer Gesamtexposition des Verbrauchers mit KKK aus Wurstwaren W-A zusammengefügt. Dies wird erneut mit ein GoldSim-Schema gemacht, siehe Abbildung 6-42, und mit dem Programm @Risk4.5 in ein Balkendiagramm mit Verteilungskurve dargestellt, Abbildung 6-43. Dieses Prozedere wird auch für die Wurstwaren W-B und W-C eingesetzt um dann mit den Teilexpositionen mit KKK aus den drei Typen von Wurstwaren die Gesamtexposition mit diesem Migrant zu ermitteln, siehe das entsprechende GoldSim-Schema in Abbildung 6-44.

$$\begin{aligned}
 \text{ExpE} \left[\frac{\mu\text{g}}{\text{Kg}(\text{BW}) \cdot \text{Tag}} \right] &= \\
 &= \frac{A_{WW} \cdot A_{VPS} \cdot A_F \cdot A_{AF} \cdot A_{TK}}{10^9} \cdot \frac{\text{Lebensmittelverzehr}_{FC} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{Tag}} \right] \cdot \text{SM} \left[\frac{\text{mg}}{\text{Kg}} \right]}{\text{Körpergewicht}_{BW} [\text{Kg}]}
 \end{aligned}$$

Gleichung 6-12: Gleichung für die Berechnung der Exposition unter Berücksichtigung der spezifischen Anteile, die ein Verpackung/Lebensmittel-System vom Markt charakterisieren.

Das Endergebnis der Berechnungen der Exposition mit KKK wird als Verteilung in Abbildung 6-45 präsentiert.

Spezifische Migration	Datei	ID	Anteil Wurst-Waren		Anteil Verpackungstyp		Anteil Folientyp	Anteil Aufbau Lebensmittel	Anteil Temperatur Konditionen		Gesamtanteil				
			AWW	AVPG	AVPS	AF			AAF	ATK		GA			
(%)															
SM-KKK-UF*Typ1-PA-KK-PE-V-A-aS-OI*Uf*KR		SM1	W-A	83,5	Typ1	67,4	UFw	29,6	PA-KK-PE	45,0	aS	99,0	KR	89,7	2,2196
SM-KKK-UF*Typ1-PA-KK-PE-V-A-aS-OI*Uf*RT		SM2	W-A	83,5	Typ1	67,4	UFw	29,6	PA-KK-PE	45,0	aS	100,0	RT	7,3	0,1818
SM-KKK-UF*Typ1-PA-KK-PE-V-A-aS-OI*Uf*PT		SM1	W-A	83,5	Typ1	67,4	UFw	29,6	PA-KK-PE	45,0	aS	100,0	PT	3,0	0,0750
SM-KKK-UF*Typ1-PA-KK-PE-V-A-aS-OI*Uf*PT*KR		SM2	W-A	83,5	Typ1	67,4	UFw	29,6	PA-KK-PE	45,0	aS	99,0	PT+KR	2,8	0,0686
SM-KKK-UF*Typ1-PA-KK-PE-V-A-aS-OI*Uf*PT*RT		SM3	W-A	83,5	Typ1	67,4	UFw	29,6	PA-KK-PE	45,0	aS	100,0	PT+RT	0,2	0,0056

Tabelle 4: Anteilstabelle für die Berechnung der Exposition mit Kaschierkleberkomponenten, KKK, die aus weichen Unterfolien vom Typ 1, PA/KKPE, in Wurstwaren W-A migrieren.

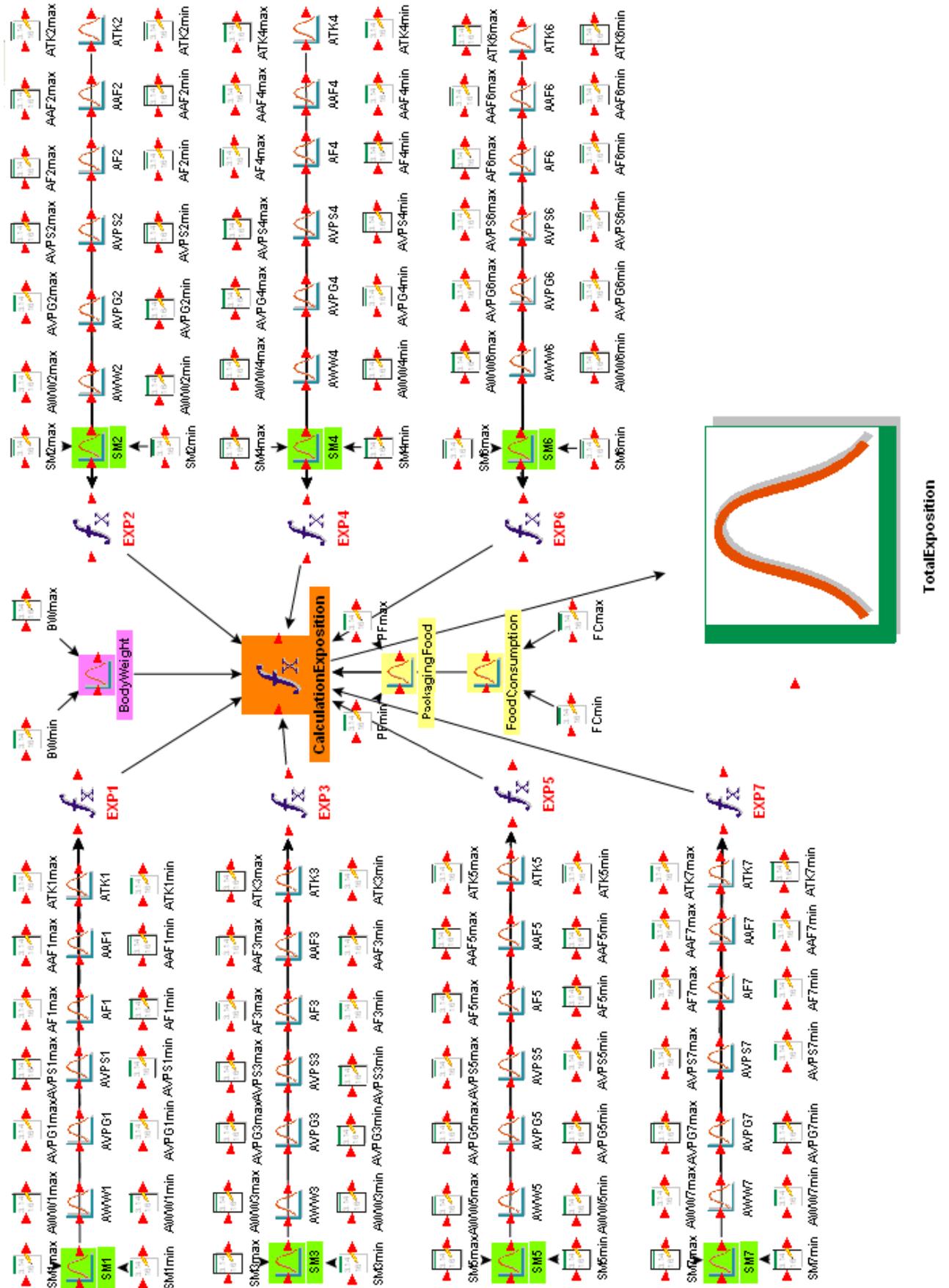


Abbildung 6-40: GoldSim-Schema für die Berechnung der Exposition mit KKK aus UFW+UFh für W-A gelagert im KR.

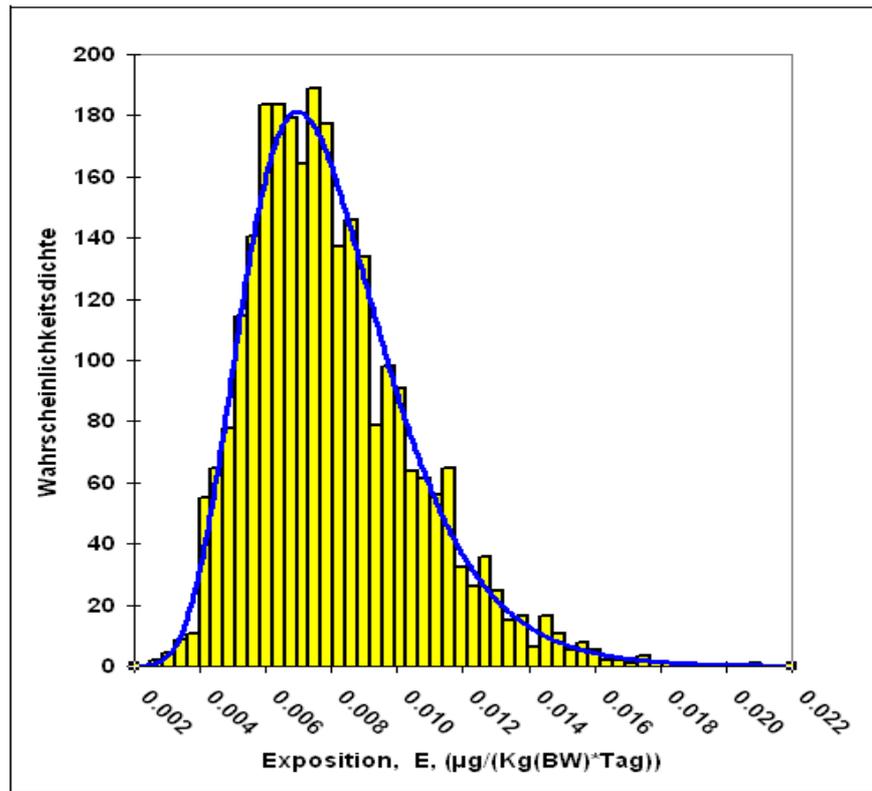


Abbildung 6-41: Verteilung der Exposition von Männern im Alter von 50 bis 64 Jahren mit KKK aus UFW+UFh für Würstwaren W-A gelagert bei KR-Temperatur.

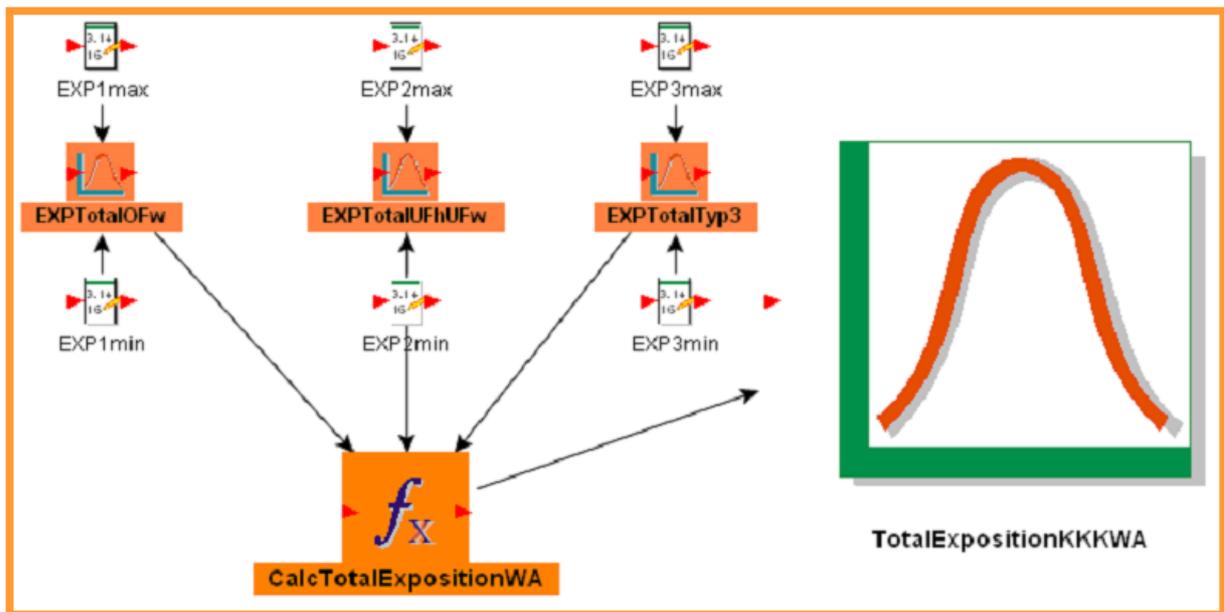


Abbildung 6-42: GoldSim-Schema für die Berechnung der Gesamtexposition des Verbrauchers mit KKK die aus Würstwaren W-A stammen.

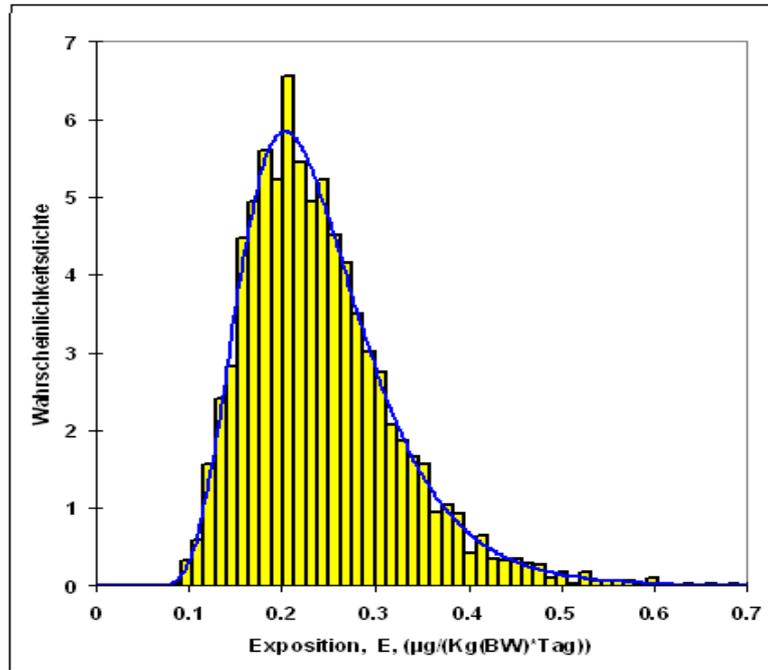


Abbildung 6-43: Verteilung der Gesamtexposition von Männern im Alter von 50 bis 64 Jahren mit KKK aus Wurstwaren W-A.

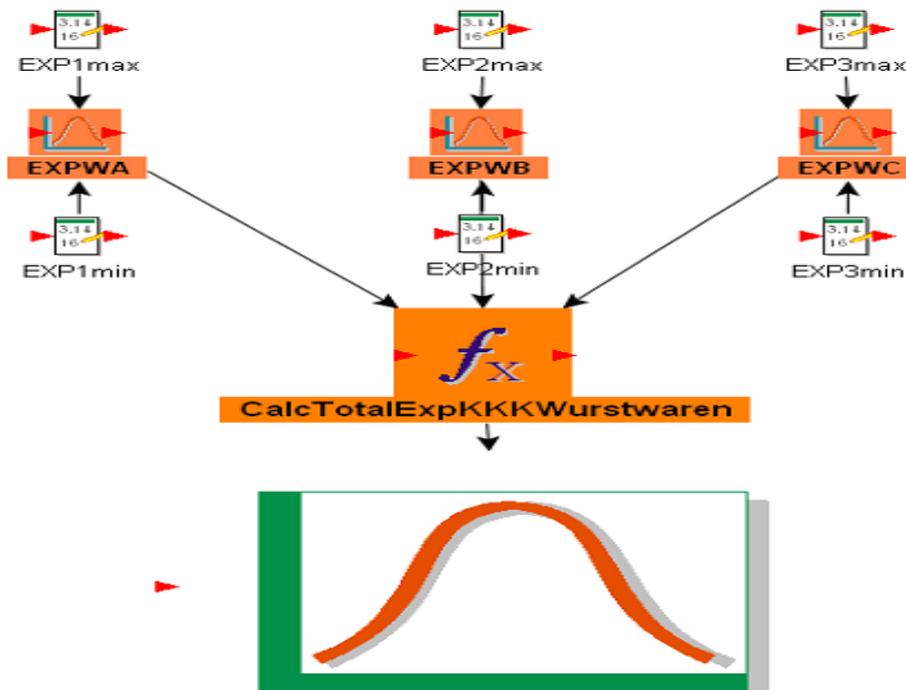


Abbildung 6-44: GoldSim-Schema für die Berechnung der Gesamtexposition des Verbrauchers mit KKK die aus allen Wurstwaren stammen.

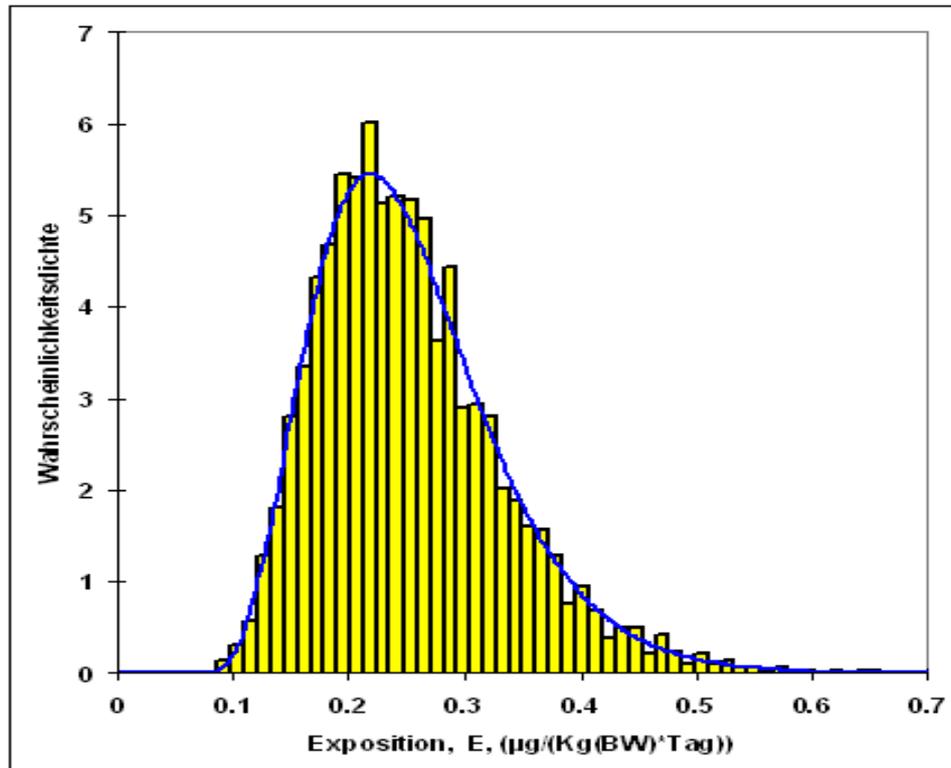


Abbildung 6-45: Verteilung der Gesamtexposition von Männern im Alter von 50 bis 64 Jahren mit KKK aus allen Wurstwaren.

Die oben geschilderte Methodik wurde für die Ermittlung aller Expositionen mit Caprolactam und Kaschierkleberkomponenten verwendet. Obwohl diese Methodik auf eine bedeutende Anzahl von Zwischenschritten und Berechnungen beruht, hat sie den Vorteil, dass es bei jedem einzelnen Schritt möglich ist, die Zwischenergebnisse zu überprüfen und auszuwerten. Dies wurde im Rahmen des Projektes, als eine gute Methode zur Kontrolle der Richtigkeit der Berechnungen, betrachtet.

7 Ergebnisse

In den folgenden Kapiteln werden die Ergebnisse der einzelnen Arbeitsschritte und des Validierungsschrittes erläutert.

7.1 Arbeitsschritt 1 (AS1)

In AS1 wurden im Rahmen einer lokalen Marktstudie sowie anhand experimenteller Untersuchungen Informationen zur Verpackung von Käse und Wurstwaren gesammelt.

7.1.1 Lokale Marktstudie (München, Jahr 2009)

Im Rahmen der Markterhebungen wurden 3775 Käse- und Wurstverpackungen erfasst, wovon 1888 Käseverpackungen und 1887 Wurstverpackungen waren. Eine wichtige Aufgabe war es, diese Vielzahl von Verpackungen in eine übersehbare Anzahl von Verpackungstypen zu kategorisieren. Dies war sehr wichtig für die weitere theoretische Bearbeitung der erfassten Daten und für die Berechnungen der spezifischen Migration sowie anschließend der Verbraucherexposition. Nach sorgfältiger Analyse der Daten, die zu den fast 4000 Verpackungen gesammelt wurden, wurden der Verpackungsaufbau und die Funktion der Verpackungen als Hauptkriterien für die Kategorisierung ausgewählt.

Entsprechend dieser zwei Hauptkriterien wurden alle Verpackungen, die in den ausgewählten Supermärkten im Rahmen der lokalen Marktstudie im Selbstbedienungsbereich erfasst worden sind, in zwölf Verpackungstypen eingeteilt (siehe Tabelle 7-1).

Tabelle 7-1: Verpackungstypen.

Nr. Verpackungstyp	Kurzbeschreibung
1	Tiefgezogene Unterschale mit z.T. wiederverschließbarer Oberfolie
2	Becher mit gesiegelter Aluminium- oder Kunststoff-Platine (und Deckel)
3	Schlauchbeutel
4	Siegelrandbeutel
5	Käsewickler
6	Dose
7	Glas mit Twist-off-Deckel
8	Umverpackung, oft aus Karton, für z. B. Verpackungstyp 1, 2 und 5
9	Standbodenbeutel
10	Kunstdarm ohne Sekundärverpackung
11	Sonstige Verpackungen
12	Kunstdarm mit Sekundärverpackung (Typ 1 oder 3)

In Tabelle 7-1 sind alle Verpackungen, außer Typ 8, Primärverpackungen, d.h. Verpackungen, die im direkten Kontakt mit dem Lebensmittel stehen. Typ 8 sind Sekundärverpackungen wie beispielsweise Manschetten oder Schachteln aus Karton, die Primärverpackungen wie Verpackungstyp 1, 2 und 5 umhüllen. In vielen Fällen war es nicht möglich, bei der Datenerfassung den Typ der Primärverpackung zu erkennen, weshalb diese nur als Typ 8 erfasst werden konnten.

Kunstdärme des Verpackungstypes 12 sind zusätzlich in einer Sekundärverpackung verpackt. In diesen Fällen wurde immer die Sekundärverpackung erfasst und nur wo möglich die Primärverpackung Typ 12.

Verpackungstyp 6 und 7 sind aus Sicht der Migration weniger relevant, da Glas und Metall inerte Materialien sind und eine Migration nur beispielsweise aus den Dosenbeschichtungen oder den Twist-off-Deckeln erfolgen kann.

Abbildung 7-1 zeigt die Anteile der Verpackungstypen, die für Käse und Wurstwaren in den Filialen von zehn großen Supermarktketten in München im Jahr 2009 verwendet wurden.

Für Wurstwaren kommen überwiegend der Verpackungstyp 1 (tiefgezogene Unterschale mit z.T. wiederverschließbarer Oberfolie) sowie Typ 3 (Schlauchbeutel) als Primärverpackung, aber auch als Sekundärverpackung für Wurst verpackt im Kunstdarm (Typ 12) zum Einsatz.

Für die Verpackung von Käse wird auch Verpackungstyp 1 und 3 sowie Verpackungstyp 2 (Becher mit gesigelter Aluminium- oder Kunststoff-Platine z. T. mit Deckel) am häufigsten verwendet.

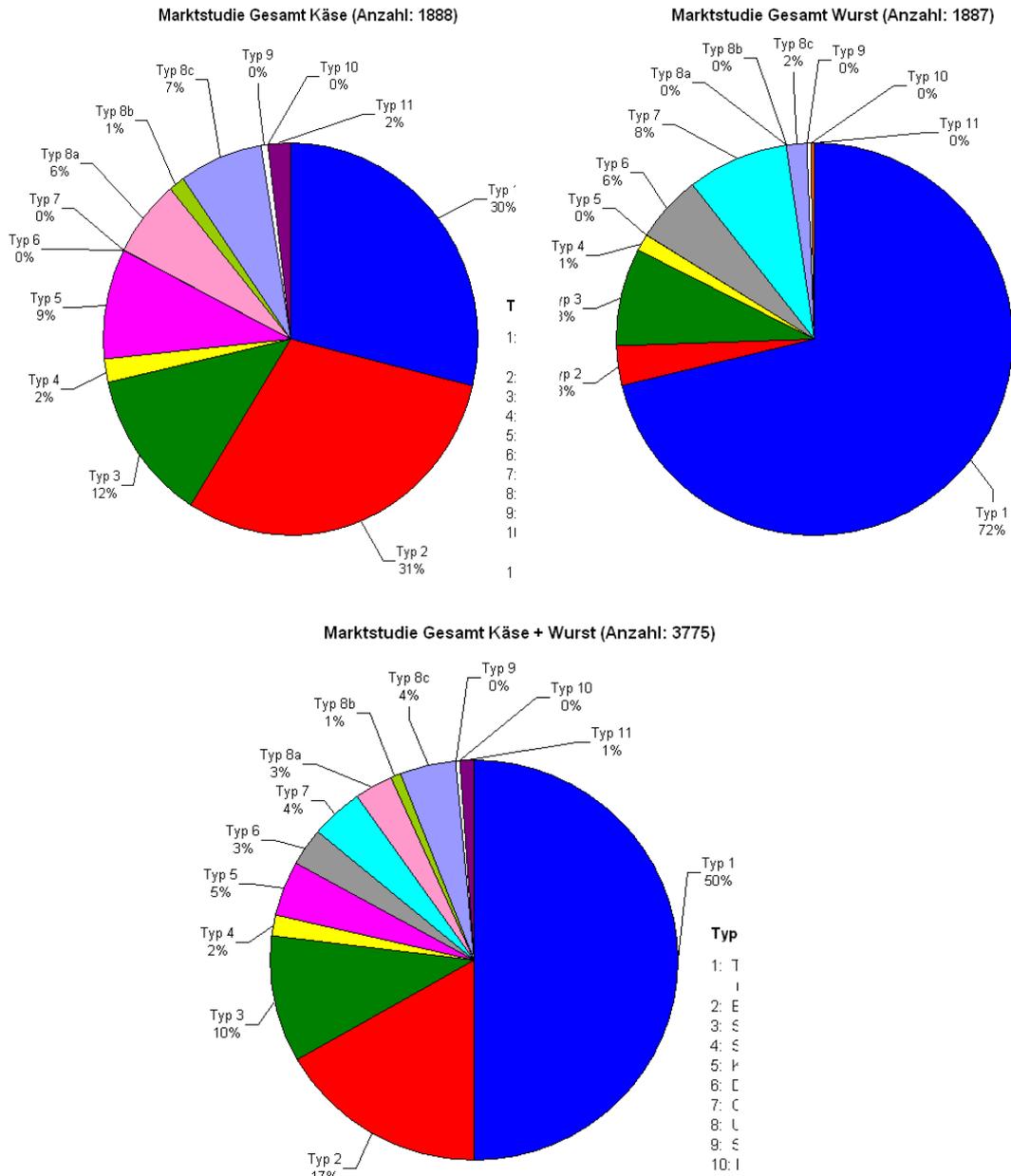


Abbildung 7-1: Verteilung der Verpackungstypen für Käse und Wurst in den Filialen von zehn großen Supermarktketten in München, Jahr 2009.

Abbildung 9-1, Abbildung 9-2 und Abbildung 9-3 im Anhang zeigen die Verteilungen der Verpackungstypen für Käse und Wurst in den Filialen von fünf Discountern, vier Supermarktketten mit Vollsortiment sowie einem Bio-Supermarkt im Vergleich.

Der Verpackungstyp 1 wird mit knapp 60% am häufigsten für die in Discountern angebotenen Käse- und Wurstprodukte eingesetzt (Abbildung 9-1). In den Filialen der Supermärkte mit Vollsortiment hingegen lag der Anteil von Verpackungstyp 1 bei nur ca. 45%. Im Sortiment des Bio-Supermarktes liegt er bei 49%.

Neben den prozentualen Anteilen der Verpackungstypen konnten noch viele für die Expositionsabschätzung relevante Informationen der Marktstudie entnommen werden, wie beispielsweise:

- Wie groß sind die prozentualen Anteile der Füllgut-Untergruppen W-A, W-B und W-C an der gesamten auf dem Markt angebotenen Wurst? Wie groß sind die prozentualen Anteile der Füllgut-Untergruppen K-A und K-B an dem gesamten auf dem Markt angebotenen Käse? (siehe Abbildung 9-4 und Abbildung 9-5 im Anhang)
- Wie groß sind die prozentualen Anteile der Verpackungstypen untergliedert nach Füllgut-Untergruppen? (siehe Abbildung 9-6 bis Abbildung 9-10 im Anhang)
- Wieviel Prozent der Wurstwaren W-A sind in einem Kunstdarm und zusätzlich in einem Verpackungstyp 1 oder 3 verpackt? (siehe Abbildung 9-11 und Abbildung 9-12 im Anhang)
- Wieviel Prozent der Wurstwaren W-A in Verpackungstyp 1 gehören der speziellen Untergruppe „Harte Unterfolie versiegelt mit weicher Oberfolie“ (*) an? (siehe Abbildung 9-13 im Anhang)
- Wieviel Prozent der Wurstwaren W-A in Verpackungstyp 1 der speziellen Untergruppe „Harte bzw. weiche Unterfolie versiegelt mit weicher Oberfolie“ (*) werden bei Kühlregal bzw. Raumtemperatur gelagert? (siehe Abbildung 9-14 im Anhang)
- Wieviel Prozent der Wurstwaren W-A in Verpackungstyp 1 der speziellen Untergruppe „Harte bzw. weiche Unterfolie versiegelt mit weicher Oberfolie“ (*) gelagert bei Kühlregal werden in Scheiben bzw. am Stück verpackt angeboten? (siehe Abbildung 9-15 im Anhang)

(*) Erläuterung der speziellen Untergruppen in Abschnitt 7.2.2.1

Diese Informationen werden zur Gewichtung der spezifischen Migration benötigt und fließen somit in die Berechnung der Exposition ein, siehe Tabelle 4.

Wie bereits erwähnt wird im Rahmen dieses Projektes die SM einer Leitsubstanz theoretisch abgeschätzt und als Konzentration der Leitsubstanz im Käse oder Wurst, bei dem Verzehr durch den Verbraucher, angegeben. Es ist bekannt, dass die Verbraucher nicht nur ein, sondern mehrere Typen von Käse bzw. Wurst dieser Produkte verzehren. Im Prinzip ist die SM, in jeder dieser Produkte, unterschiedlich. Folglich wird auch die Exposition des Verbrauchers abhängig, sowohl von seinen Einkaufs- und Verzehrsmuster als auch von der statistischen Zusammensetzung der Angebote in dem Handel, sein. Deswegen sind die oben genannten Informationen sehr wichtig, um eine Gewichtung des Beitrages der spezifischen Migration SM aus jedem Typ von Verpackung und Kontaktbedingungen zu ermitteln. Nur so ist eine Berechnung der tatsächlichen Exposition des Verbrauchers, mit Substanzen aus Käse und Wurst Verpackungen, möglich.

7.1.2 Physikalische Parameter

Die im zweiten Teilschritt von AS1 gesammelten physikalischen Parameter wie die Gesamtschichtdicke des Verpackungsmaterials, die Dichte und „Dicke“ des Füllgutes und die Kontaktzeiten zwischen Füllgut und Verpackung sowie die Gesamtschichtdicke des Verpackungsmaterials wurden als Balkendiagramme dargestellt und konnten danach mit analytischen Formeln als stochastische Verteilungen quantifiziert werden, die zur Abschätzung der spezifischen Migrationswertverteilungen eingesetzt wurden. Dies ist ein wichtiger Schritt, um die Migrationsparameter in einer geeigneten Form für die stochastische Berechnung der SM präsentieren zu können.

Für die Dichte der Füllgüter existierten bereits einzelne Messwerte aus dem EU-Projekt „Foodmigrosure“. Zusätzlich wurden noch stichprobenartig ergänzende Messungen durchgeführt, um möglichst realitätsnahe Annahmen für die Dichte der Füllgut-Untergruppen ableiten zu können. Abbildung 7-2 und Abbildung 7-3 zeigen die aus den gesammelten Messwerten abgeleiteten Verteilungen für die Dichte der Füllgüter Käse und Wurst.

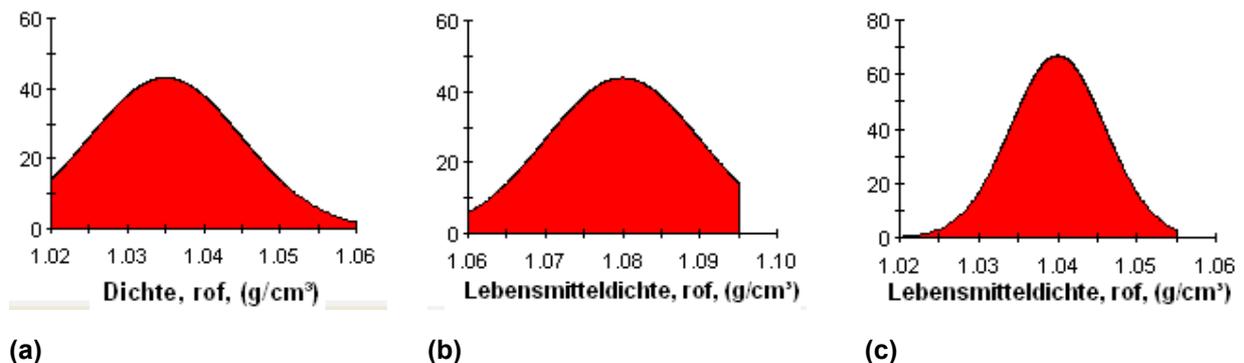


Abbildung 7-2: Verteilungen der Dichte von Wurst (a) W-A, (b) W-B und (c) W-C.

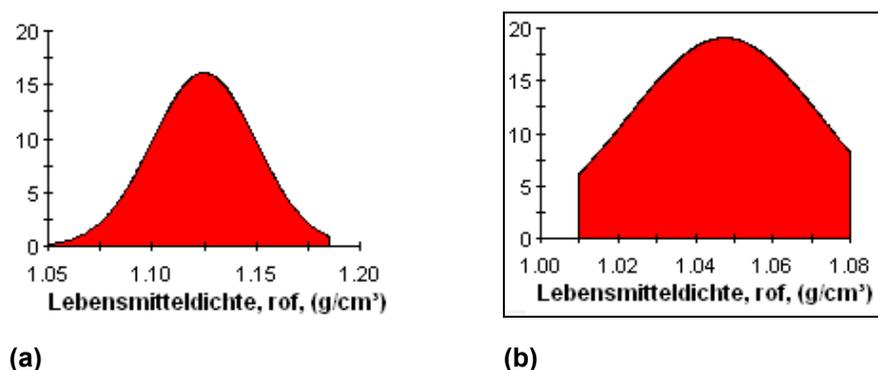
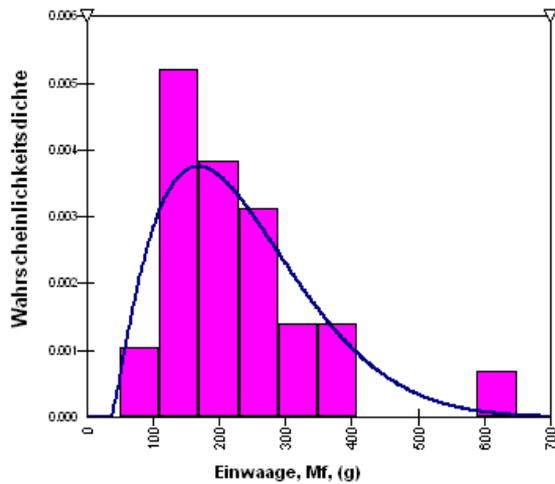


Abbildung 7-3: Verteilungen der Dichte von Käse (a) K-A und (b) K-B.

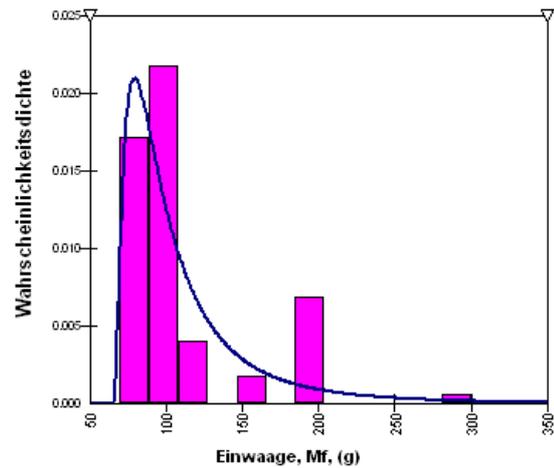
Aus Abbildung 7-2 und Abbildung 7-3 kann man sehen, dass die Werte für die Dichte der Käse- und Wurstprodukte knapp über dem Wert von Wassers liegen und eine gewisse Streuung zwischen einem Minimum und Maximum aufweisen. Dies ist eine Folge der unterschiedlichen Zusammensetzung dieser Lebensmittel (z. B. im Wasser- und Fettgehalt).

Wie bereits erwähnt wurden für jeden Lebensmittel- und Verpackungstyp die Einwaagen, M_f (Gramm) des Lebensmittels, und die Kontaktflächen, A (cm²), zwischen Füllgut und Verpackung erfasst. Bei der Vielfalt der Käse und Wurstwaren, die im Handel angeboten werden, umspannen die M_f und A -Werte wie erwartet ziemlich breite Bereiche. Für die einzelnen

Gruppen von Lebensmittel und deren Verpackungen folgt daraus eine Streuung der Mf und A-Werte, d.h. eine stochastische Verteilung zwischen einem Minimal- und Maximalwert. Diese Verteilungen wurden für alle erfassten Mf und A-Daten mit Hilfe des Programms @Risk4.5 ermittelt. Die Rohdaten Mf bzw. A wurden zunächst in Balkendiagrammen umwandelt. Anschließend wurden für diese Diagramme die besten Fits mit analytischen Gleichungen berechnet, siehe Abbildung 7-4. Aus dieser Abbildung kann man erkennen, dass statistisch Wurstwaren am Stück höhere Einwaagen aufweisen als die Wurstwaren in Scheiben. Dies wurde auch für die erfassten Käsewaren festgestellt.



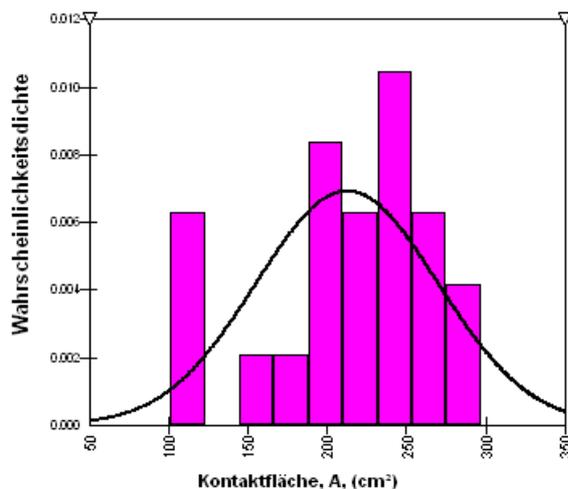
(a)



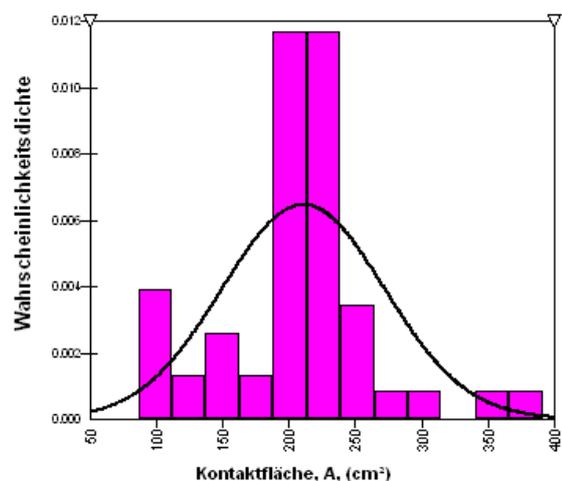
(b)

Abbildung 7-4: Verteilungen der Einwaagen für Wurstwaren Typ A verpackt in weicher Oberfolie vom Typ 1 und gelagert im Kühlregal a) Wurst am Stück, b) Wurst in Scheiben.

Das gleiche Prozedere wurde für die Ermittlung der Kontaktoberflächen-Verteilungen verwendet. In Abbildung 7-5 (a) und (b) sind beispielhaft die Ergebnisse für zwei Typen von Wurstwaren W-A präsentiert.



(a)



(b)

Abbildung 7-5: Verteilungen der Kontaktflächen zwischen für Wurstwaren Typ A verpackt in weicher Oberfolie vom Typ 1 und gelagert im Kühlregal a) Wurst am Stück, b) Wurst in Scheiben.

Die Verteilungen der Kontaktflächen, A , für die verschiedenen Typen von Verpackungen für Käse bzw. Wurst unterscheiden sich nicht sehr stark. Trotzdem kann man eine Tendenz beobachten, nämlich, dass die Kontaktflächen-Verteilungen für Waren in Scheiben höhere Maximalwerte als für Wurstwaren am Stück aufweisen. Dies hat auch eine Auswirkung auf die spezifische Migration, da höhere Kontaktflächen bei gleichbleibenden sonstigen Bedingungen zu höheren Konzentrationen von Migranten im Lebensmittel führen.

Ein weiterer Parameter, der im Rahmen dieses Projekt erfasst wurde, war die Gesamtdicke, dp , der Verpackungsmaterialien. Diese Daten wurden nach der gleichen Methodik mit dem Programm @Risk4.5 bearbeitet, um für die verschiedenen Typen von Verpackungen die dp Balkendiagramme und Verteilungen zu ermitteln. Abbildung 7-6 und Abbildung 7-7 zeigen Verteilungen der Gesamtdicke von Ober- und Unterfolien für Käse K-A bzw. Wurst W-A verpackt in Typ 1 und gelagert im Kühlregal.

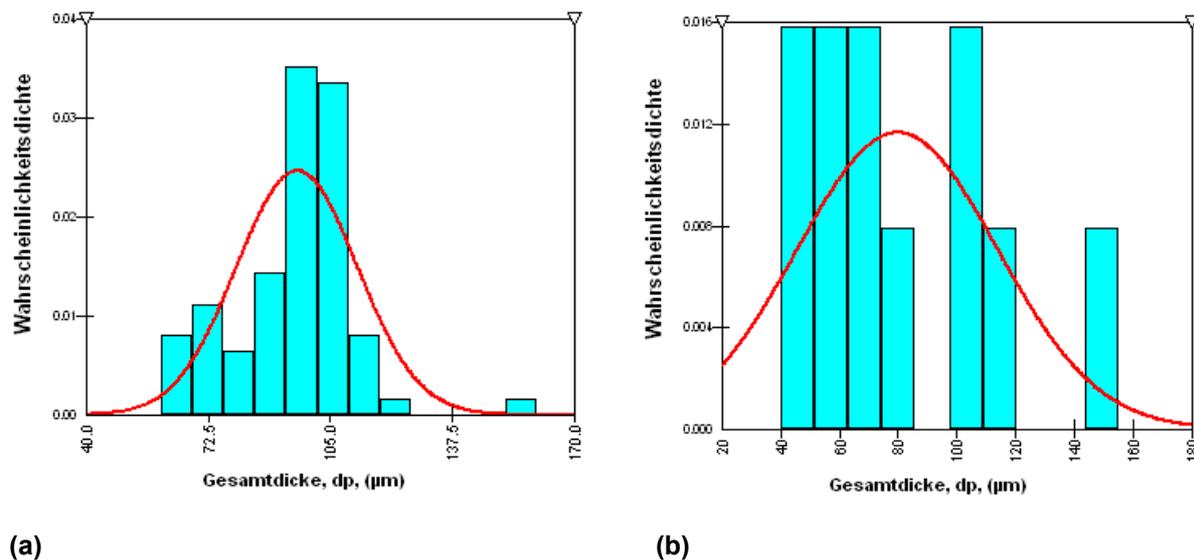
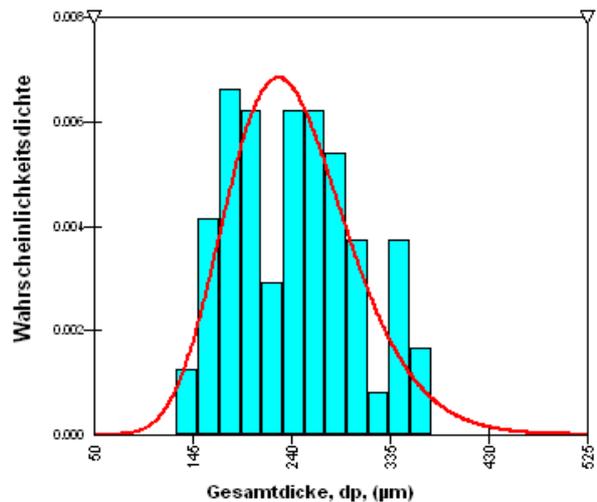
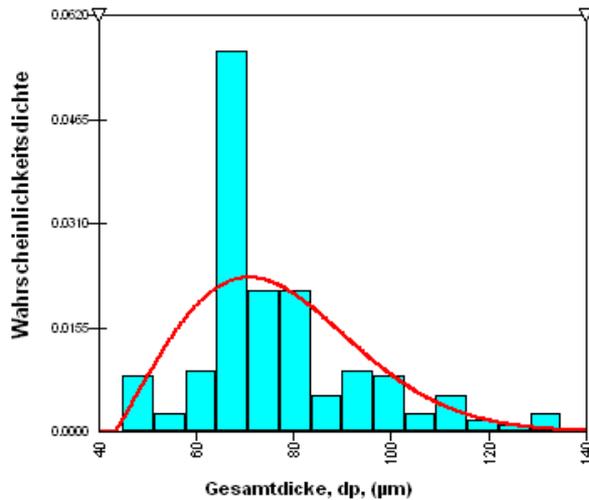


Abbildung 7-6: Verteilung der Gesamtdicke von Oberfolien (a) und Unterfolien (b), für Käse K-A verpackt in Typ 1 (Lagerung im Kühlregal).

Die Gesamtdicken der erfassten Verpackungen liegen generell im Bereich von 40 bis 200 μm , was sicherlich einen technologischen, aber auch einen wirtschaftlichen Grund haben muss. Dünne Mehrschichtfolien sind nicht nur vorteilhafter für die Verpackung der Käse oder Wurststücke, sondern verbrauchen weniger Rohstoffe und sind aus dieser Sicht günstiger. Eine Ausnahme von dieser Tendenz bilden die dp -Verteilungen für die harten Unterfolien/Schalen vom Typ1. Diese sind durchschnittlich 2-mal dicker als die anderen Verpackungen, vermutlich weil nur so eine gewisse notwendige Steifigkeit des unteren Teils der Verpackung zu erreichen ist.

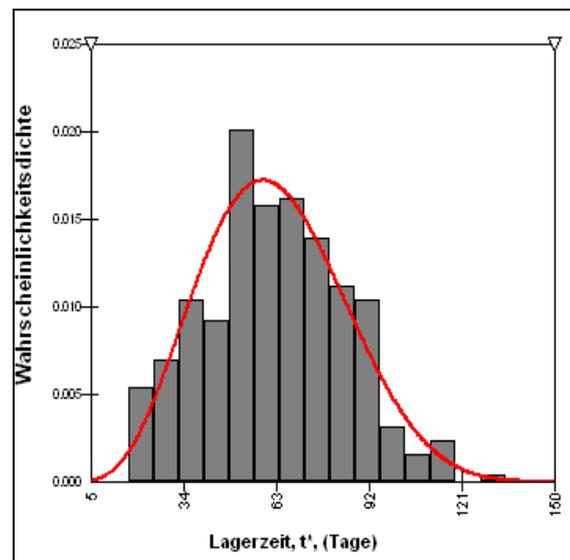
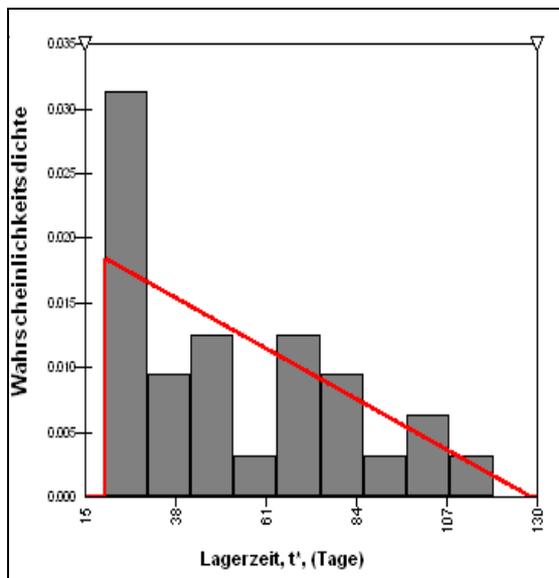


(a)

(b)

Abbildung 7-7: Verteilung der Gesamtdicke von Oberfolien (a) und Unterfolien (b), für Wurstwaren W-A verpackt in Typ 1 (Lagerung im Kühlregal).

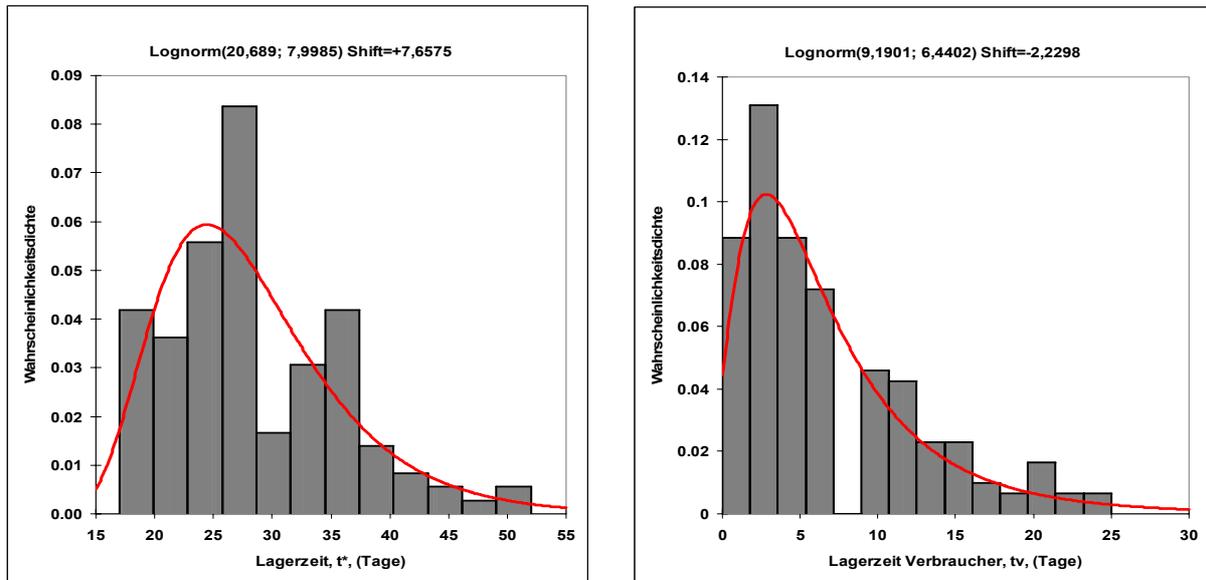
Einer der Parameter, die einen großen Einfluss auf die spezifische Migration haben, ist die Dauer des Kontaktes zwischen der Verpackung und dem Füllgut. Längere Kontaktzeiten haben logischerweise höhere spezifische Migrationen zur Folge. Wie bereits erwähnt ist es nicht leicht, für die Vielzahl der im Projekt erfassten Verpackungen und Lebensmittel, die genaue Kontaktzeit bis zum Verzehr durch den Verbraucher zu ermitteln. Deswegen wurde im Rahmen des Projektes die Kontaktzeit als Summe einer Lagerzeit der Waren beim Hersteller und Verkäufer und einer Lagerzeit beim Verbraucher definiert, (siehe Gleichung 6-1).



(a)

(b)

Abbildung 7-8: Verteilung der Lagerzeit von Käse K-A am Stück (a) und in Scheiben (b) verpackt in Typ 1 mit weicher Ober- und harter Unterfolie (Lagerung im Kühlregal).



(a)

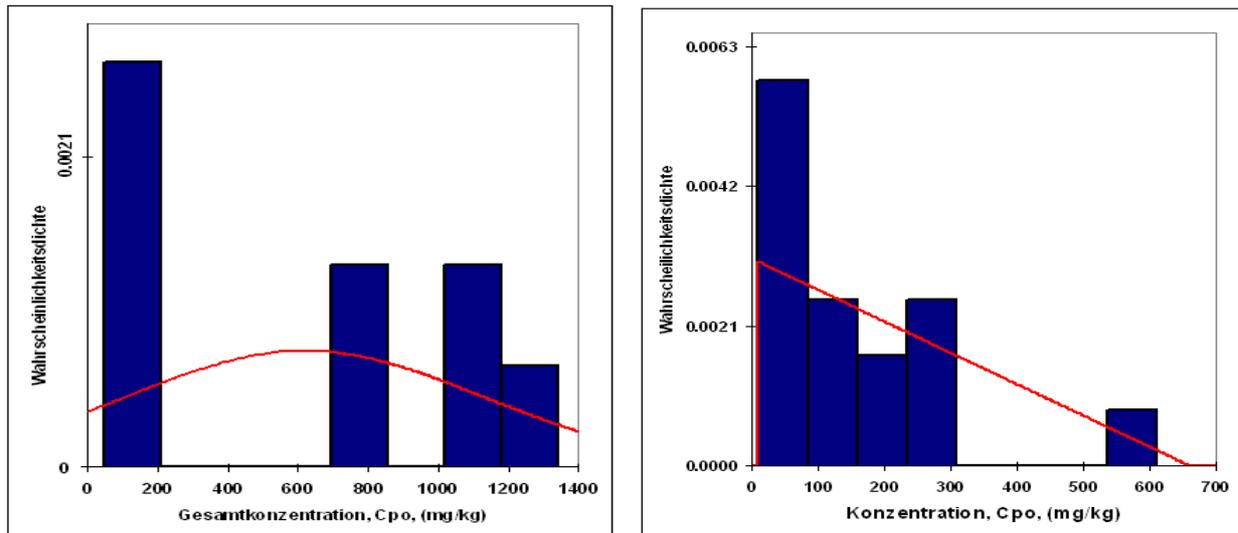
(b)

Abbildung 7-9: Verteilung der Lagerzeit von Wurst W-A am Stück (a) und in Scheiben (b) verpackt in Typ 1 mit weicher Ober- und harter Unterfolie (Lagerung im Kühlregal).

Die Lagerzeit der Käse und Wurstwaren beim Verbrauch wurde eine firmeninterne Befragung ermittelt und ist in Abbildung 6-27 präsentiert.

7.1.3 Erfassung des chemischen Parameters Cpo-gesamt

Die Konzentration der Leitsubstanz in einer (Mehrschicht)Verpackung, Cpo, hat einen direkten Einfluss auf die Höhe der spezifischen Migration. Im Rahmen des Projektes wurden, für die verschiedenen Typen von Verpackungen, fast 450 Cpo's bestimmt. Wie bereits präsentiert wurden die Verpackungen einer chemischen Totalextraktion unterworfen, was dazu geführt hat, dass diese Cpo's nur als Durchschnittsgesamtkonzentrationen im ganzen Verpackungsmaterial zu betrachten sind. Es wurde festgestellt, dass die Werte der Gesamtkonzentrationen, stark vom Typ der Verpackung und dessen Aufbau abhängig sind. Beispielhaft wird diese Situation in Abbildung 7-10 präsentiert.



(a)

(b)

Abbildung 7-10: Verteilung der Gesamtkonzentration von Caprolactam in einer weichen Oberfolie vom Typ; a) PA/PE bzw. b) PA/KK/PE für die Verpackung von Wurstwaren W-A.

7.2 Arbeitsschritt 2 (AS2)

In AS2 wurden experimentelle Analysen mit Verpackungen für Käse und Wurstwaren durchgeführt.

7.2.1 Analysen der Proben vom Markt

7.2.1.1 Bestimmung der Migrantenkonzentration in der Verpackung und Materialidentifizierung

Im Folgenden wird die Vorgehensweise beschrieben, wie die Chromatogramme der Extrakte der Proben vom Markt ausgewertet wurden und welche Informationen zu den Packstoffen anhand dieser Messungen gesammelt werden konnten.

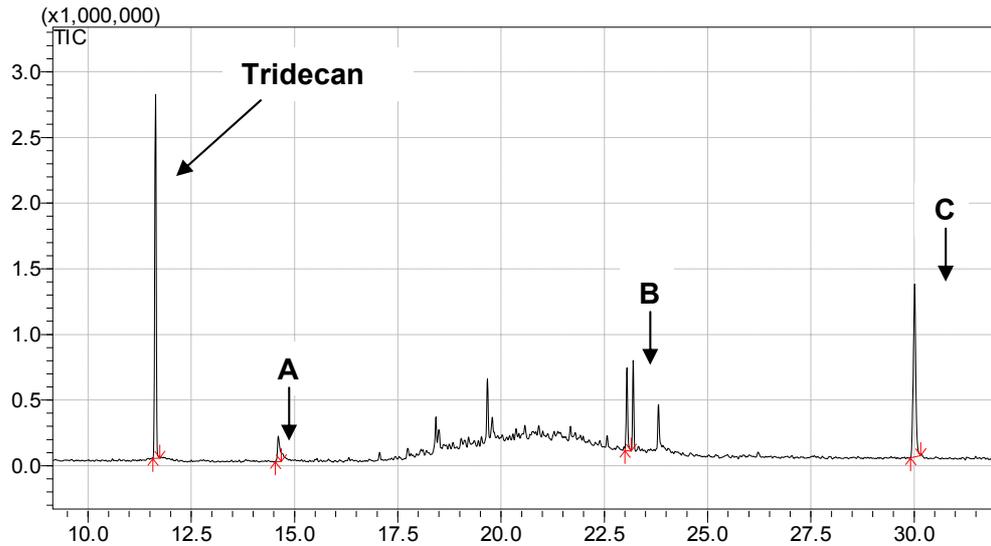


Abbildung 7-11: Chromatogramm (GC-MS).

Abbildung 7-11 zeigt beispielsweise das GC-MS-Chromatogramm einer unbedruckten Folie von Verpackungstyp 4 (siehe Tabelle 7-1) ohne Etikett. Peak A wurde eindeutig als Caprolactam, Peak B als Dimer des Caprolactams identifiziert. Diese Verpackung besteht somit teilweise aus Polyamid, da Caprolactam der Ausgangsstoff für die Polymerisation von Polyamid ist. Peak C ist ein gängiges Antioxidans, das häufig bei Polyethylen-Verpackungen eingesetzt wird. Somit kann angenommen werden, dass das Verpackungsmaterial ein Verbund aus Polyamid und Polyethylen (PA/PE) ist. Die Substanzen A, B und C wurden in größeren Mengen in dem Packstoff gefunden und sind somit als potentielle Migranten einzustufen.

Abbildung 9-16 des Anhangs zeigt beispielhaft in welcher Form die Ergebnisse der experimentellen gaschromatographischen Untersuchungen zusammengefasst wurden.

In vielen Arbeitssitzungen wurden die 379 Dokumente gesichtet und sortiert nach Verpackungstypen (= Packstoff-Obergruppe) sowie den Füllgut-Gruppen Käse und Wurst ausgewertet. Jeder Probe wurde anhand der detektierten Substanzen ein Verbundaufbau (= Packstoff-Untergruppe) zugeordnet. Anschließend wurden die Substanzen, die häufig und in großen Mengen in den Packstoffen vorkommen, als Leitsubstanzen ausgewählt. Diese Leitsubstanzen und die möglichen Quellen dieser Migranten sind Tabelle 7-2 gelistet.

Tabelle 7-2: Übersicht der Leitsubstanzen und ihre möglichen Quellen der Migration

Leitsubstanzen	Mögliche Quellen	Molekulargewicht
Caprolactam	Polyamid	113
Di(2-ethylhexyl)adipate (DEHA)	Polyolefine, Druckfarbe, Heißsiegellack	370
Erucasäure Amid (ESA)	Polyolefine	337
Irgafos 168 (I168)	Polyolefine	646
Irganox 1076 (I1076)	Polyolefine	531
Irgafos 168 oxidiert (I168 ox)	Polyolefine	663
Butylated hydroxytoluene (BHT)	Druckfarbe	220

Acetyl tributyl citrate (ATBC)	Druckfarbe	402
PS-Oligomere	Polystyrol	Verteilung
HSL-Oligomere	Heißsiegellack	Verteilung
Etikettenkleber-Komponenten	Etikettenkleber	Verteilung
Kaschierkleber-Komponenten	Kaschierkleber	Verteilung
Kohlenwasserstoffe	Wachsbeschichtung von Käsewicklern	Verteilung
Photoinitiatoren		
Benzophenon	Druckfarbe	182
Phenylbenzophenon (PBZ)	Druckfarbe	258
Irgacure 184	Druckfarbe	204
Irgacure 651	Druckfarbe	265
Diethylthioxanthone (DETX)	Druckfarbe	268

Die Konzentrationen der Leitsubstanzen in den Packstoffen (cp0) wurden sortiert nach Füllgut-Gruppe, Packstoff-Obergruppe und Packstoff-Untergruppe in Tabellen zusammengefasst, welche für die weitere Auswertung in AS4 benötigt wurden.

7.2.1.2 Bestimmung des Packstoffaufbaus

Im Folgenden sind beispielhaft Ergebnisse der Dynamische Differenz-Kalorimetrie (DSC) und Infra-Rot-Spektroskopie (IR) zur Materialidentifizierung sowie Ergebnisse lichtmikroskopischen Untersuchungen der Mikrotomschnitte zur Ermittlung der Anzahl und Dicke der einzelnen Packstoffschichten dargestellt. Die Reihenfolge der Verpackungsschichten wird immer von der Außenseite der Verpackung zur Innenseite gelistet.

In den folgenden Abbildungen sind die Dicken der einzelnen Schichten des Packstoffes mit weißen Stichen markiert. Bei Mehrschichtverbunden wurde die Außenseite der Verpackung gekennzeichnet.

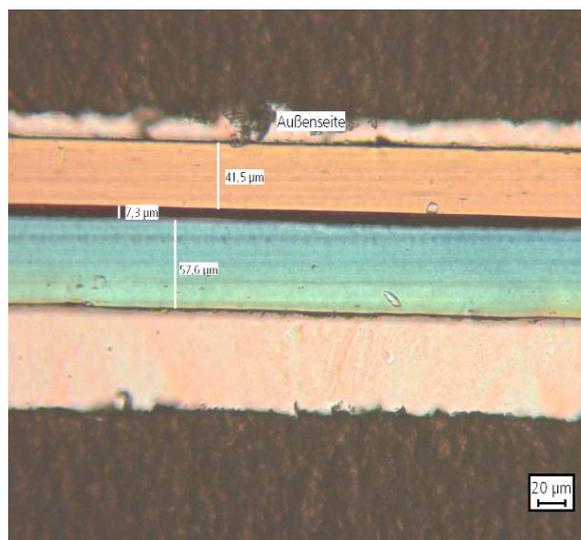


Abbildung 7-12: Mikrotomschnitt von Oberfolie Typ 1 für Käse: PP/Druck-KK*/PE (Schichtdicken: 41,5/7,3/57,6µm)

* KK: Kaschierkleber

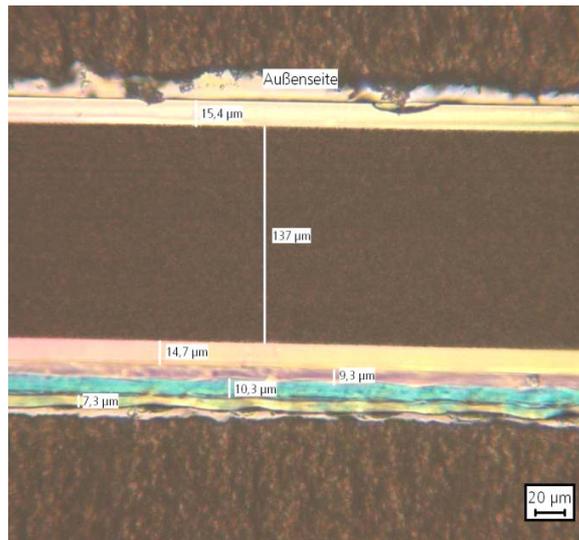
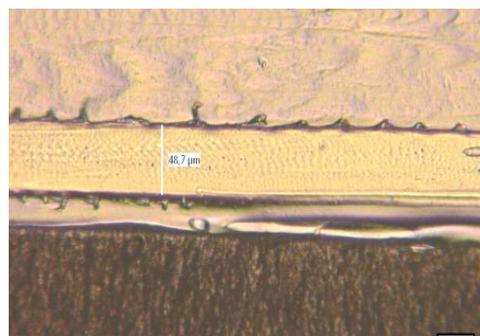


Abbildung 7-13: Mikrotomschnitt von Unterfolie (hart) Typ 1 für Käse: PET/PET/PET/KK*/PE/PE (Schichtdicken: 15,4/137/14,7/9,3/10,3/7,3µm)

* KK: Kaschierkleber



(a)

(b)

Abbildung 7-14: Mikrotomschnitte von Kunst Darm Typ 12 für Wurst: (a) Zellglas (Schichtdicke: 38,0µm) (b) PVDC (Schichtdicke: 48,7µm)

Die Ergebnisse der Untersuchungen der Mikrotomschnitte wurden mit den Ergebnissen aus Abschnitt 7.2.1.1 verglichen, um zu überprüfen, ob die Materialidentifizierung, die anhand der chromatographischen Analysen durchgeführt wurde, mit den Ergebnissen der Materialprüfung mittels DC und IR übereinstimmen. Es wurde festgestellt, dass diese in den meisten Fällen gut übereinstimmen.

7.2.2 Analysen der Proben von den Projektteammitgliedern

7.2.2.1 Informationen zum Packstoffaufbau

Die Informationen, die die Projektpartner zu den von ihnen verwendeten oder hergestellten Käse- und Wurstpackungen zur Verfügung gestellt hatten, wurden in Form einer Excel-Datenbank mit insgesamt 350 Datensätzen zusammengestellt. Für die weitere Auswertung und die Modellierung der Stoffübergänge in AS4 wurden insbesondere die Angaben zu den Dicken der einzelnen Packstoffschichten, die Prozessparameter, z. B. die Angaben zu den Zeit- und Temperaturbedingungen des Brühvorganges in einem Kunst Darm sowie die Angaben zur Lagerzeit und –temperatur nach Abpacken in der Verpackung verwendet.

Die Angaben zur Lagerzeit und –temperatur nach Abpacken in der Verpackung wurden mit den Verteilungen zu den Kontaktzeiten, welche in AS1 ermittelt wurden, verglichen und es wurde festgestellt, dass sie gut übereinstimmen.

Wie in Tabelle 7-3 für Verpackungstyp 1, 3 und 12 gezeigt, wurden im ersten Schritt die Verpackungen nach Packstoff-Obergruppe und Packstoff-Untergruppe gruppiert. Bei Verpackungen, die aus mehreren Komponenten bestehen, wurde zusätzlich nach den einzelnen Komponenten der Verpackungen unterschieden. So unterscheidet man beispielsweise beim Verpackungstyp 1 nach Oberfolien, die auf eine harte oder eine weiche Unterfolie gesiegelt worden sind. Die Unterscheidung nach den Eigenschaften „hart“ oder „weich“ wurde entsprechend der haptischen Eigenschaften der Verpackung getroffen. Der Tabelle kann außerdem entnommen werden, zu wie viel Prozent die einzelnen Packstoffschichten im gesamten Packstoffverbund enthalten sind. Diese Werte wurden aus den Angaben der Projektpartner sowie den Messwerten der Mikrotomschnitte ermittelt.

Tabelle 7-3: Unterteilung der Verpackungen in Ober- und Untergruppen und prozentualer Anteil der Einzelschichten am Packstoff-Gesamtverbund

Packstoff-Obergruppe	Komponente der Verpackung	Packstoff-Untergruppe	Prozentualer Anteil der Einzelschichten am Gesamtverbund [%]
Typ 1	Oberfolie	PA/PE	34/66
		PA/KK/PE	22/3/75
		PP/PE	31/69
		PP/KK/PE	35/4/61
		PET/PE	30/70
		PET/KK/PE	22/4/74
Typ 1	Harte Unterfolie	PET/PE	87/13
		PET/KK/PE	80/1/19
		PP/PE	91/9
		PS/PE	82/18
Typ 1	Weiche Unterfolie	PA/PE	36/64
		PA/KK/PE	28/7/65
		PP/PE	k.A.
		PP/KK/PE	k.A.
Typ 3	Schlauchbeutel	PA/PE	21/79
		PA/KK/PE	22/3/75
		PET/KK/PE	20/9/71
		PP/PE	k.A.
		PP/KK/PE	k.A.
		Pap/PE	71/29
Typ 12	Kunst Darm in Sekundärverpackung	PA/PE/PA	45/10/45
		Zellulosefaserdarm	k.A.
		Zellglas	k.A.
		PVDC	k.A.

k.A. = keine Angaben durch Projektpartner oder Messwerte von Mikrotomschnitten

Für die statistische Auswertung in AS5 wurden zudem Angaben benötigt, wie groß die prozentualen Anteile der einzelnen Packstoff-Untergruppen an der jeweiligen Packstoff-Obergruppe (inkl. Unterteilung nach Verpackungskomponenten) haben. Diese prozentualen Anteile konnten von den Ergebnissen der in AS2 ermittelten Packstoffaufbauten für die Proben vom Markt abgeleitet werden. Hierfür wurde wie in Tabelle 7-4 für die Oberfolien von Typ 1 in Kontakt mit Wurst beispielhaft gezeigt, die Anzahl der untersuchten Marktproben pro Packstoff-Untergruppe mit der Gesamtanzahl der untersuchten Marktproben dieser Packstoff-Obergruppe ins Verhältnis gesetzt.

Tabelle 7-4 Wurst: Prozentuale Anteile der Packstoff-Untergruppen an Packstoff-Obergruppe Typ 1 (Oberfolie).

Wurst				
Packstoff-Obergruppe	Komponente der Verpackung	Packstoff-Untergruppe	Anzahl der analysierten Proben vom Markt	Anteil Obergruppe/Untergruppe [%]
Typ 1	Oberfolie	PA/PE	6	9,7
		PA/KK/PE	15	24,2
		PP/PE	6	9,7
		PP/KK/PE	18	29,0
		PET/PE	6	9,7
		PET/KK/PE	8	12,9
		Pap/KK/PE	3	4,8
Summe der analysierten Typ 1 Oberfolien			62	

7.2.2.2 Bestimmung der Migrantenkonzentration in der Verpackung

Die Anfangskonzentrationen der Leitsubstanzen in der Verpackung (cp0) wurden ebenfalls in die in Abschnitt 7.2.1.1 erstellte cp0-Tabelle aufgenommen. Daraus ergab sich anhand der in AS2 untersuchten Packstoff-Proben eine Datenbank mit insgesamt 446 cp0s der Leitsubstanzen. Diese cp0 ergeben wiederum Verteilungen, die in AS4 zur Berechnung der Stoffübergänge benötigt wurden.

7.2.2.3 Migrationsuntersuchungen

Migrationsuntersuchungen mit Simulanzmittel Ethanol 95%

Die Ergebnisse der Migrationsuntersuchungen mit dem Lebensmittelsimulanz Ethanol 95% wurden ebenfalls tabellarisch zusammengefasst und in AS4 mit den durch Modelling berechneten Migrationswerten verglichen. Im Folgenden werden einige Messungen beispielhaft erläutert.

Laut der Angaben der Projektteammitglieder werden 3 % der Wurstwaren nach dem Abpacken in der Verpackung pasteurisiert. Dieser Pasteurisationsprozess und die anschließende Lagerung bei Kühlraumtemperatur bis zum MHD wurde mit der Zeit-/Temperaturbedingung 1h bei 85°C und anschließend 10d bei 20°C simuliert.

In Abbildung 7-15 wird die Migration aus einer Typ 1 Unterfolie mit dem Aufbau PA/PE nach 10d, 20°C mit der Migration nach 1h, 85°C und anschließend 10d, 20°C verglichen. Bei den mit

Stern (*) gekennzeichneten Peaks handelt es sich um die Leitsubstanzen Caprolactam, ESA, I168, I1076 und 168 ox. Es ist deutlich erkennbar, dass der Beitrag der Pasteurisation in der Verpackung zur Migration dieser Substanzen viel höher ist als der Beitrag der Lagerung bei Kühltemperatur.

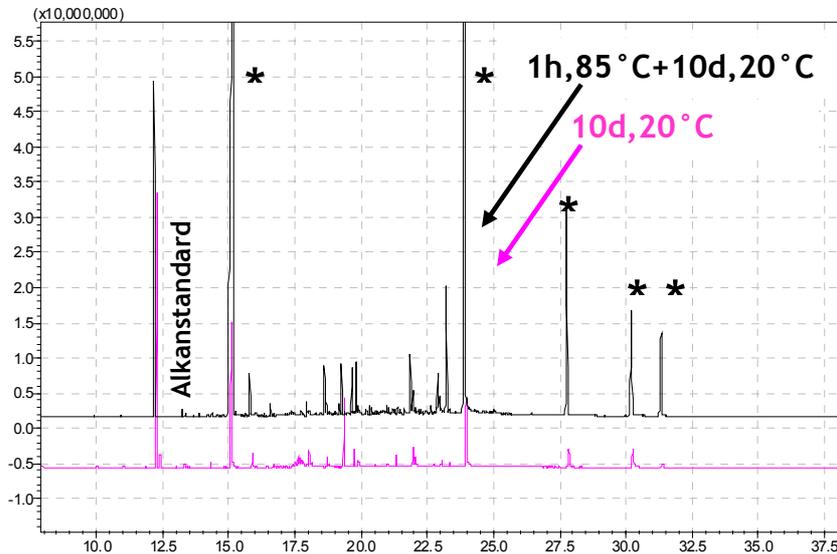


Abbildung 7-15: Migration aus Typ 1 Oberfolie mit Aufbau PA/PE (ohne Druck und ohne Etikett) in EtOH 95%: Vergleich 1h,85°C+10d,20°C mit 10d,20°C

In Abbildung 7-16 werden die Stoffübergänge aus einer Typ 1 Oberfolie mit dem Aufbau PA/PE nach dem Pasteurisationsprozess (1h, 85°C) mit der Migration nach Pasteurisation und anschließender Kühltemperatur-Lagerung bis zum MHD (1h, 85°C + 10d, 20°C) verglichen. Bei den mit Stern (*) gekennzeichneten Peaks handelt es sich um in Tabelle 7-2 gelistete Leitsubstanzen wie z. B. Caprolactam, ESA, I168, I1076 und I168 ox. Diese Substanzen stammen aus der Verbundfolie. Auch aus dieser Messung ist ersichtlich, dass die Pasteurisation den größten Beitrag zur Migration dieser Substanzen hat. Anders verhält es sich bei den Etikettenkleber-Komponenten („Berg“ zwischen ca. 17,0 und 27,5 Minuten, markiert mit ♦). Diese müssen erst durch den Folienverbund permeieren, bevor sie ins Füllgut migrieren. Nach der Pasteurisation steigt der Gehalt dieser Substanzen deshalb während der Simulation der Kühltemperatur-Lagerung noch an (siehe Abbildung 7-16).

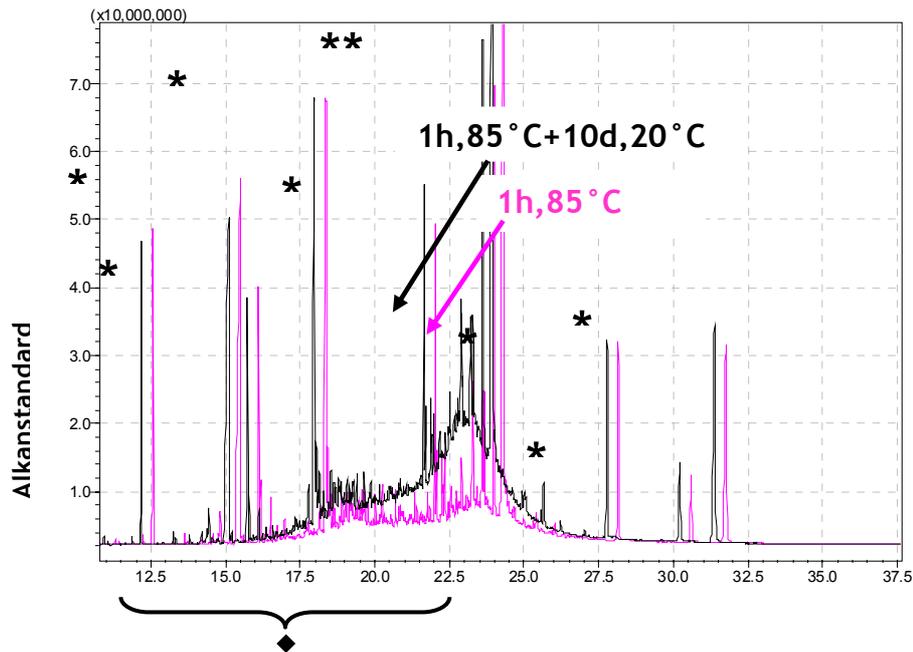


Abbildung 7-16: Migration aus Typ 1 Oberfolie mit Aufbau PA/PE (ohne Druck und mit Etikett) in EtOH 95%: Vergleich 1h,85°C+10d,20°C mit 1h,85°C

Migrationsuntersuchungen mit realen Füllgütern

Die Ergebnisse der Wiederfindung der Aufstockungen der Modellsubstanzen in den untersuchten Lebensmittelproben sind Tabelle 7-5 zu entnehmen. Die Wiederfindungsrate für DEHM konnte nicht bestimmt werden, da dieser Migrant zu stark von Komponenten aus der Lebensmittelmatrix überlagert war.

Tabelle 7-5: Wiederfindungen der Aufstockungen der Modellsubstanzen in den Lebensmittelproben.

Migrant	Wiederfindung [%]					
	Gelbwurst Typ 12 in Typ 1	Leberwurst Typ 10	Leberwurst Typ 12 in Typ 3	Fleischwurst Typ 12 in Typ 1	Fleischwurst Typ 10	Fleischwurst Typ 10
	IVV2c	IVV2a+b	IVV4a+b	IVV4c	IVV3b	IVV3a
Caprolactam	30	50	60	45	38	30
Benzophenon	80	80	90	100	95	58
ATBC	65	70	70	75	70	44
ESA	45	15	20	65	30	23
Irgafos 168	5	5	5	4	3	2
Irganox 1076	8	7	8	9	4	4

Die Migranten weisen hinsichtlich ihres Molekulargewichtes und ihrer Polarität sehr unterschiedliche chemische Eigenschaften auf. Dadurch sind auch bei Anwendung der gleichen Aufarbeitungsmethode die Wiederfindungsraten sehr unterschiedlich. Es stellte sich heraus, dass die Screening-Methode nicht empfindlich genug war, um die Leitsubstanz Caprolactam aus den Kunstdärmen in den Lebensmittelextrakten nachzuweisen.

Deshalb wurden die Nachweisgrenzen als Wert für die Validierung des Modellings der spezifischen Migrations herangezogen. In Tabelle 7-6 sind die Nachweisgrenzen für Caprolactam in den Füllgütern dargestellt. Dabei wurde angenommen, dass sich die gesamte Menge des Migranten, welche in der äußersten Kontaktschicht von ca. 1mm noch nachweisbar ist (entspricht dem Wert der Nachweisbarkeitsgrenze mit Berücksichtigung der Wiederfindungsrate), auf das gesamte Wurstgewicht verteilt.

Tabelle 7-6: Nachweisgrenzen, berechnet auf das gesamte Lebensmittel [$\mu\text{g/g}$].

Nachweisgrenzen, berechnet auf das gesamte Lebensmittel [$\mu\text{g/g}$]						
	Gelbwurst Typ 12 in Typ 1	Leberwurst Typ 10	Leberwurst Typ 12 in Typ 3	Fleischwurst Typ 12 in Typ 1	Fleischwurst Typ 10	Fleischwurst Typ 10
Migrant	IVV2c	IVV2a+b	IVV4a+b	IVV4c	IVV3b	IVV3a
Caprolactam	0,7	3	0,4	0,2	0,5	0,4

7.3 Arbeitsschritt 3 (AS3)

In AS3 wurden Daten zum Verzehr von Käse und Wurstwaren der BVS II entnommen.

7.3.1 Informationen zu Verzehrsmengen

In Abbildung 7-17 und Abbildung 7-18 sind die Verzehrsmengen in Abhängigkeit der Füllgut-Untergruppen sowie des Geschlechtes und des Alters der Verbraucher dargestellt.

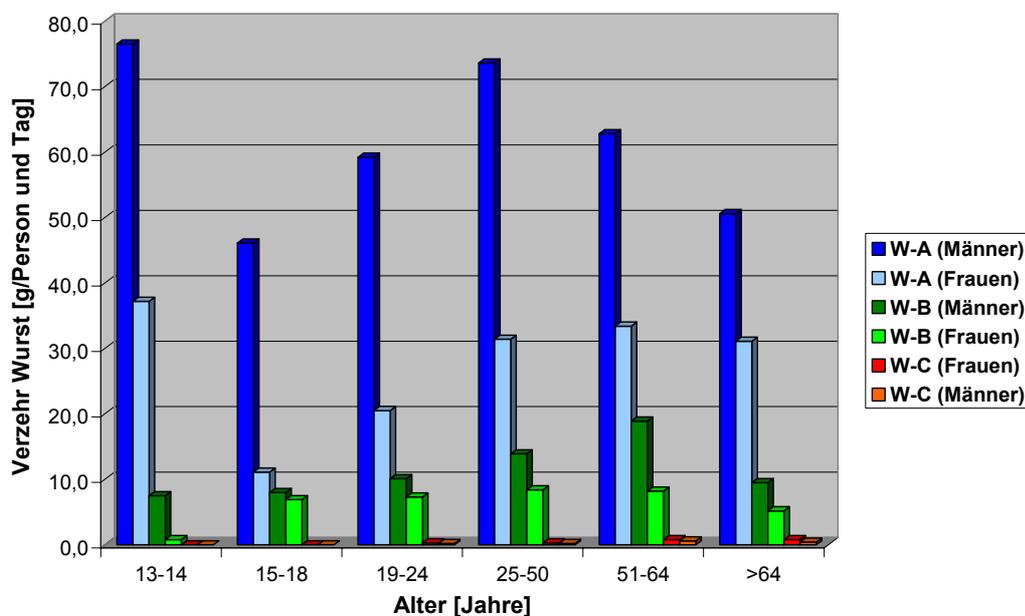


Abbildung 7-17: Verzehrsmengen [g/Person und Tag] für Wurstwaren (W-A), Schinken (W-B) und Speck (W-C) unterteilt nach Frauen und Männern (BVS II).

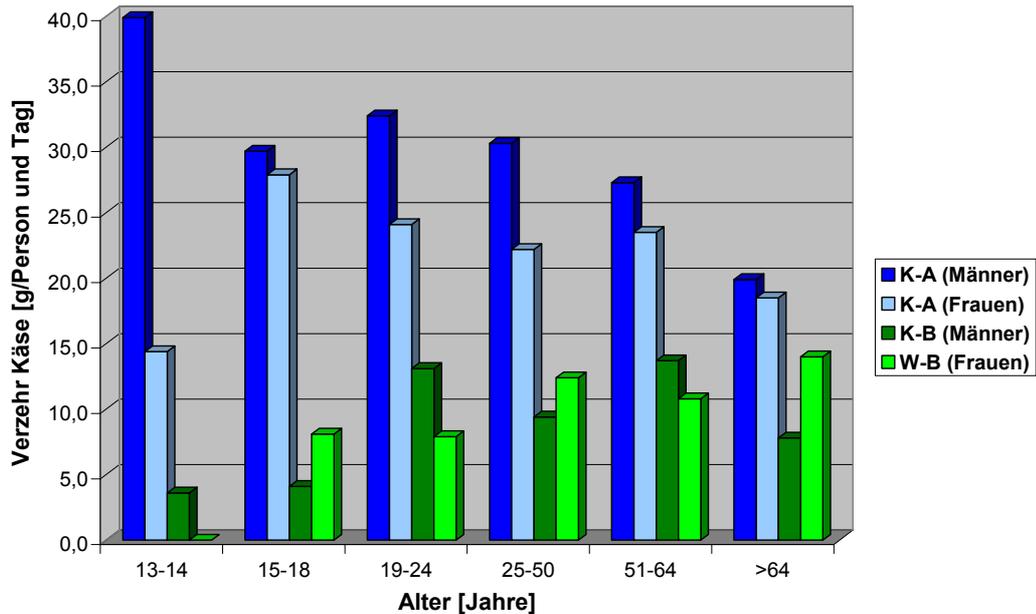


Abbildung 7-18: Verzehrsmengen [g/Person und Tag] für Sonstiger Käse (K-A) und Frischkäse (K-B) unterteilt nach Frauen und Männern (BVS II).

Während die Wurstwaren W-A und der Käse K-A den Hauptanteil des Verzehrs von Käse- und Wurst ausmacht, sind die Verzehrsmengen von Schinken W-B und Frischkäse K-B bei beiden Geschlechtern viel geringer. Speck W-C wird von allen Füllgut-Gruppen am wenigsten verzehrt. In der Regel verzehren die Frauen durchschnittlich mehr als die Männer. Das ist besonders in der Füllgut-Gruppe W-A zu beobachten.

7.3.2 Informationen zum Körpergewicht der Bevölkerung

Abbildung 7-19 zeigt das Körpergewicht der deutschen Bevölkerung in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht.

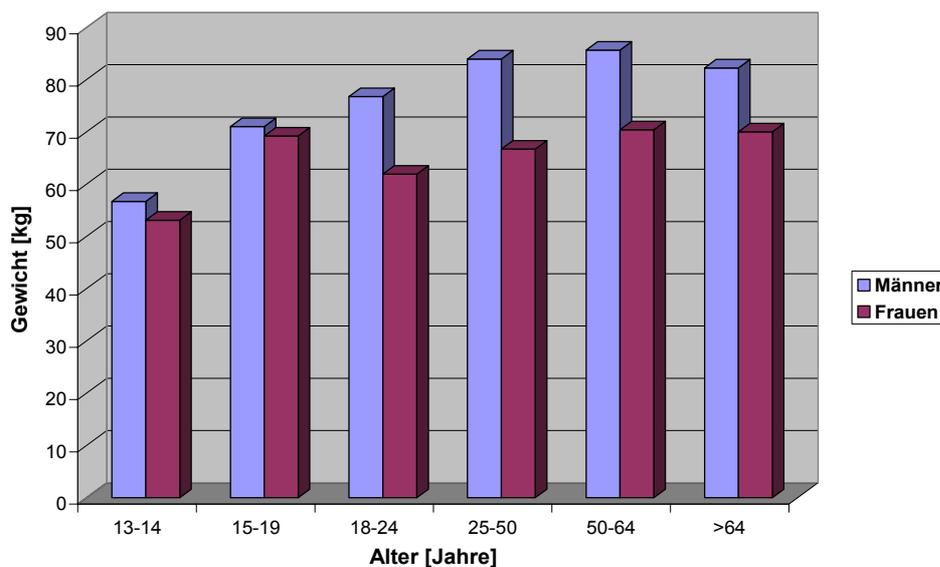


Abbildung 7-19: Körpergewicht der Bevölkerung (Mikrozensus, Deutschland, Jahr 2009).

Frauen wiegen besonders im Alter zwischen 18 und 50 Jahren weniger als Männer.

7.3.3 Verbraucherbefragung zum Konsum von Käse und Wurstwaren von der Frischetheke und aus dem Selbstbedienungsbereich

An der Verbraucherbefragung beteiligten sich insgesamt 939 Personen, wovon 64% Frauen und 36% Männer waren. Der prozentuale Anteil der Altersgruppen kann Abbildung 7-20 entnommen werden.

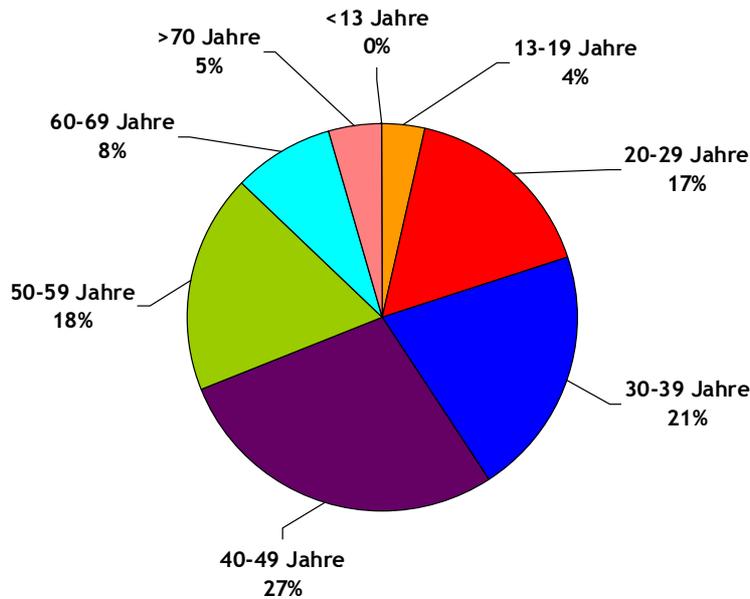


Abbildung 7-20: Verbraucherbefragung (gesamt): Altersgruppen.

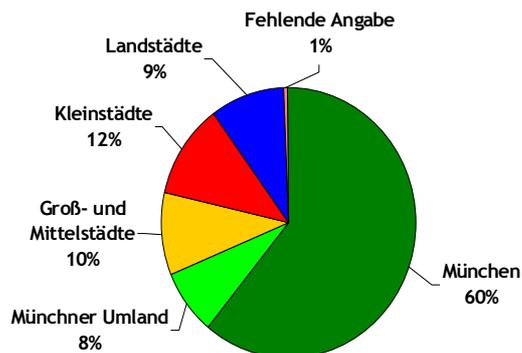


Abbildung 7-21: Verbraucherbefragung (gesamt): Wohnort.

Um beim Erstellen von Verzehrsmustern auch nach Regionen unterscheiden zu können, wurden die Teilnehmer nach ihrem Wohnort befragt (siehe Abbildung 7-21).

Zudem sollten die Befragten angeben, ob wie stark sie in die Haushaltsführung eingebunden sind und somit auch in den Einkauf von Lebensmitteln (siehe Abbildung 9-17 im Anhang), wie viele Personen in ihrem Haushalt wohnen (siehe Abbildung 9-18), wie oft sie Käse und Wurst pro Woche einkaufen (siehe Abbildung 9-19) und ob sie die Ware bevorzugt an einer Frischetheke einkaufen oder als Einkaufsform die Selbstbedienung präferieren.

Abbildung 7-22 und Abbildung 7-23 veranschaulichen, wie viel Prozent aller Befragten Käse und Wurst vorwiegend an einer Bedientheke oder als industriell verpackte Selbstbedienungsware aus dem Kühlregal einkaufen und wie viel Prozent der Befragten diese Lebensmittel sowohl als SB-Ware als auch Frischetheken-Ware einkaufen.

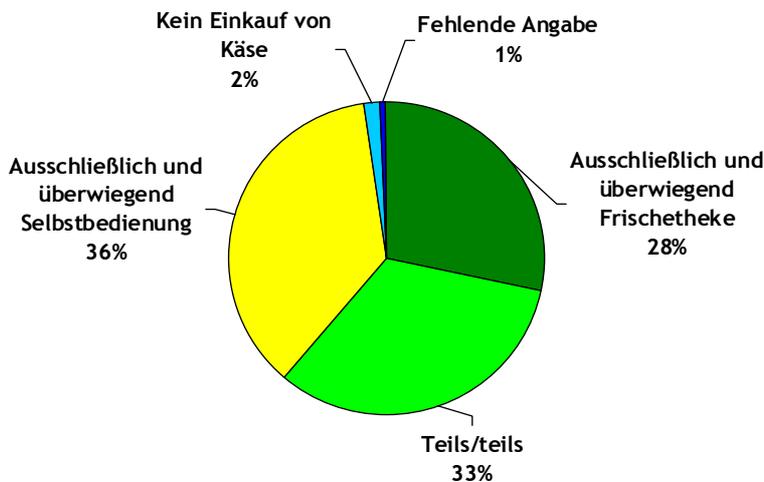


Abbildung 7-22: Verbraucherbefragung (gesamt): Bezugsquelle für Käse.

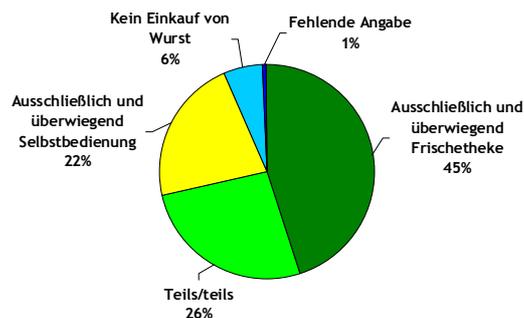


Abbildung 7-23: Verbraucherbefragung (gesamt): Bezugsquelle für Wurst.

Diese Abbildungen verdeutlichen, dass Wurst häufiger von Bedientheken bezogen wird und Käse häufiger in Form von SB-Ware gekauft wird.

Anhand der im Rahmen der Verbraucherbefragung erfassten Daten konnten Verzehrsmuster differenziert nach den Aspekten Region, Alter und Geschlecht der Bevölkerung sowie dem Anteil industriell verpackter und nicht industriell verpackter Lebensmittel aufgestellt werden. Bei den Auswertungen wurden nur die Angaben der „Haupt-Haushaltsführenden“ und der

„Teils/teils-Haushaltsführenden“ berücksichtigt, weil angenommen wurde, dass die Angaben der „Nicht-Haushaltsführenden“ nicht repräsentativ sind.

Abbildung 7-24 und Abbildung 7-25 zeigen beispielsweise, wie das Einkaufsverhalten mit dem Alter variiert. Die Gruppe der 30-34 Jahre alten Verbraucher kauft mehr Käse als Selbstbedienungsware als die Gruppe der 50-59 Jährigen.

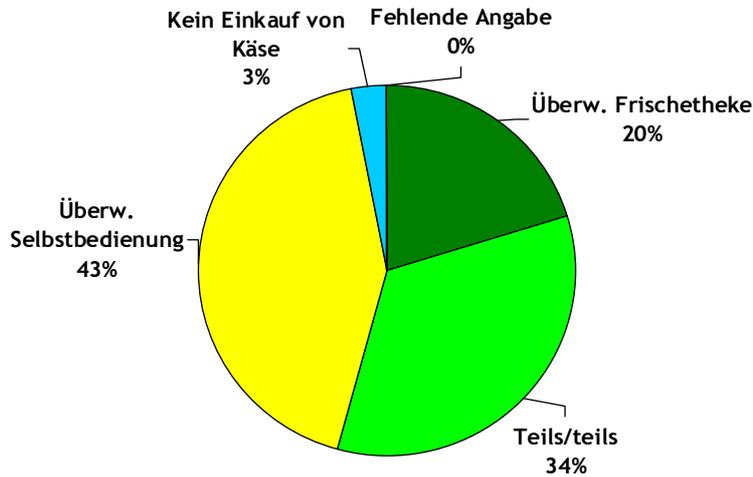


Abbildung 7-24: Verbraucherbefragung (Alle 30-34 Jährigen): Bezugsquelle für Käse.

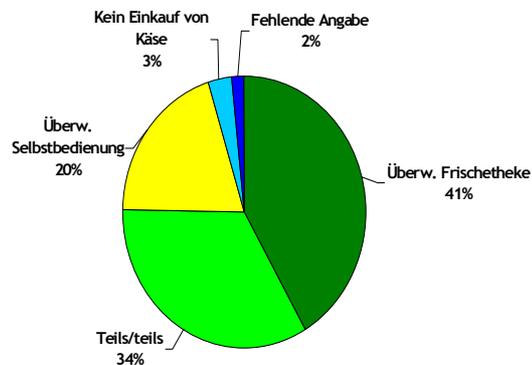


Abbildung 7-25: Verbraucherbefragung (Alle 50-59 Jährigen): Bezugsquelle für Käse.

7.4 Arbeitsschritt 4 (AS4)

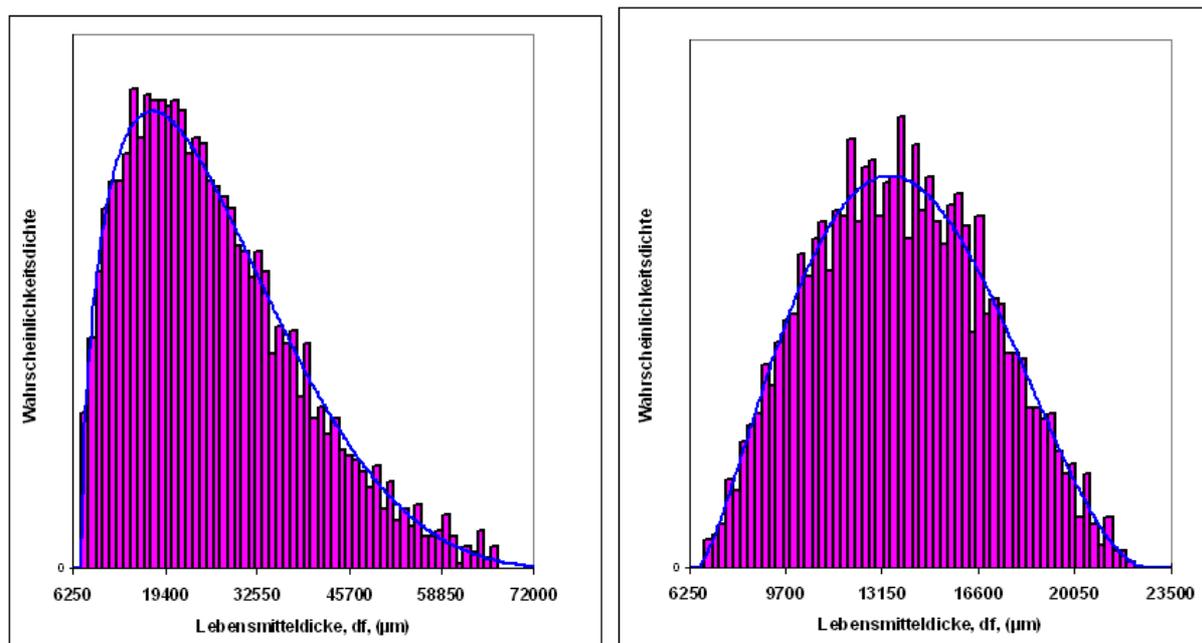
In AS4 wurden die spezifischen Migrationen von zwei Leitsubstanzen – Caprolactam und Kaschierkleberkomponenten (KKK) - in Käse- und Wurstwaren abgeschätzt. Dafür wurden die experimentellen Daten, die im Rahmen des Projektes erfasst wurden, siehe Abschnitt 6, mit den oben geschilderten Methoden in Eingabeparameter für das stochastische Migrationsprogramm „Distribution KW“ umgewandelt. In den folgenden Teilabschnitten werden beispielhaft einige dieser Eingabeverteilungen präsentiert. Im Rahmen dieses Berichtes ist es nicht möglich, eine exhaustive Präsentation all dieser Eingabeverteilungen zu machen. Um die SM von Caprolactam und KKK in den drei Wursttypen, W-A, W-B und W-C und für Käsewaren K-A zu ermitteln, wurden über 1750 Verteilungen generiert. Aus diesen wurden danach mittels mehr als 140 GoldSim-Schemen die Eingabedaten für „Distribution KW“ stochastisch ausgewählt um letztendlich die SM zu berechnen.

7.4.1 Eingabeverteilungen für die physikalischen Parameter

Als physikalische Parameter in der Berechnung der SM bezeichnet man in diesem Projekt die „Dicke“ des Lebensmittels, df , die Dicken der einzelnen Schichten der Verpackungen, dp_1 , dp_2 , usw., und die Kontaktzeit, t , zwischen Lebensmittel und Verpackung vom Zeitpunkt der Verpackung bis zum Zeitpunkt des Verzehres durch den Endverbraucher.

Wie bereits präsentiert wurden mit Hilfe der Verteilungen der Kontaktflächen zwischen Füllgut und Verpackung, der Einwaagen und der Dichten der Füllgüter die Verteilungen der Füllgutdicken, df , berechnet und als analytische Verteilungen dargestellt (siehe Abschnitt 6.1.2).

Abbildung 7-26 zeigt beispielhaft die Verteilung von Füllgutdicken für Wurst W-A verpackt in Typ 1 mit harter bzw. weicher Unterfolie bei Kühlregal-Lagerung.



(a)

(b)

Abbildung 7-26: Verteilung der Lebensmitteldicke von Wurst W-A am Stück (a) und in Scheiben (b) verpackt in Typ 1 mit harter bzw. weicher Unterfolie (Lagerung im Kühlregal).

Es wurde festgestellt, dass je nach Typ des Lebensmittels und der Verpackung und auch nach dem Typ der Lagerung der Waren und deren Herstellung und Verpackung am Stück oder in Scheiben große Unterschiede in den Verteilungen des Parameters df vorliegen. Im Allgemeinen sind die df -Verteilungen der Waren, die in Scheiben verpackt werden, in Richtung kleinerer df -Werte verschoben. Dies hat als Folge, dass bei Gleichbleiben aller anderen Bedingungen die spezifische Migration in Waren in Scheiben höher ausfällt als für Waren am Stück.

Die Dicke der einzelnen Schichten einer Verpackung kann einen großen Einfluss auf die SM haben. Dies ist insbesondere gültig für die Kontaktschicht, die mit dem Lebensmittel in Berührung kommt. Besteht die Kontaktschicht aus einem Material, das Barriereigenschaften hat, führt eine Erhöhung, z.B. Verdoppelung, dessen Schichtdicke zu einer starken Minderung der SM ins Lebensmittel.

Wird z.B. die Kontaktschicht aus Polyethylen (PE) gefertigt, unterscheiden sich die Dicken dieser Schichten nur wenig zwischen den verschiedenen Typen von Verpackungen, siehe Abbildung 7-27.

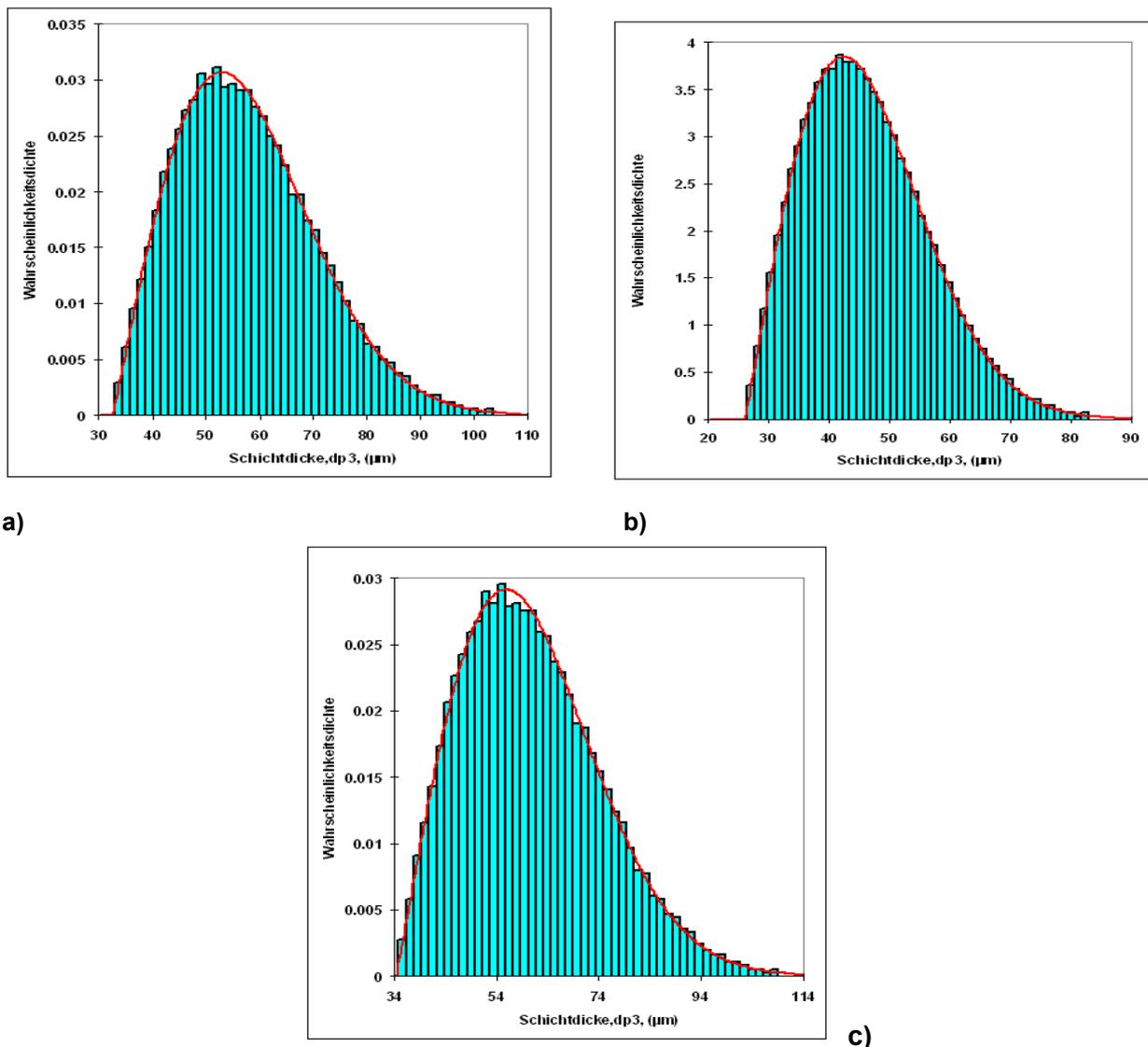


Abbildung 7-27: Dicken, dp_3 , einer PE-Schicht in weichen a) PA/KK/PE, b) PP/KK/PE und c) PET/KK/PE Oberfolien für Wurstwaren W-A.

Andererseits ist die Dicke, dp_1 , der Außenschicht, die oft für die mechanische Festigkeit der Verpackung verantwortlich ist, von der Natur des Polymeren abhängig, siehe Abbildung 7-28. In dieser Reihe von drei Verpackungen ist Polyethylenterephthalat, PET, das zähste Polymer. Folglich hat auch die Verteilung der dp_1 -Werte für PET die kleinsten Minimal- und Maximalwerte.

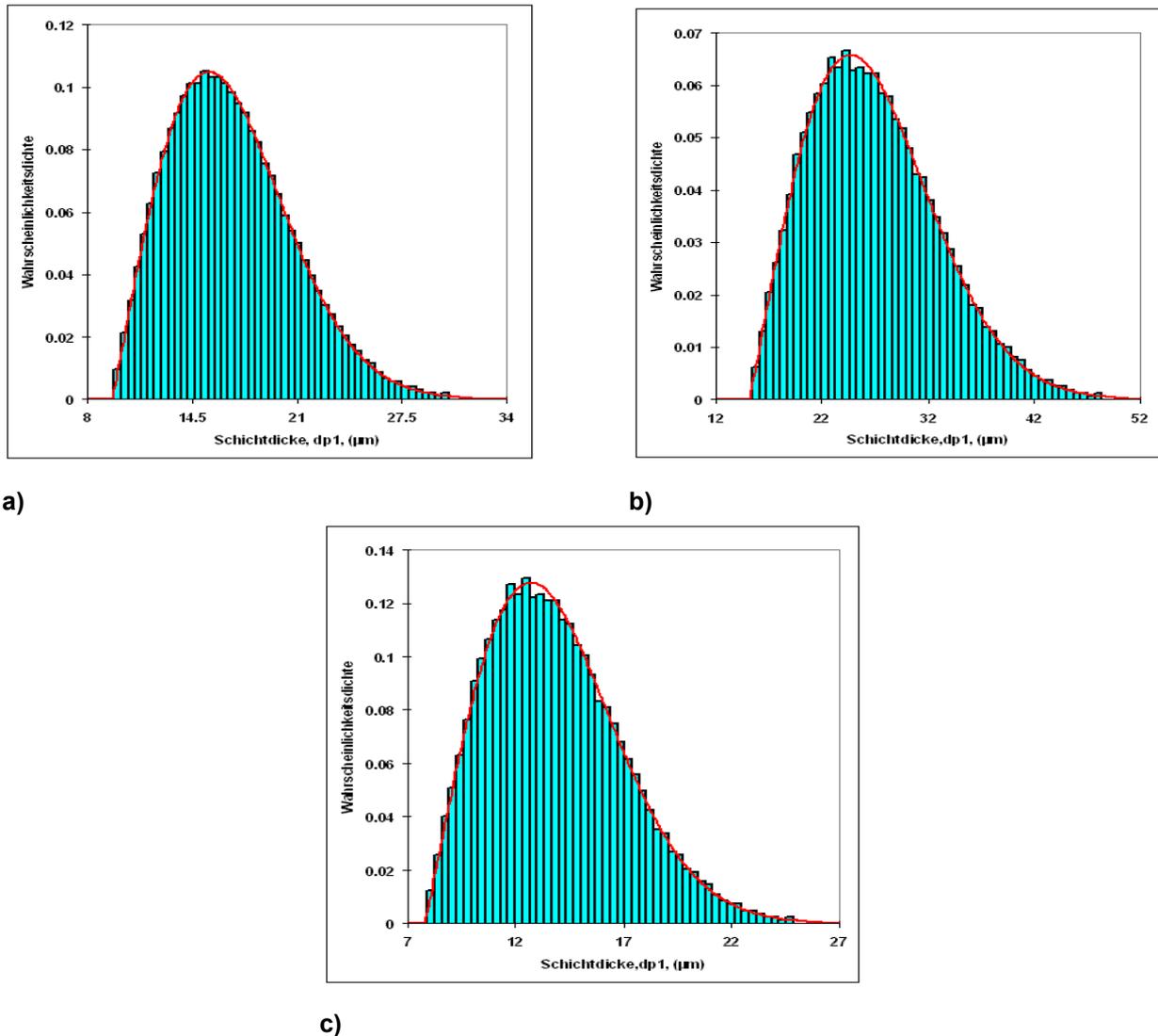


Abbildung 7-28: Dicken, dp_1 , der Außenschicht in weichen a) PA/KK/PE, b) PP/KK/PE und c) PET/KK/PE, Oberfolien für Wurstwaren W-A.

Die Lagerzeit und -temperatur des Füllgutes in einer Verpackung, also der Zeitraum zwischen der Herstellung und Verpackung einer Wurstware bis zu ihrem Verzehr durch den (bayerischen) Verbraucher, hat einen großen Einfluss auf die Höhe der spezifischen Migration und folglich auch auf die Höhe der Exposition. Wird ein Wurstprodukt kurz nach Herstellung und Abpacken gekauft und verzehrt, ist in der Regel auch seine Kontamination mit einem Migranten aus der Verpackung geringer. Deshalb ist es sehr wichtig, Daten bzw. Verteilungen über die Lagerzeiten, t , zu ermitteln. In Abbildung 7-29 sind die Verteilungen der Kontaktzeiten, t ,

Füllgut/Verpackung bei Kühltemperatur-Lagerung für Wurst W-A am Stück und in Scheiben verpackt in Verpackungstyp 1 mit harter Unterfolie dargestellt. Obwohl der Höchstwert der Verteilungen in beiden Fällen fast gleich ist, ca. 22 Tage, deutet die t-Verteilung für W-A in Scheiben auf eine längere Kontaktzeit vom Zeitpunkt der Verpackung bis zum Zeitpunkt des Verzehrs. Wenn alle anderen Bedingungen gleich wären, würde dies zu höheren spezifischen Migrationen in W-A in Scheiben als in W-A am Stück führen.

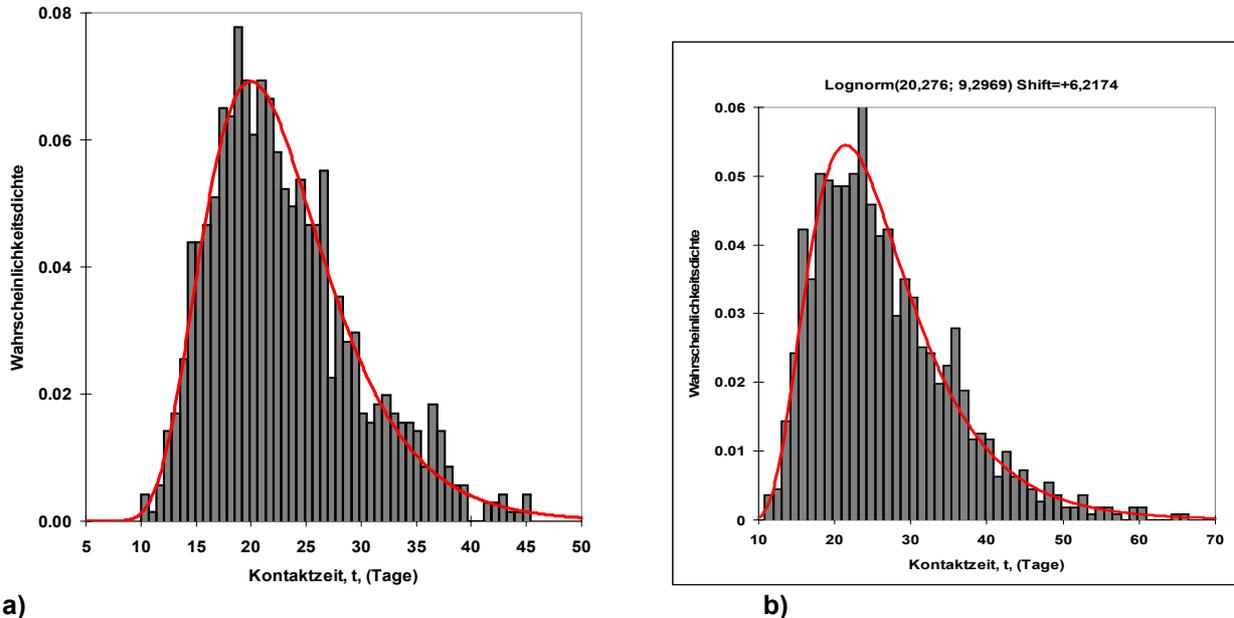


Abbildung 7-29: Verteilung der Kontaktzeiten Füllgut/Verpackung für Wurst W-A am Stück (a) und in Scheiben (b) verpackt in Typ 1 mit harter Unterfolie (Lagerung im Kühlregal).

Ein interessantes Ergebnis ist, dass die Kontaktzeiten für einige Wurstwaren, die bei Raum-Temperatur gelagert werden, länger sind als bei Wurstwaren mit Lagerung in Kühlregal, siehe Abbildung 7-30 für Wurstwaren W-B (Schinken) am Stück.

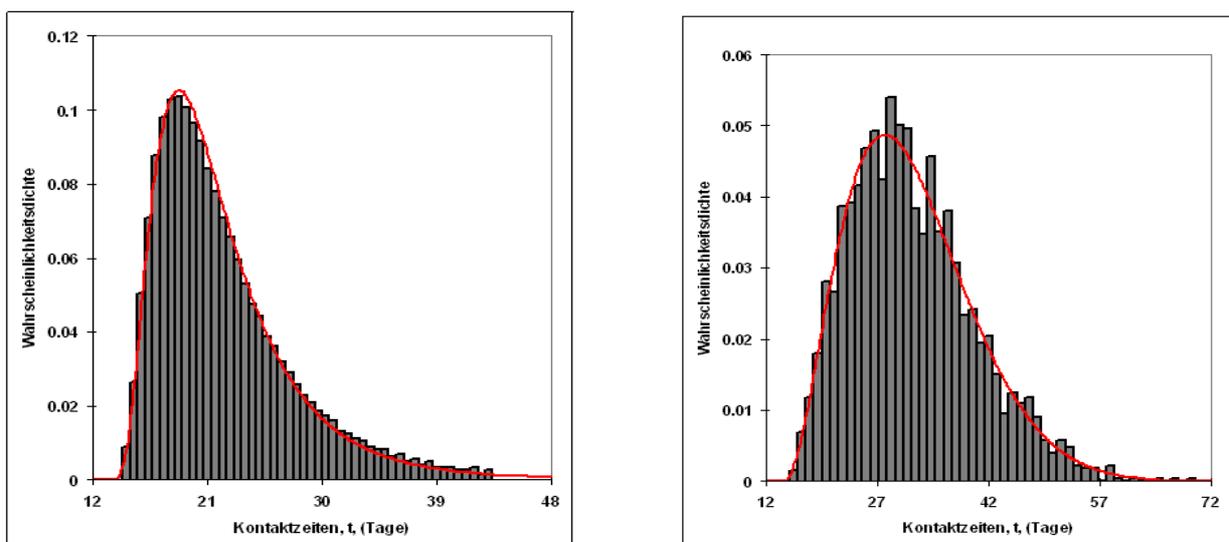
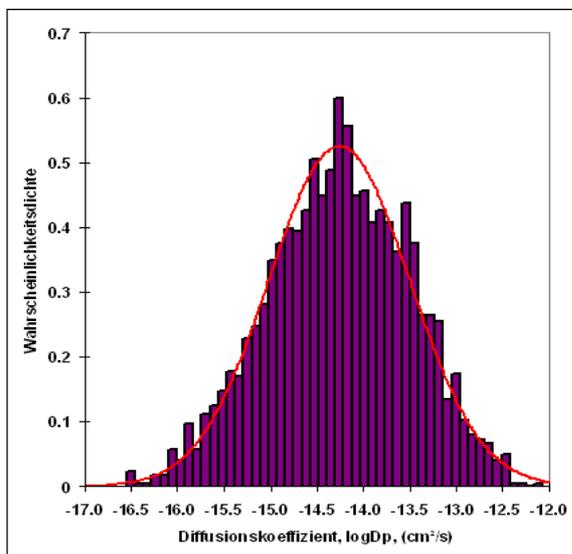


Abbildung 7-30: Verteilung der Kontaktzeiten Füllgut/Verpackung für Wurst W-B am Stück (a) bei KR-Temperatur und (b) bei Raum-Temperatur.

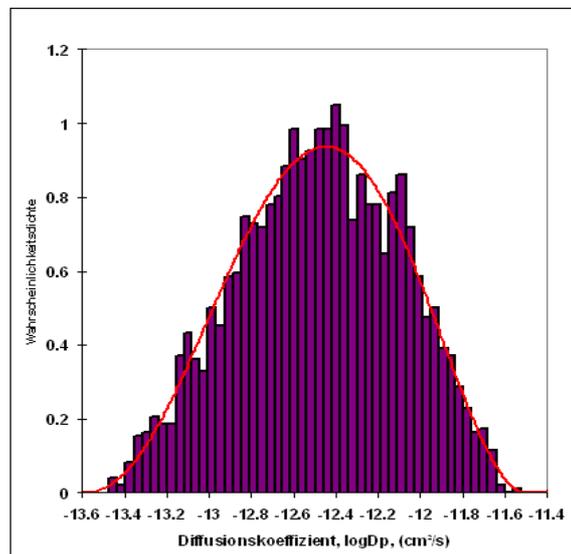
Bei Raum-Temperatur ist die Migration schneller als im Kühlregal. Folglich können die längeren Lagerzeiten, t , bei Raum-Temperatur zu (deutlich) höheren Konzentrationen an Migranten im Schinken führen als bei dessen Lagerung im Kühlregal.

7.4.2 Eingabeverteilungen der Diffusions- und Verteilungsparameter

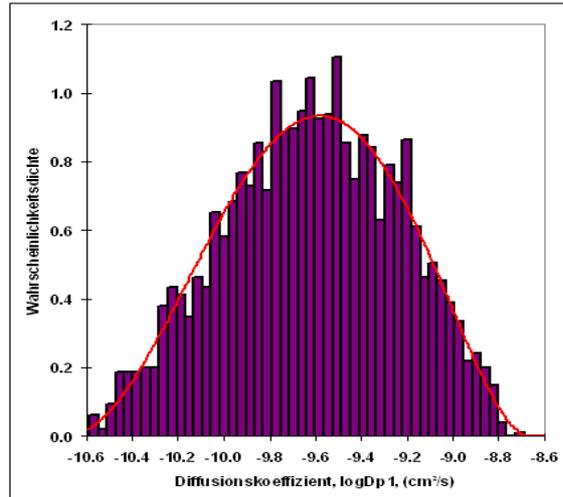
Die Diffusionskoeffizienten der Leitsubstanzen in den Verpackungsmaterialien, D_p 's, und in den Lebensmitteln Käse und Wurst werden mit der Gleichung 6-3 und Gleichung 6-4 abgeschätzt. Diese relativ einfachen Gleichungen wurden von Experten der FABES Forschungs-GmbH entwickelt und sind - für die Abschätzung der D_p 's in Kunststoffen - auch in der europäischen Kunststoffverordnung EU 10/2011 anerkannt. Die stochastischen Berechnungen dieser Formeln, siehe Abbildung 6-6 und Abbildung 6-11, sind Weiterentwicklungen, mit denen Diffusionsunterschiede zwischen Materialien und Lebensmittel desselben Typs berücksichtigt wurden. In diesem Sinne müssen auch die berechneten D_p - und D_f -Verteilungen interpretiert werden. In Abbildung 7-31 sind z.B. D_p -Verteilungen für Caprolactam in der Polyamid-Schicht einer PA/PE- oder PA/KK/PE-Verbundfolie dargestellt. Aus diesen Abbildungen ist ersichtlich, dass die Temperatur einen bedeutenden Einfluss auf die Höhe der D_p 's hat. Der Höchstwert der $\log D_p$ -Verteilung bei KR-Temperatur liegt bei ca. -14,25, bei Raum-Temperatur (RT) bei ca. -12,4 und bei Pasteurisations-Temperatur (PT) bei ca. -9,475. Die entsprechenden D_p 's lauten: $D_p \sim 5.6 \times 10^{-15} \text{ cm}^2/\text{s}$ bei KR, $D_p \sim 4 \times 10^{-13} \text{ cm}^2/\text{s}$ bei RT und $D_p \sim 3.5 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ bei PT.



a)



b)



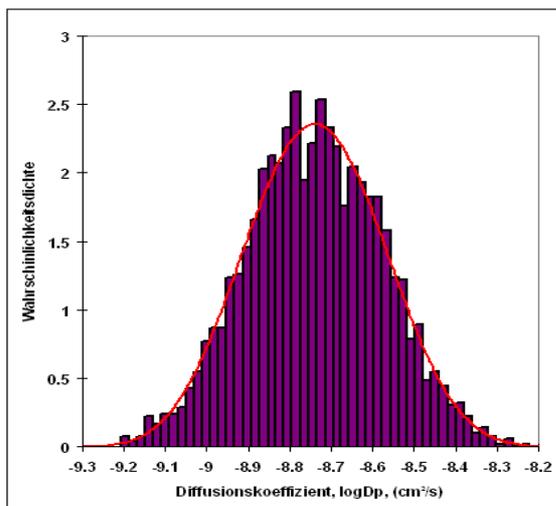
c)

Abbildung 7-31: Verteilung der Diffusionskoeffizienten, $\log D_p$ in (cm^2/s), von Caprolactam in Polyamid (PA) bei a) Kühlraum-Temperatur, b) bei Raum-Temperatur und c) Pasteurisations-Temperatur.

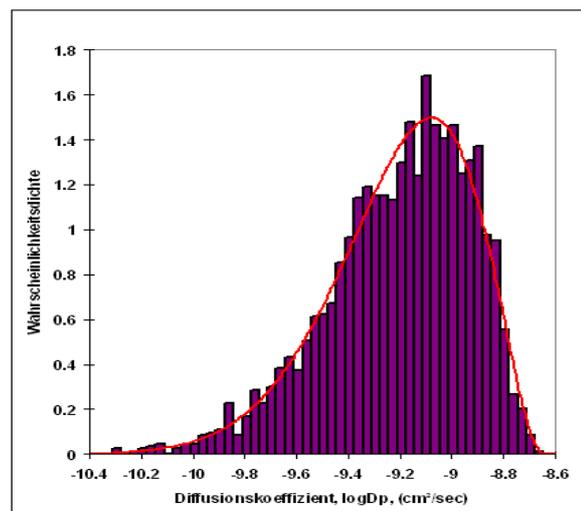
Mit anderen Worten bedeutet das, dass die Mobilität der Caprolactam-Moleküle in der PA-Matrix ca. 100.000-mal höher ist bei PT als bei KR. Dies ist auch der Grund, warum während der relativ kurzen Dauer der Pasteurisation die SM von Caprolactam in Wurstwaren vergleichbar hoch ist wie die SM, die während der viel längeren Lagerzeit im KR stattfindet.

Die Berechnungen zeigen auch, dass die D_p 's von der Natur des Migranten abhängig sind; durch dasselbe Polymer, z.B. PE, diffundieren die KKK's, wegen ihres höheren Molekulargewichtes, $200 < M_w < 500$ g/mol, langsamer als Caprolactam, $M_w = 113$ g/mol, Abbildung 7-32.

Selbstverständlich sind die D_p 's auch von der Natur des Polymeren abhängig. Ein und dieselbe Leitsubstanz wird schneller durch die etwas lockereren Matrices eines Polyethylens oder Polypropylens diffundieren als durch die steife und vernetzte Matrix von PET. Dies findet sich auch wieder in den in diesem Projekt berechneten D_p -Verteilungen, Abbildung 7-33 c).



a)



b)

Abbildung 7-32: Verteilung der Diffusionskoeffizienten, $\log D_p$ in (cm^2/s), von a) Caprolactam und b) Kaschierkleberkomponenten in Polyethylen (PE) bei RT.

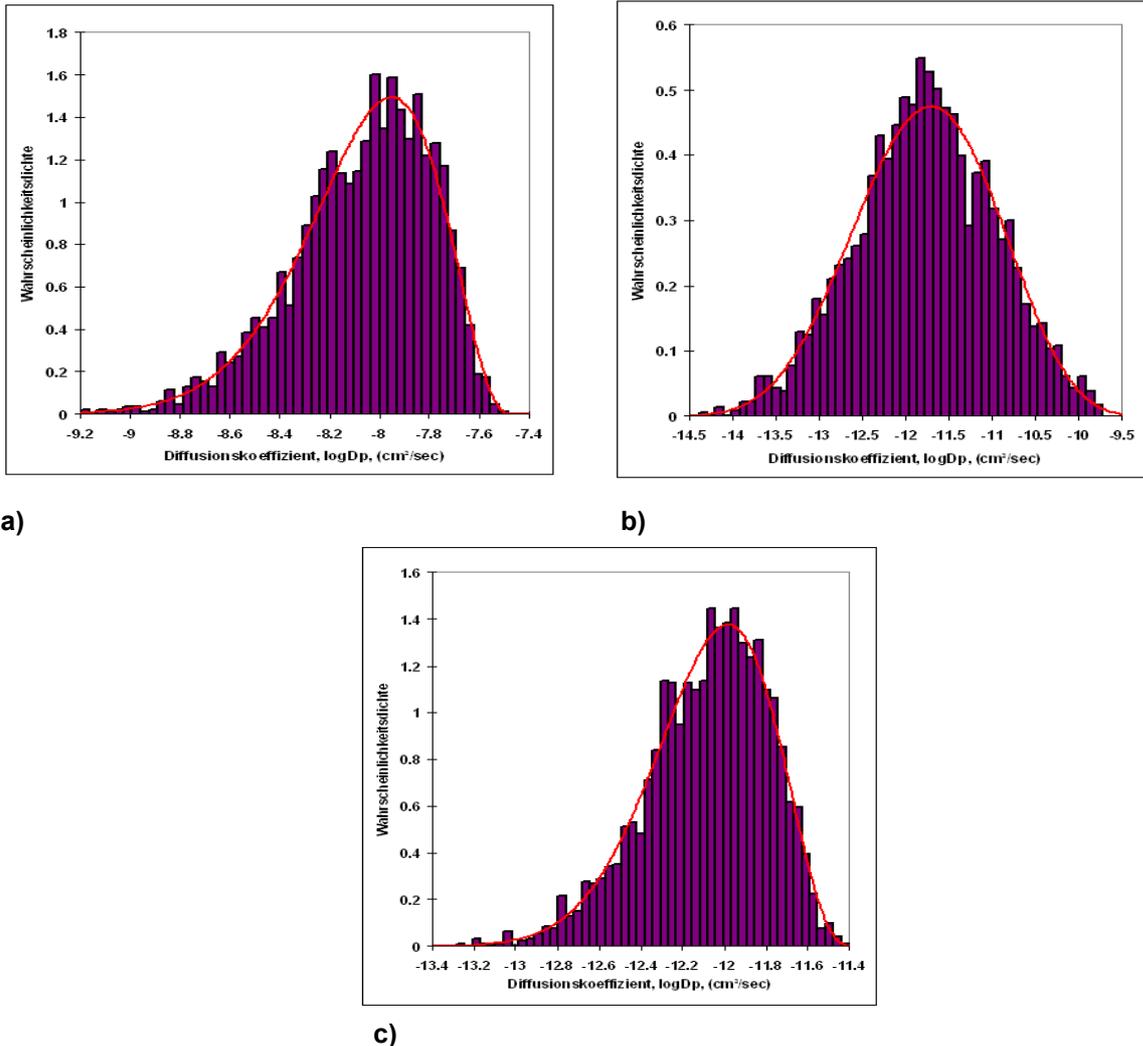
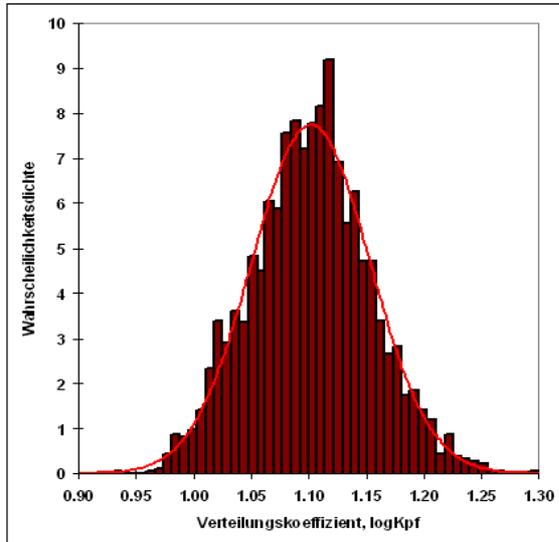
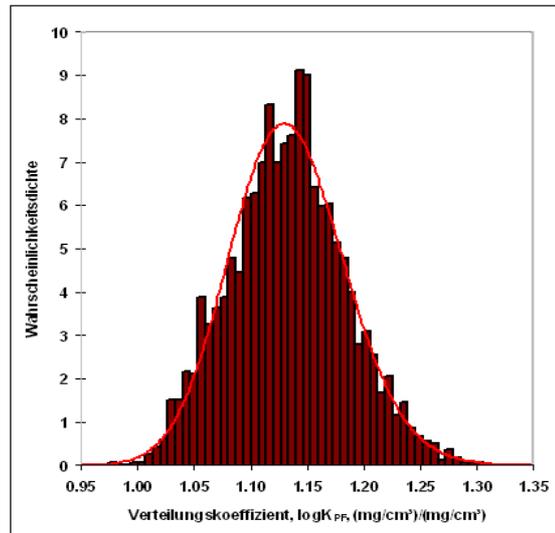


Abbildung 7-33: Verteilung der Diffusionskoeffizienten, $\log D_p$ in (cm^2/s), von Kaschierkleberkomponenten in a) Polypropylen, b) Polyamid und c) Polyethylenterephthalat bei Raum-Temperatur.

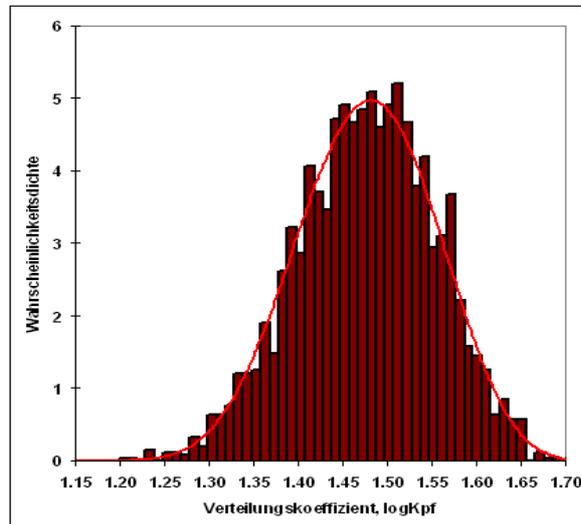
Einen großen Einfluss auf die Höhe der Endkonzentration eines Migranten in einem Lebensmittel kann der Verteilungskoeffizient, K_{pf} , des Migranten zwischen Verpackung und Lebensmittel haben. Wie bereits erwähnt, ist dieser Koeffizient von der Natur der Verpackung, des Lebensmittels und des Migranten, aber auch von der Temperatur abhängig. Experimentell ist die Bestimmung von K_{pf} 's oft eine herausfordernde, kosten- und arbeitsintensive Tätigkeit. Deswegen wurde im Rahmen dieses Projektes K_{pf} theoretisch abgeschätzt, siehe 6.4.2.2. Für die Migration von Caprolactam und Kaschierkleberkomponenten in Käse- und Wurstwaren war diese Aufgabe etwas einfacher, da alle betroffenen Verpackungen als Lebensmittel-Kontaktschicht eine PE-Schicht hatten. Folglich musste nur der K_{pf} zwischen den untersuchten Lebensmitteltypen und PE abgeschätzt werden, Abbildung 7-34.



a)



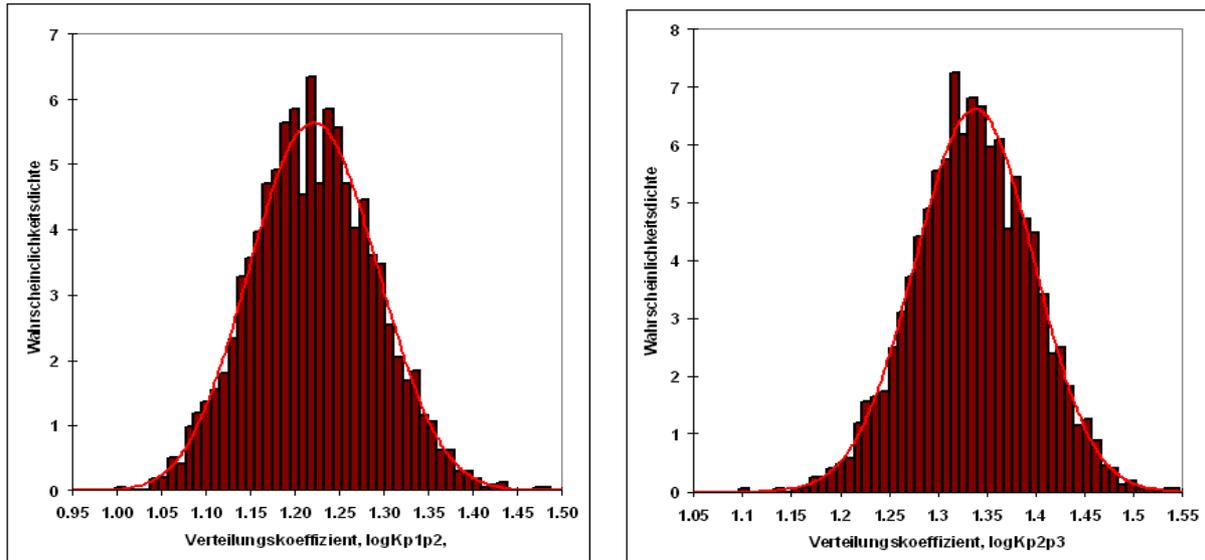
b)



c)

Abbildung 7-34: Verteilung der Verteilungskoeffizienten, $\log K_{PF}$ in $(g/cm^3)/(g/cm^3)$, von Caprolactam zwischen PE und a) Wurstwaren W-A, b) Wurstwaren W-B und c) Wurstwaren W-C, bei Kühlraum-Temperatur.

Bei der numerischen Berechnung der SM bringen auch die Verteilungskoeffizienten K_{pp} zwischen den verschiedenen Schichten einer Verpackung einen indirekten Beitrag zur Höhe der Konzentration, $C_{f,t}$, der Migranten im Lebensmittel. Löst sich die Leitsubstanz besonders gut in einer der inneren Schichten der Verpackung, wird sie weniger in Richtung Lebensmittel diffundieren. Im Falle von Caprolactam und KKK ist zu erwarten, dass deren Löslichkeit in Polyamid bzw. Kleberschicht hoch ist, weil diese Substanzen Herstellungskomponenten dieser Materialien sind. Tatsächlich führt das Abschätzverfahren mit der FABES-K Formel für Caprolactam bzw. KKK zu K_{pp} 's >1 , wenn eine PA- mit einer PE-Schicht bzw. eine KK- mit einer PE- oder PP-Schicht in Kontakt sind, Abbildung 7-35.



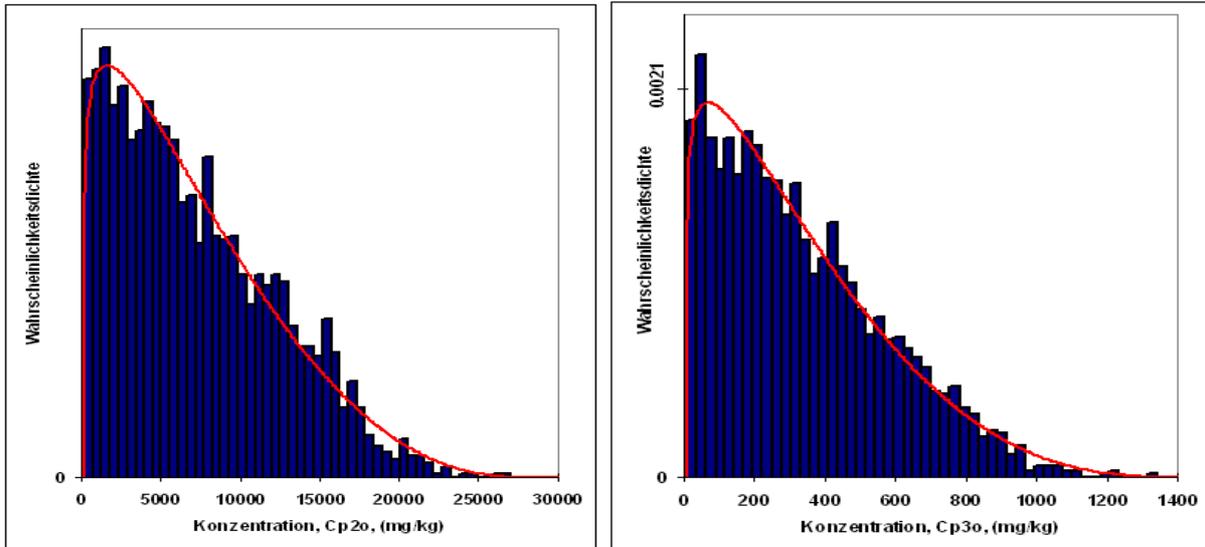
a)

b)

Abbildung 7-35: Verteilungen der Verteilungskoeffizienten, $\log K_{pp}$ in $(g/cm^3)/(g/cm^3)$, von Caprolactam zwischen a) PA- und PE-Schicht bzw. b) KK- und PE-Schicht bei Raum-Temperatur.

7.4.3 Eingabeverteilungen für den chemischen Parameter C_{po}

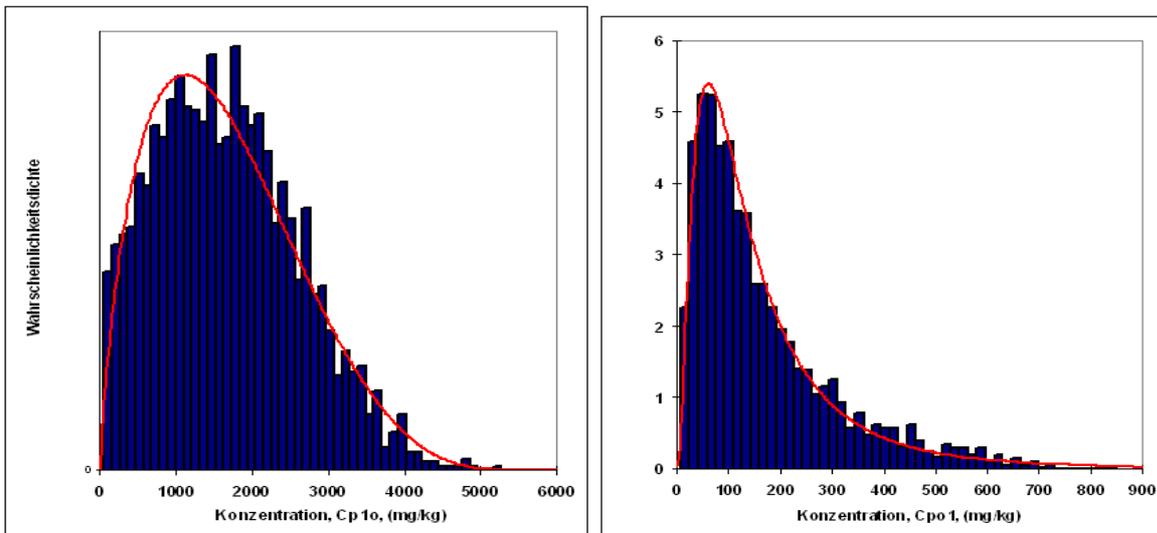
Eine sehr wichtige Information für die Berechnung der spezifischen Migration ist die Anfangskonzentration, $C_{po}(i)$, des Migranten in jeder Schicht einer Verpackung. Diese Konzentrationen können nicht direkt durch analytische Verfahren im Labor gemessen werden, da es nicht möglich ist, eine Mehrschichtverpackung in ihre Einzelschichten zu zerlegen, um die C_{po} 's in jeder Schicht zu ermitteln. Folglich wurde in diesem Projekt eine Gesamtextraktion aus den Mehrschichtverpackungen gemacht und so die Gesamtmenge der Leitsubstanzen in der Verpackung bestimmt. Danach wurde, unter Berücksichtigung gewisser Annahmen, eine stochastische Abschätzung der C_{po} 's in jeder Schicht gemacht. Aus den Verteilungen dieser Konzentrationen werden danach mit dem GoldSim-Programm Eingabedaten für den numerischen Algorithmus „Distribution KW“ generiert. Je nach Leitsubstanz und Schicht können die Verteilungen dieser C_{po} 's sehr unterschiedlich sein. In Abbildung 7-36 werden in diesem Sinne die C_{po} 's für die Kleber- bzw. PE-Schicht einer weichen Oberfolie PP/KK/PE für Wurstwaren W-B gezeigt. Erwartungsgemäß ist für KKK die C_{po} -Anfangskonzentration in der Kleber-Schicht deutlich - ca. 20-mal - höher, als in der PE-Schicht, die die Füllgut-Kontaktschicht ist.



a)

b)

Abbildung 7-36: Verteilungen der Ausgangskonzentrationen, C_{p0} , von KKK in der a) Kleber- bzw: b) PE-Schicht einer weichen PA/KK/PE Oberfolie für Wurstwaren W-B, gelagert bei Raum-Temperatur.



(a)

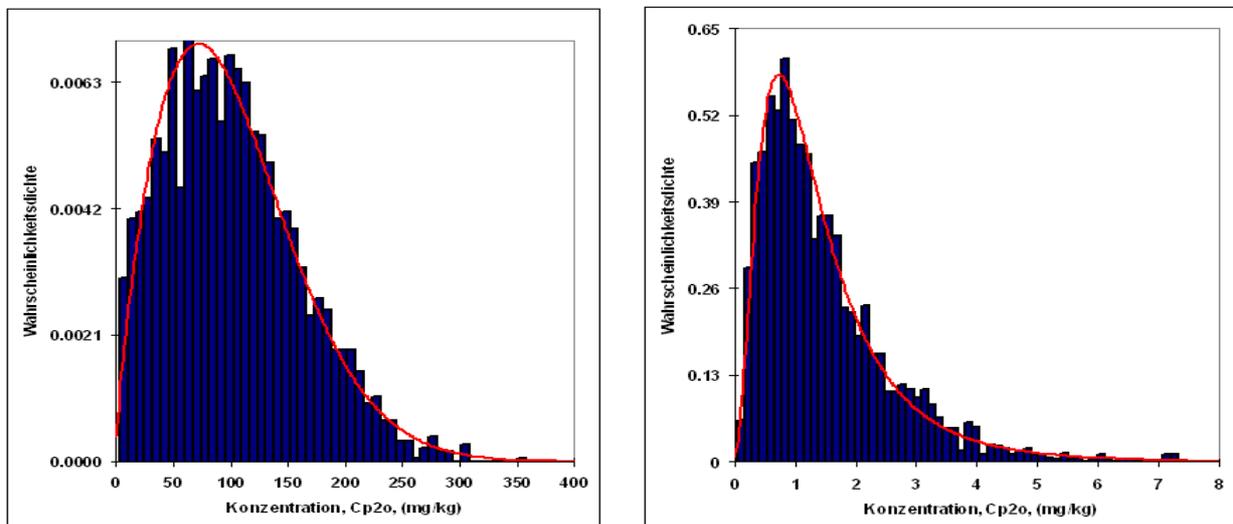
(b)

Abbildung 7-37: Verteilung der Konzentration von Caprolactam in der Polyamid (PA)-Schicht einer a) PA/PE- bzw: b) PA/KK/PE-Verpackung für Wurstwaren W-A.

Es wurde festgestellt, dass die C_{p0} 's in den einzelnen Schichten sogar von dem Typ der Mehrschichtverpackung abhängig sein können. Solch eine Situation ist in Abbildung 7-37 präsentiert. In diesen Abbildungen kann man sehen, dass die Verteilung der C_{p0} 's für Caprolactam, in der PA-Schicht einer weichen PA/PE-Folie für Wurstwaren W-A bis zu ca. 5500 ppm – mit einem Maximum bei ca. 1200 ppm – reichen kann. In derselben Schicht einer PA/KK/PE-Folie- auch für Wurstwaren W-A - reicht die Verteilung der C_{p0} 's nur bis ca. 900 ppm – mit einem Maximum von nur ca. 95 ppm.

Eine besondere Situation ergibt sich für die Ausgangskonzentrationen in den einzelnen Schichten der Verpackungen für Wurstwaren, die Hitze-behandelt oder pasteurisiert werden. Diese Verfahren finden bei erhöhten Temperaturen, 75-80 °C bzw. 80-85 °C, statt. Durch die Erhöhung der Temperatur findet eine beschleunigte SM statt, die dazu führt, dass in kurzer Zeit eine große Menge an Leitsubstanzen ins Lebensmittel migrieren. Gleichzeitig reduziert sich aber die verbleibende Menge dieser Migranten in der Verpackung. Das hat zur Folge, dass bei dieser Hitze-behandelten, verpackten Wurst bei längerer Lagerung bei Kühlregal- oder Raum-Temperatur die spezifische Migration während dieser Lagerung deutlich kleiner ist, als wenn die verpackte Wurst ohne Hitzebehandlung direkt im KR oder bei Raum-Temperatur gelagert wäre. Das heißt aber nicht, dass Hitze-behandelte Würste, die danach im KR oder bei RT gelagert werden, weniger kontaminiert sind als solche, die nur im KR oder bei RT gelagert werden. In den meisten Szenarien, die im Projekt simuliert wurden, ist während der kurzen Zeit der Hitzebehandlung die SM derart beschleunigt, dass am Ende dieser kurzen Zeit die Konzentration der Leitsubstanzen in den Wurstwaren höher ist, als wenn diese monatelang nur im KR oder nur bei RT gelagert würden. Nach der Hitzebehandlung einer verpackten Wurst nimmt die SM stark ab, da ein großer Teil der Leitsubstanzen sich bereits in der Wurst befindet.

Die Abnahme der Konzentration einer Leitsubstanz in den verschiedenen Schichten einer Mehrschichtverpackung für Wurstwaren während einer thermischen Behandlung wurde auch mit dem numerischen Algorithmus „Distribution KW“ ermittelt. In Abbildung 7-38 werden die Ergebnisse für die PE-Schicht einer PA/PE-Folie, die nicht mit der Wurst Hitze-behandelt wurde, und einer PA/PE-Folie, in der die Wurst pasteurisiert wurde, angegeben. Der Unterschied zwischen den C_{p2o}'s in diesen zwei Fällen ist gewaltig.



(a)

(b)

Abbildung 7-38: Verteilung der Konzentration von Caprolactam in der Polyethylen (PE)-Schicht einer PA/PE Verpackung für Wurstwaren (a) gelagert bei Raumtemperatur und b) nach der Pasteurisierung der Wurstware W-A.

7.4.4 Verteilungen der spezifischen Migrationen

Nachdem all die Eingabeparameter-Verteilungen für das System Mehrschichtverpackung in Kontakt mit dem Lebensmittel (Käse oder Wurst) ermittelt worden sind, kann man die stochastische Berechnung der spezifischen Migration durchführen. Im Rahmen des Projektes wird dies mit den in Abschnitt 6.4.2.5 beschriebenen Programmen und Methoden gemacht. Um die Exposition der Verbraucher mit Caprolactam und KKK zu ermitteln, wurden insgesamt über 140 SM-Werte ermittelt. Hier werden beispielhaft nur ein paar wenige präsentiert.

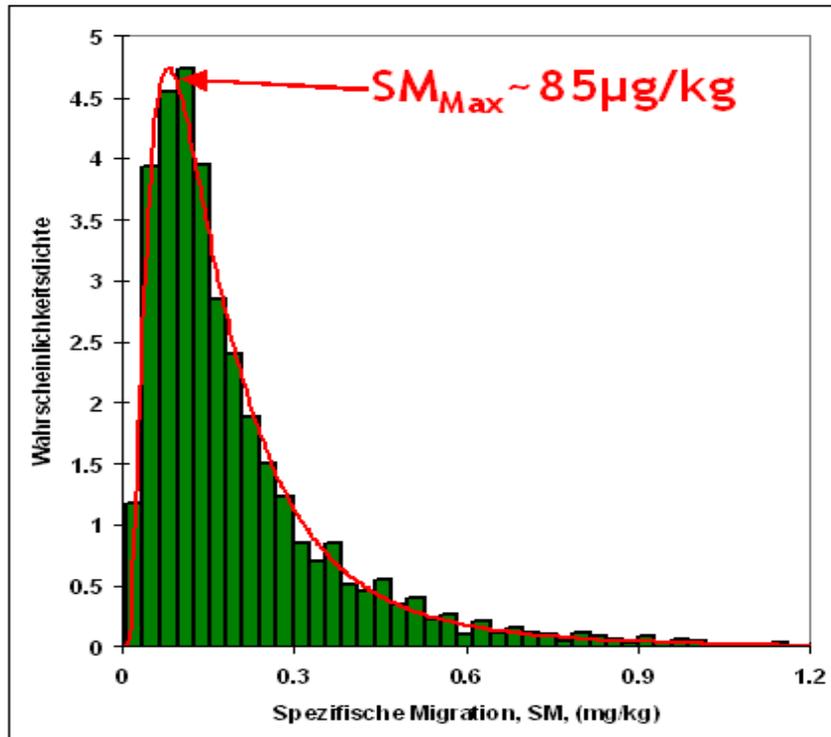


Abbildung 7-39: Verteilung der spezifischen Migration von Caprolactam aus PA/KK/PE-Oberfolien in Wurstwaren W-A am Stück verpackt in OFw+UFw und gelagert bei KR-Temperatur.

Aus Abbildung 7-39 und Abbildung 7-40 ist ersichtlich, dass die SM von Caprolactam aus OFw PA/KK/PE in W-A am Stück höher ist während der ca. 1 Stunde dauernden Pasteurisation bei 80-85°C als während einer Lagerung für 2-3 Monate im Kühlregal. Wird die Wurst W-A nach der Pasteurisation in der PA/KK/PE-Verpackung im KR gelagert wird sie zusätzlich mit der in Abbildung 7-41 gezeigten SM kontaminiert. Wie bereits oben erwähnt ist diese Kontamination viel kleiner als diejenige, die während der Pasteurisation stattfindet.

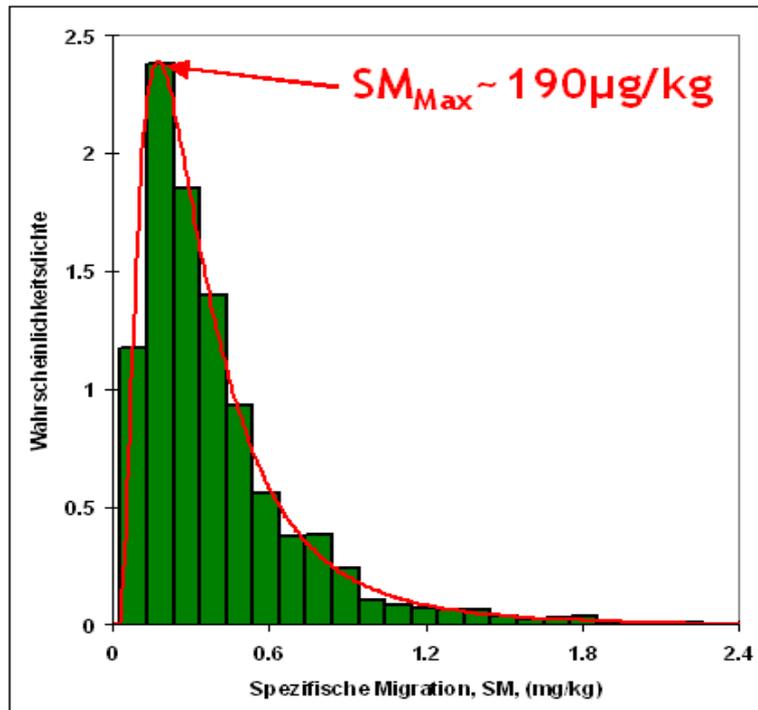


Abbildung 7-40: Verteilung der spezifischen Migration von Caprolactam aus PA/KK/PE-Oberfolien in Wurstwaren W-A am Stück verpackt in OFw+UFw während der Pasteurisation.

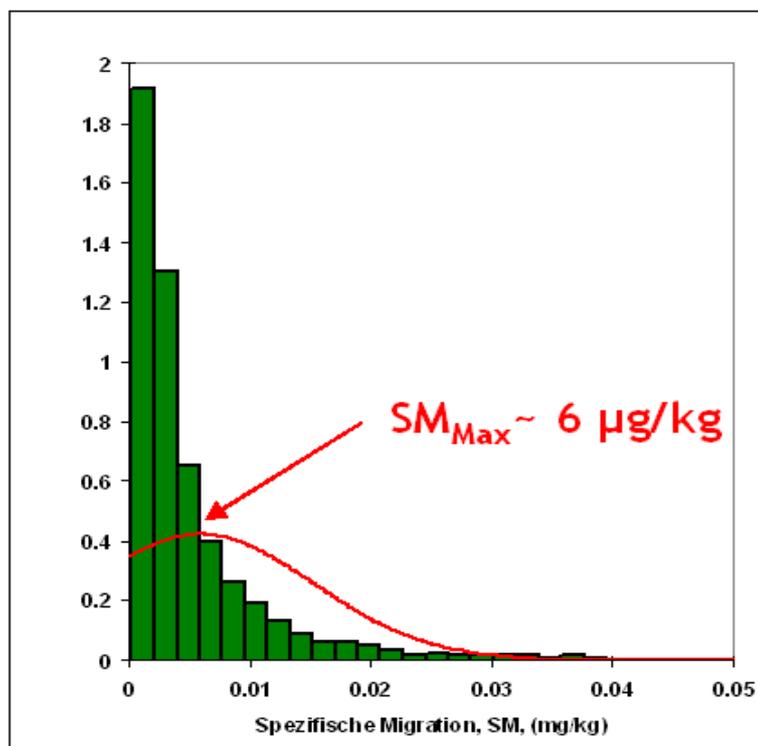


Abbildung 7-41: Verteilung der spezifischen Migration von Caprolactam aus PA/KK/PE Oberfolien in Wurstwaren W-A am Stück und verpackt in OFw+UFw während der Lagerung im KR nach der Pasteurisation der verpackten Wurst.

Die Höhe der SM hängt auch von der Natur des Lebensmittels ab. In Abbildung 7-42, Abbildung 7-41 und Abbildung 7-43 ist im Vergleich zu Abbildung 7-39 die Situation der SM von Caprolactam aus weichen PA/KK/PE-Oberfolien in Schinken- und Speckwaren dargestellt.

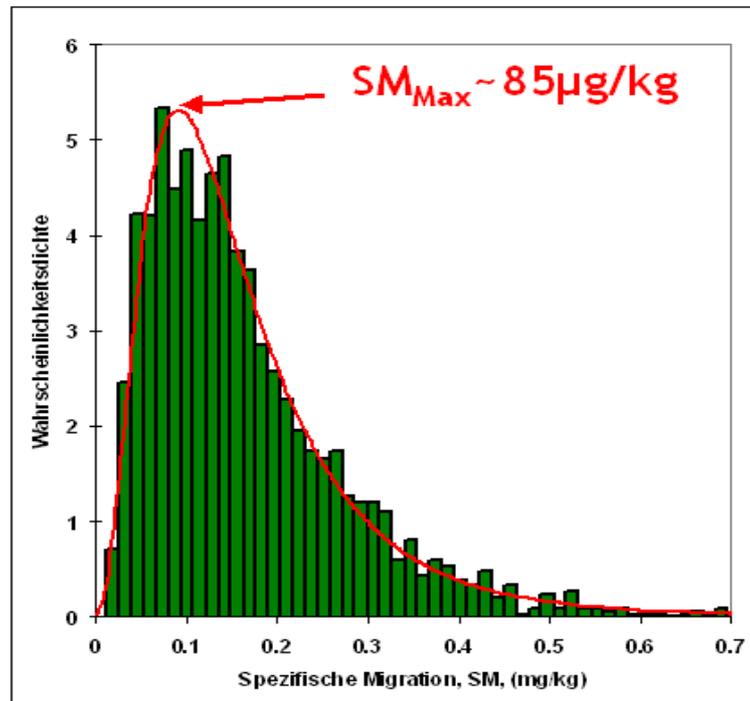


Abbildung 7-42: Verteilung der spezifischen Migration von Caprolactam aus PA/KK/PE-Oberfolien in Wurstwaren W-B am Stück verpackt in OFw+UFw und gelagert bei KR-Temperatur.

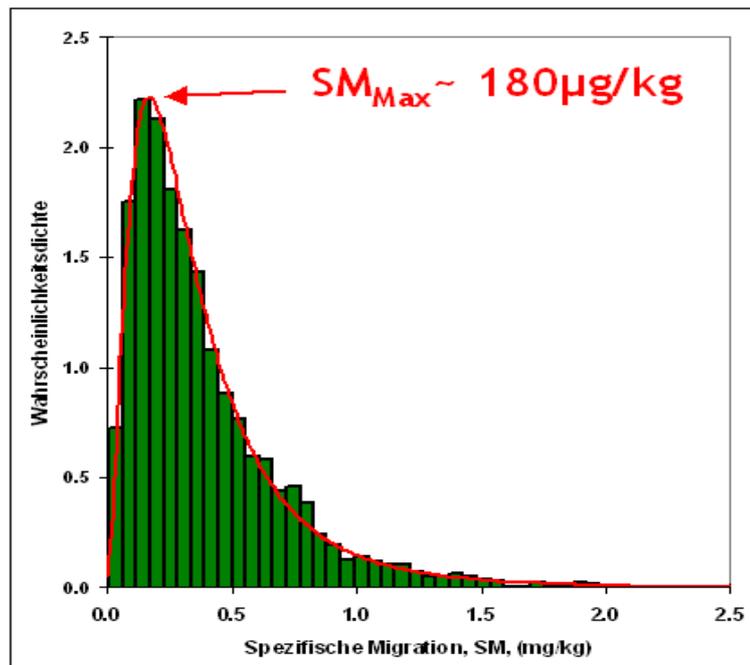


Abbildung 7-43: Verteilung der spezifischen Migration von Caprolactam aus PA/KK/PE-Oberfolien in Wurstwaren W-C am Stück verpackt in OFw+UFw und gelagert bei KR-Temperatur.

7.4.5 Validierung der berechneten spezifischen Migrationen

Um die Migrationsabschätzungen, die mit den oben präsentierten Verfahren berechnet wurden, validieren zu können, wurden, wie in Abschnitt 7.2.2 beschrieben, Migrationsuntersuchungen mit PA/KK/PE- bzw. PET/KK/PE-Oberfolien des Verpackungstypes 1 in Kontakt mit dem Lebensmittelsimulanz Ethanol 95% durchgeführt. Die Migrationen bei KR-Temperatur wurden durch Experimente mit 95% Ethanol bei 20°C und 10 Tagen Kontakt mit der Verpackung simuliert. Im Prinzip führen diese Bedingungen zu einer höheren Migration als mit dem realen Lebensmittel zu erwarten ist. Folglich ist eine ggf. geringfügige Überschreitung (bis zu ca. 20%) der experimentellen Werte über den berechneten noch nicht als Schwäche/Versagen des Abschätzverfahrens zu betrachten. Aus Abbildung 7-44 und Abbildung 7-45 ist ersichtlich, dass im Falle der Migration von Caprolactam aus einer weichen PA/PE-Folie für Käsewaren K-A und Wurstwaren W-A die experimentellen Werte im Bereich der abgeschätzten SM-Verteilung liegen.

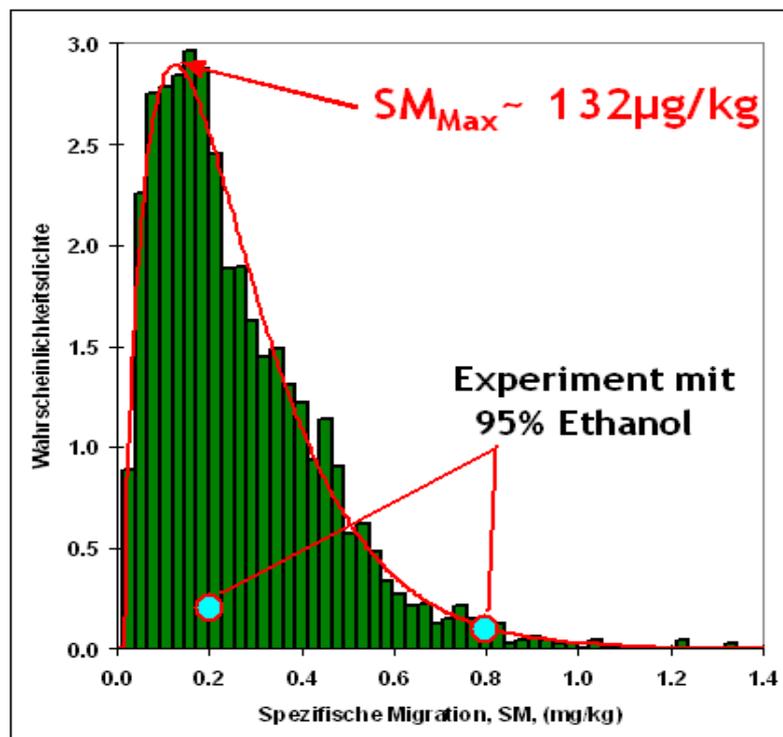


Abbildung 7-44: Vergleich zwischen berechneten und experimentellen SM-Werten für die Migration von Caprolactam aus PA/PE-Oberfolien in Käsewaren K-A am Stück verpackt in OFw+UFw und gelagert bei KR-Temperatur.

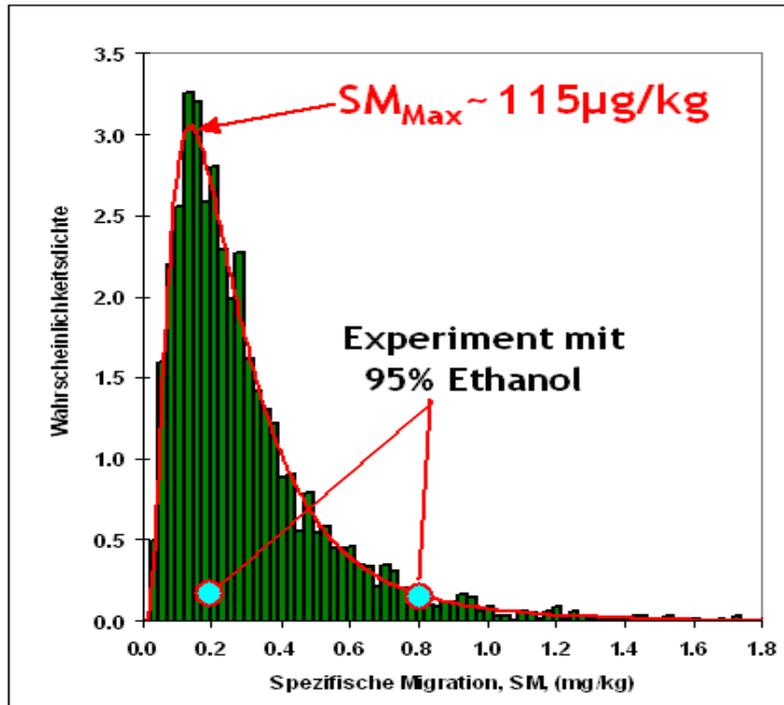


Abbildung 7-45: Vergleich zwischen berechneten und experimentellen SM-Werten für die Migration von Caprolactam aus PA/PE-Oberfolien in Wurstwaren W-A am Stück verpackt in OFw+UFw und gelagert bei KR-Temperatur.

Eine ähnliche Situation präsentiert sich bei den Validierungsexperimenten für die SM von KKK aus PET/KK/PE-Oberfolien. Auch diese Migrationsexperimente wurden mit 95% Ethanol bei einem Kontakt von 10 Tagen bei 20°C durchgeführt.

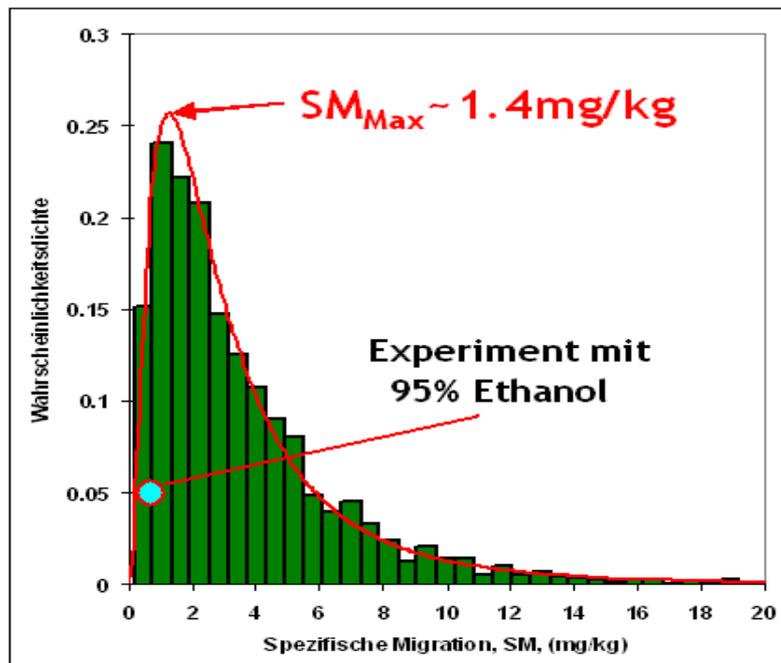


Abbildung 7-46: Vergleich zwischen berechneten und experimentellen SM-Werten für die Migration von Kaschierkleberkomponenten aus PET/KK/PE-Oberfolien in Wurstwaren W-A in Scheiben verpackt in OFw+UFh und gelagert bei KR-Temperatur.

Eine größere Anzahl von Validierungsexperimenten mit Ethanol 95% wurden mit den Kunstdärmen PA/PE/PA vom Typ 12 durchgeführt. Um die Hitzebehandlung bei 70-80°C der Wurstwaren W-A am Stück, die in diesen Kunstdärmen verpackt sind, experimentell zu simulieren, wurden die Migrationsexperimente für 1,5 Stunden bei 80°C durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 7-47 präsentiert und man kann sehen, dass keiner der experimentellen SM-Werte höher ist als die abgeschätzten. Da in diesem Fall 11 experimentelle SM-Werte für Caprolactam vorliegen, kann man diese Werte mit dem Programm @RISK4.5 als Balkendiagramm und/oder Verteilungskurve darstellen, siehe Abbildung 7-48. Aus dieser Abbildung kann man sehen, dass die zwei Verteilungen der SM-Werte sehr ähnlich sind, d.h. sie umspannen ca. denselben Bereich, 0 bis ca. 20 mg/kg, und haben dieselbe LogNormal funktionelle Form. Lediglich ihr Maximalwert unterscheidet sich leicht: ca. 0,95 mg/kg beim Experiment und ca. 1,6 mg/kg bei den Abschätzungen. Angesichts der Tatsache, dass die experimentelle Kurve mit nur 11 Punkten, die berechnete Kurve aber mit 2500 Punkten generiert wurden, ist dieser Unterschied nicht sehr groß und folglich vertretbar.

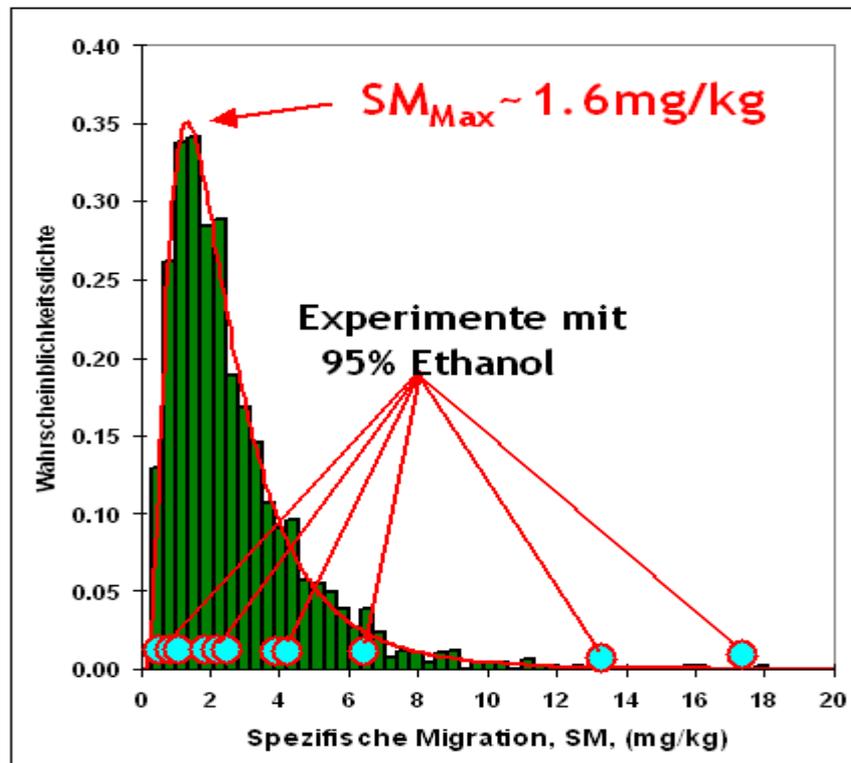


Abbildung 7-47: Vergleich zwischen berechneten und experimentellen SM-Werten für die Migration von Caprolactam aus PA/PE/PA-Kunstdärmen in hitzebehandelten Wurstwaren W-A am Stück.

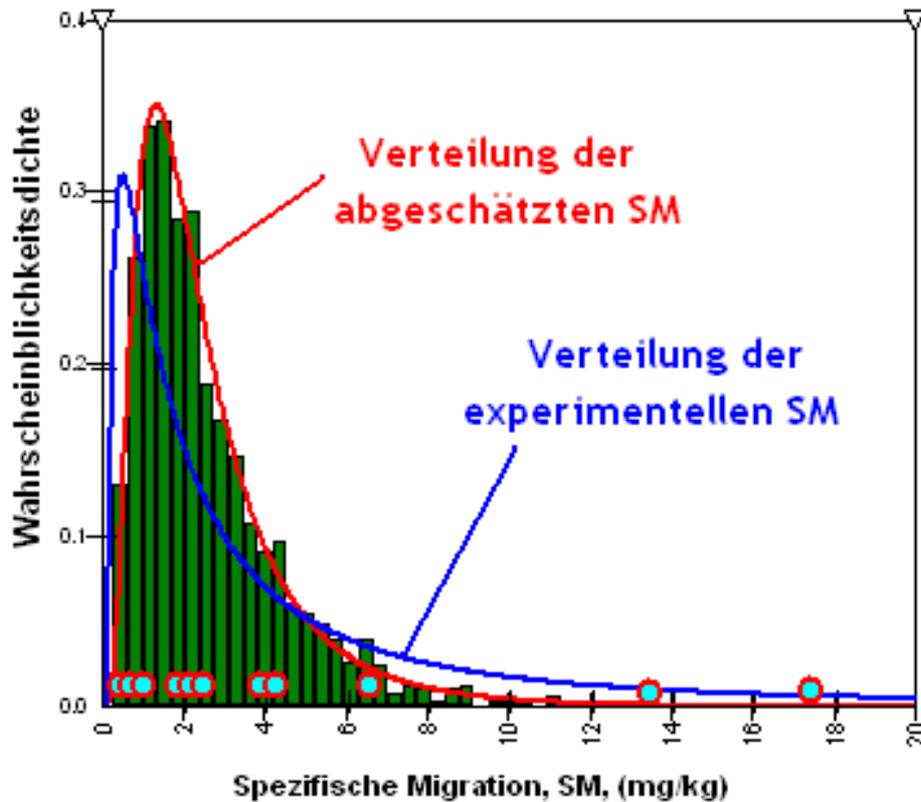


Abbildung 7-48: Vergleich zwischen den Verteilungen der berechneten und experimentellen SM-Werte für die Migration von Caprolactam aus PA/PE/PA-Kunst-därmen in hitzebehandelten Wurstwaren W-A am Stück.

Als Schlussfolgerung kann gesagt werden, dass die in diesem Projekt entwickelte stochastische Methode für die Abschätzung der SM in Käse- und Wurstverpackungen Ergebnisse liefert, die in einem guten Verhältnis mit der realen Migration stehen. Die Methode berücksichtigt - durch das Monte-Carlo Auswahlverfahren aus den Verteilungen der Eingabedaten - die Tatsache, dass es in der realen Praxis eine Vielfalt von Verpackungstypen und -größen, Lebensmittel-einwaagen, Cpo's, Kontaktbedingungen, usw. für jede einzelne Käse- oder Wurstware gibt. Deswegen erstrecken sich in den meisten Fällen auch die berechneten SM-Verteilungen über einen ziemlich breiten Bereich (oft eine Größenordnung oder mehr). Dies wurde aber auch während der Validierungsexperimente experimentell festgestellt. Misst man die SM aus Folien gleichen Typs und Aufbaus, die aber für unterschiedliche Käse- oder Wurstwaren bestimmt sind, findet man oft SM-Werte, die sich um eine Größenordnung oder sogar mehr unterscheiden (siehe Tabellen im Anhang).

7.5 Arbeitsschritt 5 (AS5)

Die Verbraucherexposition mit Migranten, die aus Verpackungen in Käse- und Wurstwaren übertragen werden, kann im Prinzip mit der einfachen Gleichung 3-1 quantifiziert werden. Der Nachteil dieser Gleichung ist, dass sie nur eine deterministische Berechnung zulässt, d.h. für je einen Wert der Eingabeparameter; Körpergewicht (BW), Lebensmittelverzehr (FC) und spezifische Migration (SM) berechnet man einen fixen Expositionswert E. Um mit dieser Gleichung die Exposition jedes Einwohners aus Bayern (ca. 12,57 Millionen - Stand 31. Juli 2011) zu berechnen, bräuchte man die BW's, FC's und die entsprechende SM's in den von jedem Bayern verzehrten Käse- und Wurstwaren. Die Erfassung solcher Mengen von Daten war nicht nur im Rahmen dieses Projektes nicht möglich, sondern würde sogar in größeren und viel teureren Projekten wenig Sinn machen. Aus der Sicht der Statistik lassen sich solch große Mengen von Daten stochastisch berechnen, indem man aus geeigneten Verteilungen der BW-, FC- und SM-Daten durch probabilistische Verfahren Eingabewerte auswählt, die entsprechenden Expositionen berechnet und dann die Exposition als eine Verteilung zwischen ein Minimal- und ein Maximalwert darstellt. Genau diese Methode wurde in diesem Projekt angewendet und in Abschnitt 6.5 kurz präsentiert. Mit dieser Methode war es möglich, anhand einer ziemlich großen, aber begrenzten und deutlich kleineren als 12,57 Millionen Anzahl von Daten Expositionsszenarien für bestimmte bayerische Bevölkerungsgruppen zu generieren. Beispielhaft werden in den folgenden Abbildungen ein paar solche Szenarien für die Exposition mit Caprolactam (CL) und Kaschierkleberkomponenten (KKK) präsentiert.

Als Bevölkerungsgruppen wurden z.B. Männer und Frauen in Alter zwischen 50 und 64 Jahren genommen. Laut Mikrozensus 2009 wiegen in Deutschland im Durchschnitt Männer bzw. Frauen in diesem Alter 85,6 bzw. 70,4 kg, siehe Tabelle 7-7 und Tabelle 7-8. Dies wurde auch für Bayern angenommen. Das tatsächliche Gewicht der einzelnen Männer und Frauen zwischen 50 und 64 Jahren kann sich aber von diesen Durchschnittswerten nach unten oder oben unterscheiden. Folglich sind die tatsächlichen BW's dieser Bevölkerungsgruppen Verteilungen zwischen statistischen Minimal- und Maximalwerten. Um diese Tatsache bei den Berechnungen der Exposition zu berücksichtigen, wurden mit einem Monte-Carlo Verfahren, so wie in Abschnitt 6.5 präsentiert, Verteilungen der BW's generiert. Für die obengenannten Bevölkerungsgruppen sind die BW-Verteilungen in Abbildung 7-49 präsentiert.

Die Verteilungen des Käse- und Wurstwarenverzehrs dieser zwei Bevölkerungsgruppen wurde ebenfalls stochastisch generiert, siehe Abschnitt 6.5. Die Ausgangswerte für das Monte-Carlo Verfahren waren diesmal Durchschnittswerte des Käse und Wurstverzehres aus dem Tabellenband der BVS II, siehe Tabelle 7-9. Laut dieser Tabellen verzehrt in Deutschland ein Mann im Alter zwischen 50 und 64 Jahren im Durchschnitt ca. 41,0 g Käse pro Tag und davon 27,3 g/Tag Käse K-A und 13,7 g/Tag Frischkäse vom Typ K-B. Gleichzeitig verzehrt derselbe Mann im Durchschnitt 62,8 g Wurstwaren W-A pro Tag, 18,9 g/Tag Schinken W-B und nur 0,8 g/Tag Speck W-C.

Tabelle 7-7: Durchschnittliches Körpergewicht, <BW>, für Männer - Mikrozensus „Fragen der Gesundheit“ Statistisches Bundesamt, Zweigstelle Bonn, 2009.

Durchschnittliches Körpergewicht			
Jahr:		2009	
Geschlecht:		Männlich	
Originalwerte aus Mikrozensus			
Alter	Gewicht, BW, (Kg)	Alter	Durchschnittliches Gewicht, <BW>, (Kg)
13 bis unter 14 Jahre	53,5	13-14	56,7
14 bis unter 15 Jahre	59,9		
15 bis unter 16 Jahre	65,8	15-19	71,0
16 bis unter 17 Jahre	69,8		
17 bis unter 18 Jahre	72,9		
18 bis unter 20 Jahre	75,5	18-24	76,8
20 bis unter 25 Jahre	78		
25 bis unter 30 Jahre	80,7	25-50	83,9
30 bis unter 35 Jahre	83,4		
35 bis unter 40 Jahre	84,8		
40 bis unter 45 Jahre	85,1		
45 bis unter 50 Jahre	85,7		
50 bis unter 55 Jahre	85,8	50-64	85,6
55 bis unter 60 Jahre	85,9		
60 bis unter 65 Jahre	85,2		
65 bis unter 70 Jahre	84,4	>64	82,2
70 bis unter 75 Jahre	83,3		
75 Jahre unb älter	79		

Tabelle 7-8: Durchschnittliches Körpergewicht, <BW>, für Frauen - Mikrozensus „Fragen der Gesundheit“ Statistisches Bundesamt, Zweigstelle Bonn, 2009.

Durchschnittliches Körpergewicht			
Jahr:		2009	
Geschlecht:		Weiblich	
Originalwerte aus Mikrozensus			
Alter	Gewicht, BW, (Kg)	Alter	Durchschnittliches Gewicht, <BW>, (Kg)
13 bis unter 14 Jahre	51,2	13-14	53,1
14 bis unter 15 Jahre	55		
15 bis unter 16 Jahre	56,9	15-19	59,2
16 bis unter 17 Jahre	58,8		
17 bis unter 18 Jahre	60		
18 bis unter 20 Jahre	61,1	18-24	61,9
20 bis unter 25 Jahre	62,6		
25 bis unter 30 Jahre	64,4	25-50	66,7
30 bis unter 35 Jahre	65,8		
35 bis unter 40 Jahre	67,1		
40 bis unter 45 Jahre	67,7		
45 bis unter 50 Jahre	68,5		
50 bis unter 55 Jahre	69,4	50-64	70,4
55 bis unter 60 Jahre	70,7		
60 bis unter 65 Jahre	71		
65 bis unter 70 Jahre	71,2	>64	70,0
70 bis unter 75 Jahre	71,3		
75 Jahre und älter	67,4		

Tabelle 7-9: Durchschnittliches Käse- bzw. Wurstwarenverzehr für a) Männer und b) Frauen - Tabellenband BVS II.

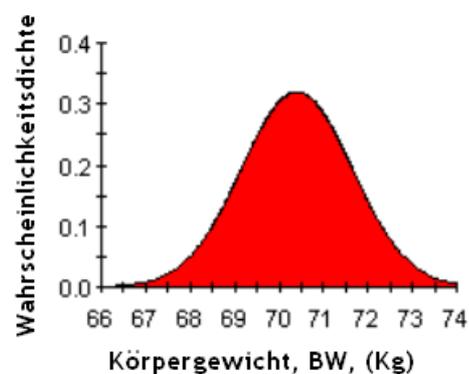
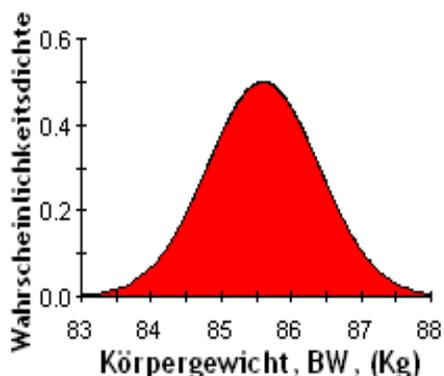
Lebensmittelgruppe	Verzehr, FC, [Gramm/Tag]					
	13-14	15-18	19-24	25-50	51-64	>64
Wurstwaren (W-A)	76,5	46,1	59,2	73,6	62,8	50,6
Schinken (W-B)	7,5	8,0	10,1	13,9	18,9	9,5
Speck (W-C)	0,0	0,0	0,3	0,3	0,8	0,8
Fleischkonserven (-)	0,0	0,7	0,7	3,7	5,8	3,6
Summe:	84,0	54,8	70,3	91,5	88,3	64,5
Sonst. Käse (K-A)	39,9	29,7	32,4	30,3	27,3	19,9
Frischkäse (K-B)	3,6	4,1	13,1	9,4	13,7	7,8
Summe:	43,5	33,8	45,5	39,7	41,0	27,7

a)

Lebensmittelgruppe	Verzehr, FC, [Gramm/Tag]					
	13-14	15-18	19-24	25-50	51-64	>64
Wurstwaren (W-A)	37,2	11,1	20,5	31,4	33,4	31,1
Schinken (W-B)	0,8	6,9	7,3	8,4	8,2	5,2
Speck (W-C)	0,0	0,0	0,2	0,2	0,6	0,4
Fleischkonserven (-)	0,0	0,0	1,4	1,7	2,0	2,8
Summe:	38,0	18,0	29,4	41,7	44,2	39,5
Sonst. Käse (K-A)	14,4	27,9	24,1	22,2	23,5	18,5
Frischkäse (K-B)	0,0	8,1	7,9	12,4	10,8	14,0
Summe:	14,4	36,0	32,0	34,6	34,3	32,5

b)

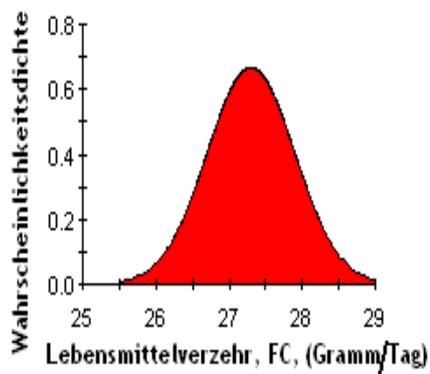
Bei den Frauen derselben Altersgruppe sind diese Verzehrsmengen wie folgt: ca. 34,3 g Käse pro Tag und davon 23,5 g/Tag Käse K-A und 10,8 g/Tag Frischkäse vom Typ K-B. Gleichzeitig verzehren diese Frauen im Durchschnitt 33,4 g Wurstwaren W-A pro Tag, 8,2 g/Tag Schinken W-B und nur 0,6 g/Tag Speck W-C. Die generierten FC-Verteilungen sind in Abbildung 7-50, Abbildung 7-51 und Abbildung 7-52 präsentiert.



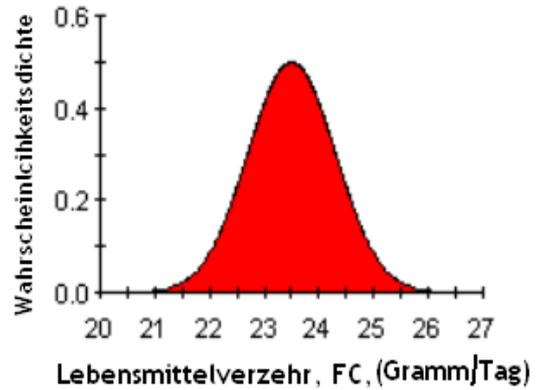
a)

b)

Abbildung 7-49: Verteilungen des Körpergewichtes (BW) von a) Männern und b) Frauen im Alter von 50 bis 64 Jahren.

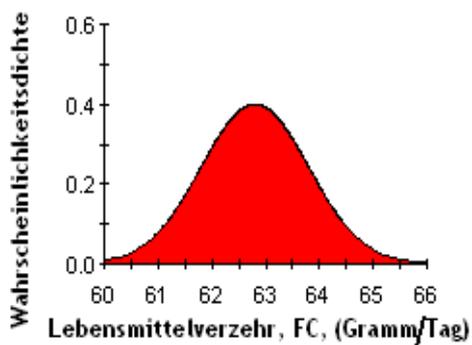


a)

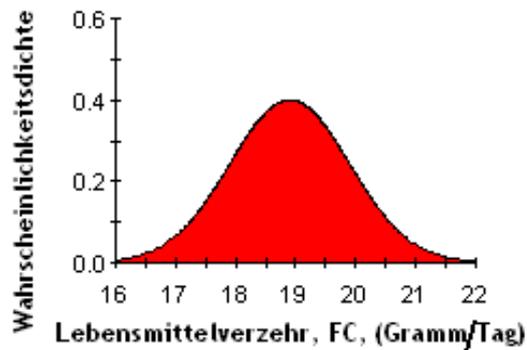


b)

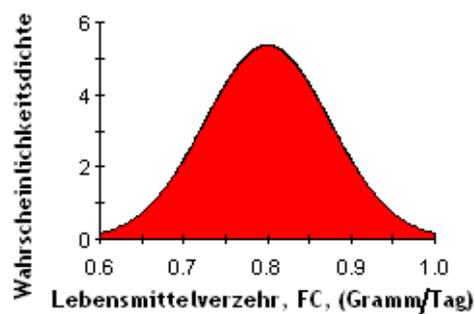
Abbildung 7-50: Verteilungen des Käse K-A Verzehrs für a) Männer und b) Frauen im Alter von 50 bis 64 Jahren.



a)



b)



c)

Abbildung 7-51: Verteilungen des täglichen Verzehrs von Männern im Alter von 50 bis 64 Jahren von a) Wurstwaren W-A, b) Schinken W-B und c) Speck W-C.

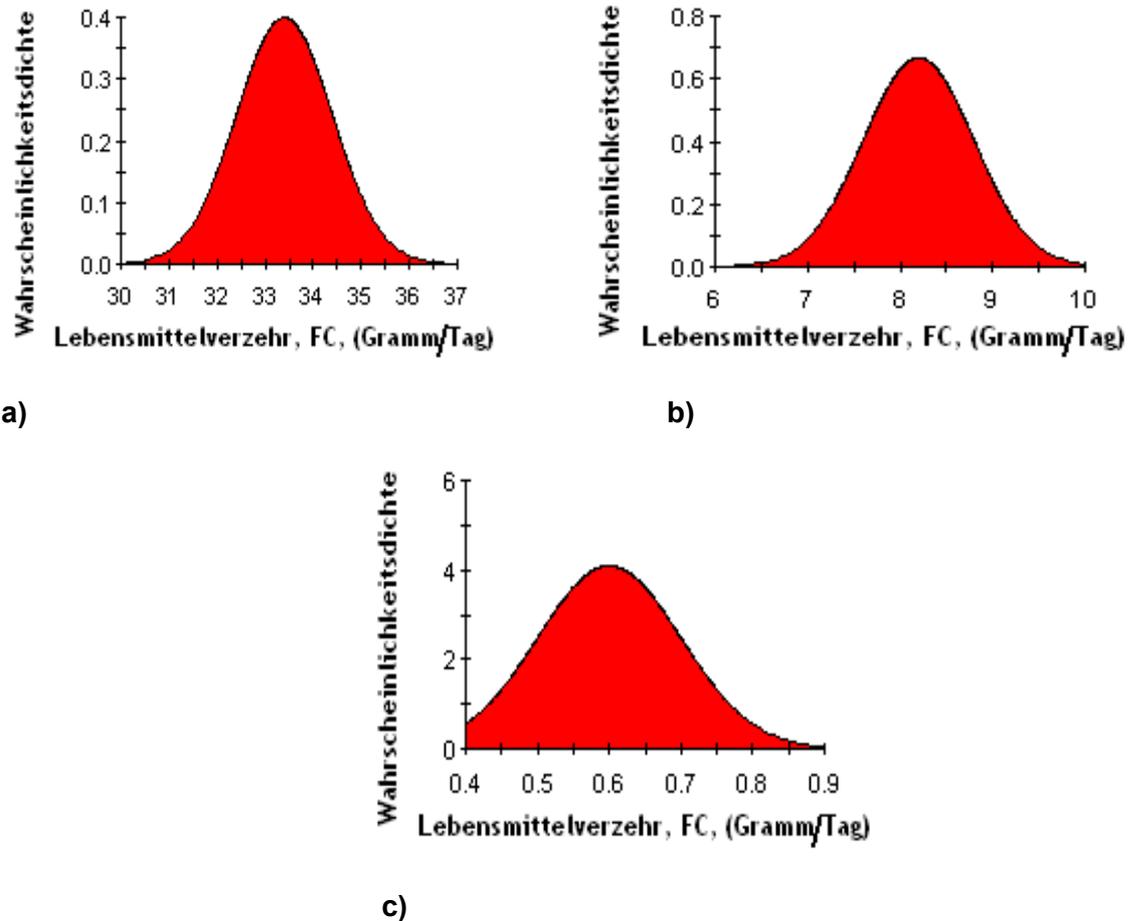


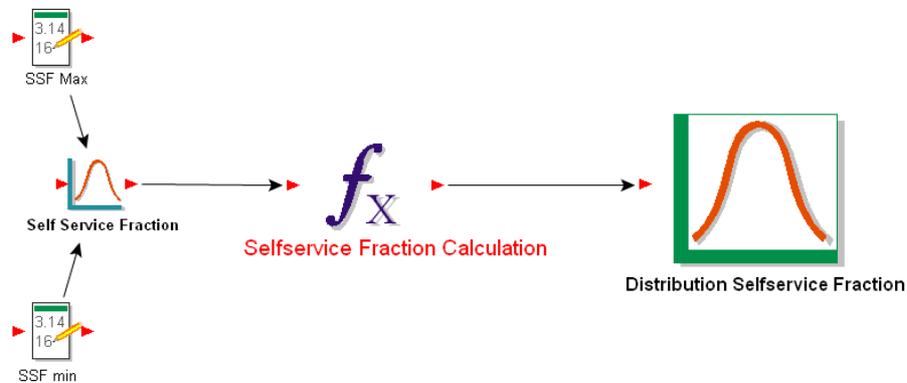
Abbildung 7-52: Verteilungen des täglichen Verzehrs von Frauen im Alter von 50 bis 64 Jahren von a) Wurstwaren W-A, b) Schinken W-B und c) Speck W-C.

Ähnliche BW- und FC-Verteilungen wurden, mit Hilfe der Durchschnittswerte aus den obigen Tabellen, für alle berechneten Expositionsszenarien mit dem Programm GoldSim generiert.

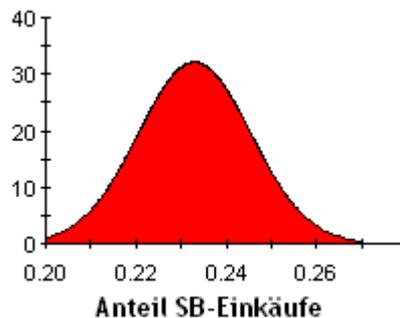
Bei der Berechnung der Exposition der Verbraucher mit Migranten aus Käse- und Wurstverpackungen wurde weiterhin berücksichtigt, dass die Verbraucher in Bayern diese Lebensmittel sowohl vom Selbstbedienungsbereich (SB) der Lebensmittelläden (Supermärkte) als auch von der Frischetheke (FT) einkaufen. Die Befragung, die im Rahmen der Projektes durchgeführt wurde, zeigt, wie stark das Verhältnis SB/FT nach Geschlecht und Alter der Verbraucher variiert. In Tabelle 7-10 sind die ermittelten Anteile der Einkäufe von der Selbstbedienungs- bzw. Frischetheke für einige Bevölkerungsgruppen aus Bayern zusammengefasst. Bei Vergleich des Einkaufsverhalten von Männern und Frauen zwischen 50 und 64 Jahren mit Wohnsitz München zeigt sich, dass die Frauen sowohl Käse (70,2 %) als auch Wurst (76,7 %) zu einem höheren Anteil an der Frischetheke kaufen als Männer (50,0 % bzw. 68,2 %). Bei den jungen Münchner Frauen im Alter von 18 bis 24 Jahren werden Käse (83,8 %) und Wurst (66,7 %) hingegen hauptsächlich an der Selbstbedienungstheke gekauft. Diese Anteile erhöhen sich noch auf 94,4 % für Käse und 71,4 % für Wurst bei den gleichaltrigen jungen Frauen auf dem Land. Die älteren (25-50 Jahre) Frauen auf dem Land kaufen hingegen wieder mehr an der Frischetheke ein; Käse zu 42,3 % und Wurst zu 63,4 %.

Tabelle 7-10: Anteile der Einkäufe von der Selbstbedienungs- bzw. Frischetheke für einige Bevölkerungsgruppen aus Bayern – Teilnehmerzahl n=939, Daten erhoben von FABES GmbH.

Geschlecht	Anzahl	Altersgruppe	Wohnort	Anteil Wohnsitz Stadt München [%]	Käse *		Wurst *	
					Anteil Einkauf Frischetheke [%]	Anteil Einkauf Selbstbedienung [%]	Anteil Einkauf Frischetheke [%]	Anteil Einkauf Selbstbedienung [%]
Männer	48	50-64	Alle	50,0	50,0	50,0	68,2	31,8
Frauen	130	50-64	Alle	68,5	70,2	29,8	76,7	23,3
Frauen	34	18-24	Alle	67,6	16,2	83,8	33,3	66,7
Frauen	346	25-50	Alle		41,2	58,8	59,8	40,2
Frauen	25	18-24	Stadt	92,0	20,0	80,0	35,0	65,0
Frauen	9	18-24	Land	-	5,6	94,4	28,6	71,4
Frauen	246	25-50	Stadt	85,8	40,8	59,2	58,3	41,7
Frauen	100	25-50	Land	-	42,3	57,7	63,4	36,6



a)



b)

Abbildung 7-53: GoldSim-Schema, a), und berechnete Verteilung, b), des Anteiles von SB-Einkäufen von Wurstwaren W-A von Münchner Frauen im Alter zwischen 50 und 64 Jahren.

Als Beispiel wird solch eine Verteilung für den Anteil an SB-Einkäufen von Wurstwaren W-A von Münchner Frauen im Alter zwischen 50 und 64 Jahren in der Abbildung 7-53 b) gezeigt.

Wie bereits in den Kapiteln 7.1 und 7.2 dargestellt wurde im Rahmen des Projektes festgestellt, dass im Bayerischen Handel die verschiedenen Käse- und Wurstverpackungen unterschiedliche Anteile haben. Dies bedeutet, dass ein Verbraucher, der seinen Durchschnitts-

bedarf mit diesen Lebensmitteln deckt, nur anteilig den Migranten aus diesen Verpackungen exponiert ist. Im Rahmen dieses Projektes wurde angenommen, dass diese Anteile den Werten, die aus der durchgeführten Marktstudie abgeleitet wurden, entsprechen; siehe Tabelle 4. Folglich wurde für die Berechnung der Verbraucherexposition die Gleichung 6-12 vorgeschlagen und stochastisch mit einer GoldSim-Schema, siehe Abbildung 6-40, berechnet. Tatsache ist, dass mit dieser Methode eine Aufspaltung der Berechnung der Exposition in einer Anzahl von Teilexpositionen einerseits möglich und andererseits auch notwendig ist. Wie das zu verstehen ist, wird in den folgenden Abschnitten am Beispiel der Exposition des Bayerischen Verbrauchers mit Kaschierkleberkomponenten (KKK) aus Wurstwarenverpackungen präsentiert.

Die Bayerische Verzehrstudie II unterteilt die Wurstwaren in die drei Kategorien Wurstwaren (W-A), Schinken (W-B) und Speck (W-C). Diese drei Kategorien von Wurstwaren werden in unterschiedlichen Verpackungen, in denen KKK vorkommen, verpackt. Weiterhin werden diese drei Kategorien von Wurstwaren auch unterschiedlich gelagert und z.T. in verpackter Form hitzebehandelt. All diese Elemente ergeben, dass es für Wurstwaren, die der Bayerische Verbraucher aus der Selbstbedienungstheke kaufen kann, 92 Einzelquellen für Exposition mit KKK aus Verpackungen gibt. Dies sind für Wurstwaren W-A 39 unterschiedliche Einzelquellen von weichen Oberfolien, OFw, vom Typ 1, 13 bzw. 5 unterschiedliche Einzelquellen von weichen bzw. harten Unterfolien, UFW bzw. UFh, vom Typ 1 und 2 unterschiedliche Einzelquellen von Folien Typ 3.

Auch die Wurstwaren Schinken W-B haben einen anteiligen Beitrag zur Exposition des Bayerischen Verbrauchers mit KKK, nämlich durch 12 unterschiedliche Einzelquellen von weichen Oberfolien, OFw, vom Typ 1 und 7 unterschiedliche Einzelquellen von weichen und harten Unterfolien, UFW+UFh, vom Typ 1.

Obwohl die Speckwaren W-C nur in geringer Menge verzehrt werden, haben auch sie einen kleinen Beitrag zur Exposition des Bayerischen Verbrauchers mit KKK, nämlich durch 9 unterschiedliche Einzelquellen von weichen Oberfolien, OFw, und 5 unterschiedliche Einzelquellen von weichen und harten Unterfolien, UFW+UFh, vom Typ 1.

Der Vorteil der Expositionsrechnungsmethode, die in diesem Projekt verwendet wurde, ist, dass man die oben gelisteten Teilexpositionen gruppieren kann und so z.B. ein Ergebnis über die Exposition des Verbrauchers mit KKK nur aus den weichen Oberfolien - mit oder ohne Hitzebehandlung - berechnen kann. Andererseits ist diese Methode auch von den Limits des GoldSim Programmes erzwungen; es ist nämlich mit diesem Programm nicht möglich, in einer einzigen stochastische Expositionsrechnung alle 92 Einzelquellen zusammenzufassen. Folglich wurden im Falle Wurstwaren und KKK die Expositionsquellen nach Verpackungstypen und Behandlungsarten gruppiert und Teilexpositionen berechnet. So wurde z.B. die Teilexposition des Verbrauchers mit KKK aus Verpackungen für W-A in die folgenden Komponenten unterteilt:

1) Teilexposition mit KKK aus weichen Oberfolien von Verpackungen Typ 1, bestehend aus:

- 3 Teilexpositionen mit KKK aus Oberfolien PA-KK-PE, PET-KK-PE und PP-KK-PE, die nicht Hitze-behandelt/pasteurisiert wurden und
- 3 Teilexpositionen mit KKK aus Oberfolien PA-KK-PE, PET-KK-PE und PP-KK-PE, die Hitze-behandelt/pasteurisiert wurden.

Diese sechs Teilexpositionen präsentieren jede eine stochastische Verteilung. In Abbildung 7-54 ist die Exposition von Frauen im Alter von 18 bis 24 Jahren mit KKK aus W-A verpackt in OFw Typ1 PA-KK-PE ohne Hitzebehandlung/Pasteurisation dargestellt.

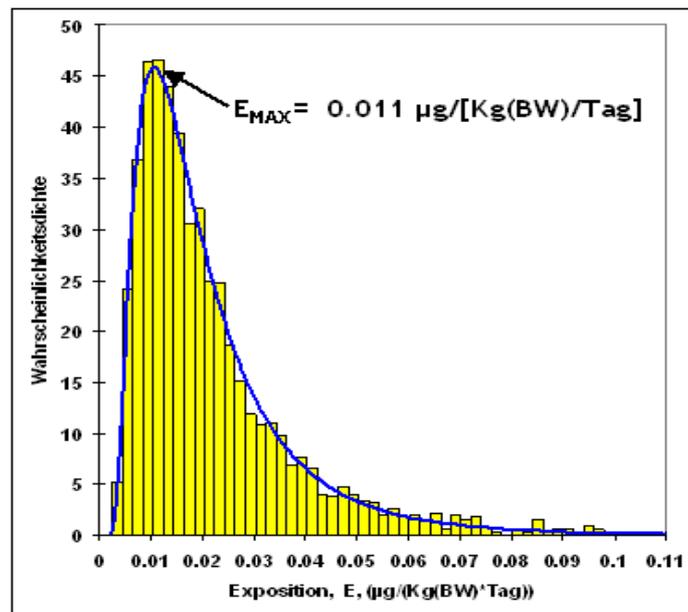


Abbildung 7-54: Exposition der Frauen zwischen 18 und 24 Jahren mit KKK aus Wurstwaren W-A, die in weichen Oberfolien aus PA-KK-PE – nicht Hitze-behandelt – verpackt wurden.

In Abbildung 7-55 ist dieselbe Teilexposition aus pasteurisierten Wurstwaren W-A, verpackt in PA-KK-PE-Oberfolien, dargestellt. Auf dem ersten Blick ist es überraschend, dass die Maximalexposition mit KKK aus den hitzebehandelten PA-KK-PE Verpackungen kleiner ausfällt als die Maximalexposition aus denselben Verpackungen, die nur im Kühlregal oder bei Raumtemperatur gelagert wurden. Fügt man aber hinzu, dass nur 3% der Wurstwaren W-A, die in der Selbstbedienungstheke angeboten werden, auch in verpackter Form pasteurisiert werden, ist dieses Ergebnis erklärlich. Würden alle Wurstwaren W-A, die mit PA-KK-PE-Oberfolien verpackt sind, auch pasteurisiert werden, würde die Maximalexposition in Abbildung 7-55 ca. 30-mal höher sein, d.h. ca. $0,036 \mu\text{g}/(\text{kg}(\text{BW}) \cdot \text{Tag})$. Dieser Wert wäre dann über 3-mal höher als die Maximalexposition aus Abbildung 7-54 und wäre ein klarer Beweis, dass die während der Hitzebehandlung stark beschleunigte spezifische Migration letztendlich zu einer erhöhten Exposition führt.

Die sechs berechneten Teilexpositionen aus OFw für W-A werden anschließend mittels eines GoldSim-Schemas, siehe Abbildung 7-56, zu einer Gesamtexposition von Frauen zwischen 18 und 24 Jahren mit KKK aus weichen Oberfolien addiert. Das Ergebnis der Berechnungen mit diesem GoldSim-Schema ist in Abbildung 7-57 dargestellt und präsentiert die Gesamt-

teilexposition der Frauen im Alter von 18 bis 24 Jahren mit KKK aus W-A, die in OFw verpackt sind. Man sieht in dieser Abbildung, dass diese Gesamteilexposition schon über 10-mal höher ist als die Teilexposition, die nur den weichen Oberfolien aus PA-KK-PE entstammt. Das bedeutet, dass die PET-KK-PE- und die PP-KK-PE-OFw einen noch höheren Anteil an dieser Gesamteilexposition haben.

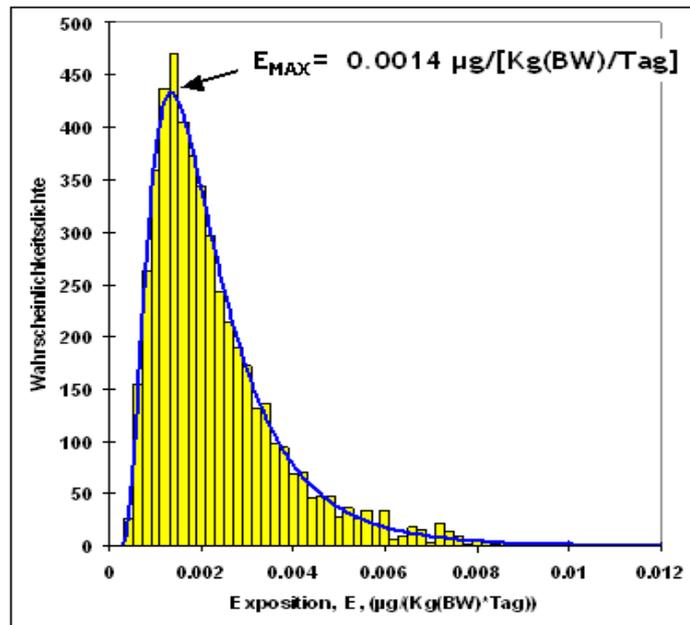


Abbildung 7-55: Exposition der Frauen zwischen 18 und 24 Jahren mit KKK aus pasteurisierten Wurstwaren W-A, die in weichen Oberfolien aus PA-KK-PE verpackt wurden.

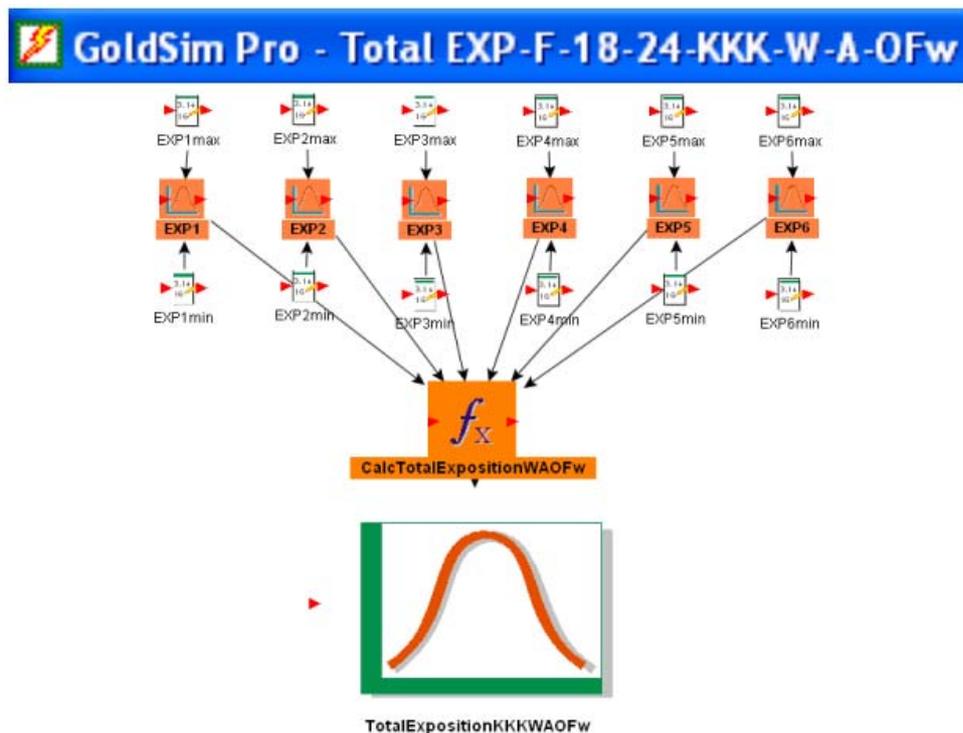


Abbildung 7-56: GoldSim-Schema für die Addition der Teilexpositionen mit KKK aus Wurstwaren W-A, verpackt mit weichen Oberfolien vom Typ 1.

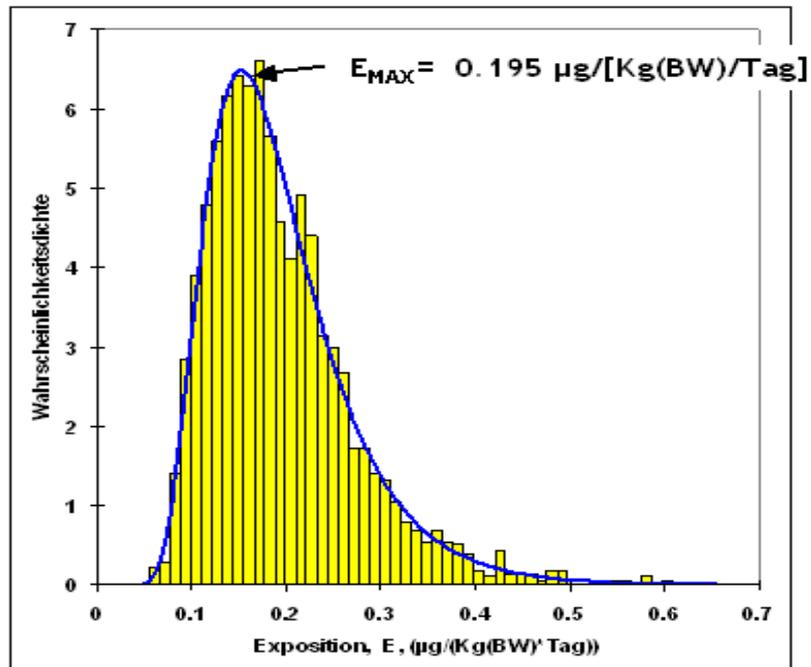
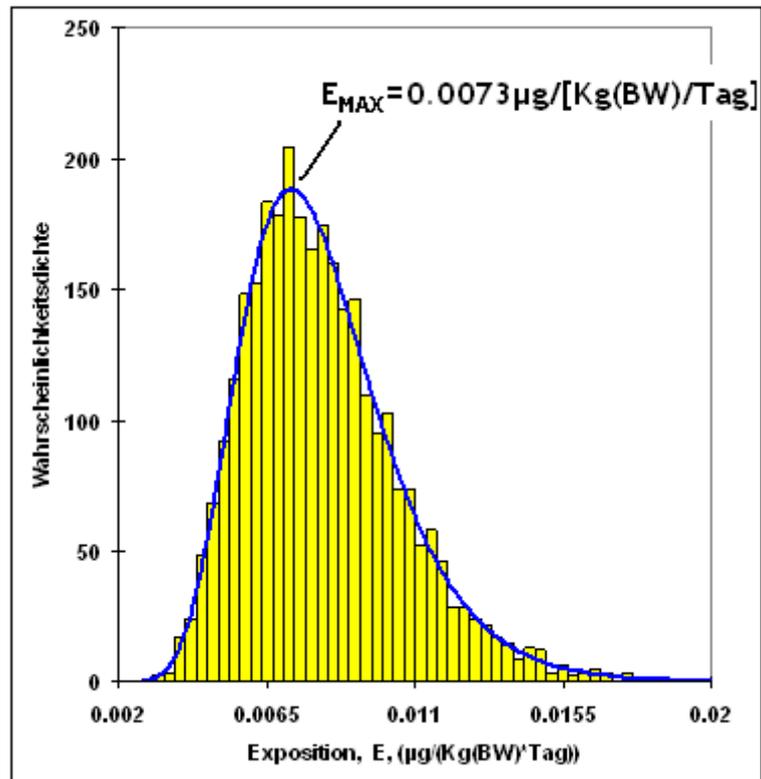
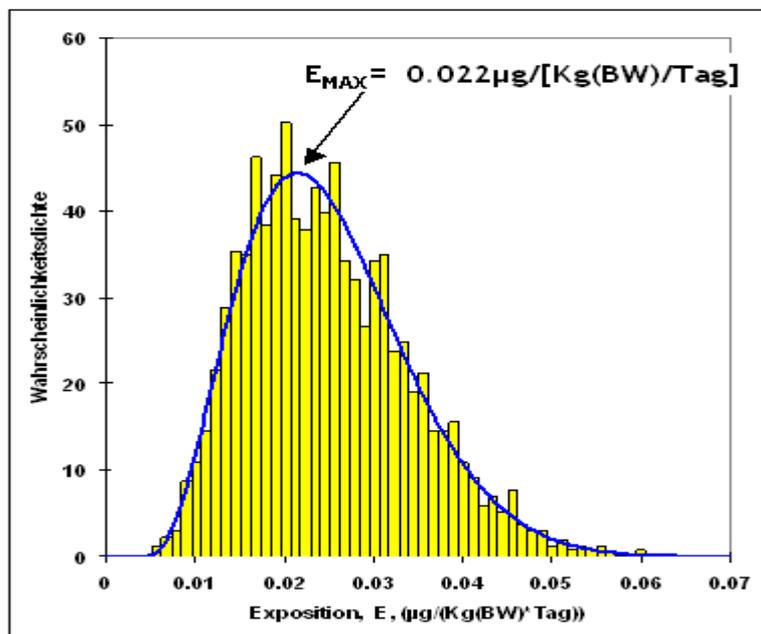


Abbildung 7-57: Exposition der Frauen zwischen 18 und 24 Jahren mit KKK aus Wurstwaren W-A, die in weichen Oberfolien verpackt wurden.

Das gleiche Prozedere wird auch für die Ermittlung der Gesamteilexpositionen aus weichen und harten Unterfolien Typ 1 und aus den Verpackungen Typ 3 angewendet. Im ersten Fall addiert sich die Gesamteilexposition aus vier Einzelexpositionen mit KKK, die aus UFW bzw. UFh resultieren. Die Gesamteilexposition mit KKK aus Typ 3 Verpackungen besteht nur aus einer Komponente. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in Abbildung 7-58 präsentiert. Vergleicht man die Expositionsverteilung aus Abbildung 7-57 mit den Verteilungen aus Abbildung 7-58, so sieht man, dass der Hauptanteil der Exposition mit KKK aus Wurstwaren W-A den weichen Oberfolien der Verpackungen Typ 1 zu verdanken ist.



a)



b)

Abbildung 7-58: Exposition der Frauen zwischen 18 und 24 Jahren mit KKK aus Wurstwaren W-A, die in a) weichen bzw. harten Unterfolien und b) Folien Typ 3 verpackt wurden.

Die Verteilung der Gesamtexposition der Frauen im Alter zwischen 18 und 24 Jahren mit KKK aus Wurst W-A wird erneut mit einem GoldSim-Schema ermittelt. Dieses Schema, siehe Abbildung 7-59, addiert die drei Gesamteilexpositionen nach einem Monte-Carlo Verfahren. Die berechnete Gesamtexposition ist in Abbildung 7-60 präsentiert. Vergleicht man diese Expositionsverteilung mit der aus Abbildung 7-57, so sieht man in dem Expositionsmaximalwert, in beiden Fällen ca. $0,7 \mu\text{g}/(\text{kg}(\text{BW})\cdot\text{Tag})$, kaum Unterschiede. Lediglich die x-Koordinaten für die höchsten Werte der Verteilungen unterscheiden sich ein bisschen, ca. $0,16 \mu\text{g}/(\text{kg}(\text{BW})\cdot\text{Tag})$ und ca. $0,185 \mu\text{g}/(\text{kg}(\text{BW})\cdot\text{Tag})$. Dies ist als Folge der Tatsache, dass die Unterfolien Typ1 und Folien Typ 3 nur einen geringfügigen Beitrag zur Exposition mit KKK haben, anzusehen.

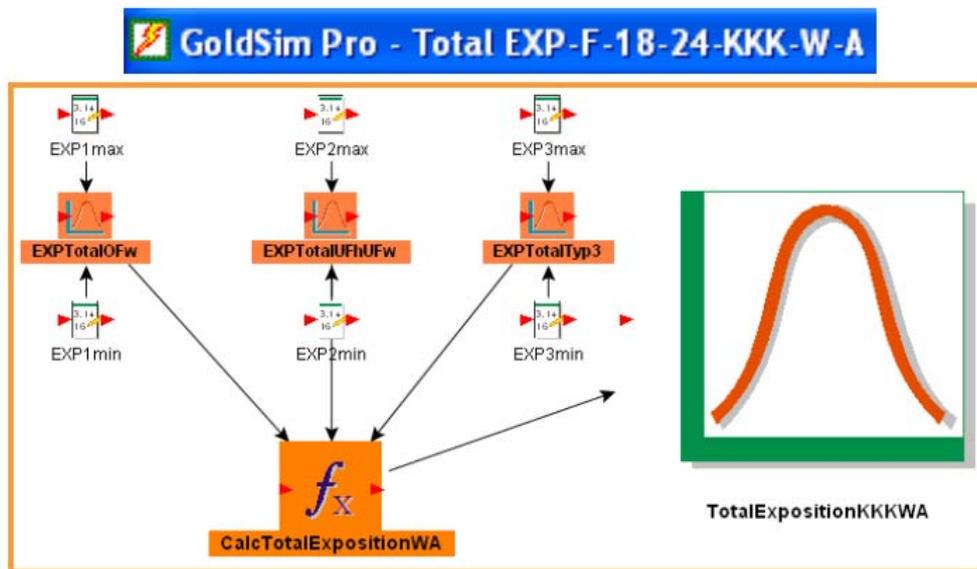


Abbildung 7-59: GoldSim-Schema für die Addition der Gesamteilexpositionen der Frauen zwischen 18 und 24 Jahren mit KKK aus Verpackungen für Wurstwaren W-A.

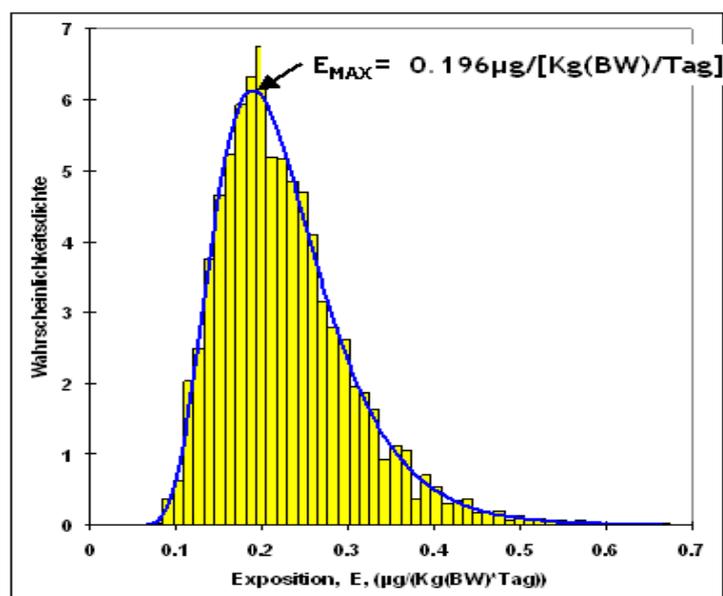
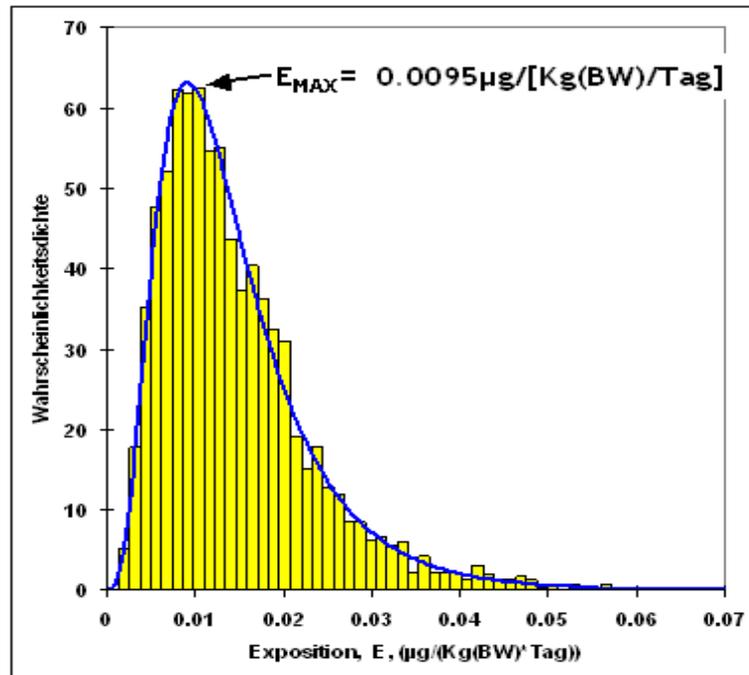
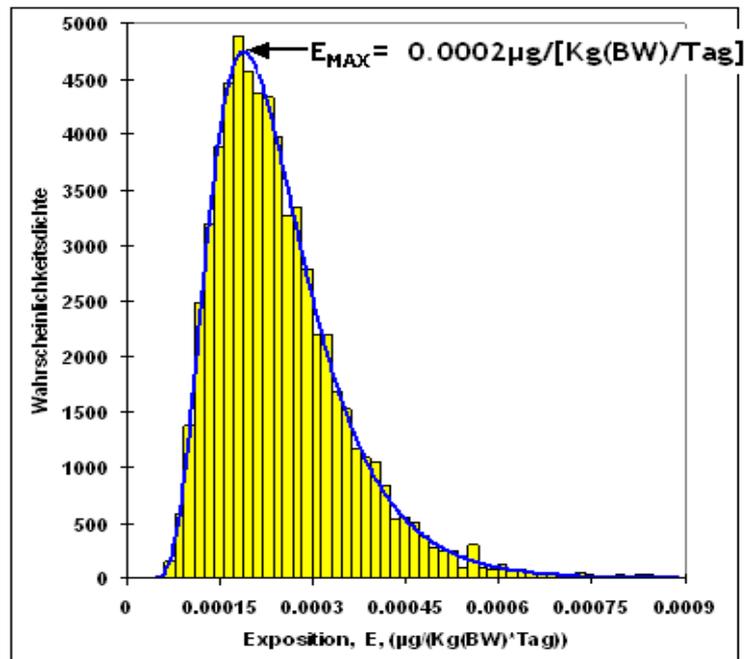


Abbildung 7-60: Gesamtexposition der Frauen zwischen 18 und 24 Jahren mit KKK aus Verpackungen für Wurstwaren W-A.

Die oben geschilderte Methode wird auch für die Wurstwaren W-B und W-C angewendet; die berechneten Ergebnisse sind in Abbildung 7-61 dargestellt. Die deutlich niedrigere Gesamtexposition mit KKK aus Wurstwaren W-B resultiert einerseits, weil die Frauen zwischen 18 und 24 Jahren deutlich weniger Schinken W-B als Wurst W-A verzehren, siehe Tabelle 7-9 b), aber auch, weil die spezifische Migration in Schinken W-B langsamer stattfindet als in Wurst W-A.



a)



b)

Abbildung 7-61: Gesamtexposition der Frauen zwischen 18 und 24 Jahren mit KKK aus Verpackungen für Wurstwaren a) W-B und b) W-C.

Die durch Migration in Speck W-C entstandene Exposition mit KKK scheint sehr gering zu sein, Abbildung 7-61 b). Die ist hauptsächlich auf die sehr kleine Verzehrsmenge für Speck, ca. 100-mal weniger als Wurst W-A, siehe Tabelle 7-9 b), zurück zu führen. Würde aber eine Frau im Alter zwischen 18 und 24 Jahren die gleichen Mengen von Schinken und Speck pro Tag verzehren wäre auch die Exposition mit KKK aus W-C Verpackungen deutlich höher.

Nachdem all diese Gesamtexpositionen berechnet wurden, kann die Globalexposition der untersuchten Bevölkerungsgruppe mit KKK aus allen Wurstwaren ermittelt werden. Dafür kommt wieder ein GoldSim-.Schema zum Einsatz, siehe Abbildung 7-62, in dem nach Monte-Carlo Auswahlprinzipien die drei Gesamtexpositionen mit KKK aus W-A, W-B und W-C addiert werden.

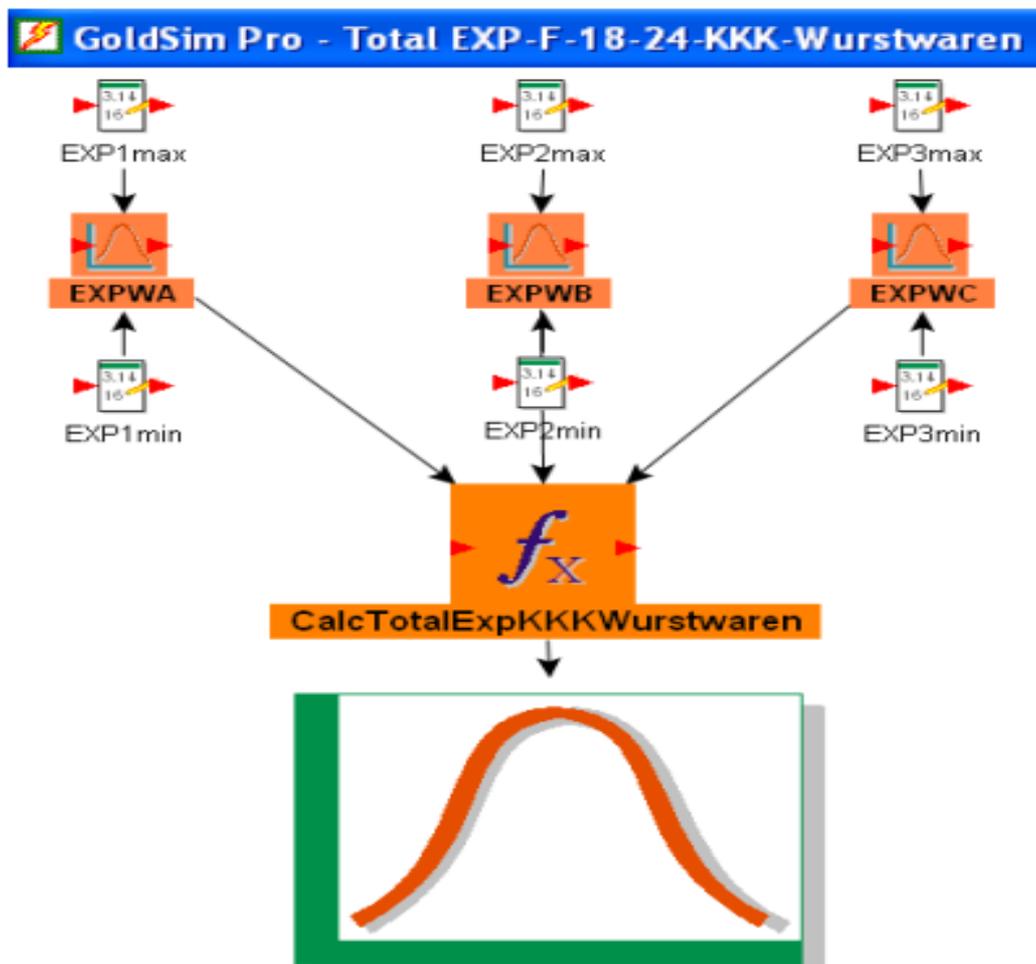


Abbildung 7-62: GoldSim-Schema für die Berechnung der Globalexposition der Frauen zwischen 18 und 24 Jahren mit KKK aus verpackten Wurstwaren.

Das Ergebnis der Berechnung der Globalexposition mit dieser stochastischen Methode ist in Abbildung 7-63 dargestellt.

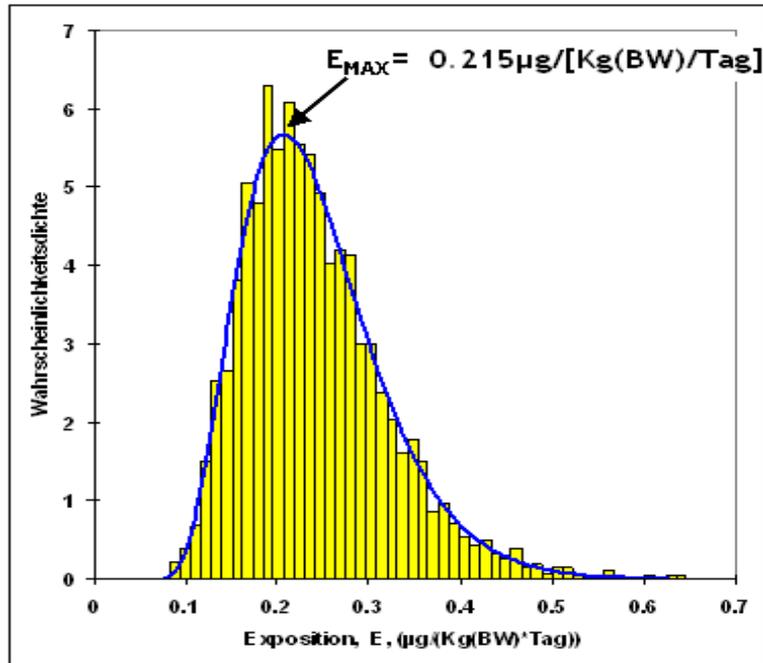


Abbildung 7-63: Verteilung der Globalexposition der Frauen zwischen 18 und 24 Jahren mit KKK aus verpackten Wurstwaren.

Vergleicht man erneut die Expositionsverteilung aus Abbildung 7-57 mit der Verteilung der Globalexposition aus Abbildung 7-63 sieht man in dem Expositionsmaximalwert, in beiden Fällen ca. $0,7 \mu\text{g}/(\text{kg}(\text{BW}) \cdot \text{Tag})$, kaum einen Unterschied. Das bedeutet, dass der Beitrag zur Exposition mit KKK aus den Verpackungen für W-B und W-C zur Erweiterung der Verteilung aus Abbildung 7-57 für W-A keinen bedeutenden Anteil hat. Lediglich die x-Koordinate für den höchsten Wert der Globalverteilung liegt mit ca. $0,215 \mu\text{g}/(\text{kg}(\text{BW}) \cdot \text{Tag})$ um etwa 22% höher als der Maximalwert von ca. $0,19 \mu\text{g}/(\text{kg}(\text{BW}) \cdot \text{Tag})$ für W-A. Dies ist die Folge der Tatsache, dass die Verpackungen für Wurstwaren W-B und W-C nur einen geringfügigen Beitrag zur Exposition der Frauen zwischen 18 und 24 Jahren mit KKK haben.

Wie bereits erwähnt ist der Vorteil dieser Methode, dass man jederzeit analysieren kann, aus welchen Werten die Globalexposition mit einem Migranten entsteht. So kann man leicht beurteilen, welchen Beitrag die verschiedenen Typen von Käse- und/oder Wurstwaren bzw. Typen von Verpackungen und/oder Kontaktbedingungen zu einer Globalexposition haben. Das kann sowohl aus der Sicht des Verbraucherschutzes als auch bei der Entwicklung neuer oder Optimierung vorhandener Verpackungen von Nutzen sein.

Das Prozedere, welches im Rahmen dieses Projektes für die theoretische Abschätzung der Exposition entwickelt wurde, kann für jeden Verpackungstyp, jede Füllgut-Gruppe und jede ausgewählte Leitsubstanz durchgeführt werden. Damit lässt sich sehr individuell für bestimmte Bevölkerungsgruppen die potentielle Exposition durch Substanzen, die aus Käse- und/oder Wurstverpackungen migriert sind, abschätzen. Je nach Eingabedaten können so regionale Unterschiede bei der Exposition ermittelt werden. Auch der Einfluss von Alter, Geschlecht und Verzehrsgewohnheiten auf die Exposition lässt sich auf Basis der Daten, die im Rahmen des Projektes gesammelt und gemessen wurden, und mit Hilfe der entwickelten, theoretischen Modelle berechnen. Dies können wertvolle Informationen sowohl für die betreffende Industrie, für die Überwachungsbehörden als auch für die Bayerische Bevölkerung sein.

8 Diskussion und Schlussfolgerungen

8.1 Erhebung und Auswertung der Daten

Die Expositionsabschätzungen mit Substanzen, die in Käse- und Wurstwaren aus deren Verpackungen migrieren, erfolgten auf Grundlage einer großen Anzahl von Daten, die im Rahmen der durchgeführten Marktstudie und Auswertung deren Daten ermittelt wurden (siehe Beispiele in AS1 und AS2). Aus statistischer Sicht war die Tatsache, dass Informationen über insgesamt mehrere Tausend Verpackungen erhoben wurden, sehr wichtig. So kann mit Gewissheit behauptet werden, dass die abgeschätzten spezifischen Migrationen repräsentativ für das Angebot an Käse- und Wurstwaren in den Bayerischen Supermärkten sind.

Wie bereits erwähnt, wurden die physikalischen Eigenschaften der Packstoffe bzw. die Informationen zur Kontaktzeit zwischen den Käse- und Wurstwaren und deren Verpackung anhand von Proben vom Markt bestimmt. Diese Proben wurden entweder in Münchner Supermärkten im Jahr 2009 protokolliert oder eingekauft und im FABES- und z.T. im IVV-Labor untersucht. Schon während der Zeit der Datenerhebung wurde beobachtet, dass sich das Warensortiment auf dem Markt stetig ändert und nicht nur neue Käse- und Wurstsorten hinzukommen oder alte Sorten verschwinden, sondern dass auch ein ständiger Wandel bei den Verpackungsmaterialien und den Packungsgrößen stattfindet. Die Haupttendenz, die beobachtet wurde, ist die Zunahme der kleinen und wiederverschließbaren Verpackungen. Leider steigt durch diesen Trend auch die Exposition der Verbraucher, da bei kleineren Verpackungen die spezifische Migration von Packstoffkomponenten höher ist.

Ein wichtiger Schritt, um nach der Erhebung der Daten diese auch mit statistischen Methoden bearbeiten zu können, war die Bildung von Verpackungs-Kategorien. Es wurden zwölf Kategorien definiert; dies ist ein wichtiger origineller Beitrag dieses Projektes. Mit Hilfe dieser Kategorien können ähnliche Verpackungen mit spezifisch angepassten, statistischen Methoden bearbeitet werden. Mit den vorliegenden Daten ist es möglich, Gesamtexpositionswerte für jede Verpackungs-Kategorie zu ermitteln.

Da die Informationen zum Käse- und Wurstverzehr aus der 2. Bayerischen Verzehrstudie stammen, beziehen sich die in diesem Projekt abgeschätzten Expositionen regional auf die bayerischen Bundesbürger. Selbstverständlich können mit dieser Methode aus dem Projekt diese Expositionen auch für andere Bevölkerungsgruppen (z.B. Bundesbürger allgemein, Bürger aus einem anderen Bundesland oder Bürger aus einer bestimmten Stadt oder einem Landesgebiet) ermittelt werden. In einer 1. Näherung braucht man dafür nur die spezifischen Informationen über die Verteilungen der BW- und FC-Parameter dieser Bevölkerungsgruppen.

Aus den Produkt- und Marktinformationen sowie den theoretischen Migrations- und Expositionsabschätzungen, die in diesem Projekt gesammelt bzw. gemacht wurden, sind einige interessante Aspekte der Exposition der Verbraucher ableitbar.

Die Tatsache, dass mit steigender Temperatur generell die spezifische Migration aus einer Mehrschichtverpackung zunimmt, ist wohlbekannt und wurde auch durch die Ergebnisse dieses Projektes bestätigt. Wie hoch aber die Zunahme der spezifischen Migration durch höhere Temperaturen bei der Herstellung und/oder Lagerung einer Käse- oder Wurstware ist, konnte nun konkret, mit Hilfe der in diesem Projekt gewonnenen Daten, abgeschätzt werden.

So stellte sich heraus, dass eine kurzfristige (0.5 bis 1.5 Stunden) Pasteurisierung (PT) oder Hitzebehandlung (HB) einer Wurstware, wie z.B. der bereits im Kunstdarm stattfindende Brühprozess, zu Migrationswerten führt, die oft höher sind als die spezifische Migration während einer mehrmonatigen Lagerung derselben Wurst bei Kühl- oder Raumtemperatur, siehe z.B. Abbildung 7-39 und Abbildung 7-40 oder Abbildung 8-1.

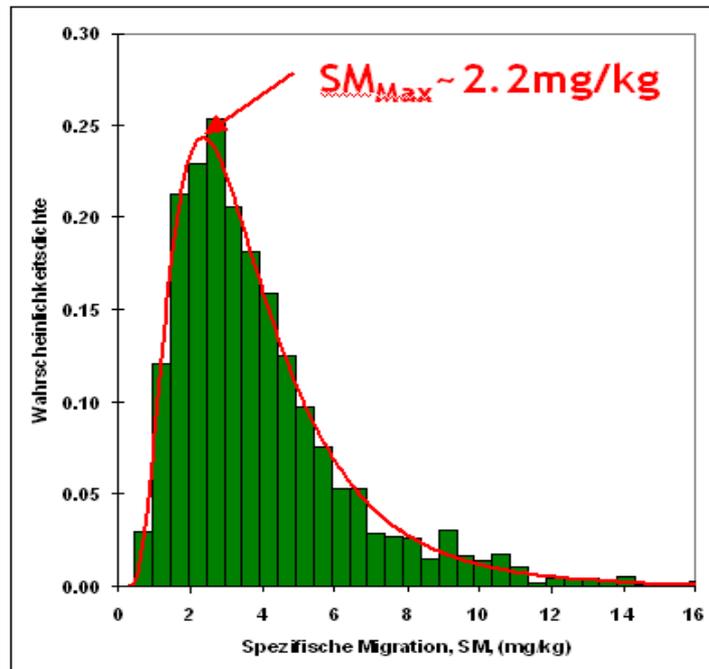


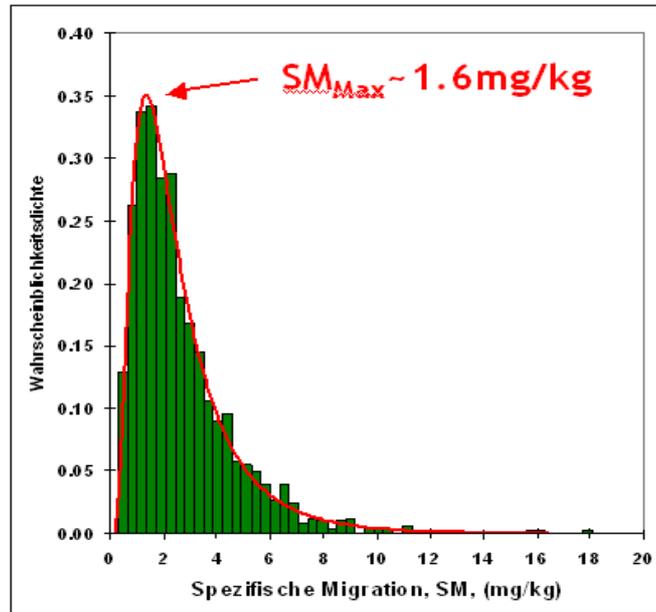
Abbildung 8-1: Verteilung der spezifischen Migration von Caprolactam aus weicher PA-PE Unterfolie vom Typ 1 in Wurstwaren W-A während einer Pasteurisation.

Die am Projekt beteiligten Industriepartner gaben an, dass im Falle der Wurstwaren W-A ca. 3% des Lieferumfanges für die Selbstbedienungstheke pasteurisiert wird. Die Migrationsabschätzungen zeigen, dass im Falle von Caprolactam (CL), das in Polyamidschichten (PA) zu finden ist, (in PA/PE oder PA/KK/PE-Folien), während dieser Behandlung eine bedeutende Menge von CL in die Wurst migriert, siehe Abbildung 7-39 und Abbildung 8-1. Diese spezifische Migration (SM) ist ca. 4-mal höher als die CL-Migration aus denselben Unterfolien während einer mehrwöchiger Lagerung im Kühlregal und noch immer ca. 10% höher als die Migration bei Lagerung der Wurst W-A für mehrere Wochen bei Raumtemperatur. In diesem Fall hat die Verteilung der SM sogar ein Höchstwert von ca. 16 mg/kg CL in W-A, der knapp über dem gesetzlichen EU-Grenzwert (SML) von 15 mg/kg für CL liegt.

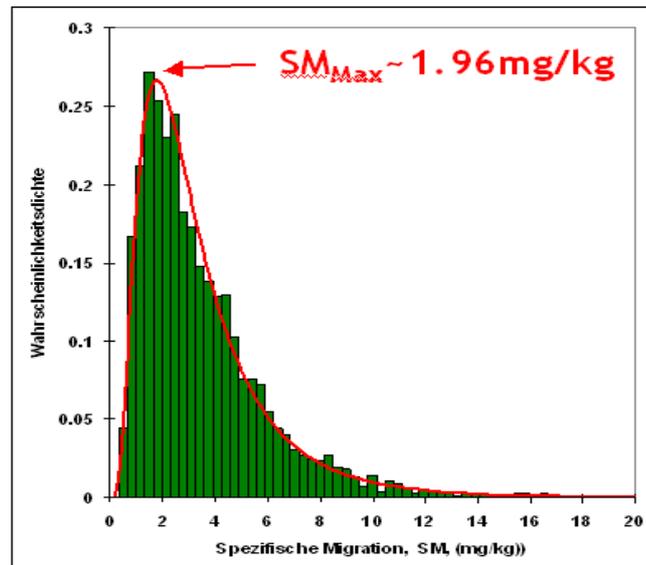
Zum Glück hat solch eine hohe SM keinen großen Einfluss auf die Gesamtexposition des Verbrauchers mit Caprolactam aus Wurstwaren W-A, da, wie bereits erwähnt, nur ca. 3% dieser Würste pasteurisiert werden. Würden aber alle W-A Würste, die für die Selbstbedienungstheke produziert werden, einer Pasteurisation unterzogen, würde auch die Exposition des Verbrauchers mit CL (aber auch mit den anderen Migranten, die aus den Verpackungen der Wurstwaren W-A migrieren können) viel höher ausfallen. Für das Szenario, dass eine Gruppe

bayerischer Verbraucher hauptsächlich Wurstwaren verzehrt, die während der Herstellung pasteurisiert wurden, wären diese Verbraucher einer deutlich höheren Exposition mit CL und anderen Migranten aus den Verpackungen ausgesetzt.

Erhöhte Temperaturen werden auch für den Brühprozess gewisser Wurstwaren, nämlich für die Untergruppen „Brüh- und Kochwürste“ der Wurstwaren W-A, eingesetzt. Aus der Sicht der spezifischen Migration und Exposition der Verbraucher ist solch ein Verfahren zu berücksichtigen, da die Wurstmasse während dieser Hitzebehandlung z.T. bereits in einen Kunstdarm abgefüllt sind.



a)



b)

Abbildung 8-2: Verteilung der spezifischen Migration von Caprolactam aus PA-PE-PA-Kunstdärmen vom Typ 12 in a) großkalibrigen Wurstwaren W-A und b) Normkalibrigen Wurstwaren W-A, während einer Hitzebehandlung bei ca. 75°C für 60 bis 120 Minuten.

Die Industriepartner des Projektes teilten mit, dass dies ist in der Praxis sehr oft der Fall ist. Die abgeschätzten spezifischen Migrationen zeigen, dass in solchen Fällen signifikante Migrationswerte für die Substanzen aus dem Kunstdarm resultieren. In Abbildung 8-2 sind die spezifischen Migrationen von Caprolactam (CL) aus einem PA-PE-PA-Kunstdarm in großkalibrigen und Normkaliber Wurstwaren W-A präsentiert. Diese SM-Werte sind bis zu 10-mal höher als die spezifische Migration von Caprolactam aus anderen polyamidhaltigen Verpackungen für Wurstwaren W-A, die im Kühlregal oder bei Raumtemperatur in der Selbstbedienungsabteilung gelagert werden.

Wird eine Wurstware, die verpackt in einem Kunstdarm Hitzebehandelt wurde, anschließend in einer weiteren Caprolactam-haltigen Mehrschicht-Folie verpackt, addiert sich zur spezifischen Migration aus dem Kunstdarm noch ein Beitrag aus dieser Verpackung. Folglich ist auch die Teilexposition mit CL von solchen Wurstwaren höher.

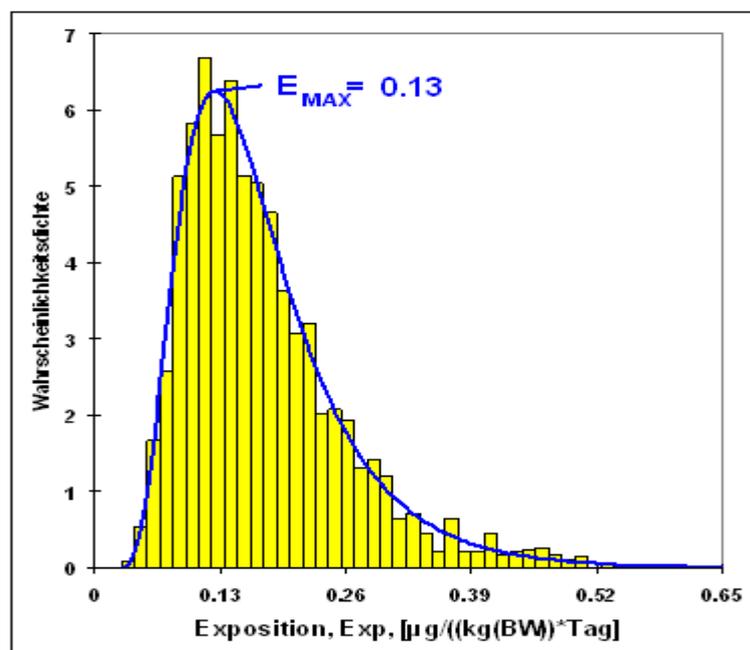
Die hohen Migrationswerte während einer Hitzebehandlung sind einerseits Folge einer Zunahme der Mobilität der Moleküle (quantifiziert durch die Diffusionskoeffizienten) sowohl in der Verpackung als auch im Lebensmittel. Andererseits ist bekannt, dass mit steigender Temperatur die Verteilungskoeffizienten in einer Mehrschichtverpackung und an der Kontaktgrenze Verpackung-Lebensmittel abnehmen. Auch diese Tendenz vergünstigt bei höheren Temperaturen die Migration aus der Verpackung in die abgefüllten Käse- oder Wurstwaren. Wenn nach einer Hitzebehandlung die Temperatur abnimmt, ändern sich diese Koeffizienten in die entgegengesetzte Richtung. Es können so, bei Kühlregal- oder Raumtemperatur, Bedingungen entstehen, unter denen eine Rückmigration der Migranten, die während der Hitzebehandlung aus einem Kunstdarm in die Wurst gelangt sind, stattfindet. Obwohl rein theoretisch solch ein Verfahren möglich ist und mit unseren Modellen auch abschätzbar wäre, ist es praktisch sehr schwer nachweisbar. Folglich wurde auch nicht versucht, solch ein komplexes Verfahren in die Abschätzung der Exposition mit Migranten aus Wurstverpackungen zu berücksichtigen.

Die höhere Caprolactam Migration während einer HB bedeutet aber nicht automatisch, dass PA-haltige Kunstdärme für Wurstwaren W-A für eine Hitzebehandlung nicht geeignet sind. Solch ein stochastisches Ergebnis muss man immer in Zusammenhang mit der Wahrscheinlichkeit, mit der solch eine hohe SM auftreten kann, interpretieren. In Fall der Abbildung 8-2 ist die berechnete Wahrscheinlichkeit, dass die SM von CL aus einem hitzebehandelten Kunstdarm PA-PE-PA in einer Wurstware W-A bei 15 bis 20 mg/kg liegt, mit <0.15% sehr niedrig. Für die reale Exposition bedeutet dies, dass statistisch von 1000 Fällen ca. 1,5-mal die SM im genannten Bereich liegen könnte.

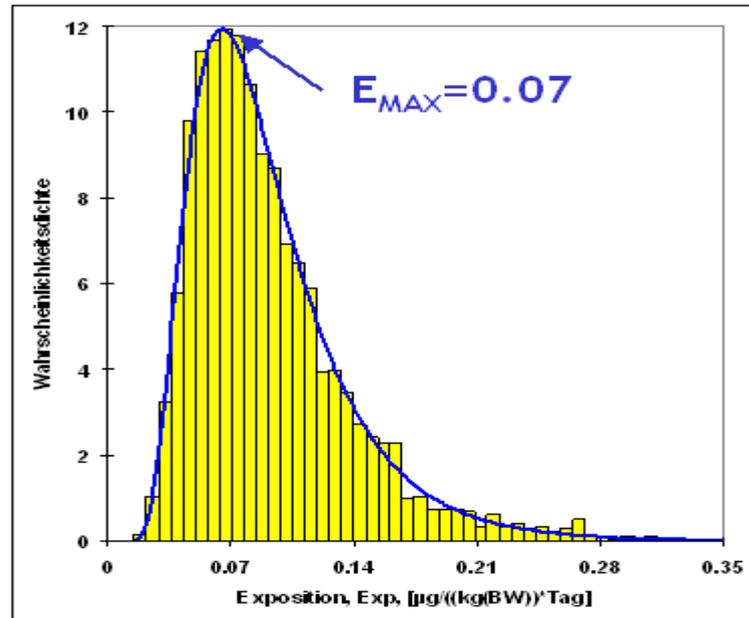
Wichtiger ist es, zu wissen und abschätzen zu können, dass erhöhte Temperaturen während einer Lagerung von Käse- und Wurstwaren zu höheren Migrationswerten führen. In diesem Projekt wurden nur Situationen berücksichtigt, in denen die Käse- und Wurstwaren sozusagen nach Vorschrift von Herstellung bis Verzehr gelagert wurden. Die spezifischen Migrationen und die Expositionen wurden unter der Annahme berechnet, dass der Verbraucher die eingekauften Käse- und Wurstwaren bis zu deren Verzehr unter den angegebenen Temperaturen lagert. Es kann aber vorkommen, dass diese Lebensmittel, ohne dass sie deutliche Verluste an Geschmack und Qualität erleiden, mehrere Stunden oder sogar Tage bei Temperaturen von 30 bis 40 °C gelagert werden. Wie hoch die Steigerung der Exposition in solchen Fällen ist, kann

man in Einzelfall oder stochastisch mit den Daten und Algorithmen aus diesem Projekt leicht abschätzen.

Die erhöhte spezifische Migration während einer Hitzebehandlung (HB) von Wurstwaren, die in Kunstdärmen verpackt sind, hat auch eine Auswirkung auf die Konzentration der Migranten, die in den Wurstwaren an der Frischetheke der bayerischen Supermärkte zu finden sind. Laut Aussage der Industriepartner im Projekt werden 95% der Wurstwaren W-A, die für den Verkauf an der Frischetheke produziert werden, hitzebehandelt. All diese Würste sind während der HB in Kunstdärmen verpackt. Bestehen diese Därme aus einem PA-PE-PA-Verbund, migriert während des Brühprozesses Caprolactam in erhöhtem Maß in die Würste W-A. Obwohl in der Frischetheke der Supermärkte diese Wurstwaren häufig nicht mehr in dem Kunstdarm verpackt sind, bleiben die Substanzen, die während der HB in die Wurst migrierten, auch dort. Folglich sind auch Wurstwaren von der Frischetheke eine Teilquelle für die Exposition der Verbraucher. Die Werte dieser Teilexpositionen, z.B. mit Caprolactam, hängen auch stark vom Einkaufsverhalten der Verbraucher ab. Dies zeigt ein Vergleich zwischen den Expositionen mit CL der bayerischen Frauen im Alter von 18 bis 25 Jahren bzw. 50 bis 64 Jahren. Die zweite Gruppe verzehrt ca. 60% mehr Wurst W-A als die erste, kauft aber ca. 2-mal mehr Wurstwaren von der Frischetheke als die jüngeren Frauen.



a)



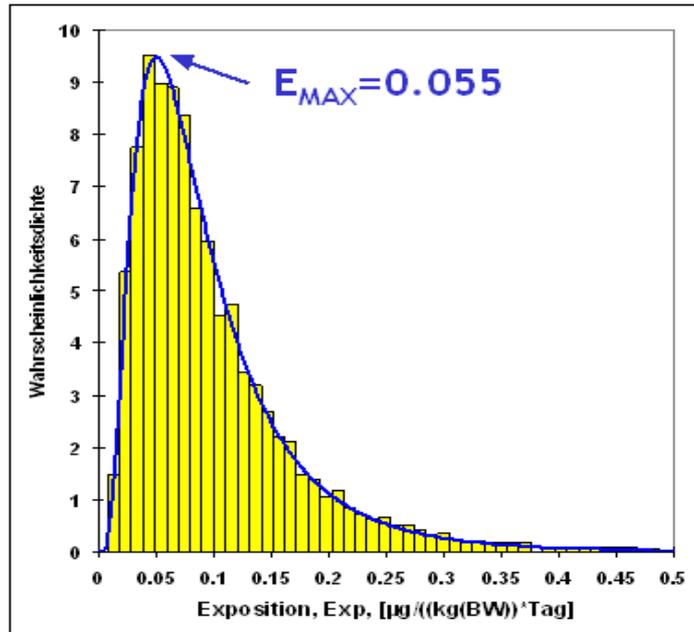
b)

Abbildung 8-3: Verteilungen der Teilexposition mit Caprolactam (CL) aus Wurstwaren W-A, die Hitzebehandelt (HB) und von der Selbstbedienungstheke gekauft wurden, von a) Frauen im Alter zwischen 18 und 25 Jahren und b) Frauen zwischen 50 und 64 Jahren.

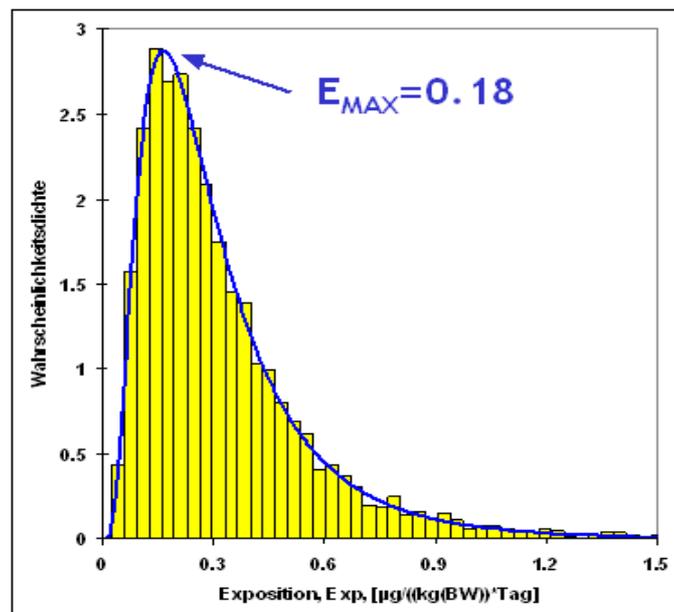
Andererseits werden auch die Wurstwaren W-A, die für die Selbstbedienungstheke bestimmt sind, teils Hitzebehandelt. Das bedeutet, dass auch ein Teil dieser Ware einer erhöhter spezifischen Migration aus den polyamidhaltigen Kunstdärmen ausgesetzt ist. Anhand der Daten, die im Projekt gesammelt wurden, stellte sich heraus, dass für Caprolactam die SM aus Kunstdärmen vom Typ PA-PE-PA, in denen die SB-Theken W-A Ware für die SB-Theken hitzebehandelt wird, einen bedeutenden Teil zur Gesamtexposition der Verbraucher mit CL beiträgt. Im Falle der Frauen zwischen 18 und 25 bzw. 50 und 64 Jahren wirkt sich dieser Anteil unterschiedlich aus, weil - wie bereits erwähnt - diese zwei Verbraucherguppen unterschiedlich viel Wurstwaren W-A von der SB-Theke einkaufen.

Weil die jungen Frauen mehr Wurst W-A von der Selbstbedienungstheke kaufen, ist auch deren Teilexposition mit CL aus Kunstdärmen, die Hitzebehandelt wurden, ca. 2-höher als bei den älteren Frauen, siehe Abbildung 8-3, obwohl die älteren Frauen deutlich mehr Wurst W-A verzehren als die 18-25-jährigen.

In Abbildung 8-4 sieht man genau das entgegengesetzte Bild. Weil die jungen Frauen weniger Wurst W-A von der Frischetheke kaufen, ist auch deren Teilexposition mit CL aus diesen Kunstdärmen, die Hitzebehandelt wurden, ca. 3-mal niedriger. Dieser Unterschied ist verstärkt durch die Tatsache, dass die älteren Frauen mehr Wurst W-A verzehren als die jüngeren.



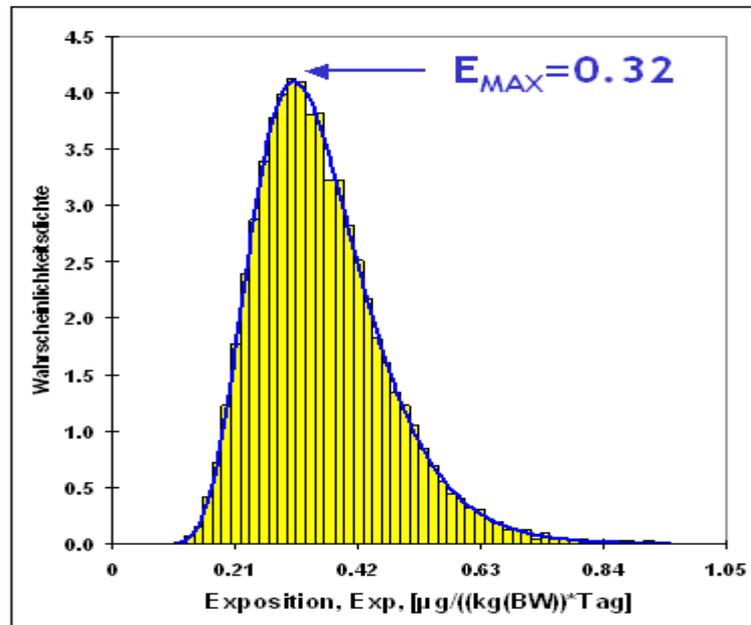
a)



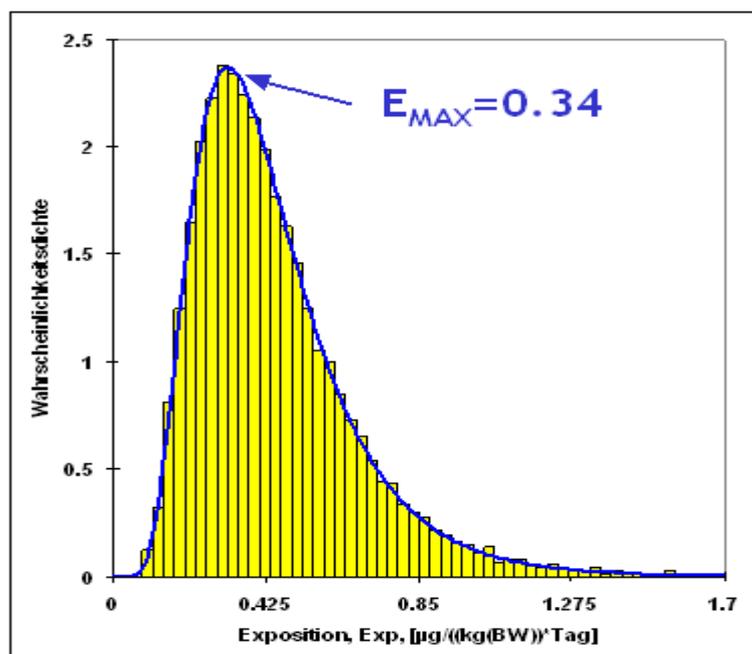
b)

Abbildung 8-4: Verteilungen der Teilexposition mit Caprolactam (CL) aus Wurstwaren W-A, die Hitzebehandelt (HB) und von der Frischetheke gekauft wurden, von a) Frauen im Alter zwischen 18 und 25 Jahren und b) Frauen zwischen 50 und 64 Jahren.

Betrachtet man das Zusammenspiel dieser Faktoren auf die Gesamtexposition mit CL dieser zwei bayerischen Verbrauchergruppen mit CL aus allen Wurstwaren, so bekommt man die folgenden interessanten Ergebnisse, siehe Abbildung 8-5.



a)



b)

Abbildung 8-5: Verteilungen der Gesamtexposition mit Caprolactam (CL) aus allen Wurstwaren von a) Frauen im Alter zwischen 18 und 25 Jahren und b) Frauen zwischen 50 und 64 Jahren.

Bei den 18 bis 25-jährigen Frauen beträgt der Anteil der Höchstexposition mit CL aus Wurstwaren, die von der Hitzebehandlung der W-A Würste von der Frischetheke resultiert, nur ca. 48% (0.5 gegenüber 1.05) der Gesamtexposition mit CL aus allen (statistisch verzehrten) Wurstwaren. Betrachtet man den Maximalwert dieser Verteilungen, liegt der Beitrag der Maximal-Exposition von der Frischetheke sogar bei nur ca. 17% (0.055 gegenüber 0.32).

Bei den 50 bis 64 jährigen Frauen liegt der Anteil der Höchstexposition mit CL aus Wurstwaren von der Frischetheke bei ca. 88% (1.5 gegenüber 1.7) der Gesamtexposition mit CL aus allen verzehrten Wurstwaren. Betrachtet man den Maximalwert dieser Verteilungen, liegt der Beitrag der Maximal-Exposition von der Frischetheke sogar bei ca. 53% (0.18 gegenüber 0.34).

Die Schlussfolgerung ist, dass bei beiden Altersgruppen die Hitzebehandlung der Wurstwaren W-A die Hauptquelle der Exposition mit Caprolactam aus polyamidhaltigen Verpackungen ist. Während z.B. die Gesamtexposition mit CL der 18 bis 25 Jahren alten Frauen zwischen ca. 0.1 und 1.1 – mit einem Maximum bei ca. 0.32 - $\mu\text{g}/\text{kg}(\text{BW})\cdot\text{Tag}$ liegen, betragen die Teilexpositionen mit CL aus Hitzebehandelten Wurstwaren W-A von der SB- bzw. Frische-Theke jeweils ca. 0.04 bis 0.65 bzw. 0.04 bis 0.65 $\mu\text{g}/\text{kg}(\text{BW})\cdot\text{Tag}$. Statistisch betrachtet bedeutet das, dass über 90% der Gesamtexposition der jungen Frauen mit CL von der Hitzebehandlung der Wurstwaren W-A resultiert. Die Restexposition mit CL kommt von der spezifischen Migration von CL, die während der Lagerung der nicht hitzebehandelten Wurstwaren W-A, W-B und W-C stattfindet.

Das gleiche Endergebnis gilt auch für die Gruppe der Frauen im Alter zwischen 50 und 65 Jahren. Obwohl hier der Anteil der Teilexposition mit CL aus hitzebehandelten W-A Wurstwaren von der Frischetheke höher ist, ist die Summe dieser Teilexposition mit der von den hitzebehandelten Würsten, die von der SB-Theke gekauft wurden, wieder bei ca. 90% der Gesamtexposition mit CL.

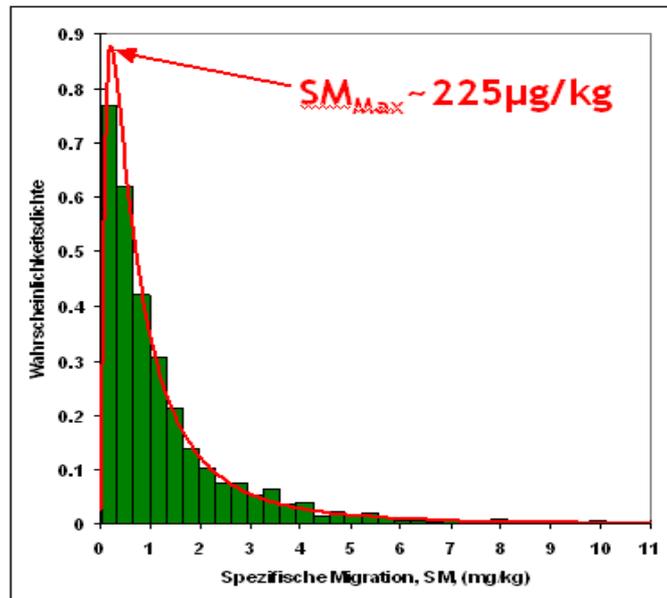
An dieser Stelle soll noch einmal erwähnt werden, dass die Ergebnisse, die in diesem Projekt dargestellt werden, nach statistischen Prinzipien abgeleitet und berechnet wurden. Das bedeutet am Ende, dass die abgeschätzten Expositionswerte gültig sind für „Muster“ Bayerische Verbraucher, die genau nach den statistischen Werten, die im Projekt ermittelt wurden, ihre Käse- und Wurstwareneinkäufe in den Supermärkten tätigen und anschließend verzehren. Selbstverständlich können sich die Einkaufs- und Verzehrsmuster eines einzelnen Bayerischen Verbrauchers, z.T. sogar stark, von diesen statistischen Werten unterscheiden. In solchen Fällen unterscheidet sich im Einzelfall auch die individuelle Exposition mit Migranten aus Käse- und Wurstverpackungen. In diesem Projekt wurde bei der Erfassung der Daten während der Marktstudien und bei der Ableitung der Eingabedaten für die SM- und Expositionsabschätzungen auch auf die Möglichkeit der Berechnung solcher „Einzelszenarien“ geachtet. Das bedeutet, dass es mit den Datenbanken, die aus diesem Projekt resultiert sind, möglich ist, auch ganz spezifische Expositionsszenarien zu simulieren. Man muss lediglich die entsprechenden Eingabedaten ermitteln und in die entsprechenden Algorithmen eingeben.

Als Beispiel solch eines Einzelszenarios soll die Exposition mit Kaschierkleberkomponenten (KKK), die in Wurstwaren W-C (Speck) migrieren, angeführt werden.

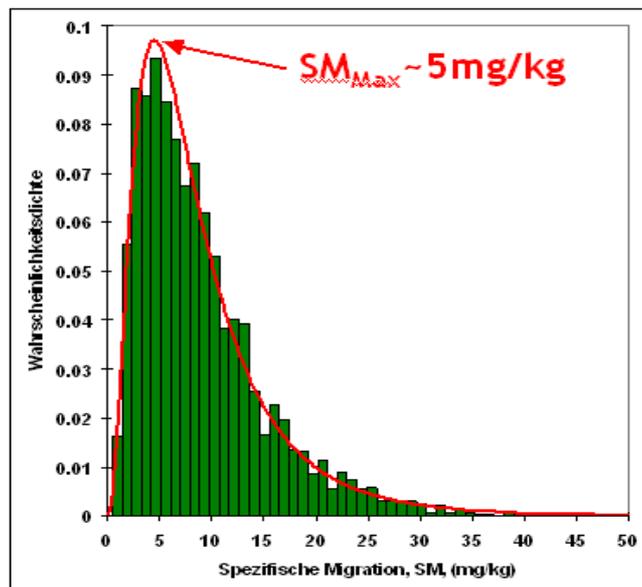
Die abgeschätzte spezifische Migration von KKK in W-C, insbesondere bei Raumtemperatur, liegt bei hohen Werten, siehe Abbildung 8-6. Dies ist das Ergebnis von relativ hohen Diffusionskoeffizienten, D_f , in W-C und andererseits niedrigen Verteilungskoeffizienten, K_{pf} , an der Grenze Verpackung/Speck. Dies gilt für alle Verpackungen von W-C, in denen KKK enthalten sind.

Für die Exposition des Durchschnittsverbrauchers aus Bayern mit KKK haben diese hohen Migrationswerte, aus statistischer Sicht, keinen großen Einfluss, da die bayerischen

Verbraucher (im Durchschnitt) wenig Speck verzehren, siehe Tabelle 7-9. Folglich ist auch die Teilexposition der Verbraucher mit KKK aus W-C sehr niedrig, siehe Abbildung 8-7 für Männer zwischen 50 und 64 Jahren.



a)



b)

Abbildung 8-6: Verteilungen der spezifischen Migration von Kaschierkleberkomponenten aus einer weichen a) PA-KK-PE bzw. b) PP-KK-PE-Oberfolie vom Typ1 in Wurstwaren W-C (Speck) a) am Stück und b) in Scheiben bei Raumtemperatur.

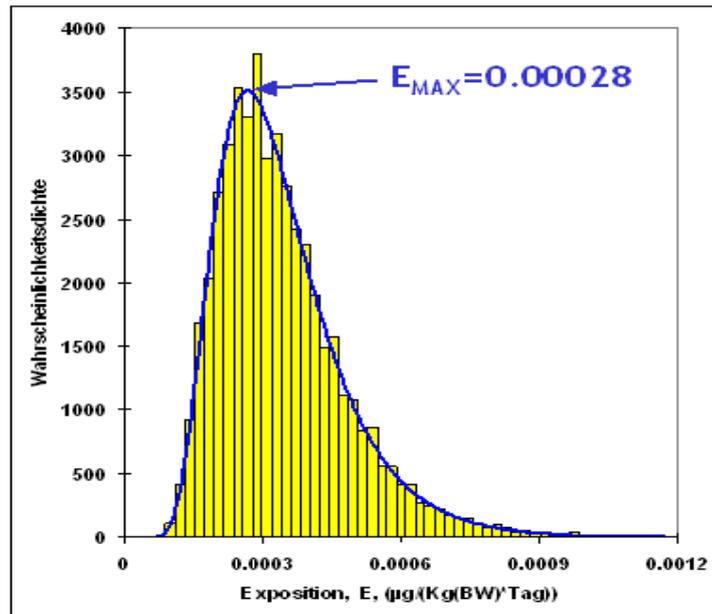


Abbildung 8-7: Verteilung der statistischen Teilexposition der bayerischen Männer im Alter von 50 bis 64 Jahren mit Kaschierkleberkomponenten (KKK) aus Wurstwaren W-C (Speck).

Wird nun aber angenommen, dass ein männlicher bayerischer Verbraucher nicht nach den statistischen Mustern für Einkäufe und Wurstwarenverzehr agiert, sondern dass bei seinem täglichen Wurstverzehr von ca. 88 Gramm 50% Speck ist, dass 31% dieses Specks von der SB-Theke gekauft wird und dass dieser Speck zu 50% in KKK-haltigen Mehrschichtfolien verpackt ist, so errechnet sich eine Teilexposition mit KKK aus W-C, die in Abbildung 8-8 präsentiert ist.

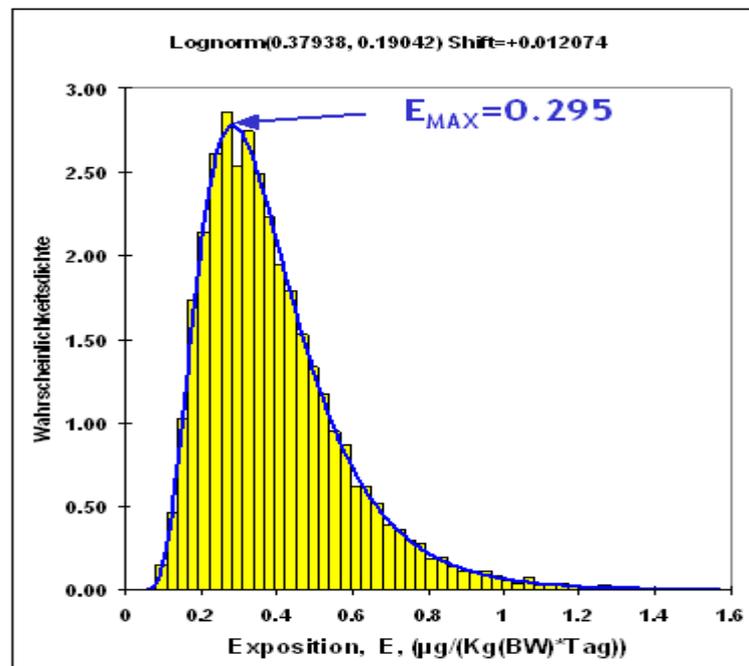


Abbildung 8-8: Verteilung der statistischen Teilexposition mit Kaschierkleberkomponenten (KKK) aus Wurstwaren W-C (Speck) eines bayerischen Mannes im Alter von 50 bis 64 Jahren, der täglich 50% seines Wurstwarenverzehrs mit Speck W-C deckt.

Vergleicht man dieses Ergebnis mit der statistischen Exposition mit KKK der bayerischen Männer zwischen 50 und 64 Jahren, Abbildung 8-9, so sieht man, dass alleine die hohe spezifische Migration von KKK in W-C Waren für die Einzelperson zu einer höheren Exposition mit KKK führt als die statistische Gesamtexposition mit KKK aus allen Wurstwaren.

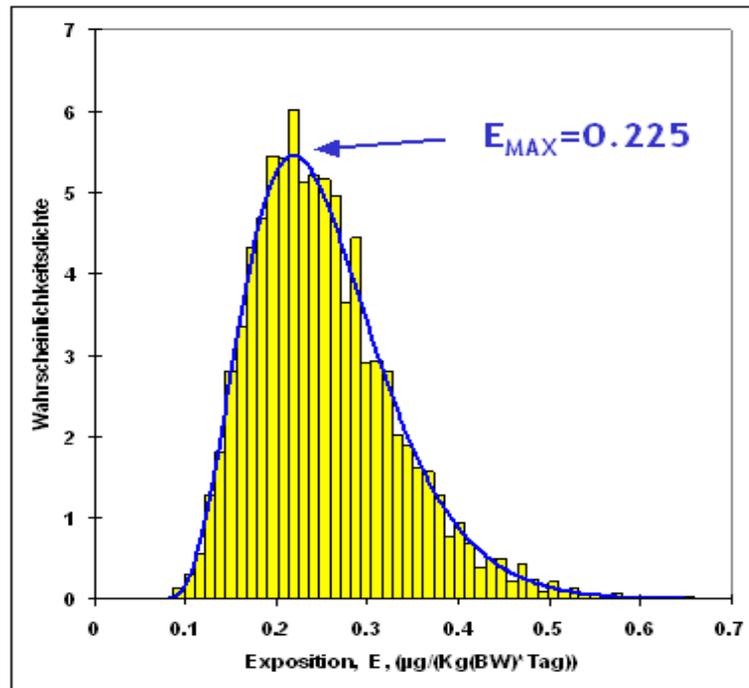


Abbildung 8-9: Verteilung der statistischen Gesamtexposition mit Kaschierkleberkomponenten (KKK) aus allen Wurstwaren eines bayerischen Mannes im Alter von 50 bis 64 Jahren,

Addiert man statistisch zu der Teilexposition aus Abbildung 8-8 50% der Expositionen mit KKK, die der „statistisch normale“ Verbraucher aus Wurstwaren W-A und W-B bekommt, siehe Abbildung 8-9, resultiert eine Gesamtexposition des Einzelverbraucher, der viel Speck verzehrt, wie in der Verteilung in Abbildung 8-10 dargestellt.

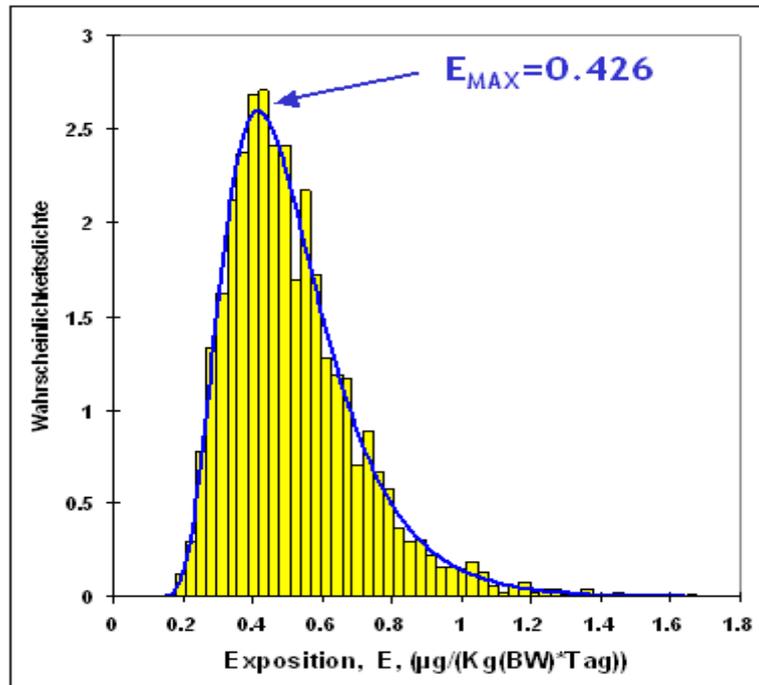


Abbildung 8-10: Verteilung der statistischen Gesamtexposition mit Kaschierkleberkomponenten (KKK) aus Wurstwaren eines bayerischen Mannes im Alter von 50 bis 64 Jahren, der täglich 50% seines Wurstwarenverzehrs mit Speck W-C deckt.

Vergleicht man die Expositions-Verteilungen in Abbildung 8-9 und Abbildung 8-10, so kann man schlussfolgern, dass der Verzehr von zu viel Speck nicht nur den Cholesterinspiegel erhöhen kann, sondern auch die spezifische Exposition des Verbrauchers mit Migrantensubstanzen aus der Verpackung erhöht. Der Grund hierfür ist, wie bereits erwähnt, die höhere spezifische Migration von Verpackungsinhaltsstoffen in das Füllgut Speck.

Zusammenfassend lässt sich resummieren, dass die Exposition des bayrischen Verbrauchers mit Caprolactam (CL) aus Käse- und Wurstwaren zu über 99 % signifikant unter dem europäischen Grenzwert (SML) von 15 mg/kg Lebensmittel liegt.

Bei den toxikologisch nicht bewerteten Kaschierkleber-Komponenten (KKK), die auch in vielen Verbundpackungen für andere Lebensmittel als Käse und Wurst enthalten sind, soll nach derzeitigem Wissensstand die tägliche Aufnahme $\leq 10 \mu\text{g}/\text{kg}$ Lebensmittel, welches ein EU-Bürger nach der EU-Konvention täglich isst, sein. Die ermittelten Expositionen mit KKK durch Wurstwaren liegen z.B. für das dargestellte „worst-case-Szenario“ von 50% Speck am gesamten Wurstwarenverzehr für Männer zwischen 50 und 64 Jahren bei $0,426 \mu\text{g}/\text{kg}$ Körpergewicht. Bei einem Körpergewicht von 85 kg bedeutet dies eine KKK-Aufnahme von $36,2 \mu\text{g}$, was den EU-Grenzwert von $10 \mu\text{g}/\text{kg}$ für toxikologisch nicht bewertete Substanzen deutlich überschreitet. Zudem sind hier noch Expositionen aus anderen verpackten Lebensmitteln zu erwarten. Für diese Substanzen sollte somit eine Minimierung durch die Verpackungshersteller angestrebt werden.

8.2 Validierung des Migrations- und Expositionsmodelles

Im Prinzip ist die beste Validierung eines Abschätzverfahrens ein Vergleich der berechneten Werte mit experimentellen Werten, die in denselben Konditionen wie berechnet gemessen wurden. Das würde im Falle dieses Projektes bedeuten, dass man experimentell bestimmte spezifische Migrationen in Käse und Wurst und reale Expositionen von Verbrauchern mit Verpackungsinhaltsstoffen hätte messen und die Ergebnisse mit den entsprechenden Berechnungen hätte vergleichen müssen. Was im Prinzip sehr klar und logisch klingt, kann in der Praxis eine echte Herausforderung sein, so auch in diesem Projekt. Das experimentelle Messen von spezifischen Migrationen in Käse- und Wurstwaren ist eine analytisch sehr anspruchsvolle Aufgabe. Die für den Migrant Caprolactam in verschiedenen Wurstwaren erhaltenen Ergebnisse waren aufgrund der komplexen Chemie der Lebensmittel und des dadurch bedingten schlechten Signal/Rauschverhältnisses alle unterhalb der analytischen Nachweisgrenze. Deswegen wurden zur Validierung der mathematisch abgeschätzten Migrationsergebnisse auch Migrationsmessungen in das Lebensmittelsimulanz Ethanol 95% durchgeführt. Für die in der EU-Verordnung 10/2011 definierten Simulanzien wird angenommen, dass im realen Lebensmittel – unter gleichen Bedingungen - die spezifischen Migrationen aus den Verpackungen kleiner ausfallen. Die mit Ethanol gemessenen Migrationsdaten liegen sehr gut in den berechneten SM-Verteilungen, wie bereits in Kapitel 7.4.5 beschrieben. Im Prinzip ist dies bereits ein erster Beweis, dass die Methodik und die Algorithmen, die in diesem Projekt für die Abschätzung der SM's entwickelt wurden, zu realitätsnahen Ergebnissen führen. Angesichts der Komplexität der untersuchten Verpackungs/Lebensmittel-Systeme kann dies bereits als ein Teilerfolg dieses Projektes betrachten. Mit den stochastischen Methoden, die im Rahmen dieses Projektes entwickelt und in dieser Form noch nirgendwo präsentiert wurden, kann nämlich nicht nur die spezifische Migration von Verpackungsinhaltsstoffen in Käse und Wurst, sondern auch für viele andere Verpackungs/Lebensmittel-Systeme berechnet werden.

Eine direkte Validierung der berechneten Expositionen war im Rahmen dieses Projektes nicht möglich. Dies hätte im Prinzip bedeutet, bestimmte bayerische Verbrauchergruppen mit definiertem Einkaufs- und Verzehrverhalten auf Exposition mit den Leitsubstanzen, die in den Käse- und Wurstverpackungen gefunden wurden, zu untersuchen. Da zum einen die Messungen in Lebensmitteln nicht zu aussagekräftigen Ergebnissen führten (s .o.) und zum anderen derartige „Warenkorb-Untersuchungen“ nicht im Kompetenzbereich der Forschungsstelle liegen, konnte im Rahmen dieses Projektes eine Validierung der berechneten Expositionen nicht durchgeführt werden.

8.3 Gegenüberstellung der Forschungsziele und der erzielten Ergebnisse

Dem Zuwendungsnehmer ist es bekannt, dass es auf internationaler Ebene Bemühungen gibt, Methoden zu entwickeln, um die Exposition der Verbraucher mit Substanzen aus Lebensmittelverpackungen zu ermitteln. Hauptsächlich wird solch eine Entwicklung im Rahmen des EU-Projektes FACET angestrebt. Die Vorgehensweise in diesem Großprojekt unterscheidet sich aber sehr stark von den Methoden, die in diesem Projekt verwendet wurden. Im Projekt FACET wird die Exposition der Verbraucher in allen 27 EU-Ländern anhand des Verzehrmusters aus nur 4 repräsentativen Ländern extrapoliert (Deutschland gehört nicht zu diesen 4 Ländern). In FACET werden keine Marktstudien durchgeführt, um die tatsächliche Situation der Lebensmittelverpackungen im Handel zu ermitteln. Des Weiteren werden in FACET auch keine Verpackungen im Labor analysiert, um herauszufinden, welche Migranten tatsächlich in den Verpackungen existieren. Da in FACET all diese Daten nur Datenbanken von Industrie und Verbänden entnommen werden, ist zu erwarten, dass die Resultate, die im Rahmen dieses Projektes ermittelt werden, nur eine sehr allgemeine Gültigkeit haben werden. Mit dem Abschätzungsmodell aus FACET wird es nicht möglich sein, die spezifischen Informationen, die in dieser Studie erfasst wurden, zu bekommen und zur Berechnung von Expositionen der Bayerischen Bevölkerung einzusetzen. Mit den Methoden, die in diesem Vorhaben eingesetzt wurden, ist es möglich, sehr gezielt und aktuell die Exposition bestimmter Bayerischer Bevölkerungsgruppen zu bestimmen und auszuwerten. Zudem ist es mit den im Projekt erfassten Daten und den für die Berechnung der Exposition verwendeten Algorithmen jederzeit möglich, bis ins Detail die Quellen und Ursachen der berechneten Expositionen nachzuvollziehen. Dies wird sicher in FACET nicht möglich sein.

Viele der speziell für dieses Vorhaben erarbeiteten, theoretischen Methoden sind originell und wurden noch nie veröffentlicht oder berichtet. Folglich kann gesagt werden, dass dem Zuwendungsnehmer während der Durchführung des Vorhabens nicht bekannt wurde, dass bei anderen Stellen Fortschritte bei der Entwicklung und Durchführung einer ähnlichen Methode gemacht wurden.

8.4 Erläuterung der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die geleistete Arbeit entspricht im vollen Umfang dem begutachteten und bewilligten Antrag und war daher für die Durchführung des Vorhabens notwendig und angemessen.

8.5 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse für die mittelständischen Betriebe dieser Branchen aus Bayern

Mit der zunehmenden Globalisierung beziehen auch bayerische Verpackungshersteller einen Teil ihrer Rohstoffe von Lieferanten aus nicht-europäischen Länder. Da in diesen Ländern meist andere gesetzliche Bestimmungen für die Ware gelten als in der EU, können Wissenslücken

entstehen und zusätzliche Quellen für eine Kontamination verpackter Lebensmittel unentdeckt bleiben. Dadurch ist der Schutz des Verbrauchers im Sinne des LFGB gefährdet.

Während aufgrund der lückenhaften Datenbasis bei der Expositionsabschätzung nach europäischer Gesetzgebung als „worst case“ angenommen wird, dass ein Verbraucher durchschnittlich 60 kg wiegt und 1 kg Lebensmittel pro Tag konsumiert, welches in 6 dm² Packstoff verpackt ist, wurde im Rahmen dieses Projektes bei der Aufstellung des Verzehrsmusters für die verschiedenen Lebensmittel nach regionalen Aspekten sowie dem Alter, Geschlecht und Gewicht der Bevölkerung differenziert.

Durch dieses Projekt können die bayerischen Verpackungshersteller und Lebensmittelabfüller detaillierte Informationen zur momentanen Situation der Verbraucherexposition in ihrer Branche in Bayern erhalten. Aus der Vielzahl der vorliegenden Daten wurden beispielhaft Teil – und die Globalexpositionen mit Caprolactam und Kaschierkleber-Komponenten aus Käse- und Wurstwaren berechnet und dargestellt. Die Expositionsabschätzung für andere Szenarien aus diesem Bereich ist auf Nachfrage jederzeit möglich. Anhand dieser realitätsnahen Expositionsdaten sollte es den mittelständischen Betrieben der Branche aus Bayern möglich sein, die verbesserungswürdigen Aspekte in ihrer Produktion zu erkennen und durch Optimierungen bei der Verpackungsherstellung und Lebensmittelabfüllung einen besseren Verbraucherschutz zu gewährleisten.

Auf Grundlage der im Rahmen dieses Projektes generierten Daten ist somit eine realitätsnahe Abschätzung der Exposition des bayerischen Verbrauchers durch Verpackungskomponenten aus den beiden großen Kategorien der Grundnahrungsmittel Käse und Wurstwaren möglich. Nach Bedarf können diese Abschätzungen entsprechend verschiedener Szenarien modifiziert und an zukünftige Entwicklungen auf dem Markt angepasst werden.

In diesem Abschlussbericht sind keine vertraulich zu behandelnden Einzelheiten beschrieben.

Dieses Forschungsvorhaben wurde dankenswerterweise aus Haushaltsmitteln des Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie und der Forschungsgemeinschaft für Verpackungs- und Lebensmitteltechnik e. V. (FoGe) gefördert. Wir danken auch dem Projektbegleitenden Ausschuss für seine Beratungs- und Sachleistungen sowie für die Durchführung mancher Laboruntersuchungen.

München, den 27. Februar 2012

gez. Anja Zülch

gez. Dr. P. Mercea

gez. Dr. M. Rüter

9 Anhang

9.1 Arbeitsschritt 1

9.1.1 Marktstudie (München, Jahr 2009)

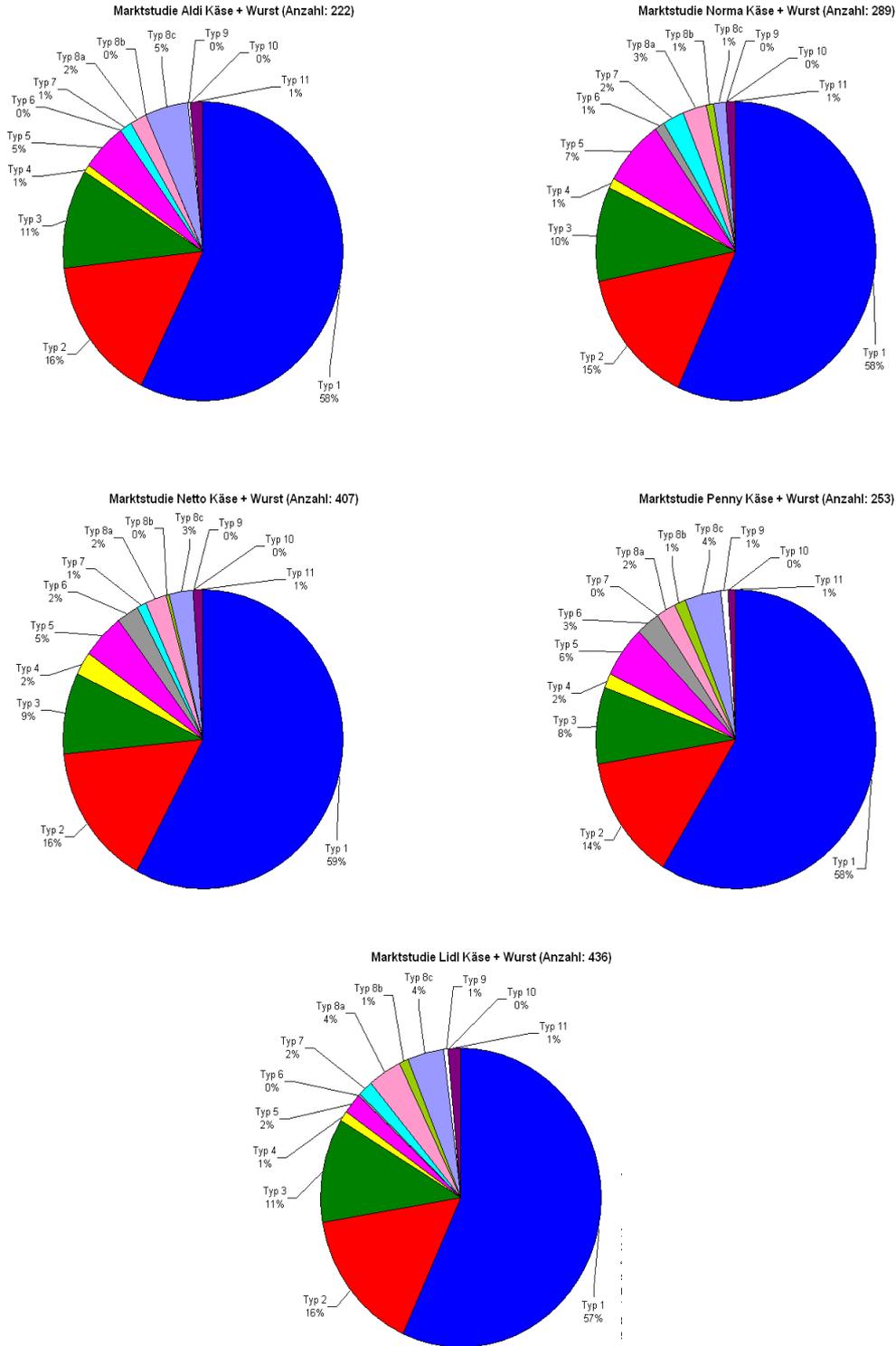


Abbildung 9-1: Verteilung der Verpackungstypen für Käse und Wurst in den Filialen von fünf Discontnern in München, Jahr 2009.

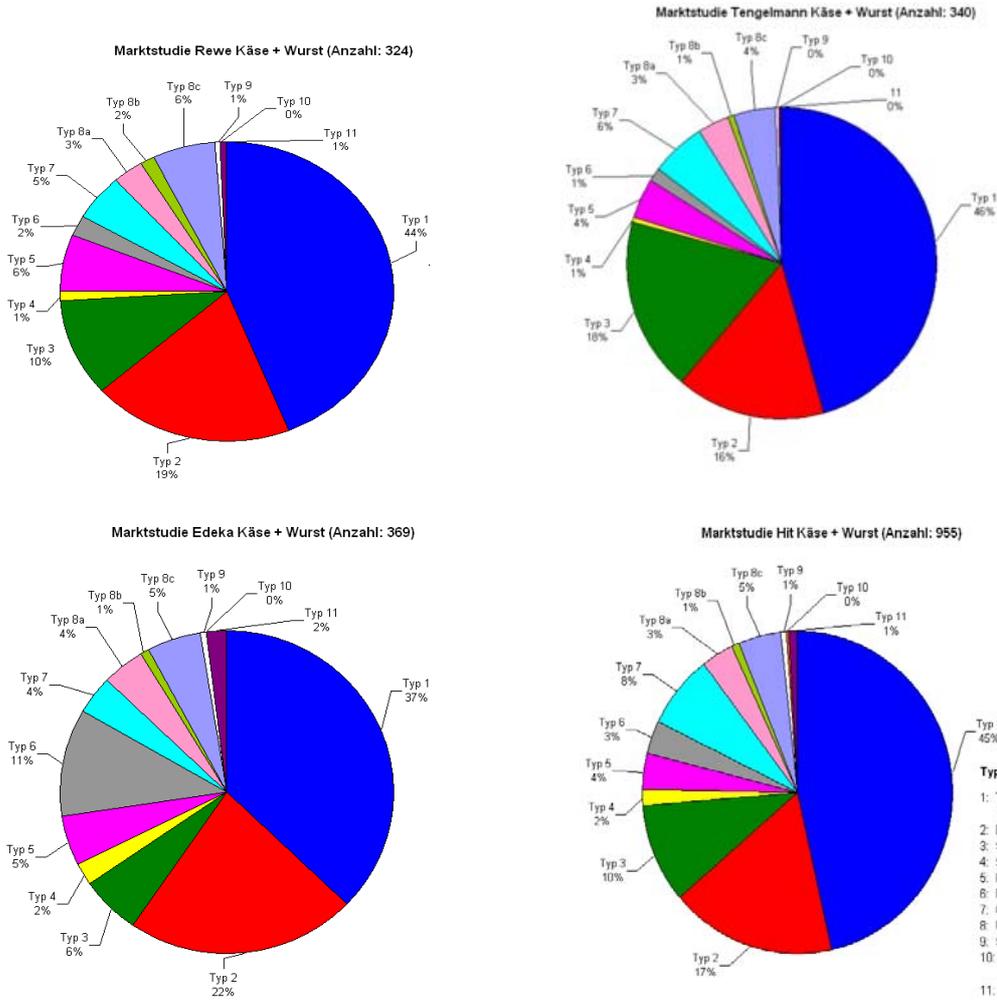


Abbildung 9-2: Verteilung der Verpackungstypen für Käse und Wurst in den Filialen von vier Vollsortiment-Supermarktketten in München, Jahr 2009.

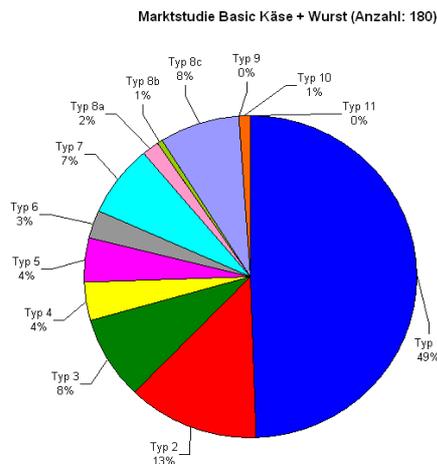


Abbildung 9-3: Verteilung der Verpackungstypen für Käse und Wurst in der Filiale eines Bio-Supermarktes in München, Jahr 2009.

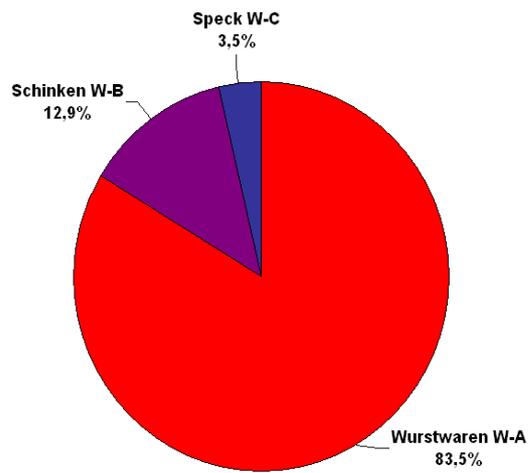


Abbildung 9-4: Prozentuale Anteile der Füllgut-Untergruppen an Wurst gesamt.

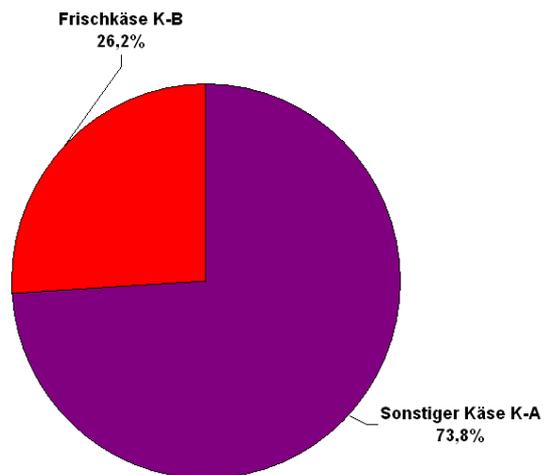


Abbildung 9-5: Prozentuale Anteile der Füllgut-Untergruppen an Käse gesamt.

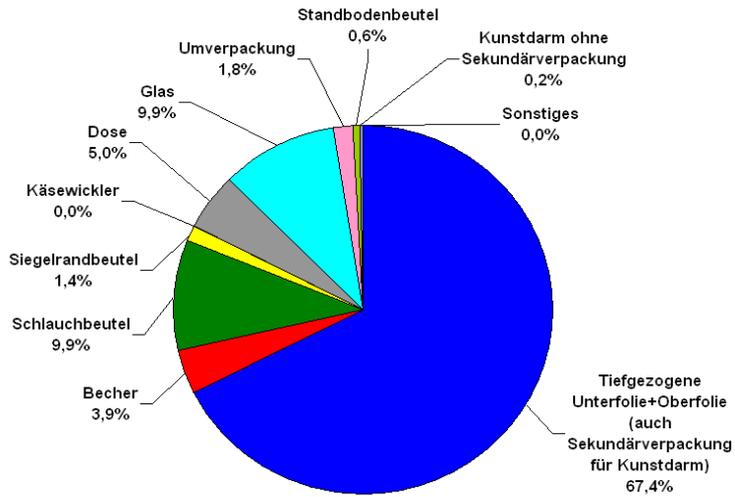


Abbildung 9-6: Prozentuale Anteile der Packstoff-Untergruppen für die Verpackung von W-A.

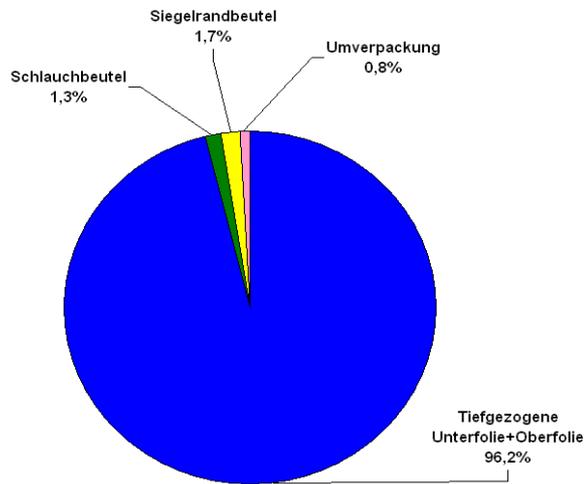


Abbildung 9-7: Prozentuale Anteile der Packstoff-Untergruppen für die Verpackung von W-B.

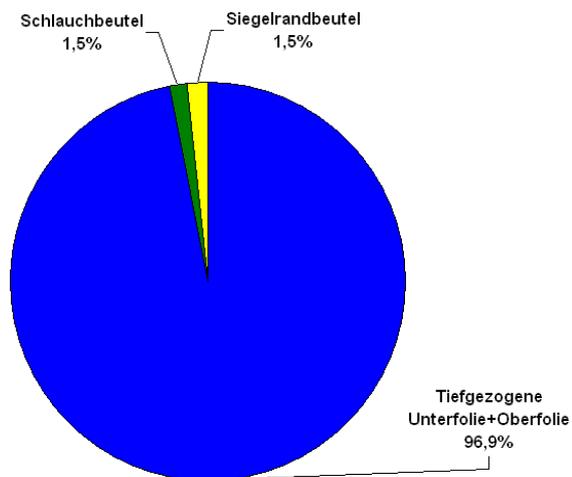


Abbildung 9-8: Prozentuale Anteile der Packstoff-Untergruppen für die Verpackung von W-C.

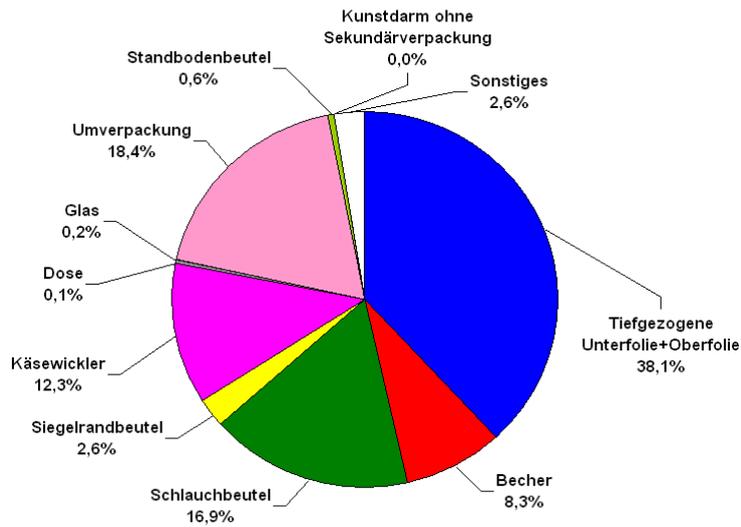


Abbildung 9-9: Prozentuale Anteile der Packstoff-Untergruppen für die Verpackung von K-A.

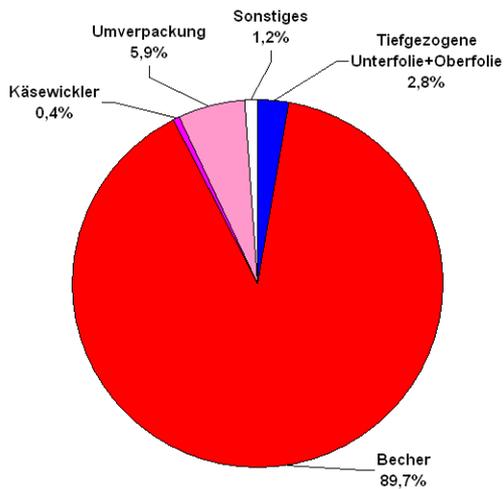


Abbildung 9-10: Prozentuale Anteile der Packstoff-Untergruppen für die Verpackung von K-B.

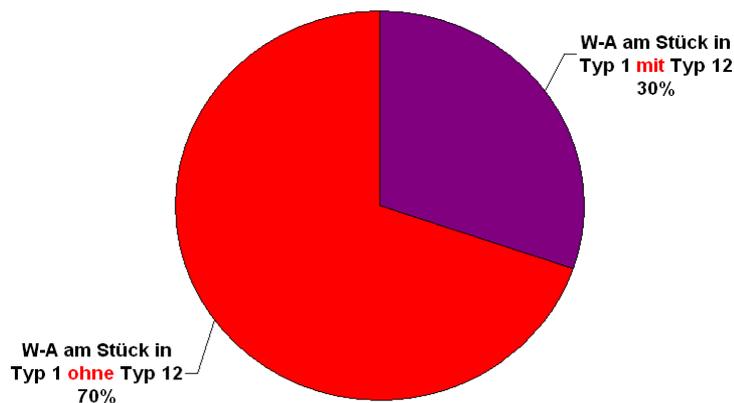


Abbildung 9-11: Prozentuale Anteile der Wurstwaren W-A am Stück (bzw. als Creme) mit und ohne Kunstarm in Verpackungstyp 1.

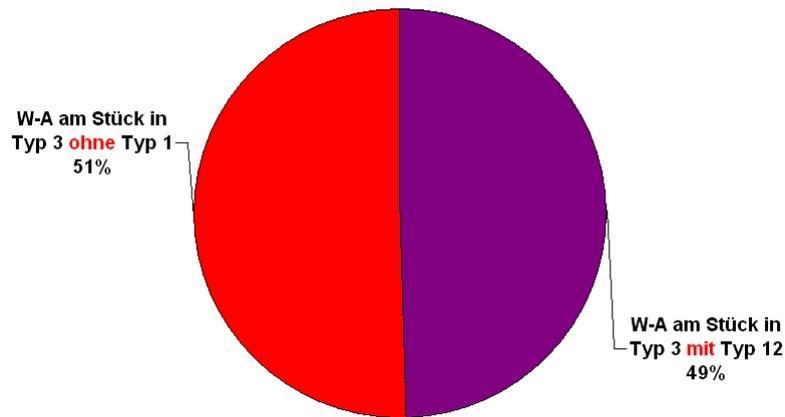


Abbildung 9-12: Prozentuale Anteile der Wurstwaren W-A am Stück (bzw. als Creme) mit und ohne Kunstdarm in Verpackungstyp 3.

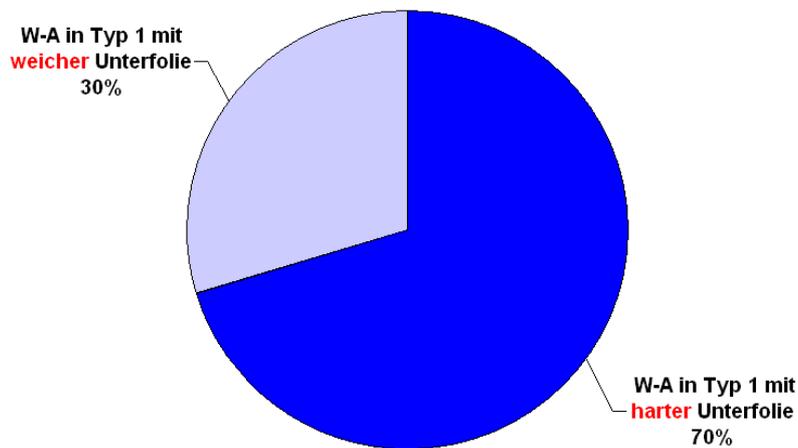


Abbildung 9-13: Prozentuale Anteile der Wurstwaren W-A in Verpackungstyp 1 mit harter oder weicher Unterfolie.

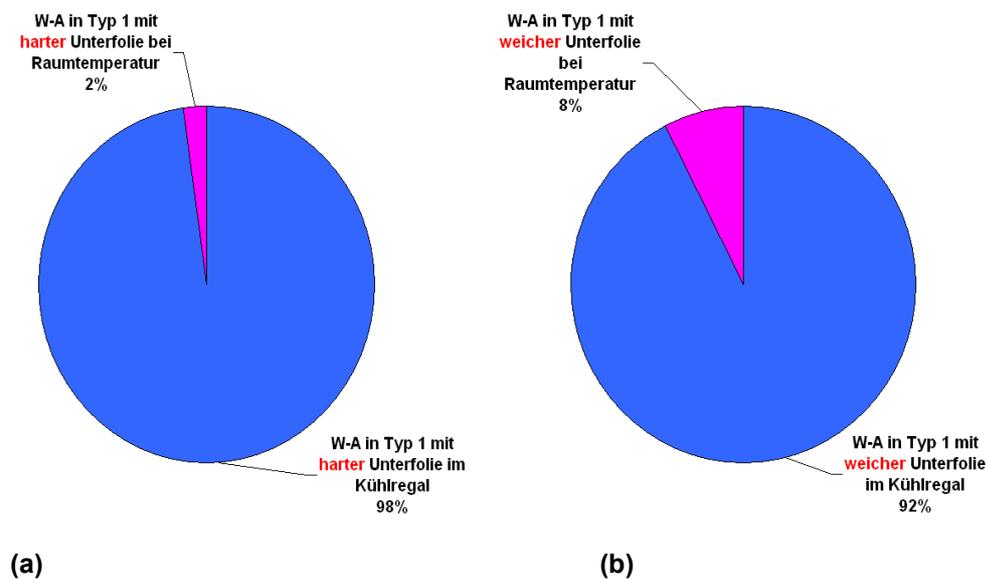


Abbildung 9-14: Prozentuale Anteile der Wurstwaren W-A in Verpackungstyp 1 mit (a) harter bzw. (b) weicher Unterfolie bei Kühlregal- oder Raumtemperatur-Lagerung.

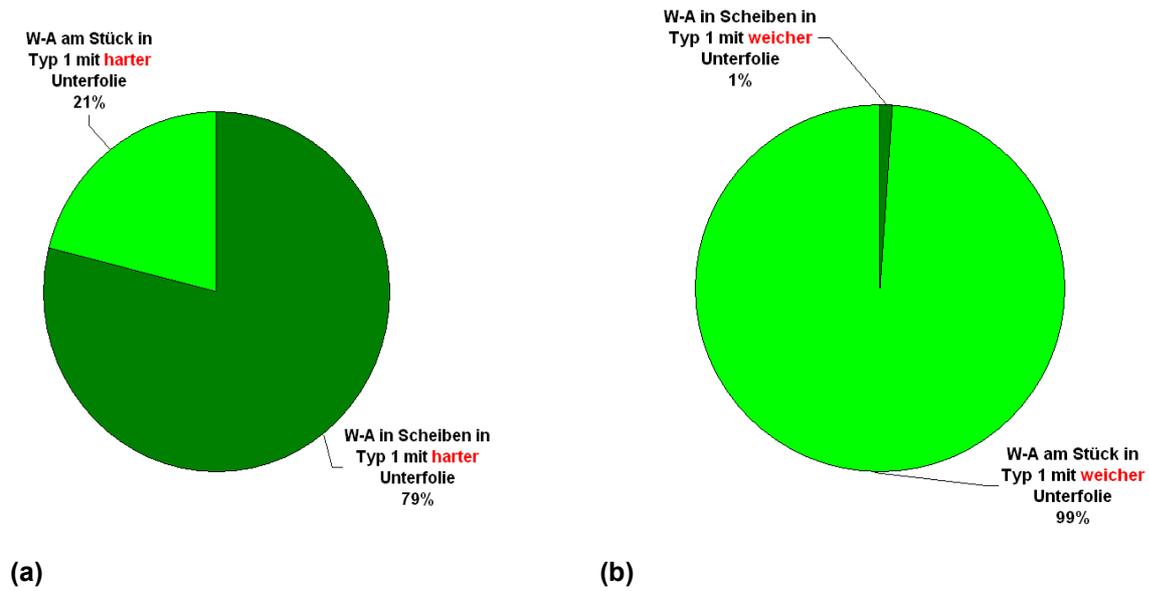


Abbildung 9-15: Prozentuale Anteile der Wurstwaren W-A in Verpackungstyp 1 mit (a) harter bzw. (b) weicher Unterfolie in Form von Scheiben oder am Stück.

9.2 Arbeitsschritt 2

9.2.1 Analyse der Proben vom Markt: Zusammenfassung der Ergebnisse

Probe 955a (Typ 1): Schinken

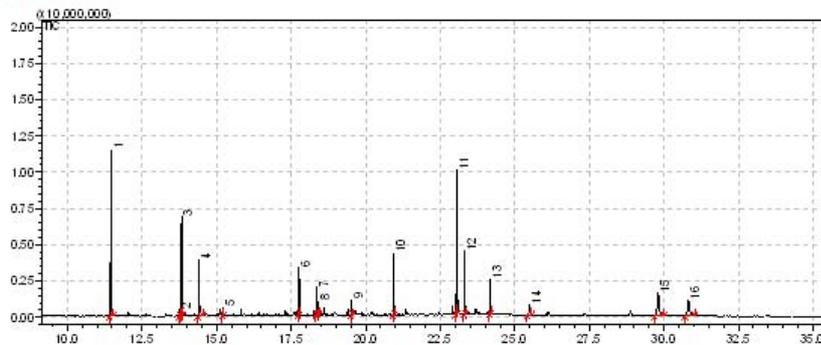
Vermutung: PA/KK/PE mit UV-Druck auf Etikett

Oberfolie:
wK, oD, oR, mE (Pap+wK)



Fläche Prüfling	[cm ²]	100
Fläche Etikett (Pap)	[cm ²]	53
Prozentualer Anteil Etikett (Pap)	[%]	53
Fläche Etikett (K)	[cm ²]	37,8
Prozentualer Anteil Etikett (K)	[%]	37,8
Einwaage Prüfling	[g]	1,6
Volumen 95% EtOH	[ml]	16

Extrakt: rötlich



Peak Nr.	Substanz	Ret.zeit	Konz. [µg/g]	Konz. [µg/dm ²]	Bemerkung
1	C13	11.460			
2	Photoinitiator	13.762	10	15	
3	Photoinitiator	13.823	123	198	
4	Caprolactam	14.410	102	164	
5	BHT	15.201	8	14	
6	KK	17.759	63	101	
7	FS-ester	18.360	41	66	
8	Acrylat	18.419	14	23	
9	FS-ester	19.527	19	31	
10	ATBC	20.943	66	105	
11	2-(5-Chloro-2-benzotriazolyl)-6-tert-butyl-p-cresol	23.052	199	319	
12	Photoinitiator	23.318	77	124	
13	Chimasorb 81	24.166	46	74	
14	KK	25.482	20	32	
15	I 1076	29.797	94	151	
16	I 168 ox.	30.817	70	112	

Abbildung 9-16: Beispiel für die Zusammenfassung der Ergebnisse der gaschromatographischen Analysen (wK = weicher Kunststoff, oD = ohne Druck, mE = mit Etikett, Pap = Papier, K = Kunststoff, KK = Kaschierkleber, FS = Fettsäure).

9.3 Arbeitsschritt 3

9.3.1 Fragebogen:

Verbraucherbefragung zum Konsum von Käse und Wurstwaren

Datum:..... Uhrzeit:..... Ort:..... Interviewer:

1) Geschlecht und Alter des Befragten

Geschlecht:

m	w
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Alter:

<6	6-8	9-10	11-12	13-14	15-17	18-19	20-24	25-29	30-34
<input type="checkbox"/>									

35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	>75
<input type="checkbox"/>								

2) In welchem Stadtteil wohnen Sie?

.....

3) Sind Sie der Haupt-Haushaltsführende?

Ja	Teils/teils	Nein
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4) Wie viele Personen leben insgesamt in Ihrem Haushalt?

- ältere Erwachsene (> 25 Jahre)
- junge Erwachsene (18-24 Jahre)
- Jugendliche (13 bis 17 Jahre)
- Kinder (< 13 Jahre)

5) Wie oft kaufen Sie Käse und Wurst ein?

Käse:	0x	< 1x	1x	2x	3x	4x	5x	6x	pro Woche
	<input type="checkbox"/>								

Wurst:	0x	< 1x	1x	2x	3x	4x	5x	6x	pro Woche
	<input type="checkbox"/>								

6) Wo kaufen Sie Käse und Wurst üblicherweise ein?

An einer **Frischetheke**: Metzger bzw. Bedienungstheke im Supermarkt **oder** in Form der **Selbstbedienung**: maschinell abgepackte Ware aus dem Kühlregal im Supermarkt

Käse:	Fast ausschließlich Frischetheke	Vorwiegend Frischetheke	Teils/teils	Vorwiegend Selbstbedienung	Fast ausschließlich Selbstbedienung
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wurst:	Fast ausschließlich Frischetheke	Vorwiegend Frischetheke	Teils/teils	Vorwiegend Selbstbedienung	Fast ausschließlich Selbstbedienung
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

9.3.2 Beispiele für Auswertungen der Verbraucherbefragung

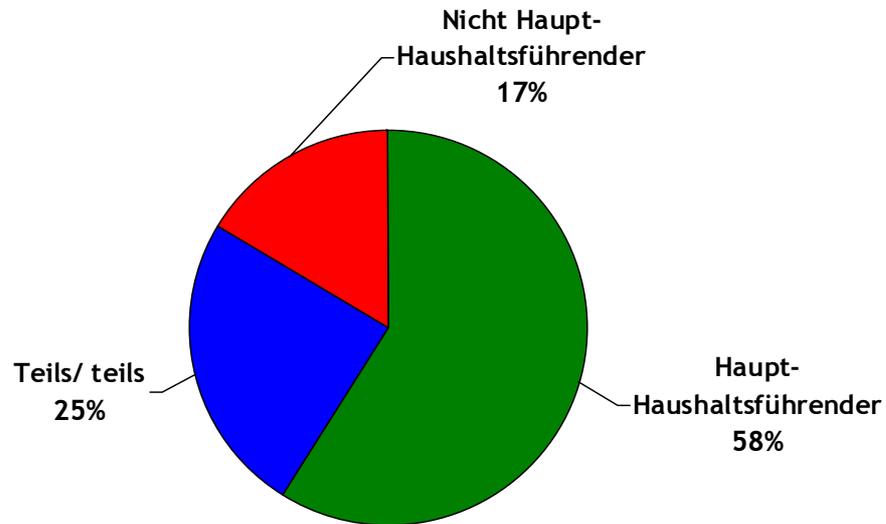


Abbildung 9-17: Verbraucherbefragung (gesamt): Haushaltsführung.

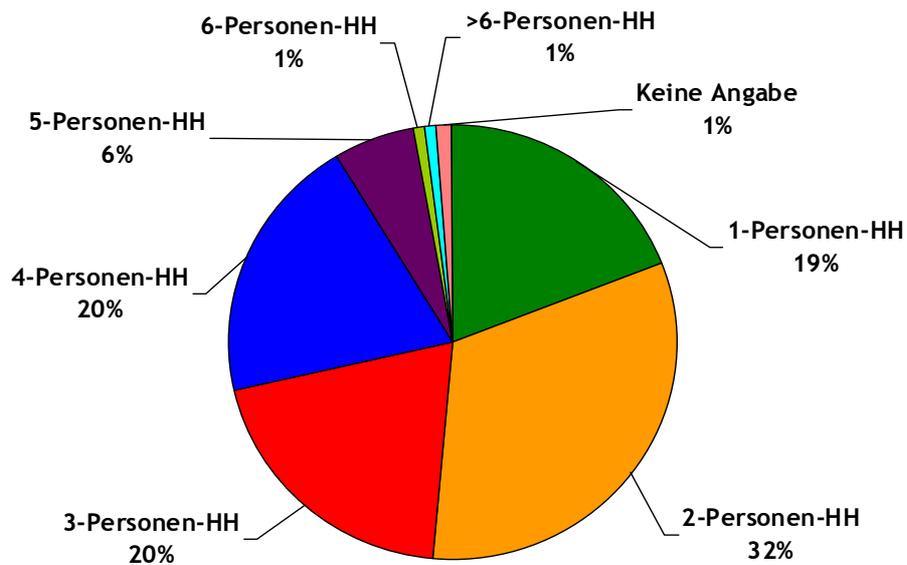


Abbildung 9-18: Verbraucherbefragung (gesamt): Anzahl Personen im Haushalt.

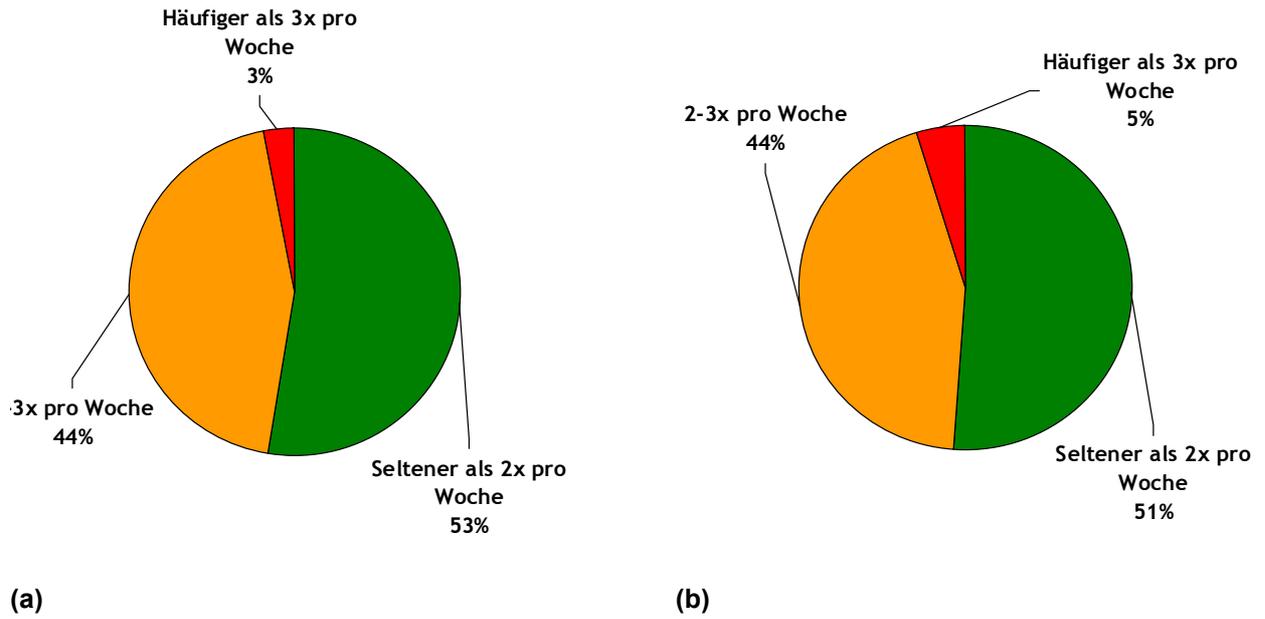


Abbildung 9-19: Verbraucherbefragung (gesamt): Häufigkeit des Einkaufens von (a) Käse und (b) Wurst.

9.4 Arbeitsschritt 4

Wie bereits erwähnt wurden in diesem Projekt eine sehr große Anzahl von Daten vom Markt gesammelt, bearbeitet und zu Eingabedaten für die Abschätzung der spezifischen Migrationen (SM) und Expositionen (E) verwendet. Alleine für die Abschätzung der SM's und E's sind über 7000 Dateien entstanden, die ein Datenvolumen von über 2 GB haben. Die Zusammenfassung aller Eingabedaten und Ergebnisse, die für die Abschätzung der SM und E von Caprolactam (CL) und Kaschierkleberkomponenten (KKK) in Käse- und Wurstwaren generiert wurden, umfasst über 2000 Einzelblätter. Es ist unmöglich, solch eine Menge an Daten in diesem Anhang zu präsentieren. Folglich wurde entschieden, in diesem Anhang Listen zu zeigen, in denen die Dateien verzeichnet sind, in denen entweder die Eingabedaten oder die berechneten SM- und E-Werte dargestellt sind. Die Listen enthalten aber nur die Endverteilungen der Eingabedaten und der berechneten SM's und E's und nicht auch noch alle dafür generierten und verwendeten Zwischendateien.

Für jede Liste wird auch ein Beispiel der in den Dateien zusammengefassten Ergebnisse präsentiert.

Anmerkung:

Die Namen der Dateien, die in den folgenden Listen zusammengefasst werden, wurden nach einem einheitlichen, selbst entwickelten System, erstellt. Diese Benennung der Dateien wird an folgendem Beispiel erläutert.



Verteilung Lebensmitteldicke K-A-aS-OFwTyp1 OFw+UFw-KR

Die obengenannte EXCEL-Datei präsentiert

- die Verteilung der Lebensmitteldicke von Käsewaren vom Typ K-A (K-A),
- die am Stück (aS) mit einer weichen Oberfolie vom Typ1 (OFwTyp1)
- und auch mit einer weichen Unterfolie (UFw) verpackt sind,
- und im Kühlregal (KR) gelagert werden.

Die Bedeutung der anderen Kürzel, die in den Namen dieser Dateien eingesetzt wurden, kann der Liste am Anfang dieses Berichtes entnommen werden.

1) Listen der EXCEL-Dateien mit den Verteilungen der **Lebensmitteldicken**, df, - generiert anhand der Daten, die bei der Marktstudie im Rahmen des Projektes ermittelt wurden.

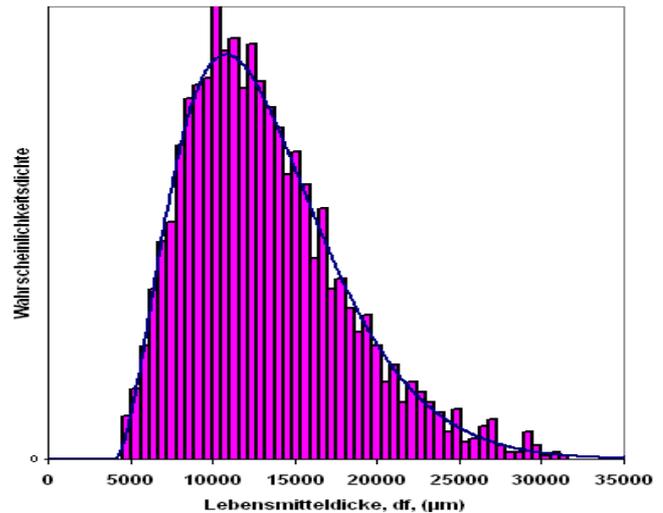


Abbildung 9-20: Verteilung Lebensmitteldicke K-A-aS-OFwTyp1 OFw+UFw-KR.

-  Verteilung Lebensmitteldicke K-A-aS-OFwTyp1 OFw+UFw-KR
 -  Verteilung Lebensmitteldicke K-A-aS-Typ3-KR
 -  Verteilung Lebensmitteldicke K-A-aS-UFw Typ1 OFw+UFw-KR
 -  Verteilung Lebensmitteldicke K-A-Sch-OFw Typ1 OFw+UFh-KR
 -  Verteilung Lebensmitteldicke K-A-Sch-Typ3-KR
 -  Verteilung Lebensmitteldicke K-A-Sch-Typ3-RT
 -  Verteilung Lebensmitteldicke K-A-aS-OFw Typ1 OFw+UFh-KR
-
-  Verteilung Lebensmitteldicke W-A-aS-OFw Typ1 OFw+UFh-KR
 -  Verteilung Lebensmitteldicke W-A-aS-OFwTyp1 OFw+UFw-KR
 -  Verteilung Lebensmitteldicke W-A-aS-Typ3-KR
 -  Verteilung Lebensmitteldicke W-A-aS-Typ3-RT
 -  Verteilung Lebensmitteldicke W-A-aS-Typ12-HB-FrThk
 -  Verteilung Lebensmitteldicke W-A-aS-Typ12-HB-SbThk
 -  Verteilung Lebensmitteldicke W-A-aS-UFhTyp1 OFw+UFh-KR
 -  Verteilung Lebensmitteldicke W-A-aS-UFw Typ1 OFw+UFw-KR
 -  Verteilung Lebensmitteldicke W-A-Sch-OFw Typ1 OFw+UFh-KR
 -  Verteilung Lebensmitteldicke W-A-Sch-UFhTyp1 OFw+UFh-KR
-
-  Verteilung Lebensmitteldicke W-B-aS-OFwTyp1-OFw+UFw-KR
 -  Verteilung Lebensmitteldicke W-B-aS-OFwTyp1-OFw+UFw-RT
 -  Verteilung Lebensmitteldicke W-B-aS-UFwTyp1-OFw+UFw-RT
 -  Verteilung Lebensmitteldicke W-B-Sch-OFwTyp1-OFw+UFh-KR
 -  Verteilung Lebensmitteldicke W-B-Sch-OFwTyp1-OFw+UFw-KR
-
-  Verteilung Lebensmitteldicke W-C-aS-OFwTyp1-OFw+UFw-KR
 -  Verteilung Lebensmitteldicke W-C-aS-UFwTyp1-OFw+UFw-KR
 -  Verteilung Lebensmitteldicke W-C-Sch-OFwTyp1-OFw+UFh-KR

2) Listen der EXCEL-Dateien mit den Verteilungen der **Diffusionskoeffizienten**, DF, von CL und KKK in Käse- und Wurtswaren – generiert durch Abschätzungen mit der FABES-D Formel und Daten aus den EU-Projekten „Food Migrosure“ und „FACET“ sowie auch aus internen Daten von FABES.

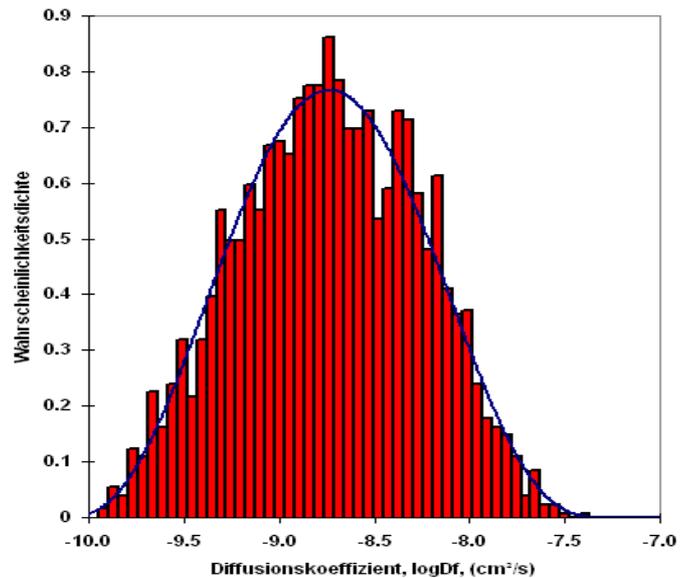


Abbildung 9-21: Verteilung DF-Caprolactam-K-A-KR

 Verteilung-DF-Caprolactam-K-A-KR
 Verteilung-DF-Caprolactam-K-A-RT

 Verteilung-DF-KKK-K-A-KR
 Verteilung-DF-KKK-K-A-RT

 Verteilung-DF-Caprolactam-W-A-HB
 Verteilung-DF-Caprolactam-W-A-KR
 Verteilung-DF-Caprolactam-W-A-PT
 Verteilung-DF-Caprolactam-W-A-RT

 Verteilung-DF-Caprolactam-W-B-HB
 Verteilung-DF-Caprolactam-W-B-KR
 Verteilung-DF-Caprolactam-W-B-RT

 Verteilung-DF-Caprolactam-W-C-KR
 Verteilung-DF-Caprolactam-W-C-RT

 Verteilung-DF-KKK-K-A-KR
 Verteilung-DF-KKK-K-A-RT

-  Verteilung-DF-KKK-W-A-HB
-  Verteilung-DF-KKK-W-A-KR
-  Verteilung-DF-KKK-W-A-PT
-  Verteilung-DF-KKK-W-A-RT

-  Verteilung-Df-KKK-W-B-KR
-  Verteilung-DF-KKK-W-B-RT

-  Verteilung-DF-KKK-W-C-KR
-  Verteilung-DF-KKK-W-C-RT

3) Listen der EXCEL-Dateien mit den Verteilungen der **Kontaktzeiten**, t , zwischen den Käse- und Wurstwaren und der Verpackungen – generiert anhand der Daten, die bei der Marktstudie im Rahmen des Projektes ermittelt wurden.

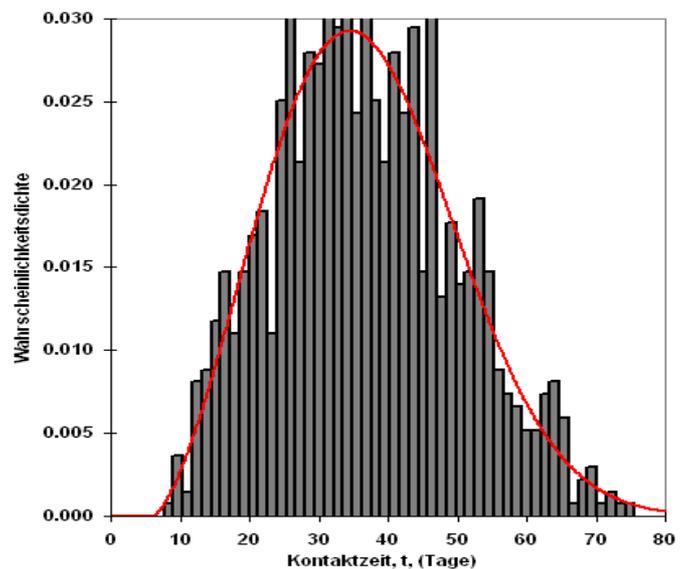


Abbildung 9-22:
Verteilung Kontaktzeit-K-A-aS-OFw Typ1-OFw+UFh-KR

-  Verteilung Kontaktzeit-K-A-aS-OFw Typ1-OFw+UFh-KR
-  Verteilung Kontaktzeit-K-A-aS-OFw Typ1-OFw+UFw-KR
-  Verteilung Kontaktzeit-K-A-aS-Typ3-KR
-  Verteilung Kontaktzeit-K-A-Sch-OFw Typ1-OFw+UFh-KR
-  Verteilung Kontaktzeit-K-A-Sch-Typ3-KR
-  Verteilung Kontaktzeit-K-A-Sch-Typ3-RT

-  Verteilung Kontaktzeit-W-A-aS-OFw Typ1-OFw+UFh-KR
-  Verteilung Kontaktzeit-W-A-aS-Typ3-KR
-  Verteilung Kontaktzeit-W-A-aS-Typ3-RT
-  Verteilung Kontaktzeit-W-A-aS-UFw Typ1-OFw+UFw-KR
-  Verteilung Kontaktzeit-W-A-aS-UFw Typ1-OFw+UFw-RT
-  Verteilung Kontaktzeit-W-A-Sch-OFw Typ1-OFw+UFh-KR

-  Verteilung-Kontaktzeit-W-B-a5-OFwTyp1-OFw+UFh-KR
-  Verteilung-Kontaktzeit-W-B-a5-OFwTyp1-OFw+UFw-KR
-  Verteilung-Kontaktzeit-W-B-a5-OFwTyp1-OFw+UFw-RT
-  Verteilung-Kontaktzeit-W-B-Sch-OFwTyp1-OFw+UFh-KR
-  Verteilung-Kontaktzeit-W-B-Sch-OFwTyp1-OFw+UFw-KR

-  Verteilung-Kontaktzeit-W-C-a5-OFwTyp1-OFw+UFw-KR
-  Verteilung-Kontaktzeit-W-C-a5-OFwTyp1-OFw+UFw-RT
-  Verteilung-Kontaktzeit-W-C-Sch-OFwTyp1-OFw+UFh-KR

4) Listen der EXCEL-Dateien mit den Verteilungen der **Schichtdicken**, dp, der Mehrschichtverpackungen der Käse- und Wurstwaren – generiert anhand der Daten, die bei der Marktstudie im Rahmen des Projektes ermittelt wurden.

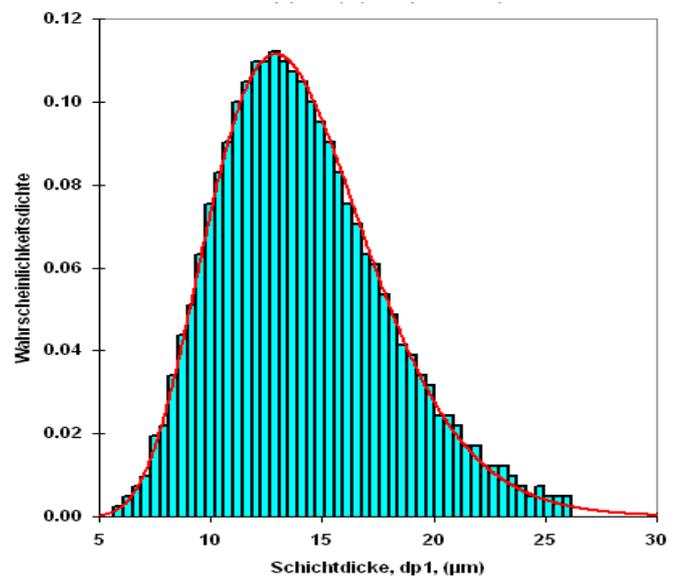


Abbildung 9-23:

Verteilung dp1-OFwTyp1-PP-KK-PE-K-A-OFw+UFs-KR

-  Verteilung dp1-OFwTyp1-PA-KK-PE-K-A-OFw+UFs-KR
-  Verteilung dp2-OFwTyp1-PA-KK-PE-K-A-OFw+UFs-KR
-  Verteilung dp3-OFwTyp1-PA-KK-PE-K-A-OFw+UFs-KR

-  Verteilung Schichtdicke dp1-OFw Typ1 PA-PE-K-A-KR
-  Verteilung Schichtdicke dp2-OFw Typ1 PA-PE-K-A-KR

-  Verteilung-dp1-UFwTyp1-PA-KK-PE-K-A-OFw+UFw-KR
-  Verteilung-dp2-UFwTyp1-PA-KK-PE-K-A-OFw+UFw-KR
-  Verteilung-dp3-UFwTyp1-PA-KK-PE-K-A-OFw+UFw-KR

-  Verteilung dp1-OFwTyp1-PA-KK-PE-K-A-OFw+UFs-KR
-  Verteilung dp2-OFwTyp1-PA-KK-PE-K-A-OFw+UFs-KR
-  Verteilung dp3-OFwTyp1-PA-KK-PE-K-A-OFw+UFs-KR

-  Verteilung Schichtdicke-dp1-Typ3-K-A-a5-PA-KK-PE-KR
-  Verteilung Schichtdicke-dp1-Typ3-K-A-a5-PA-KK-PE-RT
-  Verteilung Schichtdicke-dp2-Typ3-K-A-a5-PA-KK-PE-KR
-  Verteilung Schichtdicke-dp2-Typ3-K-A-a5-PA-KK-PE-RT
-  Verteilung Schichtdicke-dp3-Typ3-K-A-a5-PA-KK-PE-KR
-  Verteilung Schichtdicke-dp3-Typ3-K-A-a5-PA-KK-PE-RT

-  Verteilung-dp1-Typ3-K-A-a5-PA-PE-KR
-  Verteilung-dp1-Typ3-K-A-a5-PA-PE-RT
-  Verteilung-dp2-Typ3-K-A-a5-PA-PE-KR
-  Verteilung-dp2-Typ3-K-A-a5-PA-PE-RT

-  Verteilung-dp1-OFwTyp1-PA-KK-PE-W-A-OFw+UFh-KR
-  Verteilung-dp2-OFwTyp1-PA-KK-PE-W-A-OFw+UFw-KR
-  Verteilung-dp3-OFwTyp1-PA-KK-PE-W-A-OFw+UFw-KR

-  Verteilung-dp1-OFwTyp1-PA-PE-OFw+UFh-W-A-KR
-  Verteilung-dp2-OFwTyp1-PA-PE-OFw+UFw-W-A-KR
-  Verteilung Gesamtschichtdicke-OFwTyp1-W-A-KR
-  Verteilung-dp1-OFwTyp1-PA-KK-PE-W-A-KR
-  Verteilung-dp1-OFwTyp1-PA-PE-W-A-KR
-  Verteilung-dp2-OFwTyp1-PA-KK-PE-W-a-KR
-  Verteilung-dp2-OFwTyp1-PA-PE-W-A-KR
-  Verteilung-dp3-OFwTyp1-PA-KK-PE-W-A-KR

-  Verteilung-dp1-UFhTyp1-PA-KK-PE-W-A-OFw+UFh-KR
-  Verteilung-dp1-UFwTyp1-PA-KK-PE-W-A-OFw+UFw-KR
-  Verteilung-dp2-UFhTyp1-PA-KK-PE-W-A-OFw+UFh-KR
-  Verteilung-dp2-UFwTyp1-PA-KK-PE-W-A-OFw+UFw-KR
-  Verteilung-dp3-UFhTyp1-PA-KK-PE-W-A-OFw+UFh-KR
-  Verteilung-dp3-UFwTyp1-PA-KK-PE-W-A-OFw+UFw-KR

-  Verteilung-dp1-UFwTyp1-W-A-PA-PE-OFw+UFw-KR
-  Verteilung-dp2-UFwTyp1-W-A-PA-PE-OFw+UFw-KR

-  Verteilung Schichtdicke-dp1-Typ3-W-A-a5-PA-KK-PE-KR
-  Verteilung Schichtdicke-dp1-Typ3-W-A-a5-PA-KK-PE-RT
-  Verteilung Schichtdicke-dp2-Typ3-W-A-a5-PA-KK-PE-KR
-  Verteilung Schichtdicke-dp2-Typ3-W-A-a5-PA-KK-PE-RT
-  Verteilung Schichtdicke-dp3-Typ3-W-A-a5-PA-KK-PE-KR
-  Verteilung Schichtdicke-dp3-Typ3-W-A-a5-PA-KK-PE-RT

-  Verteilung-dp1-Typ3-W-A-a5-PA-PE-KR
-  Verteilung-dp1-Typ3-W-A-a5-PA-PE-RT
-  Verteilung-dp2-Typ3-W-A-a5-PA-PE-KR
-  Verteilung-dp2-Typ3-W-A-a5-PA-PE-RT

-  Verteilung-dp1-Typ12-W-A-PE-PA-PE-KR
-  Verteilung-dp2-Typ12-W-A-PE-PA-PE-KR

-  Verteilung-dp1-OFwTyp1-W-B-PA-KK-PE-OFw+UFs-KR+RT
-  Verteilung-dp2-OFwTyp1-W-B-PA-KK-PE-OFw+UFs-KR+RT
-  Verteilung-dp3-OFwTyp1-W-B-PA-KK-PE-OFw+UFs-KR+RT

-  Verteilung-dp1-OFwTyp1-W-B-PA-PE-OFw+UFs-KR+RT
-  Verteilung-dp2-OFwTyp1-W-B-PA-PE-OFw+UFs-KR+RT

-  Verteilung-dp1-UFwTyp1-PA-KK-PE-W-B-OFw+UFw-KR
-  Verteilung-dp2-UFwTyp1-PA-KK-PE-W-B-OFw+UFw-KR
-  Verteilung-dp3-UFwTyp1-PA-KK-PE-W-B-OFw+UFw-KR

-  Verteilung-dp1-UFwTyp1-W-B-PA-PE-OFw+UFw-KR
-  Verteilung-dp2-UFwTyp1-W-B-PA-PE-OFw+UFw-KR

-  Verteilung-dp1-OFwTyp1-W-C-PA-KK-PE-OFw+UFs-KR+RT
-  Verteilung-dp2-OFwTyp1-W-C-PA-KK-PE-OFw+UFs-KR+RT
-  Verteilung-dp3-OFwTyp1-W-C-PA-KK-PE-OFw+UFs-KR+RT

-  Verteilung-dp1-OFwTyp1-W-C-PA-PE-OFw+UFs-KR+RT
-  Verteilung-dp2-OFwTyp1-W-C-PA-PE-OFw+UFs-KR+RT

5) Listen der EXCEL-Dateien mit den Verteilungen der **Diffusionskoeffizienten**, D_p , von CL und KKK in den einzelnen Schichten der Käse -und Wurtwarenverpackungen – generiert durch Abschätzungen mit der FABES-D Formel und Daten aus dem EU-Projekt „FACET“ sowie auch aus internen Daten von FABES.

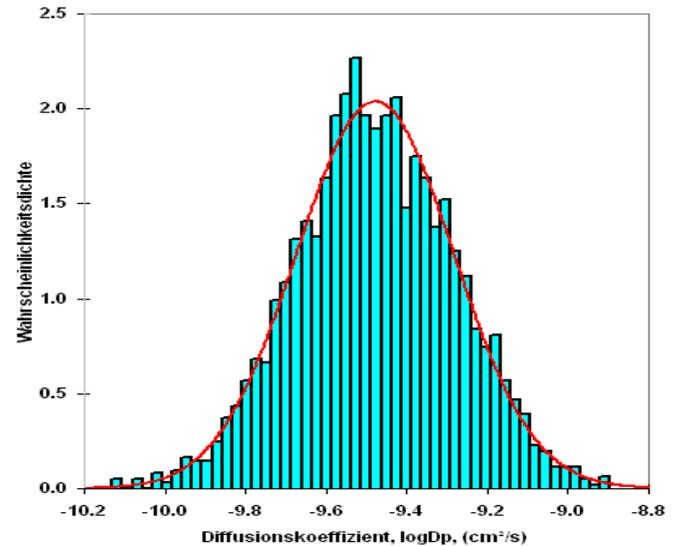


Abbildung 9-24: Verteilung D_p -Caprolactam-PA-KR

 Verteilung-Dp-Caprolactam-PA-KR
 Verteilung-Dp-Caprolactam-PE-KR
 Verteilung-Dp-Caprolactam-KK-KR

 Verteilung-Dp-Caprolactam-KK-RT
 Verteilung-Dp-Caprolactam-PA-RT
 Verteilung-Dp-Caprolactam-PE-RT

 Verteilung-Dp-Caprolactam-KK-PT
 Verteilung-Dp-Caprolactam-PA-PT
 Verteilung-Dp-Caprolactam-PE-PT

 Verteilung-Dp-Caprolactam-PA-HB
 Verteilung-Dp-Caprolactam-PE-HB

 Verteilung Dp-KKK-KK-KR
 Verteilung Dp-KKK-KK-PT
 Verteilung Dp-KKK-KK-RT
 Verteilung Dp-KKK-PA-KR
 Verteilung Dp-KKK-PA-PT
 Verteilung Dp-KKK-PA-RT
 Verteilung Dp-KKK-PE-KR
 Verteilung Dp-KKK-PE-PT
 Verteilung Dp-KKK-PE-RT
 Verteilung Dp-KKK-PET-KR
 Verteilung Dp-KKK-PET-PT
 Verteilung Dp-KKK-PET-RT
 Verteilung Dp-KKK-PP-KR
 Verteilung Dp-KKK-PP-PT
 Verteilung Dp-KKK-PP-RT

6) Listen der EXCEL-Dateien mit den Verteilungen der **Verteilungskoeffizienten**, K_{PP} , zwischen den einzelnen Schichten der Käse- und Wurstwaren-Verpackungen – generiert durch Abschätzungen mit der FABES-D Formel und Daten aus dem EU-Projekt „FACET“ sowie auch aus internen Daten von FABES.

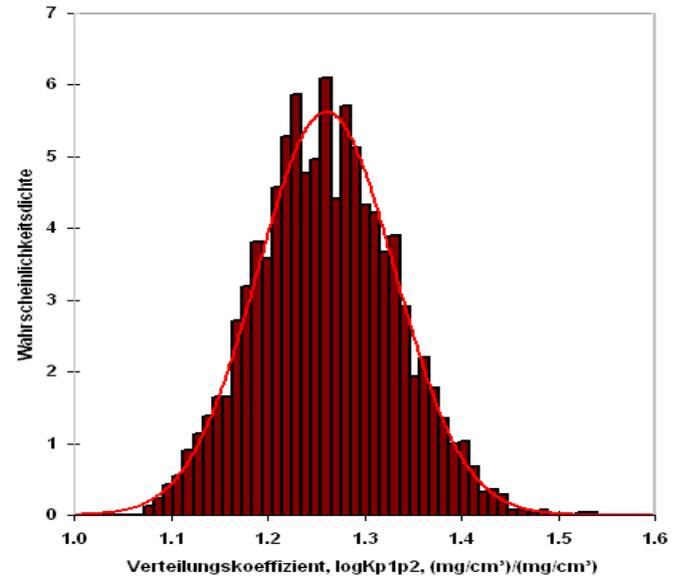


Abbildung 9-25: Verteilung Kp1p2-Caprolactam-PA-KK-PE-KR

 Verteilung-Kp1p2-Caprolactam-PA-KK-PE-KR

 Verteilung Kp1p2 Caprolactam PA-PE KR

 Verteilung-Kp2p3-Caprolactam-PA-KK-PE-KR

 Verteilung Kp1p2 Caprolactam PA-KK-PE PT

 Verteilung-Kp1p2-Caprolactam-PA-PE-PT

 Verteilung Kp2p3 Caprolactam PA-KK-PE PT

 Verteilung-Kp1p2-Caprolactam-PA-KK-PE RT

 Verteilung-Kp1p2-Caprolactam-PA-PE-RT

 Verteilung-Kp2p3-Caprolactam-PA-KK-PE-RT

 Verteilung Kp1p2 Caprolactam PA-PE-PA-HB

 Verteilung Kp2p3 Caprolactam PA-PE-PA-HB

 Verteilung Kp1p2-KKK-PA-KK-PE-KR

 Verteilung Kp1p2-KKK-PA-KK-PE-PT

 Verteilung Kp1p2-KKK-PA-KK-PE-RT

 Verteilung Kp2p3-KKK-PA-KK-PE-KR

 Verteilung Kp2p3-KKK-PA-KK-PE-PT

 Verteilung Kp2p3-KKK-PA-KK-PE-RT

 Verteilung-Kp1p2-KKK-PET-KK-PE-KR
 Verteilung-Kp1p2-KKK-PET-KK-PE-PT
 Verteilung-Kp1p2-KKK-PET-KK-PE-RT

 Verteilung Kp1p2-KKK-PP-KK-PE-KR
 Verteilung Kp1p2-KKK-PP-KK-PE-PT
 Verteilung Kp1p2-KKK-PP-KK-PE-RT
 Verteilung Kp2p3-KKK-PA-KK-PE-PT
 Verteilung Kp2p3-KKK-PP-KK-PE-KR
 Verteilung Kp2p3-KKK-PP-KK-PE-RT

7) Listen der EXCEL-Dateien mit den Verteilungen der **Verteilungskoeffizienten**, K_{PF} , zwischen der Kontaktschicht der Käse- und Wurstwaren-Verpackungen mit dem Lebensmittel – generiert durch Abschätzungen mit der FABES-D Formel und Daten aus dem EU-Projekt „Migresives“ sowie auch aus internen Daten von FABES.

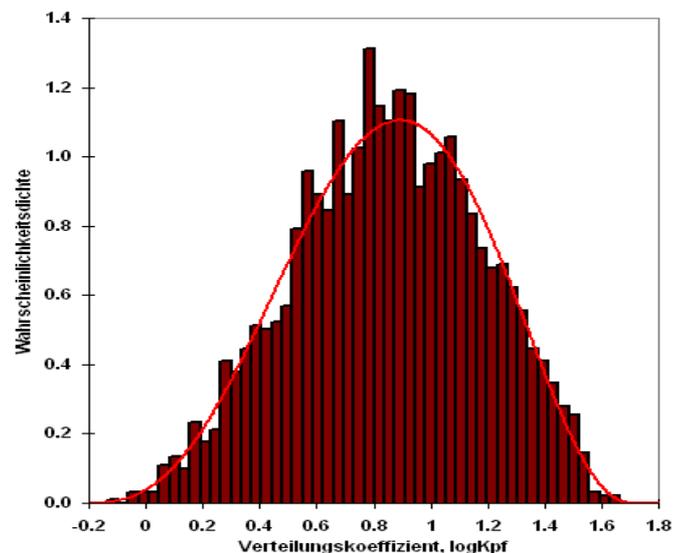


Abbildung 9-26: Verteilung Kpf-Caprolactam-PE-K-A-KR

 Verteilung Kpf Caprolactam PE-K-A-KR
 Verteilung Kpf Caprolactam PE-K-A-RT
 Verteilung Kpf Caprolactam PE-W-A-HB
 Verteilung Kpf Caprolactam PE-W-A-KR
 Verteilung Kpf Caprolactam PE-W-A-PT
 Verteilung Kpf Caprolactam PE-W-A-RT

 Verteilung Kpf-KKK-PE-W-A-KR
 Verteilung Kpf-KKK-PE-W-A-PT
 Verteilung Kpf-KKK-PE-W-A-RT
 Verteilung Kpf-KKK-PE-W-B-KR
 Verteilung Kpf-KKK-PE-W-B-PT
 Verteilung Kpf-KKK-PE-W-B-RT

 Verteilung Kpf Caprolactam PA-W-A-HB

 Verteilung Kpf-KKK-PE-W-C-KR
 Verteilung Kpf-KKK-PE-W-C-RT

8) Listen der EXCEL-Dateien mit den Verteilungen der **Konzentrationen** von Caprolactam (CL) bzw. Kaschierkleberkomponenten (KKK), Cpo, in den Schichten der Mehrschichtverpackungen der Käse- und Wurstwaren – generiert anhand der Daten der Marktstudie und anhand der chemischen Analysen von Verpackungen im Rahmen des Projektes.

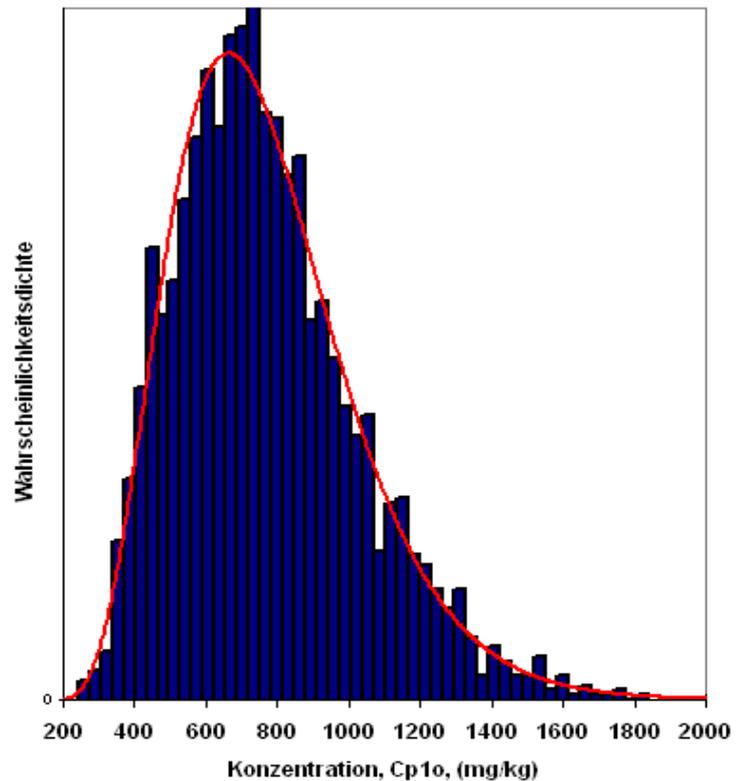


Abbildung 9-27: Verteilung Cpo1-Caprolactam-OFw Typ1-PA-KK-PE OFw+UFw-RT

a) Cpo-Verteilungen für Caprolactam in Käse-Verpackungen

-  Verteilung Cpo1-Caprolactam-OFw Typ1 PA-KK-PE OFw+UFs
-  Verteilung Cpo2-Caprolactam-OFw Typ1 PA-KK-PE OFw+UFs
-  Verteilung Cpo3-Caprolactam-OFw Typ1 PA-KK-PE OFw+UFs
-  Verteilung Cpo1 Caprolactam-OFwTyp1-PA-PE-OFw+UFs
-  Verteilung Cpo2 Caprolactam-OFwTyp1-PA-PE-OFw+UFs
-  Verteilung Cp1o-Caprolactam UFwTyp1-K-A-PA-KK-PE-OFw+UFw
-  Verteilung Cp2o-Caprolactam UFwTyp1-K-A-PA-KK-PE-OFw+UFw
-  Verteilung Cp3o-Caprolactam UFwTyp1-K-A-PA-KK-PE-OFw+UFw
-  Verteilung Cpo1-Caprolactam-UFwTyp1-K-A-PA-PE-OFw+UFwMFw
-  Verteilung Cpo2-Caprolactam-UFwTyp1-K-A-PA-PE-OFw+UFwMFw
-  Verteilung Cp1o-Caprolactam Typ3-K-A-PA-KK-PE-RT
-  Verteilung Cp2o-Caprolactam Typ3-K-A-PA-KK-PE-RT
-  Verteilung Cp3o-Caprolactam Typ3-K-A-PA-KK-PE-RT
-  Verteilung Cp1o-Caprolactam-Typ3-K-A-PA-PE-RT
-  Verteilung Cp2o-Caprolactam-Typ3-K-A-PA-PE-RT

b) Cpo-Verteilungen für Caprolactam in Wurst-Verpackungen

-  Verteilung Cpo1-Caprolactam-OFw Typ1 PA-KK-PE OFw+UFh-RT
-  Verteilung Cpo2-Caprolactam-OFw Typ1 PA-KK-PE OFw+UFh-RT
-  Verteilung Cpo3-Caprolactam-OFw Typ1 PA-KK-PE OFw+UFh-RT

-  Verteilung Cp1-Caprolactam-OFw Typ1 PA-KK-PE OFw+UFw-nachPT
-  Verteilung Cp2-Caprolactam-OFw Typ1 PA-KK-PE OFw+UFw-nachPT
-  Verteilung Cp3-Caprolactam-OFw Typ1 PA-KK-PE OFw+UFw-nachPT

-  Verteilung Cpo1 Caprolactam-OFw Typ1-PA-PE-OFw+UFw-RT
-  Verteilung Cpo2 Caprolactam-OFw Typ1-PA-PE-OFw+UFw-RT

-  Verteilung Cp1-Caprolactam-OFwTyp1-PA-PE-OFw+UFw-nachPT
-  Verteilung Cp2-Caprolactam-OFwTyp1-PA-PE-OFw+UFw-nachPT

-  Verteilung Cp1o-Caprolactam UFwTyp1-W-A-PA-KK-PE-OFw+UFw-RT
-  Verteilung Cp2o-Caprolactam UFwTyp1-W-A-PA-KK-PE-OFw+UFw-RT
-  Verteilung Cp3o-Caprolactam UFwTyp1-W-A-PA-KK-PE-OFw+UFw-RT
-  Verteilung Cp1-Caprolactam UFwTyp1-W-A-PA-KK-PE-OFw+UFw-nachPT
-  Verteilung Cp2-Caprolactam UFwTyp1-W-A-PA-KK-PE-OFw+UFw-nachPT
-  Verteilung Cp3-Caprolactam UFwTyp1-W-A-PA-KK-PE-OFw+UFw-nachPT
-  Verteilung Cpo1-Caprolactam-UFwTyp1-W-A-PA-PE-OFw+UFw-RT
-  Verteilung Cpo2-Caprolactam-UFwTyp1-W-A-PA-PE-OFw+UFw-RT

-  Verteilung Cp1-Caprolactam-UFwTyp1-W-A-PA-PE-OFw+UFw-nachPT
-  Verteilung Cp2-Caprolactam-UFwTyp1-W-A-PA-PE-OFw+UFw-nachPT

-  Verteilung Cp1o-Caprolactam Typ3-W-A-a5-PA-KK-PE-RT
-  Verteilung Cp2o-Caprolactam Typ3-W-A-a5-PA-KK-PE-RT
-  Verteilung Cp3o-Caprolactam Typ3-W-A-a5-PA-KK-PE-RT

-  Verteilung Cp1o-Caprolactam-Typ3-W-A-PA-PE-RT
-  Verteilung Cp2o-Caprolactam-Typ3-W-A-PA-PE-RT

-  Verteilung Cp1o-Caprolactam Typ12-W-A-PA-PE-PA
-  Verteilung Cp2o-Caprolactam Typ12-W-A-PA-PE-PA
-  Verteilung Cp3o-Caprolactam Typ12-W-A-PA-PE-PA

 Verteilung Cpo1-Caprolactam-OFwTyp1-W-B-PA-KK-PE-OFw+UFs-RT

 Verteilung Cpo2-Caprolactam-OFwTyp1-W-B-PA-KK-PE-OFw+UFs-RT

 Verteilung Cpo3-Caprolactam-OFwTyp1-W-B-PA-KK-PE-OFw+UFs-RT

 Verteilung Cpo1 Caprolactam in OFwTyp1-W-B-PA-PE-OFw+UFs-RT

 Verteilung Cpo2 Caprolactam in OFwTyp1-W-B-PA-PE-OFw+UFs-RT

 Verteilung Cp1o-Caprolactam UFwTyp1-W-B-PA-KK-PE-OFw+UFw-RT

 Verteilung Cp2o-Caprolactam UFwTyp1-W-B-PA-KK-PE-OFw+UFw-RT

 Verteilung Cp3o-Caprolactam UFwTyp1-W-B-PA-KK-PE-OFw+UFw-RT

 Verteilung Cpo1-Caprolactam-UFwTyp1-W-B-PA-PE-OFw+UFw-RT

 Verteilung Cpo2-Caprolactam-UFwTyp1-W-B-PA-PE-OFw+UFw-RT

 Verteilung Cpo1-Caprolactam-OFwTyp1-W-C-PA-KK-PE-OFw+UFs-RT

 Verteilung Cpo2-Caprolactam-OFwTyp1-W-C-PA-KK-PE-OFw+UFs-RT

 Verteilung Cpo3-Caprolactam-OFwTyp1-W-C-PA-KK-PE-OFw+UFs-RT

 Verteilung Cpo1 Caprolactam in OFwTyp1-W-C-PA-PE-OFw+UFs-RT

 Verteilung Cpo2 Caprolactam in OFwTyp1-W-C-PA-PE-OFw+UFs-RT

 Verteilung Cp1o-Caprolactam UFwTyp1-W-C-PA-KK-PE-OFw+UFw-RT

 Verteilung Cp2o-Caprolactam UFwTyp1-W-C-PA-KK-PE-OFw+UFw-RT

 Verteilung Cp3o-Caprolactam UFwTyp1-W-C-PA-KK-PE-OFw+UFw-RT

 Verteilung Cpo1-Caprolactam-UFwTyp1-W-C-PA-PE-OFw+UFw-RT

 Verteilung Cpo2-Caprolactam-UFwTyp1-W-C-PA-PE-OFw+UFw-RT

c) Cpo-Verteilungen für Kaschierkleberkomponenten in Käse-Verpackungen

 Verteilung Cp1o-KKK-OFwTyp1-PA-KK-PE-Käse-RT

 Verteilung Cp2o-KKK-OFwTyp1-PA-KK-PE-Käset-RT

 Verteilung Cp3o-KKK-OFwTyp1-PA-KK-PE-Käse-RT

 Verteilung Cpo1-KKK-OFwTyp1-PET-KK-PE-RT

 Verteilung Cpo2-KKK-OFwTyp1-PET-KK-PE-RT

 Verteilung Cpo3-KKK-OFwTyp1-PET-KK-PE-RT

-  Verteilung Cpo1-KKK-OFwTyp1-PP-KK-PE-RT
-  Verteilung Cpo2-KKK-OFwTyp1-PP-KK-PE-RT
-  Verteilung Cpo3-KKK-OFwTyp1-PP-KK-PE-RT

-  Verteilung Cp1o-KKK-UFwTyp1-PA-KK-PE-Käse-RT
-  Verteilung Cp2o-KKK-UFwTyp1-PA-KK-PE-Käse-RT
-  Verteilung Cp3o-KKK-UFwTyp1-PA-KK-PE-Käse-RT

-  Verteilung Cp1o-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-K-A-RT
-  Verteilung Cp2o-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-K-A-RT
-  Verteilung Cp3o-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-K-A-RT

-  Verteilung Cp1o-KKK-Typ3-PA-KK-PE-K-A-RT
-  Verteilung Cp2o-KKK-Typ3-PA-KK-PE-K-A-RT
-  Verteilung Cp3o-KKK-Typ3-PA-KK-PE-K-A-RT

-  Verteilung Cp1o-KKK-Typ3-PET-KK-PE-K-A-RT
-  Verteilung Cp2o-KKK-Typ3-PET-KK-PE-K-A-RT
-  Verteilung Cp3o-KKK-Typ3-PET-KK-PE-K-A-RT

-  Verteilung Cp1o-KKK-Typ3-PP-KK-PE-K-A-RT
-  Verteilung Cp2o-KKK-Typ3-PP-KK-PE-K-A-RT
-  Verteilung Cp3o-KKK-Typ3-PP-KK-PE-K-A-RT

d) Cpo-Verteilungen für Kaschierkleberkomponenten in Wurst-Verpackungen

-  Verteilung Cp1o-KKK-OFwTyp1-PA-KK-PE-W-A-RT
-  Verteilung Cp2o-KKK-OFwTyp1-PA-KK-PE-W-A-RT
-  Verteilung Cp3o-KKK-OFwTyp1-PA-KK-PE-W-A-RT

-  Verteilung Cpo1-KKK-OFwTyp1-PET-KK-PE-RT
-  Verteilung Cpo2-KKK-OFwTyp1-PET-KK-PE-RT
-  Verteilung Cpo3-KKK-OFwTyp1-PET-KK-PE-RT

 Verteilung Cp1-KKK-OFwTyp1-PA-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFh-nachPT
 Verteilung Cp1-KKK-OFwTyp1-PA-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFw-nachPT
 Verteilung Cp1-KKK-OFwTyp1-PA-KK-PE-W-A-Sch-OFw+UFh-nachPT
 Verteilung Cp2-KKK-OFwTyp1-PA-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFh-nachPT
 Verteilung Cp2-KKK-OFwTyp1-PA-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFw-nachPT
 Verteilung Cp2-KKK-OFwTyp1-PA-KK-PE-W-A-Sch-OFw+UFh-nachPT
 Verteilung Cp3-KKK-OFwTyp1-PA-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFh-nachPT
 Verteilung Cp3-KKK-OFwTyp1-PA-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFw-nachPT
 Verteilung Cp3-KKK-OFwTyp1-PA-KK-PE-W-A-Sch-OFw+UFh-nachPT

 Verteilung Cp1-KKK-OFwTyp1-PET-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFh-nachPT
 Verteilung Cp1-KKK-OFwTyp1-PET-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFw-nachPT
 Verteilung Cp1-KKK-OFwTyp1-PET-KK-PE-W-A-Sch-OFw+UFh-nachPT
 Verteilung Cp2-KKK-OFwTyp1-PET-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFh-nachPT
 Verteilung Cp2-KKK-OFwTyp1-PET-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFw-nachPT
 Verteilung Cp3-KKK-OFwTyp1-PET-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFh-nachPT
 Verteilung Cp3-KKK-OFwTyp1-PET-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFw-nachPT

 Verteilung Cpo1-KKK-OFwTyp1-PP-KK-PE-RT
 Verteilung Cpo2-KKK-OFwTyp1-PP-KK-PE-RT
 Verteilung Cpo3-KKK-OFwTyp1-PP-KK-PE-RT

 Verteilung-Cp1-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFh-nachPT
 Verteilung-Cp1-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFw-nachPT
 Verteilung-Cp1-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-A-Sch-OFw+UFh-nachPT
 Verteilung-Cp2-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFh-nachPT
 Verteilung-Cp2-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFw-nachPT
 Verteilung-Cp2-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-A-Sch-OFw+UFh-nachPT
 Verteilung-Cp3-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFh-nachPT
 Verteilung-Cp3-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFw-nachPT
 Verteilung-Cp3-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-A-Sch-OFw+UFh-nachPT

 Verteilung Cp1o-KKK-UFwTyp1-PA-KK-PE-W - A -RT
 Verteilung Cp2o-KKK-UFwTyp1-PA-KK-PE-W - A -RT
 Verteilung Cp3o-KKK-UFwTyp1-PA-KK-PE-W - A -RT

-  Verteilung Cp1-KKK-UFwTyp1-PA-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFw-nachPT
-  Verteilung Cp2-KKK-UFwTyp1-PA-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFw-nachPT
-  Verteilung Cp3-KKK-UFwTyp1-PA-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFw-nachPT

-  Verteilung Cp1o-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-W-A-a5-RT
-  Verteilung Cp1o-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-W-A-Sch-RT
-  Verteilung Cpo2-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-W-A-a5-RT
-  Verteilung Cpo2-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-W-A-Sch-RT
-  Verteilung Cpo3-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-W-A-a5-RT
-  Verteilung Cpo3-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-W-A-Sch-RT

-  Verteilung Cp1-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFh-nachPT
-  Verteilung Cp1-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-W-A-Sch-OFw+UFh-nachPT
-  Verteilung Cp2-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFh-nachPT
-  Verteilung Cp2-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-W-A-Sch-OFw+UFh-nachPT
-  Verteilung Cp3-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFh-nachPT
-  Verteilung Cp3-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-W-A-Sch-OFw+UFh-nachPT

-  Verteilung Cpo1-KKK-UFwTyp1 -W-A -PP-KK-PE-RT
-  Verteilung Cpo2-KKK-UFwTyp1 -W-A -PP-KK-PE-RT
-  Verteilung Cpo3-KKK-UFwTyp1 -W-A -PP-KK-PE-RT

-  Verteilung-Cp1-KKK-UFw-PP-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFw-nachPT
-  Verteilung-Cp2-KKK-UFw-PP-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFw-nachPT
-  Verteilung-Cp3-KKK-UFw-PP-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFw-nachPT

-  Verteilung Cp1o-KKK-Typ3-W-A-a5-PET-KK-PE-RT
-  Verteilung Cp2o-KKK-Typ3-W-A-a5-PET-KK-PE-RT
-  Verteilung Cp3o-KKK-Typ3-W-A-a5-PET-KK-PE-RT

-  Verteilung Cp1o-KKK-Typ3-W-A-a5-PET-KK-PE-RT
-  Verteilung Cp2o-KKK-Typ3-W-A-a5-PET-KK-PE-RT
-  Verteilung Cp3o-KKK-Typ3-W-A-a5-PET-KK-PE-RT

-  Verteilung Cp1-KKK-OFwTyp1-PA-KK-PE-W-B-aS-OFw+UFh-nachPT
-  Verteilung Cp1-KKK-OFwTyp1-PA-KK-PE-W-B-aS-OFw+UFw-nachPT
-  Verteilung Cp1-KKK-OFwTyp1-PA-KK-PE-W-B-Sch-OFw+UFh-nachPT
-  Verteilung Cp2-KKK-OFwTyp1-PA-KK-PE-W-B-aS-OFw+UFh-nachPT
-  Verteilung Cp2-KKK-OFwTyp1-PA-KK-PE-W-B-aS-OFw+UFw-nachPT
-  Verteilung Cp2-KKK-OFwTyp1-PA-KK-PE-W-B-Sch-OFw+UFh-nachPT
-  Verteilung Cp3-KKK-OFwTyp1-PA-KK-PE-W-B-aS-OFw+UFh-nachPT
-  Verteilung Cp3-KKK-OFwTyp1-PA-KK-PE-W-B-aS-OFw+UFw-nachPT
-  Verteilung Cp3-KKK-OFwTyp1-PA-KK-PE-W-B-Sch-OFw+UFh-nachPT

-  Verteilung Cpo1-KKK-OFwTyp1-W-B -PET-KK-PE-RT
-  Verteilung Cpo2-KKK-OFwTyp1-W-B -PET-KK-PE-RT
-  Verteilung Cpo3-KKK-OFwTyp1-W-B -PET-KK-PE-RT

-  Verteilung Cp1-KKK-OFwTyp1-PET-KK-PE-W-B-aS-OFw+UFh-nachPT
-  Verteilung Cp1-KKK-OFwTyp1-PET-KK-PE-W-B-aS-OFw+UFw-nachPT
-  Verteilung Cp1-KKK-OFwTyp1-PET-KK-PE-W-B-Sch-OFw+UFh-nachPT
-  Verteilung Cp2-KKK-OFwTyp1-PET-KK-PE-W-B-aS-OFw+UFh-nachPT
-  Verteilung Cp2-KKK-OFwTyp1-PET-KK-PE-W-B-aS-OFw+UFw-nachPT
-  Verteilung Cp3-KKK-OFwTyp1-PET-KK-PE-W-B-aS-OFw+UFh-nachPT
-  Verteilung Cp3-KKK-OFwTyp1-PET-KK-PE-W-B-aS-OFw+UFw-nachPT

-  Verteilung Cpo1-KKK-OFwTyp1-W-B -PP-KK-PE-RT
-  Verteilung Cpo2-KKK-OFwTyp1-W-B -PP-KK-PE-RT
-  Verteilung Cpo3-KKK-OFwTyp1-W-B -PP-KK-PE-RT

-  Verteilung-Cp1-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-B-aS-OFw+UFh-nachPT
-  Verteilung-Cp1-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-B-aS-OFw+UFw-nachPT
-  Verteilung-Cp1-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-B-Sch-OFw+UFh-nachPT
-  Verteilung-Cp2-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-B-aS-OFw+UFh-nachPT
-  Verteilung-Cp2-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-B-aS-OFw+UFw-nachPT
-  Verteilung-Cp2-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-B-Sch-OFw+UFh-nachPT
-  Verteilung-Cp3-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-B-aS-OFw+UFh-nachPT
-  Verteilung-Cp3-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-B-aS-OFw+UFw-nachPT
-  Verteilung-Cp3-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-B-Sch-OFw+UFh-nachPT

 Verteilung Cp1o-KKK-UFwTyp1-PA-KK-PE-W-B-RT

 Verteilung Cp2o-KKK-UFwTyp1-PA-KK-PE-W-B-RT

 Verteilung Cp3o-KKK-UFwTyp1-PA-KK-PE-W-B-RT

 Verteilung Cp1-KKK-UFwTyp1-PA-KK-PE-W-B-a5-OFw+UFw-nachPT

 Verteilung Cp2-KKK-UFwTyp1-PA-KK-PE-W-B-a5-OFw+UFw-nachPT

 Verteilung Cp3-KKK-UFwTyp1-PA-KK-PE-W-B-a5-OFw+UFw-nachPT

 Verteilung Cp1o-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-W-B-a5-RT

 Verteilung Cp1o-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-W-B-Sch-RT

 Verteilung Cpo2-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-W-B-a5-RT

 Verteilung Cpo2-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-W-B-Sch-RT

 Verteilung Cpo3-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-W-B-a5-RT

 Verteilung Cpo3-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-W-B-Sch-RT

 Verteilung Cp1-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-W-B-a5-OFw+UFh-nachPT

 Verteilung Cp1-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-W-B-Sch-OFw+UFh-nachPT

 Verteilung Cp2-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-W-B-a5-OFw+UFh-nachPT

 Verteilung Cp2-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-W-B-Sch-OFw+UFh-nachPT

 Verteilung Cp3-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-W-B-a5-OFw+UFh-nachPT

 Verteilung Cp3-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-W-B-Sch-OFw+UFh-nachPT

 Verteilung Cpo1-KKK-UFwTyp1-W-B-PP-KK-PE-RT

 Verteilung Cpo2-KKK-UFwTyp1-W-B-PP-KK-PE-RT

 Verteilung Cpo3-KKK-UFwTyp1-W-B-PP-KK-PE-RT

 Verteilung-Cp1-KKK-UFw-PP-KK-PE-W-B-a5-OFw+UFw-nachPT

 Verteilung-Cp2-KKK-UFw-PP-KK-PE-W-B-a5-OFw+UFw-nachPT

 Verteilung-Cp3-KKK-UFw-PP-KK-PE-W-B-a5-OFw+UFw-nachPT

 Verteilung Cpo1-KKK-OFwTyp1-W-C-PA-KK-PE-RT

 Verteilung Cpo2-KKK-OFwTyp1-W-C-PA-KK-PE-RT

 Verteilung Cpo3-KKK-OFwTyp1-W-C-PA-KK-PE-RT

 Verteilung Cpo1-KKK-OFwTyp1-W-C-PET-KK-PE-RT
 Verteilung Cpo2-KKK-OFwTyp1-W-C-PET-KK-PE-RT
 Verteilung Cpo3-KKK-OFwTyp1-W-C-PET-KK-PE-RT

 Verteilung Cpo1-KKK-OFwTyp1-W-C-PP-KK-PE-RT
 Verteilung Cpo2-KKK-OFwTyp1-W-C-PP-KK-PE-RT
 Verteilung Cpo3-KKK-OFwTyp1-W-C-PP-KK-PE-RT

9) Listen der EXCEL-Dateien mit den Verteilungen der **spezifischen Migrationen (SM)** von Caprolactam (CL) bzw. Kaschierkleberkomponenten (KKK) in die Käse- und Wurstwaren – generiert anhand von Daten, die mit dem GoldSim Programm berechnet wurden.

Anmerkung: Im Projekt sind 193 berechnete SM-Verteilungen zusammengefasst. Jede dieser Graphiken besteht aus 2500 SM-Werten, die mit der speziell dafür entwickelten Software in einem Monte-Carlo Verfahren berechnet wurden. Mit einem sehr leistungsfähigen PC dauert die Rechenzeit für jede einzelne dieser SM-Verteilungen zwischen 12 und 26 Stunden!

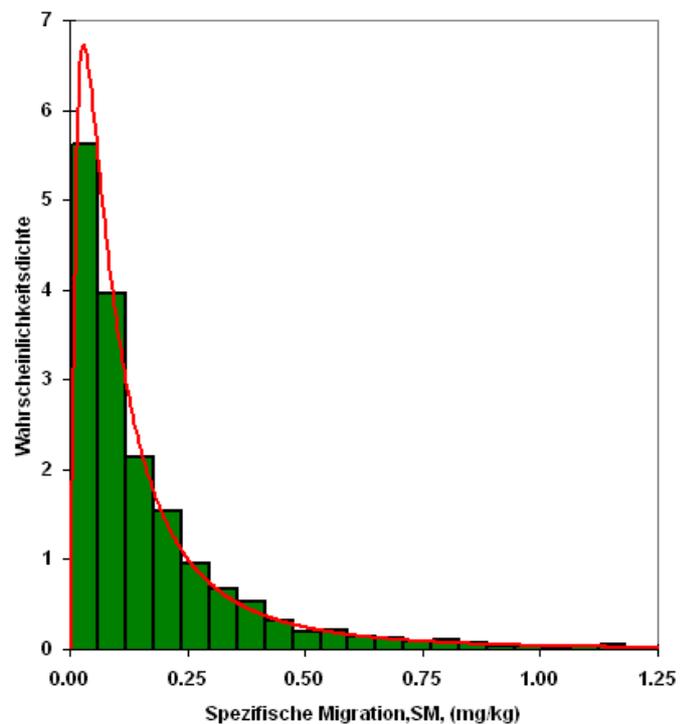


Abbildung 9-28: Verteilung SM Caprolactam-OFw Typ1-K-A-aS-PA-KK-PE-OFw+UFw-KR

a) SM-Verteilungen für Caprolactam in Käsewaren

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-K-A-aS-PA-KK-PE-OFw+UFh-KR
 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-K-A-aS-PA-KK-PE-OFw+UFw-KR
 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-K-A-Sch-PA-KK-PE-OFw+UFh-KR

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-K-A-aS-PA-PE-Ofw+Ufh-KR
 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-K-A-aS-PA-PE-Ofw+Ufw-KR
 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-K-A-Sch-PA-PE-Ofw+Ufh-KR

 Verteilung SM-Caprolactam-UFwTyp1-K-A-a5-PA-KK-PE-OFw+UFw-KR

 Verteilung SM-Caprolactam-UFwTyp1-K-A-a5-PA-PE-OFw+UFw-KR

 Verteilung SM-Caprolactam-Typ3-K-A-a5-PA-KK-PE-KR

 Verteilung SM-Caprolactam-Typ3-K-A-Sch-PA-KK-PE-KR

 Verteilung SM-Caprolactam-Typ3-W-A-Sch-PA-KK-PE-RT

 Verteilung SM-Caprolactam-Typ3-K-A-a5-PA-PE-KR

 Verteilung SM-Caprolactam-Typ3-K-A-Sch-PA-PE-KR

 Verteilung SM-Caprolactam-Typ3-K-A-Sch-PA-PE-RT

a) SM-Verteilungen für Caprolactam in Wurstwaren

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-A-a5-PA-KK-PE-OFw+UFh-KR

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-A-a5-PA-KK-PE-OFw+UFh-KR-nachPT

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-A-a5-PA-KK-PE-OFw+UFh-PT

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-A-a5-PA-KK-PE-OFw+UFw-KR

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-A-a5-PA-KK-PE-OFw+UFw-KR-nachPT

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-A-a5-PA-KK-PE-OFw+UFw-PT

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-A-a5-PA-KK-PE-OFw+UFw-RT

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-A-a5-PA-KK-PE-OFw+UFw-RT-nachPT

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-A-Sch-PA-KK-PE-OFw+UFh-KR

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-A-Sch-PA-KK-PE-OFw+UFh-KR-nachPT

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-A-Sch-PA-KK-PE-OFw+UFh-PT

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-A-a5-PA-PE-Ofw+Ufh-KR

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-A-a5-PA-PE-Ofw+Ufh-KR-nachPT

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-A-a5-PA-PE-Ofw+Ufh-PT

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-A-a5-PA-PE-Ofw+Ufw-KR

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-A-a5-PA-PE-Ofw+Ufw-KR-nachPT

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-A-a5-PA-PE-Ofw+Ufw-PT

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-A-a5-PA-PE-Ofw+Ufw-RT

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-A-a5-PA-PE-Ofw+Ufw-RT-nachPT

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-A-Sch-PA-PE-Ofw+Ufh-KR

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-A-Sch-PA-PE-Ofw+Ufh-KR-nachPT

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-A-Sch-PA-PE-Ofw+Ufh-PT

 Verteilung SM-Caprolactam-UFwTyp1-w-a-as-pa-kk-pe-ofw+ufw-ft-nachPT

 Verteilung SM-Caprolactam-UFwTyp1-W-A-as-PA-KK-PE-OFw+UFw-KR

 Verteilung SM-Caprolactam-UFwTyp1-w-a-as-pa-kk-pe-ofw+ufw-kr-nachPT

 Verteilung SM-Caprolactam-UFwTyp1-W-A-as-PA-KK-PE-OFw+UFw-PT

 Verteilung SM-Caprolactam-UFwTyp1-W-A-as-PA-KK-PE-OFw+UFw-RT

 Verteilung SM-Caprolactam-UFwTyp1-W-A-aS-PA-PE-OFw+UFw-KR

 Verteilung SM-Caprolactam-UFwTyp1-W-A-aS-PA-PE-OFw+UFw-KR-nachPT

 Verteilung SM-Caprolactam-UFwTyp1-W-A-aS-PA-PE-OFw+UFw-PT

 Verteilung SM-Caprolactam-UFwTyp1-W-A-aS-PA-PE-OFw+UFw-RT

 Verteilung SM-Caprolactam-UFwTyp1-W-A-aS-PA-PE-OFw+UFw-RT-nachPT

 Verteilung SM-Caprolactam-Typ3-W-A-aS-PA-KK-PE-KR

 Verteilung SM-Caprolactam-Typ3-W-A-aS-PA-KK-PE-RT

 Verteilung SM-Caprolactam-Typ3-W-A-aS-PA-PE-KR

 Verteilung SM-Caprolactam-Typ3-W-A-aS-PA-PE-RT

 Verteilung SM-Caprolactam-Typ12-W-A-aS-PA-PE-PA-HB

 Verteilung SM-Caprolactam-Typ12-W-A-aS-PA-PE-PA-HB-SbThk

 Verteilung SM-Caprolactam-Typ12-W-A-aS-PA-PE-PA-HB-FrThk

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-B-aS-PA-KK-PE-OFw+UFw-KR

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-B-aS-PA-KK-PE-OFw+UFw-RT

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-B-Sch-PA-KK-PE-OFw+UFh-KR

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-B-Sch-PA-KK-PE-OFw+UFw-KR

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-B-aS-PA-PE-Ofw+Ufw-KR

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-B-aS-PA-PE-Ofw+Ufw-RT

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-B-Sch-PA-PE-Ofw+Ufh-KR

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-B-Sch-PA-PE-Ofw+Ufw-KR

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-B-aS-PA-KK-PE-OFw+UFw-KR

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-B-aS-PA-KK-PE-OFw+UFw-RT

 Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-B-Sch-PA-KK-PE-OFw+UFw-KR

-  Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-B-a5-PA-PE-Ofw+Ufw-KR
-  Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-B-a5-PA-PE-Ofw+Ufw-RT
-  Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-B-Sch-PA-PE-Ofw+Ufw-KR

-  Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-C-a5-PA-KK-PE-Ofw+Ufw-KR
-  Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-C-a5-PA-KK-PE-Ofw+Ufw-RT
-  Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-C-Sch-PA-KK-PE-Ofw+Ufh-KR

-  Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-C-a5-PA-PE-Ofw+Ufw-KR
-  Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-C-a5-PA-PE-Ofw+Ufw-RT
-  Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-C-Sch-PA-PE-Ofw+Ufh-KR

-  Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-C-a5-PA-KK-PE-Ofw+Ufw-KR
-  Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-C-a5-PA-KK-PE-Ofw+Ufw-RT

-  Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-C-a5-PA-PE-Ofw+Ufw-KR
-  Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-C-a5-PA-PE-Ofw+Ufw-RT
-  Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-C-Sch-PA-PE-Ofw+Ufh-KR

-  Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-C-a5-PA-PE-Ofw+Ufw-KR
-  Verteilung SM-Caprolactam-OFwTyp1-W-C-a5-PA-PE-Ofw+Ufw-RT

c) SM-Verteilungen für Kaschierkleberkomponenten in Käsewaren

-  Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-K-A-a5-PA-KK-PE-Ofw+Ufh-KR
-  Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-K-A-a5-PA-KK-PE-Ofw+Ufw-KR
-  Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-K-A-Sch-PA-KK-PE-Ofw+Ufh-KR

-  Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-K-A-a5-PET-KK-PE-Ofw+Ufh-KR
-  Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-K-A-a5-PET-KK-PE-Ofw+Ufw-KR
-  Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-K-A-Sch-PET-KK-PE-Ofw+Ufh-KR

-  Verteilung SM-KKK-OFw-PP-KK-PE-K-A-a5-Ofw+Ufh-KR
-  Verteilung SM-KKK-OFw-PP-KK-PE-K-A-a5-Ofw+Ufw-KR
-  Verteilung SM-KKK-OFw-PP-KK-PE-K-A-Sch-Ofw+Ufh-KR

-  Verteilung-SM-KKK-UFwTyp1-PA-KK-PE-K-A-a5-OFw+UFw-KR
-  Verteilung-SM-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-K-A-a5-OFw+UFh-KR
-  Verteilung-SM-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-K-A-Sch-OFw+UFh-KR

-  Verteilung SM-KKK-Typ3-PA-KK-PE-K-A-a5-KR
-  Verteilung SM-KKK-Typ3-PA-KK-PE-K-A-Sch-KR
-  Verteilung SM-KKK-Typ3-PET-KK-PE-K-A-a5-KR
-  Verteilung SM-KKK-Typ3-PET-KK-PE-K-A-Sch-KR
-  Verteilung-SM-KKK-Typ3-PP-KK-PE-K-A-a5-KR
-  Verteilung-SM-KKK-Typ3-PP-KK-PE-K-A-Sch-KR

d) SM-Verteilungen für Kaschierkleberkomponenten in Wurstwaren

-  Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-A-a5-PA-KK-PE-OFw+UFh-KR
-  Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-A-a5-PA-KK-PE-OFw+UFh-KR-nachPT
-  Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-A-a5-PA-KK-PE-OFw+UFh-PT
-  Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-A-a5-PA-KK-PE-OFw+UFh-RT
-  Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-A-a5-PA-KK-PE-OFw+UFh-RT-nachPT
-  Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-A-a5-PA-KK-PE-OFw+UFw-KR
-  Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-A-a5-PA-KK-PE-OFw+UFw-KR-nachPT
-  Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-A-a5-PA-KK-PE-OFw+UFw-PT
-  Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-A-a5-PA-KK-PE-OFw+UFw-RT
-  Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-A-a5-PA-KK-PE-OFw+UFw-RT-nachPT
-  Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-A-Sch-PA-KK-PE-OFw+UFh-KR
-  Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-A-Sch-PA-KK-PE-OFw+UFh-KR-nachPT
-  Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-A-Sch-PA-KK-PE-OFw+UFh-PT
-  Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-A-Sch-PA-KK-PE-OFw+UFw-KR

-  Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-A-a5-PET-KK-PE-OFw+UFh-KR
-  Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-A-a5-PET-KK-PE-OFw+UFh-KR-nachPT
-  Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-A-a5-PET-KK-PE-OFw+UFh-PT
-  Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-A-a5-PET-KK-PE-OFw+UFh-RT
-  Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-A-a5-PET-KK-PE-OFw+UFh-RT-nachPT
-  Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-A-a5-PET-KK-PE-OFw+UFw-KR
-  Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-A-a5-PET-KK-PE-OFw+UFw-KR-nach PT
-  Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-A-a5-PET-KK-PE-OFw+UFw-PT
-  Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-A-a5-PET-KK-PE-OFw+UFw-RT
-  Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-A-a5-PET-KK-PE-OFw+UFw-RT-nachPT
-  Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-A-Sch-PET-KK-PE-OFw+UFh-KR
-  Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-A-Sch-PET-KK-PE-OFw+UFh-KR-nachPT
-  Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-A-Sch-PET-KK-PE-OFw+UFh-PT

-  Verteilung-SM-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFh-KR
-  Verteilung-SM-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFh-KR-nachPT
-  Verteilung-SM-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFh-PT
-  Verteilung-SM-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFh-RT
-  Verteilung-SM-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFh-RT-nachPT
-  Verteilung-SM-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFw-KR
-  Verteilung-SM-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFw-KR-nachPT
-  Verteilung-SM-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFw-PT
-  Verteilung-SM-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFw-RT
-  Verteilung-SM-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFw-RT-nachPT
-  Verteilung-SM-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-A-Sch-OFw+UFh-KR
-  Verteilung-SM-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-A-Sch-OFw+UFh-KR-nachPT
-  Verteilung-SM-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-A-Sch-OFw+UFh-PT

-  Verteilung-SM-KKK-UFwTyp1-PA-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFw-KR
-  Verteilung-SM-KKK-UFwTyp1-PA-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFw-KR-nachPT
-  Verteilung-SM-KKK-UFwTyp1-PA-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFw-PT
-  Verteilung-SM-KKK-UFwTyp1-PA-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFw-RT
-  Verteilung-SM-KKK-UFwTyp1-PA-KK-PE-W-A-a5-OFw+UFw-RT-nachPT

 Verteilung-SM-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-W-A-aS-OFw+UFh-KR
 Verteilung-SM-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-W-A-aS-OFw+UFh-KR-nachPT
 Verteilung-SM-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-W-A-aS-OFw+UFh-PT
 Verteilung-SM-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-W-A-aS-OFw+UFh-RT
 Verteilung-SM-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-W-A-aS-OFw+UFh-RT-nachPT
 Verteilung-SM-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-W-A-Sch-OFw+UFh-KR
 Verteilung-SM-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-W-A-Sch-OFw+UFh-KR-nachPT
 Verteilung-SM-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-W-A-Sch-OFw+UFh-PT

 Verteilung-SM-KKK-UFwTyp1-PP-KK-PE-OFw+UFw-KR
 Verteilung-SM-KKK-UFwTyp1-PP-KK-PE-OFw+UFw-KR-nachPT
 Verteilung-SM-KKK-UFwTyp1-PP-KK-PE-OFw+UFw-PT
 Verteilung-SM-KKK-UFwTyp1-PP-KK-PE-OFw+UFw-RT
 Verteilung-SM-KKK-UFwTyp1-PP-KK-PE-OFw+UFw-RT-nachPT

 Verteilung SM-KKK-Typ3-PET-KK-PE-W-A-aS-KR
 Verteilung SM-KKK-Typ3-PET-KK-PE-W-A-aS-RT

 Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-B-aS-PA-KK-PE-OFw+UFw-KR
 Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-B-aS-PA-KK-PE-OFw+UFw-RT
 Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-B-Sch-PA-KK-PE-OFw+UFh-KR
 Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-B-Sch-PA-KK-PE-OFw+UFw-KR

 Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-B-aS-PET-KK-PE-OFw+UFw-KR
 Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-B-aS-PET-KK-PE-OFw+UFw-RT
 Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-B-Sch-PET-KK-PE-OFw+UFh-KR
 Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-B-Sch-PET-KK-PE-OFw+UFw-KR

 Verteilung-SM-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-B-aS-OFw+UFw-KR
 Verteilung-SM-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-B-aS-OFw+UFw-RT
 Verteilung-SM-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-B-Sch-OFw+UFh-KR
 Verteilung-SM-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-B-Sch-OFw+UFw-KR

 Verteilung-SM-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-B-aS-OFw+UFw-KR
 Verteilung-SM-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-B-aS-OFw+UFw-RT
 Verteilung-SM-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-B-Sch-OFw+UFh-KR
 Verteilung-SM-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-B-Sch-OFw+UFw-KR

 Verteilung-SM-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-W-B-Sch-OFw+UFh-KR
 Verteilung-SM-KKK-UFwTyp1-PP-KK-PE-W-B-aS-OFw+UFw-KR
 Verteilung-SM-KKK-UFwTyp1-PP-KK-PE-W-B-aS-OFw+UFw-RT
 Verteilung-SM-KKK-UFwTyp1-PP-KK-PE-W-B-Sch-OFw+UFw-KR

 Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-C-aS-PA-KK-PE-OFw+UFw-KR
 Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-C-aS-PA-KK-PE-OFw+UFw-RT
 Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-C-Sch-PA-KK-PE-OFw+UFh-KR

 Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-C-aS-PET-KK-PE-OFw+UFw-KR
 Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-C-aS-PET-KK-PE-OFw+UFw-RT
 Verteilung SM-KKK-OFwTyp1-W-C-Sch-PET-KK-PE-OFw+UFh-KR

 Verteilung-SM-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-C-aS-OFw+UFw-KR
 Verteilung-SM-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-C-aS-OFw+UFw-RT
 Verteilung-SM-KKK-OFw-PP-KK-PE-W-C-Sch-OFw+UFh-KR

 Verteilung-SM-KKK-UFwTyp1-PA-KK-PE-W-B-Sch-OFw+UFw-KR
 Verteilung-SM-KKK-UFwTyp1-PA-KK-PE-W-C-aS-OFw+UFw-KR
 Verteilung-SM-KKK-UFwTyp1-PA-KK-PE-W-C-aS-OFw+UFw-RT

 Verteilung-SM-KKK-UFhTyp1-PET-KK-PE-W-C-Sch-OFw+UFh-KR
 Verteilung-SM-KKK-UFwTyp1-PP-KK-PE-W-C-aS-OFw+UFw-KR
 Verteilung-SM-KKK-UFwTyp1-PP-KK-PE-W-C-aS-OFw+UFw-RT

Tabelle 9-1: Übersicht der Ergebnisse des Modellings der spezifischen Migration von Caprolactam in Käse und Wurst (Teil 1)

Verp.-Typ	Aufbau der Verp.	Folien-Aufbau	Lager-Temperatur	Form von Füllgut	Wurst		Käse		Spezifische Migration [mg/kg]		Messwerte Migration EIOH 95%		Messwerte Migration reale Lemis (abgeleitet aus Nachweisgrenzen) Nachweisgrenze [mg/kg] bezogen auf ganzes Füllgut
					Füllgut	Spezifische Migration [mg/kg] Verteilungs-bereich	Maximum (ca.)	Füllgut	Spezifische Migration [mg/kg] Verteilungs-bereich	Maximum (ca.)	SM (reale Füllgutmenge)	SM (EU-Wurfe)	
1	Ofw+Ufh	PA/PE	KR	aS	W-A	0,0-1,8	0,275	K-A	0,0-2,0	0,122			keine Messwerte
1	Ofw+Ufh	PA/PE	KR nach PT	aS	W-A	0,0-0,7	0,025	-	-	-	-	-	-
1	Ofw+Ufh	PA/PE	PT	aS	W-A	0,0-7,5	0,950	-	-	-	-	-	-
1	Ofw+Ufh	PA/PE	KR	Sch	W-A	0,0-5,5	0,675	K-A	0,0-3,0	0,180			
1	Ofw+Ufh	PA/PE	KR nach PT	Sch	W-A	0,0-1,75	0,055	-	-	-	-	-	-
1	Ofw+Ufh	PA/PE	PT	Sch	W-A	0,0-35,0	2,300	-	-	-	-	-	-
1	Ofw+Ufw	PA/PE	KR	aS	W-A	0,0-1,8	0,115	K-A	0,0-1,4	0,132		0,7; 2,4	
1	Ofw+Ufw	PA/PE	KR nach PT	aS	W-A	0,0-0,5	0,015	-	-	-	-	-	-
1	Ofw+Ufw	PA/PE	PT	aS	W-A	0,0-5,0	0,520	-	-	-	-	2,3	-
1	Ofw+Ufw	PA/PE	RT	aS	W-A	0,0-5,5	0,450	-	-	-	-	-	-
1	Ofw+Ufw	PA/PE	RT nach PT	aS	W-A	0,0-2,5	0,150	-	-	-	-	-	-
1	Ofw+Ufh	PA/KK/PE	KR	aS	W-A	0,0-1,8	0,165	K-A	0,0-1,25	0,035			
1	Ofw+Ufh	PA/KK/PE	KR nach PT	aS	W-A	0,0-0,05	0,002	-	-	-	-	-	-
1	Ofw+Ufh	PA/KK/PE	PT	aS	W-A	0,0-2,8	0,360	-	-	-	-	-	-
1	Ofw+Ufh	PA/KK/PE	KR	Sch	W-A	0,0-3,5	0,435	K-A	0,0-2,0	0,057			
1	Ofw+Ufh	PA/KK/PE	KR nach PT	Sch	W-A	0,0-0,15	0,001	-	-	-	-	-	-
1	Ofw+Ufh	PA/KK/PE	PT	Sch	W-A	0,0-8,5	0,770	-	-	-	-	-	-
1	Ofw+Ufw	PA/KK/PE	KR	aS	W-A	0,0-1,20	0,085	K-A	0,0-1,0	0,040		0,1	
1	Ofw+Ufw	PA/KK/PE	KR nach PT	aS	W-A	0,0-0,05	0,005 (?)	-	-	-	-	-	-
1	Ofw+Ufw	PA/KK/PE	PT	aS	W-A	0,0-2,4	0,190	-	-	-	-	-	-
1	Ofw+Ufw	PA/KK/PE	RT	aS	W-A	0,0-1,75	0,175	-	-	-	-	-	-
1	Ofw+Ufw	PA/KK/PE	RT nach PT	aS	W-A	0,0-0,32	0,012	-	-	-	-	-	-
1	Ufw	PA/PE	KR	aS	W-A	0,0-3,8	0,485	K-A	0,0-0,8	0,037		0,5; 0,6	
1	Ufw	PA/PE	KR nach PT	aS	W-A	0,0-1,5	0,035	-	-	-	-	-	-
1	Ufw	PA/PE	PT	aS	W-A	0,0-16,0	2,200	-	-	-	-	5,7	2,3
1	Ufw	PA/PE	RT	aS	W-A	0,0-13,5	1,750	-	-	-	-	-	-
1	Ufw	PA/PE	RT nach PT	aS	W-A	0,025-6,0	0,340	-	-	-	-	-	-
1	Ufw	PA/KK/PE	KR	aS	W-A	0,3-2,8	0,730	K-A	0,0-2,8	0,140			
1	Ufw	PA/KK/PE	KR nach PT	aS	W-A	0,0-0,175	0,008	-	-	-	-	-	-
1	Ufw	PA/KK/PE	PT	aS	W-A	0,4-4,0	1,150	-	-	-	-	-	-
1	Ufw	PA/KK/PE	RT	aS	W-A	0,4-3,8	1,160	-	-	-	-	-	-
1	Ufw	PA/KK/PE	RT nach PT	aS	W-A	0,0-1,0	0,090	-	-	-	-	-	-
													0,23; 0,58; 0,8; 0,1; 1,7; 2,5; 2,6; 1,6; 2,1; 2,5; 3,8; 2,6; 4,9; 5,4; 4,3; 6,5; 13,5; 5,5; 5,8; 6,9; 7,7
12	Folie	PA/PE/PA	HB	aS	W-A	0,0-20,0	1,600	-	-	-	-	17,3	keine Messwerte
3	Folie	PA/PE	KR	aS	W-A	0,0-4,25	0,625	K-A	0,0-1,8	0,080			
3	Folie	PA/PE	RT	aS	W-A	0,0-15,0	1,850	-	-	-	-	-	-
3	Folie	PA/PE	KR	Sch	W-A	-	-	K-A	0,0-2,2	0,090			
3	Folie	PA/KK/PE	KR	aS	W-A	0,0-3,0	0,310	K-A	0,0-1,2	0,040		0,4; 3,3	0,3; 0,7
3	Folie	PA/KK/PE	RT	aS	W-A	0,0-5,5	1,000	-	-	-	-	-	-
3	Folie	PA/KK/PE	KR	Sch	W-A	-	-	K-A	0,0-2,0	0,055			

x = kein Wert für SM (reale Füllgutmenge)

Tabelle 9-2: Übersicht der Ergebnisse des Modellings der spezifischen Migration von Caprolactam in Käse und Wurst (Teil 2).

Verp.- Typ	Aufbau der Verp.	Folien- Aufbau	Lager- Temperatur	Form von Füllgut	Wurst	Käse		Spezifische Migration EIOH 95%		Messwerte Migration reale Lemis (abgeleitet aus Nachweisgrenzen) Nachweisgrenze [mg/kg] bezogen auf ganzes Füllgut	
						Spezifische Migration [mg/kg] Verteilungs- bereich	Maximum (ca.)	Spezifische Migration [mg/kg] Verteilungs- bereich	Maximum (ca.)		SM (reale Füllgutmenge)
Wurstwaren W-B und Käse K-B											
1	Ofw+Ufh	PA/PE	KR	Sch	W-B	0,0-6,0	0,550	-	-	-	-
1	Ofw+Ufw	PA/PE	KR	aS	W-B	0,0-0,7	0,135	-	-	0,2; 0,8	0,7; 2,4
1	Ofw+Ufh	PA/PE	KR	Sch	W-B	0,0-7,0	0,640	-	-	-	-
1	Ofw+Ufh	PA/PE	RT	aS	W-B	0,0-2,0	0,370	-	-	-	-
1	Ofw+Ufh	PA/KK/PE	KR	Sch	W-B	0,0-5,5	0,505	-	-	-	-
1	Ofw+Ufh	PA/KK/PE	KR	aS	W-B	0,0-0,7	0,085	-	-	x	0,1
1	Ofw+Ufh	PA/KK/PE	KR	Sch	W-B	0,0-5,5	0,510	-	-	-	-
1	Ofw+Ufh	PA/KK/PE	RT	aS	W-B	0,0-1,6	0,270	-	-	-	-
1	Ufw	PA/PE	KR	Sch	W-B	0,0-12,0	1,400	-	-	-	-
1	Ufw	PA/PE	KR	aS	W-B	0,0-1,2	0,190	-	-	0,5; 0,6	0,5; 0,6; 0,7
1	Ufw	PA/PE	RT	aS	W-B	0,0-8,0	1,150	-	-	-	-
1	Ufw	PA/KK/PE	KR	Sch	W-B	0,5-5,0	1,700	-	-	-	-
1	Ufw	PA/KK/PE	KR	aS	W-B	0,1-0,7	0,250	-	-	-	-
1	Ufw	PA/KK/PE	RT	aS	W-B	0,7-2,4	1,360	-	-	-	-
Wurstwaren W-C											
1	Ofw+Ufh	PA/PE	KR	Sch	W-C	0,0-6,0	1,100	-	-	-	-
1	Ofw+Ufh	PA/PE	KR	aS	W-C	0,0-2,25	0,125	-	-	0,2; 0,8	0,7; 2,4
1	Ofw+Ufh	PA/PE	RT	aS	W-C	0,0-3,5	0,285	-	-	-	-
1	Ofw+Ufh	PA/KK/PE	KR	Sch	W-C	0,0-4,5	0,610	-	-	-	-
1	Ofw+Ufh	PA/KK/PE	KR	aS	W-C	0,0-2,5	0,180	-	-	x	0,1
1	Ofw+Ufh	PA/KK/PE	RT	aS	W-C	0,0-3,5	0,360	-	-	-	-
1	Ufw	PA/PE	KR	aS	W-C	0,0-5,0	0,480	-	-	0,5; 0,6	0,5; 0,6; 0,7
1	Ufw	PA/PE	RT	aS	W-C	0,0-12,0	1,300	-	-	-	-
1	Ufw	PA/KK/PE	KR	aS	W-C	0,25-3,0	0,820	-	-	-	-
1	Ufw	PA/KK/PE	RT	aS	W-C	0,4-4,5	1,250	-	-	-	-

x = kein Wert für SM (reale Füllgutmenge)

keine Messwerte

Tabelle 9-3: Übersicht der Ergebnisse des Modellings der spezifischen Migration von Kaschierkleberkomponenten in Käse und Wurst (Teil 1).

Verp.-Typ	Aufbau der Verp.	Folien-Aufbau	Lager-Temperatur	Form von Füllgut	Wurst		Käse		Spezifische Migration [mg/kg]		Spezifische Migration EIOH 95% [mg/kg]		Messwerte Migration reale Lemis (abgeleitet aus Nachweisgrenzen) Nachweisgrenze [mg/kg] bezogen auf ganzes Füllgut
					Füllgut	Verteilungs-bereich	Maximum (ca.)	Füllgut	Verteilungs-bereich	Maximum (ca.)	SM (reale Füllgutmenge)	SM (EU-Würfel)	
					Wurstwaren W-A und Käse K-A								
1	Ofivr-Ufh	PA/KK/PE	KR nach PT	as	W-A	0.0-2.5	0.175	K-A	0.0-0.25	0.005			keine Messwerte
1	Ofivr-Ufh	PA/KK/PE	KR nach PT	as	W-A	0.0-0.075	0.006						
1	Ofivr-Ufh	PA/KK/PE	PT	as	W-A	0.0-5.2	0.480						
1	Ofivr-Ufh	PA/KK/PE	KR nach PT	Sch	W-A	0.0-6.0	0.360	K-A	0.0-0.35	0.007			
1	Ofivr-Ufh	PA/KK/PE	KR nach PT	Sch	W-A	0.0-0.21	0.011						
1	Ofivr-Ufh	PA/KK/PE	PT	Sch	W-A	0.0-14.0	0.840						
1	Ofivr-Ufiv	PA/KK/PE	KR	as	W-A	0.0-1.6	0.100	K-A	0.0-0.75	0.011	x	0.93	
1	Ofivr-Ufiv	PA/KK/PE	KR nach PT	as	W-A	0.0-0.068	0.005						
1	Ofivr-Ufiv	PA/KK/PE	PT	as	W-A	0.0-3.4	0.230						
1	Ofivr-Ufh	PA/KK/PE	RT	as	W-A	0.0-4.2	0.185						
1	Ofivr-Ufh	PA/KK/PE	RT nach PT	as	W-A	0.0-0.10	0.005						
1	Ofivr-Ufiv	PA/KK/PE	RT	as	W-A	0.0-3.5	0.160						
1	Ofivr-Ufiv	PA/KK/PE	RT nach PT	as	W-A	0.0-0.25	0.006						
1	Ofivr-Ufh	PET/KK/PE	KR	as	W-A	0.0-7.0	0.675	K-A	0.0-0.6	0.009	n.d.	n.d.	
1	Ofivr-Ufh	PET/KK/PE	KR nach PT	as	W-A	0.0-0.09	0.009						
1	Ofivr-Ufh	PET/KK/PE	PT	as	W-A	0.0-15.0	1.830						
1	Ofivr-Ufh	PET/KK/PE	KR	Sch	W-A	0.0-20.0	1.400	K-A	0.0-2.4	0.032	x	1.05	
1	Ofivr-Ufh	PET/KK/PE	KR nach PT	Sch	W-A	0.0-0.32	0.020						
1	Ofivr-Ufh	PET/KK/PE	PT	Sch	W-A	0.0-45	3.350						
1	Ofivr-Ufiv	PET/KK/PE	KR	as	W-A	0.0-5.5	0.350	K-A	0.0-5.0	0.065			
1	Ofivr-Ufiv	PET/KK/PE	KR nach PT	as	W-A	0.0-0.085	0.009						
1	Ofivr-Ufiv	PET/KK/PE	PT	as	W-A	0.0-10.0	0.825						
1	Ofivr-Ufh	PET/KK/PE	RT	as	W-A	0.0-28.0	2.850						
1	Ofivr-Ufh	PET/KK/PE	RT nach PT	as	W-A	0.0-0.50	0.040						
1	Ofivr-Ufiv	PET/KK/PE	RT	as	W-A	0.0-9.0	0.700						
1	Ofivr-Ufiv	PET/KK/PE	RT nach PT	as	W-A	0.0-0.105	0.010						
1	Ofivr-Ufh	PP/KK/PE	KR	as	W-A	0.0-6.5	0.755	K-A	0.0-1.0	0.011			
1	Ofivr-Ufh	PP/KK/PE	KR nach PT	as	W-A	0.0-0.12	0.013						
1	Ofivr-Ufh	PP/KK/PE	PT	as	W-A	0.0-16.5	2.700						
1	Ofivr-Ufh	PP/KK/PE	KR	Sch	W-A	0.0-18.0	1.460	K-A	0.0-1.2	0.009	n.d.	n.d.	
1	Ofivr-Ufh	PP/KK/PE	KR nach PT	Sch	W-A	0.0-0.36	0.032						
1	Ofivr-Ufh	PP/KK/PE	PT	Sch	W-A	0.0-50.0	5.000						
1	Ofivr-Ufiv	PP/KK/PE	KR	as	W-A	0.0-4.5	0.370	K-A	0.0-3.0	0.050			
1	Ofivr-Ufiv	PP/KK/PE	KR nach PT	as	W-A	0.0-0.09	0.007						
1	Ofivr-Ufiv	PP/KK/PE	PT	as	W-A	0.0-15.0	2.600						
1	Ofivr-Ufh	PP/KK/PE	RT	as	W-A	0.0-12.0	2.000						
1	Ofivr-Ufh	PP/KK/PE	RT nach PT	as	W-A	0.0-0.30	0.038						
1	Ofivr-Ufiv	PP/KK/PE	RT	as	W-A	0.0-10.0	0.965						
1	Ofivr-Ufiv	PP/KK/PE	RT nach PT	as	W-A	0.0-0.2	0.018						
1	Ufh	PA/KK/PE	KR	as	W-A	0.0-2.4	0.245	K-A	0.0-0.48	0.006			
1	Ufh	PA/KK/PE	KR nach PT	as	W-A	0.0-0.08	0.007						
1	Ufh	PA/KK/PE	PT	as	W-A	0.0-7.5	0.810						
1	Ufh	PA/KK/PE	RT	as	W-A	0.0-3.0	0.145						
1	Ufh	PA/KK/PE	RT nach PT	as	W-A	0.0-0.2	0.005						
1	Ufh	PET/KK/PE	KR	as	W-A	0.0-1.0	0.170	K-A	0.0-0.5	0.006			
1	Ufh	PET/KK/PE	KR nach PT	as	W-A	0.0-0.01	0.002						
1	Ufh	PET/KK/PE	PT	as	W-A	0.1-1.8	0.370						
1	Ufh	PET/KK/PE	KR	Sch	W-A	0.0-1.5	0.275	K-A	0.0-0.44	0.003	n.d.	n.d.	
1	Ufh	PET/KK/PE	KR nach PT	Sch	W-A	0.0-0.025	0.0032						
1	Ufh	PET/KK/PE	PT	Sch	W-A	0.2-3.6	0.575						
1	Ufh	PET/KK/PE	RT	as	W-A	0.2-1.4	0.330						
1	Ufh	PET/KK/PE	RT nach PT	as	W-A	0.0-0.0175	0.0035						
1	Ufh	PP/KK/PE	KR	as	W-A	0.0-0.8	0.090						
1	Ufh	PP/KK/PE	KR nach PT	as	W-A	0.0-0.018	0.0013						
1	Ufh	PP/KK/PE	PT	as	W-A	0.1-2.0	0.255						
1	Ufh	PP/KK/PE	RT	as	W-A	0.05-1.6	0.200						
1	Ufh	PP/KK/PE	RT nach PT	as	W-A	0.0-0.04	0.003						
3	Folie	PA/KK/PE	KR	as	W-A	-	-	K-A	0.0-1.15	0.006	0.37	0.33	
3	Folie	PP/KK/PE	KR	as	W-A	-	-	K-A	0.0-2.0	0.020			
3	Folie	PET/KK/PE	KR	as	W-A	0.5-25	4.600	K-A	0.0-1.9	0.016			
3	Folie	PA/KK/PE	KR	Sch	W-A	-	-	K-A	0.0-1.75	0.013			
3	Folie	PP/KK/PE	KR	Sch	W-A	-	-	K-A	0.0-1.55	0.013			
3	Folie	PET/KK/PE	KR	Sch	W-A	-	-	K-A	0.0-2.0	0.022			
3	Folie	PET/KK/PE	RT	as	W-A	2.5-45	11.000						

x = kein Wert für SM (reale Füllgutmenge)

Tabelle 9-4: Übersicht der Ergebnisse des Modellings der spezifischen Migration von Kaschierkleberkomponenten in Käse und Wurst (Teil 2).

Verp. Typ	Aufbau der Verp.	Folien- Aufbau	Lager- Temperatur	Form von Füllgut	Wurst Füllgut	Spezifische Migration [mg/kg]		Käse Füllgut		Spezifische Migration [mg/kg]	Messwerte Migration ETOH 95% [mg/kg]	Messwerte Migration reale Lemis (abgeleitet aus Nachweisgrenzen) [mg/kg] bezogen auf ganzes Füllgut
						Verteilungs- bereich	Maximum (ca.)	Verteilungs- bereich	Maximum (ca.)			
Wurstwaren W-A und Käse K-A												
1	Ofw+Ufh	PA/KK/PE	KR	Sch	W-B	0,0-6,8	0,420	-	-	-	-	keine Messwerte
1	Ofw+Ufv	PA/KK/PE	KR	aS	W-B	0,0-1,1	0,030	-	-	x	0,93	
1	Ofw+Ufh	PA/KK/PE	KR	Sch	W-B	0,0-8,0	0,515	-	-	-	-	
1	Ofw+Ufv	PA/KK/PE	RT	aS	W-B	0,0-1,8	0,105	-	-	-	-	
1	Ofw+Ufh	PET/KK/PE	KR	Sch	W-B	0,0-16,0	0,385	-	-	0,23	0,18	
1	Ofw+Ufv	PET/KK/PE	KR	aS	W-B	0,0-3,5	0,105	-	-	-	-	
1	Ofw+Ufh	PET/KK/PE	KR	Sch	W-B	0,0-12,0	0,530	-	-	-	-	
1	Ofw+Ufv	PET/KK/PE	RT	aS	W-B	0,0-6,0	0,490	-	-	-	-	
1	Ofw+Ufh	PP/KK/PE	KR	Sch	W-B	0,0-15,0	0,036	-	-	n.d.	n.d.	
1	Ofw+Ufv	PP/KK/PE	KR	aS	W-B	0,0-2,8	0,095	-	-	-	-	
1	Ofw+Ufh	PP/KK/PE	KR	Sch	W-B	0,0-14,0	0,450	-	-	-	-	
1	Ofw+Ufv	PP/KK/PE	RT	aS	W-B	0,0-3,0	0,095	-	-	-	-	
1	Ufv	PA/KK/PE	KR	Sch	W-B	0,0-3,6	0,095	-	-	-	-	
1	Ufh	PA/KK/PE	KR	aS	W-B	0,0-1,0	0,030	-	-	-	-	
1	Ufv	PA/KK/PE	RT	aS	W-B	0,0-2,7	0,145	-	-	-	-	
1	Ufh	PET/KK/PE	KR	Sch	W-B	0,0-1,8	0,075	-	-	-	-	
1	Ufv	PP/KK/PE	KR	Sch	W-B	0,0-3,8	0,205	-	-	-	-	
1	Ufh	PP/KK/PE	KR	aS	W-B	0,0-0,9	0,035	-	-	-	-	
1	Ufv	PP/KK/PE	RT	aS	W-B	0,0-1,6	0,315	-	-	-	-	
Wurstwaren W-C												
1	Ofw+Ufh	PA/KK/PE	KR	Sch	W-C	0,0-20,0	1,050	-	-	-	-	
1	Ofw+Ufv	PA/KK/PE	KR	aS	W-C	0,0-7,0	0,185	-	-	-	-	
1	Ofw+Ufh	PA/KK/PE	RT	aS	W-C	0,0-11,0	0,225	-	-	-	-	
1	Ofw+Ufv	PET/KK/PE	KR	Sch	W-C	0,0-48,0	3,750	-	-	-	-	
1	Ofw+Ufh	PET/KK/PE	KR	aS	W-C	0,0-32,0	0,835	-	-	-	-	
1	Ofw+Ufv	PET/KK/PE	RT	aS	W-C	0,0-36,0	0,940	-	-	-	-	
1	Ofw+Ufh	PP/KK/PE	KR	Sch	W-C	0,0-50,0	5,000	-	-	-	-	
1	Ofw+Ufv	PP/KK/PE	KR	aS	W-C	0,0-24,0	0,960	-	-	-	-	
1	Ofw+Ufh	PP/KK/PE	RT	aS	W-C	0,0-34,0	1,300	-	-	-	-	
1	Ufv	PA/KK/PE	KR	aS	W-C	0,0-5,0	0,400	-	-	-	-	
1	Ufh	PA/KK/PE	RT	aS	W-C	0,0-5,6	0,450	-	-	-	-	
1	Ufv	PET/KK/PE	KR	Sch	W-C	0,1-3,2	0,625	-	-	n.d.	n.d.	
1	Ufh	PP/KK/PE	KR	aS	W-C	0,2-2,8	0,590	-	-	-	-	
1	Ufv	PP/KK/PE	RT	aS	W-C	0,2-3,5	0,645	-	-	-	-	

x = kein Wert für SIM (reale Füllgutmenge)

9.5 Arbeitsschritt 5

Die große Menge von Daten, die in diesem Projekt durch direkte Marktstudien, Laborarbeiten, Auswertung von Datenbanken und theoretische Abschätzungen gesammelt wurden, dienen letztendlich der Abschätzung der Exposition (E) mit Caprolactam und Kaschierkleberkomponenten von verschiedenen bayerischen Verbrauchergruppen. Einer der Haupteingabeparameter für diese stochastischen Abschätzungen waren die im 9.4 gelisteten berechneten spezifischen Migrationen von CL und KKK. Ein weiterer Haupteingabeparameter für die stochastische Berechnung von E-Werten sind die Anteile, mit denen die einzelnen SM-Werte auf den Endverbraucher der Käse- und Wurstwaren wirken. Wie bereits erwähnt, wurden diese Anteile mit Hilfe der durchgeführten Marktstudien bestimmt und in EXCEL-Tabellen zusammengefasst. Eine Präsentation all dieser Tabellen in diesem Anhang ist, aus Platzgründen - kaum möglich. Somit erfolgt auch in diesem Fall nur eine Auflistung der EXCEL-Dateien, in denen diese Anteile erfasst sind.

Um die Gesamtexposition der Bayerischen Verbraucher ermitteln zu können, wurden im Projekt eine große Anzahl von Teilexpositionen berechnet, welche dann mit stochastischen Methoden addiert wurden. Sowohl die Gesamt- als auch die Teilexpositionen präsentieren sich als stochastische Verteilungen zwischen einem Minimal- und einem Maximalwert. All diese Verteilungen in graphischer Form in diesem Anhang zu präsentieren ist ebenso nicht möglich.. Somit erfolgt auch in diesem Fall nachfolgend eine Auflistung der EXCEL-Dateien für diese Expositionsverteilungen.

- 1) Listen der EXCEL-Dateien mit den Anteilen der spezifischen Migrationen (SM) von Caprolactam (CL) bzw. Kaschierkleberkomponenten (KKK) in den Käse- und Wurstwaren – anhand von Daten aus der Marktstudie.

Tabelle 9-5: Anteile für die Berechnung der Exposition Caprolactam-K-A-Ofw-PA-KK-PE

Spezifische Migration	ID	Anteil Wurst-Varca		Anteil Verpackungstyp		Anteil Folientyp		Anteil Aufbau-Lebensmittel		Anteil Temperatur Konditionen						
		A/W	V	AVPG	AVPS	AF	AAF	KR	RT	PT	ATK-A	ATK-B	ATK			
											(%)					
SM-KKK-OfwTyp1-PA-KK-PE-W-A-aS-Ofw-UfH-KR	SM1	83.5	W-A	67.4	Typ 1	67.4	Ofw->UfH	70.4	PA-KK-PE	24.2	aS	21.0	KR	97.8	97.0	94.9
SM-KKK-OfwTyp1-PA-KK-PE-W-A-aS-Ofw-UfH-RT	SM2	83.5	W-A	67.4	Typ 1	67.4	Ofw->UfH	70.4	PA-KK-PE	24.2	aS	100.0	RT	2.2	97.0	2.1
SM-KKK-OfwTyp1-PA-KK-PE-W-A-aS-Ofw-UfW-KR	SM3	83.5	W-A	67.4	Typ 1	67.4	Ofw->UfW	29.6	PA-KK-PE	24.2	aS	99.0	KR	92.5	97.0	89.7
SM-KKK-OfwTyp1-PA-KK-PE-W-A-aS-Ofw-UfW-RT	SM4	83.5	W-A	67.4	Typ 1	67.4	Ofw->UfW	29.6	PA-KK-PE	24.2	aS	100.0	RT	7.5	97.0	7.3
SM-KKK-OfwTyp1-PA-KK-PE-W-A-Sch-Ofw-UfH-KR	SM5	83.5	W-A	67.4	Typ 1	67.4	Ofw->UfH	70.4	PA-KK-PE	24.2	Sch	79.0	KR	97.8	97.0	94.9
SM-KKK-OfwTyp1-PA-KK-PE-W-A-aS-Ofw-UfH-PT	SM6	83.5	W-A	67.4	Typ 1	67.4	Ofw->UfH	70.4	PA-KK-PE	24.2	aS	100.0	PT	3.0	100.0	3.0
SM-KKK-OfwTyp1-PA-KK-PE-W-A-aS-Ofw-UfH-KR-aachPT	SM7	83.5	W-A	67.4	Typ 1	67.4	Ofw->UfH	70.4	PA-KK-PE	24.2	aS	21.0	PT+KR	3.0	97.8	2.9
SM-KKK-OfwTyp1-PA-KK-PE-W-A-aS-Ofw-UfH-RT-aachPT	SM8	83.5	W-A	67.4	Typ 1	67.4	Ofw->UfH	70.4	PA-KK-PE	24.2	aS	100.0	PT+RT	3.0	2.2	0.1
SM-KKK-OfwTyp1-PA-KK-PE-W-A-aS-Ofw-UfW-PT	SM9	83.5	W-A	67.4	Typ 1	67.4	Ofw->UfW	29.6	PA-KK-PE	24.2	aS	100.0	PT	3.0	100.0	3.0
SM-KKK-OfwTyp1-PA-KK-PE-W-A-aS-Ofw-UfW-KR-aachPT	SM10	83.5	W-A	67.4	Typ 1	67.4	Ofw->UfW	29.6	PA-KK-PE	24.2	aS	99.0	PT+KR	3.0	92.5	2.8
SM-KKK-OfwTyp1-PA-KK-PE-W-A-aS-Ofw-UfW-RT-aachPT	SM11	83.5	W-A	67.4	Typ 1	67.4	Ofw->UfW	29.6	PA-KK-PE	24.2	aS	100.0	PT+RT	3.0	7.5	0.2
SM-KKK-OfwTyp1-PA-KK-PE-W-A-Sch-Ofw-UfH-PT	SM12	83.5	W-A	67.4	Typ 1	67.4	Ofw->UfH	70.4	PA-KK-PE	24.2	Sch	100.0	PT	3.0	100.0	3.0
SM-KKK-OfwTyp1-PA-KK-PE-W-A-Sch-Ofw-UfH-KR-aachPT	SM13	83.5	W-A	67.4	Typ 1	67.4	Ofw->UfH	70.4	PA-KK-PE	24.2	Sch	79.0	PT+KR	3.0	97.8	2.9

-  Anteile für Exposition Caprolactam K-A OFw PA-KK-PE
-  Anteile für Exposition Caprolactam K-A OFw PA-KK-PE-1
-  Anteile für Exposition Caprolactam K-A OFw PA-PE
-  Anteile für Exposition Caprolactam K-A OFw PA-PE-1
-  Anteile für Exposition Caprolactam K-A Typ3 PA-KK-PE
-  Anteile für Exposition Caprolactam K-A Typ3 PA-PE
-  Anteile für Exposition Caprolactam K-A Typ3 PA-PE-1
-  Anteile für Exposition Caprolactam K-A Ufw PA-KK-PE
-  Anteile für Exposition Caprolactam K-A Ufw PA-KK-PE-1
-  Anteile für Exposition Caprolactam K-A Ufw PA-PE
-  Anteile für Exposition Caprolactam K-A Ufw PA-PE-1

-  Anteile für Exposition KKK K-A Typ 1 OFw PA-KK-PE
-  Anteile für Exposition KKK K-A Typ 1 OFw PET-KK-PE
-  Anteile für Exposition KKK K-A Typ 1 OFw PP-KK-PE
-  Anteile für Exposition KKK K-A Typ 1 Ufh PET-KK-PE
-  Anteile für Exposition KKK K-A Typ 1 Ufw PA-KK-PE
-  Anteile für Exposition KKK K-A Typ 3 PA-KK-PE
-  Anteile für Exposition KKK K-A Typ 3 PET-KK-PE
-  Anteile für Exposition KKK K-A Typ 3 PP-KK-PE

-  Anteile für Exposition Caprolactam OFwTyp1-PA-KK-PE-W-A
-  Anteile für Exposition Caprolactam OFwTyp1-PA-KK-PE-W-B
-  Anteile für Exposition Caprolactam OFwTyp1-PA-KK-PE-W-C
-  Anteile für Exposition Caprolactam OFwTyp1-PA-PE-W-A
-  Anteile für Exposition Caprolactam OFwTyp1-PA-PE-W-B
-  Anteile für Exposition Caprolactam OFwTyp1-PA-PE-W-C
-  Anteile für Exposition Caprolactam Typ3-PA-KK-PE-W-A
-  Anteile für Exposition Caprolactam Typ3-PA-PE-W-A
-  Anteile für Exposition Caprolactam Typ12-PA-PE-PA-W-A
-  Anteile für Exposition Caprolactam Typ12-PA-PE-PA-W-A-FrThk
-  Anteile für Exposition Caprolactam Typ12-PA-PE-PA-W-A-SbThk
-  Anteile für Exposition Caprolactam UfwTyp1-PA-KK-PE-W-A
-  Anteile für Exposition Caprolactam UfwTyp1-PA-KK-PE-W-B
-  Anteile für Exposition Caprolactam UfwTyp1-PA-KK-PE-W-C
-  Anteile für Exposition Caprolactam UfwTyp1-PA-PE-W-A
-  Anteile für Exposition Caprolactam UfwTyp1-PA-PE-W-B
-  Anteile für Exposition Caprolactam UfwTyp1-PA-PE-W-C

-  Anteile für Exposition KKK W-A Typ3 PET-KK-PE
-  Anteile für Exposition KKK W-A Typ 1 OFw PA-KK-PE
-  Anteile für Exposition KKK W-A Typ 1 OFw PET-KK-PE
-  Anteile für Exposition KKK W-A Typ 1 OFw PP-KK-PE
-  Anteile für Exposition KKK W-A Typ 1 UFh PET-KK-PE
-  Anteile für Exposition KKK W-A Typ 1 UFw PA-KK-PE
-  Anteile für Exposition KKK W-A Typ 1 UFw PP-KK-PE

-  Anteile für Exposition KKK W-B Typ 1 OFw PA-KK-PE
-  Anteile für Exposition KKK W-B Typ 1 OFw PET-KK-PE
-  Anteile für Exposition KKK W-B Typ 1 OFw PP-KK-PE
-  Anteile für Exposition KKK W-B Typ 1 UFh PET-KK-PE
-  Anteile für Exposition KKK W-B Typ 1 UFw PA-KK-PE
-  Anteile für Exposition KKK W-B Typ 1 UFw PP-KK-PE

-  Anteile für Exposition KKK W-C Typ 1 OFw PA-KK-PE
-  Anteile für Exposition KKK W-C Typ 1 OFw PET-KK-PE
-  Anteile für Exposition KKK W-C Typ 1 OFw PP-KK-PE
-  Anteile für Exposition KKK W-C Typ 1 UFh PET-KK-PE
-  Anteile für Exposition KKK W-C Typ 1 UFw PA-KK-PE
-  Anteile für Exposition KKK W-C Typ 1 UFw PP-KK-PE

2) Listen der EXCEL-Dateien mit den abgeschätzten Expositionen mit Caprolactam (CL) bzw. Kaschierkleberkomponenten (KKK) von verschiedenen bayerischen Verbrauchergruppen.

-  Verteilung-Exposition-F-18-24-Caprolactam-KA-Typ3-PA-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-F-18-24-Caprolactam-KA-Typ3-PA-KK-PE-1
-  Verteilung-Exposition-F-18-24-Caprolactam-KA-Typ3-PA-PE
-  Verteilung-Exposition-F-18-24-Caprolactam-KA-Typ3-PA-PE-1
-  Verteilung-Exposition-F-18-24-Caprolactam-KA-UFw-PA-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-F-18-24-Caprolactam-KA-UFw-PA-KK-PE-1
-  Verteilung-Exposition-F-18-24-Caprolactam-KA-UFw-PA-PE
-  Verteilung-Exposition-F-18-24-Caprolactam-KA-UFw-PA-PE-1
-  Verteilung-TotalExposition-F-18-24-Caprolactam-K-A
-  Verteilung-TotalExposition-F-18-24-Caprolactam-K-A-1
-  Verteilung-Exposition-F-18-24-Caprolactam-KA-OFw-PA-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-F-18-24-Caprolactam-KA-OFw-PA-KK-PE-1
-  Verteilung-Exposition-F-18-24-Caprolactam-KA-OFw-PA-PE
-  Verteilung-Exposition-F-18-24-Caprolactam-KA-OFw-PA-PE-1

-  Verteilung EXP4-Caprolactam-K-A
-  Verteilung EXP5-Caprolactam-K-A
-  Verteilung EXP6-Caprolactam-K-A
-  Verteilung Exposition-Caprolactam-F-50-64-K-A-OFw PA-KK-PE-1
-  Verteilung Exposition-Caprolactam-F-50-64-K-A-OFw PA-PE-1
-  Verteilung Exposition-Caprolactam-F-50-64-K-A-Typ1 UFw PA-KK-PE-1
-  Verteilung Exposition-Caprolactam-F-50-64-K-A-Typ1 UFw PA-PE-1
-  Verteilung Exposition-Caprolactam-F-50-64-K-A-Typ3 PA-KK-PE-1
-  Verteilung Exposition-Caprolactam-F-50-64-K-A-Typ3 PA-PE-1
-  Verteilung Total EXP-Caprolactam-K-A
-  Verteilung Total Exposition-Caprolactam-F-50-64-1

-  Verteilung-Exposition-F-Land-18-24-Caprolactam-K-A-Typ3-PA-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-F-Land-18-24-Caprolactam-K-A-Typ3-PA-KK-PE-1
-  Verteilung-Exposition-F-Land-18-24-Caprolactam-K-A-Typ3-PA-PE
-  Verteilung-Exposition-F-Land-18-24-Caprolactam-K-A-Typ3-PA-PE-1
-  Verteilung-Exposition-F-Land-18-24-Caprolactam-K-A-UFw-PA-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-F-Land-18-24-Caprolactam-K-A-UFw-PA-KK-PE-1
-  Verteilung-Exposition-F-Land-18-24-Caprolactam-K-A-UFw-PA-PE
-  Verteilung-Exposition-F-Land-18-24-Caprolactam-K-A-UFw-PA-PE-1
-  Verteilung-TotalExposition-F-Land-18-24-Caprolactam-K-A
-  Verteilung-TotalExposition-F-Land-18-24-Caprolactam-K-A-1
-  Verteilung-Exposition-F-Land-18-24-Caprolactam-K-A-OFw-PA-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-F-Land-18-24-Caprolactam-K-A-OFw-PA-KK-PE-1
-  Verteilung-Exposition-F-Land-18-24-Caprolactam-K-A-OFw-PA-PE
-  Verteilung-Exposition-F-Land-18-24-Caprolactam-K-A-OFw-PA-PE-1
-  Verteilung-Exposition-F-Land-25-50-Caprolactam-K-A-Typ3-PA-KK-PE-1
-  Verteilung-Exposition-F-Land-25-50-Caprolactam-K-A-Typ3-PA-PE
-  Verteilung-Exposition-F-Land-25-50-Caprolactam-K-A-Typ3-PA-PE-1
-  Verteilung-Exposition-F-Land-25-50-Caprolactam-K-A-UFw-PA-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-F-Land-25-50-Caprolactam-K-A-UFw-PA-KK-PE-1
-  Verteilung-Exposition-F-Land-25-50-Caprolactam-K-A-UFw-PA-PE
-  Verteilung-Exposition-F-Land-25-50-Caprolactam-K-A-UFw-PA-PE-1
-  Verteilung-TotalExposition-F-Land-25-50-Caprolactam-K-A
-  Verteilung-TotalExposition-F-Land-25-50-Caprolactam-K-A-1
-  Verteilung-Exposition-F-Land-25-50-Caprolactam-K-A-OFw-PA-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-F-Land-25-50-Caprolactam-K-A-OFw-PA-KK-PE-1
-  Verteilung-Exposition-F-Land-25-50-Caprolactam-K-A-OFw-PA-PE
-  Verteilung-Exposition-F-Land-25-50-Caprolactam-K-A-OFw-PA-PE-1
-  Verteilung-Exposition-F-Land-25-50-Caprolactam-K-A-Typ3-PA-KK-PE

-  Verteilung-Exposition-F-Stadt-18-24-Caprolactam-K-A-Typ3-PA-KK-PE-1
-  Verteilung-Exposition-F-Stadt-18-24-Caprolactam-K-A-Typ3-PA-PE
-  Verteilung-Exposition-F-Stadt-18-24-Caprolactam-K-A-Typ3-PA-PE-1
-  Verteilung-Exposition-F-Stadt-18-24-Caprolactam-K-A-UFw-PA-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-F-Stadt-18-24-Caprolactam-K-A-UFw-PA-KK-PE-1
-  Verteilung-Exposition-F-Stadt-18-24-Caprolactam-K-A-UFw-PA-PE
-  Verteilung-Exposition-F-Stadt-18-24-Caprolactam-K-A-UFw-PA-PE-1
-  Verteilung-TotalExposition-F-Stadt-18-24-Caprolactam-K-A
-  Verteilung-TotalExposition-F-Stadt-18-24-Caprolactam-K-A-1
-  Verteilung-Exposition-F-Stadt-18-24-Caprolactam-K-A-OFw-PA-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-F-Stadt-18-24-Caprolactam-K-A-OFw-PA-KK-PE-1
-  Verteilung-Exposition-F-Stadt-18-24-Caprolactam-K-A-OFw-PA-PE
-  Verteilung-Exposition-F-Stadt-18-24-Caprolactam-K-A-OFw-PA-PE-1
-  Verteilung-Exposition-F-Stadt-18-24-Caprolactam-K-A-Typ3-PA-KK-PE

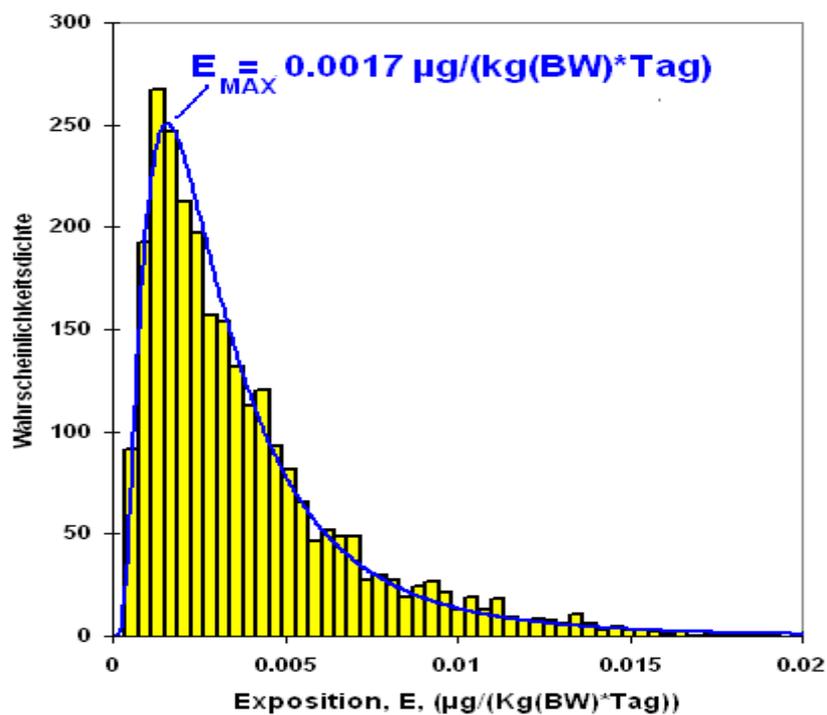


Abbildung 9-29: Verteilung Teilexposition Frauen-Stadt 18-24 Jahre, Caprolactam aus K-A verpackt in Folien vom Typ3 aus PA-KK-PE.

-  Verteilung-Exposition-F-Stadt-25-50-Caprolactam-K-A-Typ3-PA-KK-PE-1
-  Verteilung-Exposition-F-Stadt-25-50-Caprolactam-K-A-Typ3-PA-PE
-  Verteilung-Exposition-F-Stadt-25-50-Caprolactam-K-A-Typ3-PA-PE-1
-  Verteilung-Exposition-F-Stadt-25-50-Caprolactam-K-A-UFw-PA-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-F-Stadt-25-50-Caprolactam-K-A-UFw-PA-KK-PE-1
-  Verteilung-Exposition-F-Stadt-25-50-Caprolactam-K-A-UFw-PA-PE
-  Verteilung-Exposition-F-Stadt-25-50-Caprolactam-K-A-UFw-PA-PE-1
-  Verteilung-TotalExposition-F-Stadt-25-50-Caprolactam-K-A
-  Verteilung-TotalExposition-F-Stadt-25-50-Caprolactam-K-A-1
-  Verteilung-Exposition-F-Stadt-25-50-Caprolactam-K-A-OFw-PA-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-F-Stadt-25-50-Caprolactam-K-A-OFw-PA-KK-PE-1
-  Verteilung-Exposition-F-Stadt-25-50-Caprolactam-K-A-OFw-PA-PE
-  Verteilung-Exposition-F-Stadt-25-50-Caprolactam-K-A-OFw-PA-PE-1
-  Verteilung-Exposition-F-Stadt-25-50-Caprolactam-K-A-Typ3-PA-KK-PE

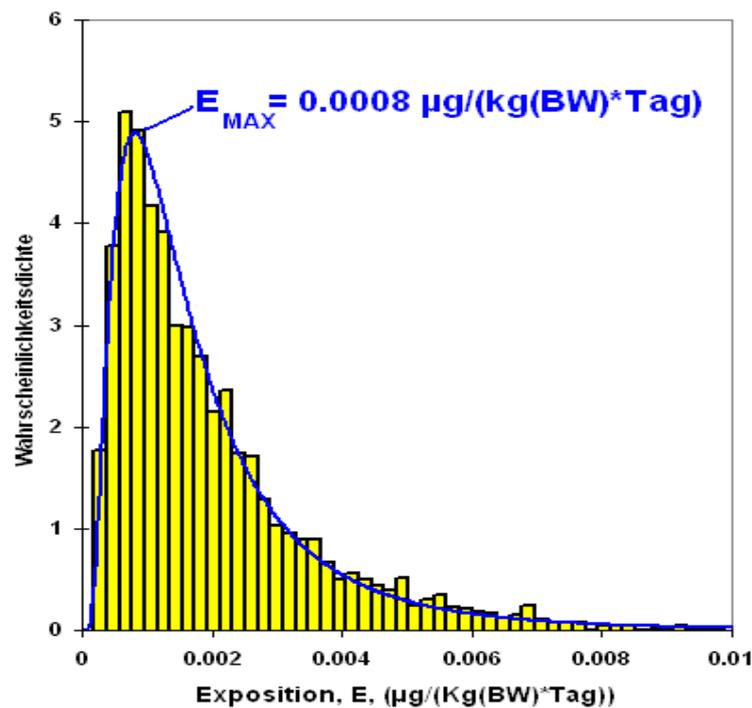


Abbildung 9-30: Verteilung Teilexposition Männer 50-64 Jahre, Caprolactam aus K-A verpackt in Folien vom Typ3 aus PA-KK-PE.

-  Verteilung-Exp-M-50-64-Caprolactam-K-A-Typ3-PA-KK-PE
-  Verteilung-Exp-M-50-64-Caprolactam-K-A-Typ3-PA-KK-PE-1
-  Verteilung-Exp-M-50-64-Caprolactam-K-A-Typ3-PA-PE
-  Verteilung-Exp-M-50-64-Caprolactam-K-A-Typ3-PA-PE-1
-  Verteilung-Exp-M-50-64-Caprolactam-K-A-UFw-PA-KK-PE
-  Verteilung-Exp-M-50-64-Caprolactam-K-A-UFw-PA-KK-PE-1
-  Verteilung-Exp-M-50-64-Caprolactam-K-A-UFw-PA-PE
-  Verteilung-Exp-M-50-64-Caprolactam-K-A-UFw-PA-PE-1
-  Verteilung-TotalExp-M-50-64-Caprolactam-K-A
-  Verteilung-TotalExp-M-50-64-Caprolactam-K-A-1
-  Verteilung-Exp-M-50-64-Caprolactam-K-A-OFw-PA-KK-PE
-  Verteilung-Exp-M-50-64-Caprolactam-K-A-OFw-PA-KK-PE-1
-  Verteilung-Exp-M-50-64-Caprolactam-K-A-OFw-PA-PE
-  Verteilung-Exp-M-50-64-Caprolactam-K-A-OFw-PA-PE-1
-  Verteilung-TotalExp-F18-24-Caprolactam-OfwTyp1-PA-KK-PE-W-B-ohnePT
-  Verteilung-TotalExp-F18-24-Caprolactam-OfwTyp1-PA-PE-W-B-ohnePT
-  Verteilung-TotalExp-F18-24-Caprolactam-UfwTyp1-PA-KK-PE-W-B-ohnePT
-  Verteilung-TotalExp-F18-24-Caprolactam-UfwTyp1-PA-PE-W-B-ohnePT
-  Verteilung-TotalExp-F18-24-Caprolactam-W-B-ohnePT
-  Verteilung-TotalExp-F18-24-Caprolactam-OfwTyp1-PA-KK-PE-W-C-ohnePT
-  Verteilung-TotalExp-F18-24-Caprolactam-OfwTyp1-PA-PE-W-C-ohnePT
-  Verteilung-TotalExp-F18-24-Caprolactam-UfwTyp1-PA-KK-PE-W-C-ohnePT
-  Verteilung-TotalExp-F18-24-Caprolactam-UfwTyp1-PA-PE-W-C-ohnePT
-  Verteilung-TotalExp-F18-24-Caprolactam-W-C-ohnePT
-  Verteilung-TotalExp-F18-24-Caprolactam-Wurstwaren
-  Verteilung-Exposition-F-18-24-KKK-K-A-OFw
-  Verteilung-Exposition-F-18-24-KKK-K-A-Typ3
-  Verteilung-Exposition-F-18-24-KKK-K-A-UFh+UFw
-  Verteilung-TotalExposition-F-18-24-KKK-K-A
-  Verteilung-Exposition-F-25-50-KKK-K-A-OFw
-  Verteilung-Exposition-F-25-50-KKK-K-A-Typ3
-  Verteilung-Exposition-F-25-50-KKK-K-A-UFh+UFw
-  Verteilung-TotalExposition-F-25-50-KKK-K-A

-  Verteilung Exposition-KKK-F-50-64-K-A-OFw
-  Verteilung Exposition-KKK-F-50-64-K-A-Typ3
-  Verteilung Exposition-KKK-F-50-64-K-A-UFh+UFw
-  Verteilung TotalExposition-KKK-F-50-64-K-A

-  Verteilung-Exp-M-50-64-KKK-K-A-OFw
-  Verteilung-Exp-M-50-64-KKK-K-A-Typ3
-  Verteilung-Exp-M-50-64-KKK-K-A-UFh+UFw
-  Verteilung-TotalExp-M-50-64-KKK-K-A

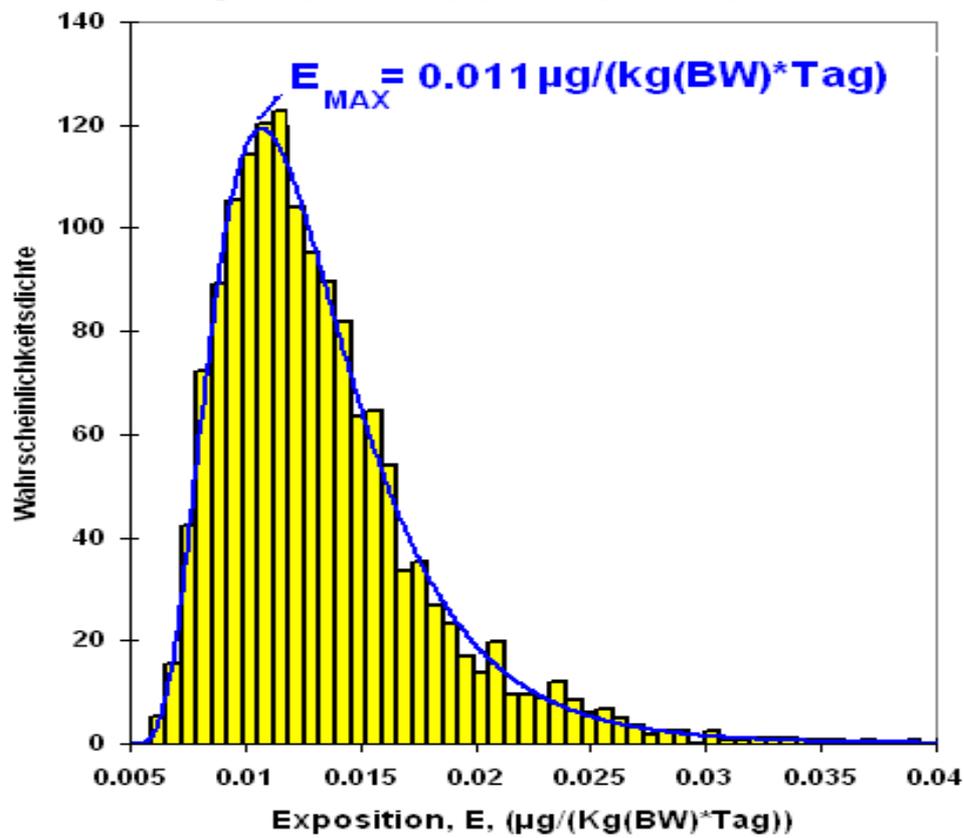


Abbildung 9-31: Verteilung Gesamtexposition Männer 50-64 Jahre, Caprolactam aus Käsewaren.

-  Verteilung-Exposition-F-18-24-KKK-W-A-OFw-PA-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-F-18-24-KKK-W-A-OFw-PA-KK-PE-mitPT
-  Verteilung-Exposition-F-18-24-KKK-W-A-OFw-PET-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-F-18-24-KKK-W-A-OFw-PET-KK-PE-mitPT
-  Verteilung-Exposition-F-18-24-KKK-W-A-OFw-PP-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-F-18-24-KKK-W-A-OFw-PP-KK-PE-mitPT
-  Verteilung-Exposition-F-18-24-KKK-W-A-Typ3
-  Verteilung-Exposition-F-18-24-KKK-W-A-UFh+UFw
-  Verteilung-Exposition-F-18-24-KKK-W-A-UFh+UFw-mitPT
-  Verteilung-Exposition-F-18-24-KKK-W-A-UFw-PA-KK-PE-mitPT
-  Verteilung-Exposition-F-18-24-KKK-W-A-UFw-PET-KK-PE-mitPT
-  Verteilung-Exposition-F-18-24-KKK-W-A-UFw-PP-KK-PE-mitPT
-  Verteilung-Exposition-F-18-24-KKK-W-B-OFw-PA-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-F-18-24-KKK-W-B-OFw-PET-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-F-18-24-KKK-W-B-OFw-PP-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-F-18-24-KKK-W-B-UFh+UFw
-  Verteilung-TotalExposition-F-18-24-KKK-W-A
-  Verteilung-TotalExposition-F-18-24-KKK-W-A-OFw
-  Verteilung-TotalExposition-F-18-24-KKK-W-A-UFh+UFw
-  Verteilung-TotalExposition-F-18-24-KKK-W-B
-  Verteilung-TotalExposition-F-18-24-KKK-W-C
-  Verteilung-TotalExposition-F-18-24-KKK-W-C-OFw
-  Verteilung-TotalExposition-F-18-24-KKK-W-C-UFh+UFw
-  Verteilung-TotalExposition-F-18-24-KKK-Wurstwaren

-  Verteilung-Exposition-F-25-50-KKK-W-A-OFw-PA-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-F-25-50-KKK-W-A-OFw-PA-KK-PE-mitPT
-  Verteilung-Exposition-F-25-50-KKK-W-A-OFw-PET-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-F-25-50-KKK-W-A-OFw-PET-KK-PE-mitPT
-  Verteilung-Exposition-F-25-50-KKK-W-A-OFw-PP-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-F-25-50-KKK-W-A-OFw-PP-KK-PE-mitPT
-  Verteilung-Exposition-F-25-50-KKK-W-A-Typ3
-  Verteilung-Exposition-F-25-50-KKK-W-A-UFh+UFw
-  Verteilung-Exposition-F-25-50-KKK-W-A-UFh-PET-KK-PE-mitPT
-  Verteilung-Exposition-F-25-50-KKK-W-A-UFw-PA-KK-PE-mitPT
-  Verteilung-Exposition-F-25-50-KKK-W-A-UFw-PP-KK-PE-mitPT
-  Verteilung-Exposition-F-25-50-KKK-W-B-OFw-PA-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-F-25-50-KKK-W-B-OFw-PET-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-F-25-50-KKK-W-B-OFw-PP-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-F-25-50-KKK-W-B-UFh+UFw
-  Verteilung-Exposition-F-50-64-KKK-W-B-OFw-PP-KK-PE
-  Verteilung-TotalExposition-F-25-50-KKK-W-A
-  Verteilung-TotalExposition-F-25-50-KKK-W-A-OFw
-  Verteilung-TotalExposition-F-25-50-KKK-W-A-UFh+UFw
-  Verteilung-TotalExposition-F-25-50-KKK-W-B
-  Verteilung-TotalExposition-F-25-50-KKK-W-C
-  Verteilung-TotalExposition-F-25-50-KKK-W-C-OFw
-  Verteilung-TotalExposition-F-25-50-KKK-W-C-UFh+UFw
-  Verteilung-TotalExposition-F-25-50-KKK-Wurstwaren

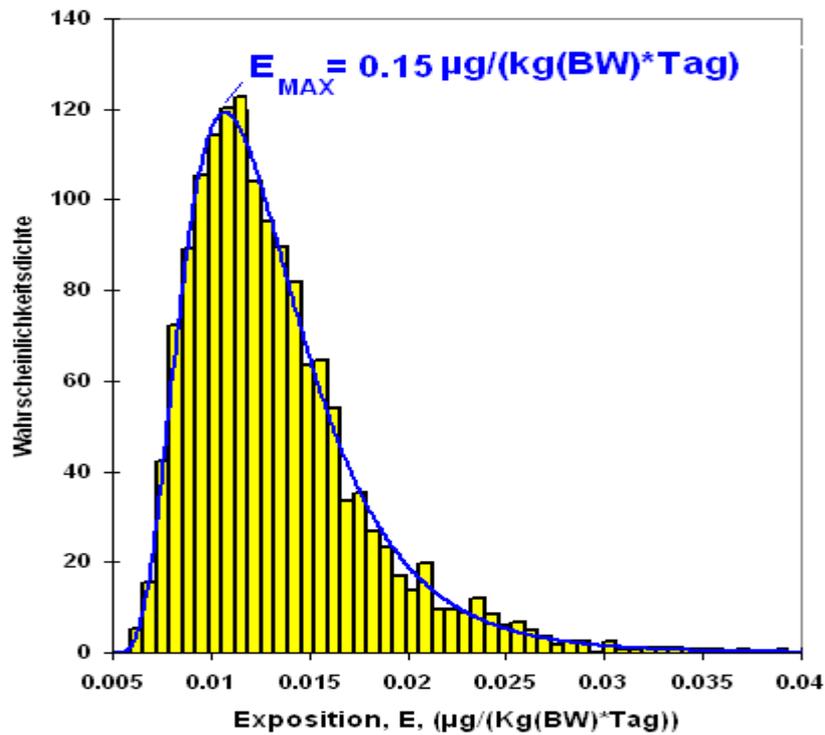


Abbildung 9-32: Verteilung Gesamtexposition Frauen 25-50 Jahre, KKK aus Wurstwaren.

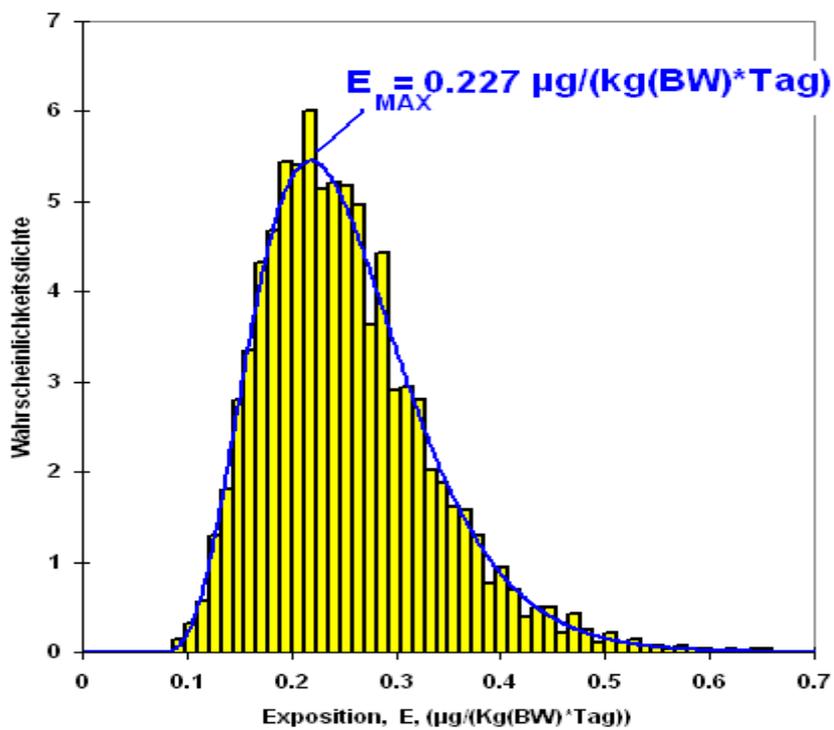


Abbildung 9-33: Verteilung Gesamtexposition Männer 50-64 Jahre, KKK aus Wurstwaren.

-  Verteilung-Exposition-F-25-50-KKK-W-A-OFw-PA-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-F-25-50-KKK-W-A-OFw-PA-KK-PE-mitPT
-  Verteilung-Exposition-F-25-50-KKK-W-A-OFw-PET-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-F-25-50-KKK-W-A-OFw-PET-KK-PE-mitPT
-  Verteilung-Exposition-F-25-50-KKK-W-A-OFw-PP-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-F-25-50-KKK-W-A-OFw-PP-KK-PE-mitPT
-  Verteilung-Exposition-F-50-64-KKK-W-A-OFw-PA-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-F-50-64-KKK-W-A-OFw-PA-KK-PE-mitPT
-  Verteilung-Exposition-F-50-64-KKK-W-A-OFw-PET-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-F-50-64-KKK-W-A-OFw-PET-KK-PE-mitPT
-  Verteilung-Exposition-F-50-64-KKK-W-A-OFw-PP-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-F-50-64-KKK-W-A-OFw-PP-KK-PE-mitPT
-  Verteilung-Exposition-F-50-64-KKK-W-A-Typ3
-  Verteilung-Exposition-F-50-64-KKK-W-A-UFh+UFw
-  Verteilung-Exposition-F-50-64-KKK-W-A-UFh-PET-KK-PE-mitPT
-  Verteilung-Exposition-F-50-64-KKK-W-A-UFw-PA-KK-PE-mitPT
-  Verteilung-Exposition-F-50-64-KKK-W-A-UFw-PP-KK-PE-mitPT
-  Verteilung-Exposition-F-50-64-KKK-W-B-OFw-PA-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-F-50-64-KKK-W-B-OFw-PET-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-F-50-64-KKK-W-B-OFw-PP-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-F-50-64-KKK-W-B-UFh+UFw
-  Verteilung-TotalExposition-F-50-64-KKK-W-A
-  Verteilung-TotalExposition-F-50-64-KKK-W-A-OFw
-  Verteilung-TotalExposition-F-50-64-KKK-W-A-UFh+UFw

-  Verteilung-Exposition-M-50-64-KKK-W-B-UFh+UFw
-  Verteilung-TotalExposition-M-50-64-KKK-W-A
-  Verteilung-TotalExposition-M-50-64-KKK-W-A-OFw
-  Verteilung-TotalExposition-M-50-64-KKK-W-A-UFh+UFw
-  Verteilung-TotalExposition-M-50-64-KKK-W-B
-  Verteilung-TotalExposition-M-50-64-KKK-W-C
-  Verteilung-TotalExposition-M-50-64-KKK-W-C-OFw
-  Verteilung-TotalExposition-M-50-64-KKK-W-C-UFh+UFw
-  Verteilung-TotalExposition-M-50-64-KKK-Wurstwaren
-  Verteilung-Exposition-M-50-64-KKK-W-A-OFw-PA-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-M-50-64-KKK-W-A-OFw-PA-KK-PE-mitPT
-  Verteilung-Exposition-M-50-64-KKK-W-A-OFw-PET-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-M-50-64-KKK-W-A-OFw-PET-KK-PE-mitPT
-  Verteilung-Exposition-M-50-64-KKK-W-A-OFw-PP-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-M-50-64-KKK-W-A-OFw-PP-KK-PE-mitPT
-  Verteilung-Exposition-M-50-64-KKK-W-A-Typ3
-  Verteilung-Exposition-M-50-64-KKK-W-A-UFh+UFw
-  Verteilung-Exposition-M-50-64-KKK-W-A-UFh-PET-KK-PE-mitPT
-  Verteilung-Exposition-M-50-64-KKK-W-A-UFw-PA-KK-PE-mitPT
-  Verteilung-Exposition-M-50-64-KKK-W-A-UFw-PP-KK-PE-mitPT
-  Verteilung-Exposition-M-50-64-KKK-W-B-OFw-PA-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-M-50-64-KKK-W-B-OFw-PET-KK-PE
-  Verteilung-Exposition-M-50-64-KKK-W-B-OFw-PP-KK-PE

10 Literaturverzeichnis

- Begley T., Castle L., Feigenbaum A., Franz R., Hinrichs K., Lickly T., Mercea P., Milana M., O'Brien A., Rebre S., Rijk R., Piringer O., 2005, Evaluation of migration models that might be used in support of regulations for food-contact plastics. *Food Additives and Contaminants*, **22 (1)**, 73-90.
- Bieber, W.D., Figge, K. and Koch, J., 1985, Interaction between plastics packaging materials and foodstuffs with different fat content and fat release properties. *Food Additives and Contaminants*, **2**, 113-124.
- Brandsch, J., Mercea, P., Tosa, V. and Piringer, O., 1999, Extending the application of migration modelling. *Proceeding of the PIRA Conference "Plastics Packaging in Contact with Foodstuffs"* (Edinburgh).
- Crank, J., 1975, *Mathematics of Diffusion*, 2.ed., Oxford University Press.
- EU-Projekt, 2001 – 2003, Certified reference materials for specific migration testing of plastics for food packaging needed by industry and enforcement laboratories (support to the development of), Acronym: SPECIFIC MIGRATION; G6RD-CT-2000-00411.
- EU-Projekt, 2003 – 2006, Modelling migration from plastics into foodstuffs as a novel and cost efficient tool for estimation of consumer exposure from food contact materials, Acronym: FOODMIGROSURE; QLK1-CT-2002-02390.
- Mercea P., Petrescu L., Piringer O., Tosa V., User-Friendly Software for Migration Estimation. In: Piringer O. and Baner A. (Edts.), 2008, *Plastic Packaging*, 2nd edition, Wiley-VCH, Weinheim.
- Piringer, O., 1993, Verpackungen für Lebensmittel. (VCH-Verlag, Weinheim).
- Piringer, O., 1994, Evaluation of plastics for food packaging. *Food Additives and Contaminants*, **11**, 221-230.
- Piringer, O. G., Baner A.L., (Eds.), 2000, *Plastic Packaging Materials for Food*, Wiley-VCH, Weinheim, New York.
- Piringer, O., Franz, R., Huber, M., Begley, T.H. and McNeal, T.P., 1998, Migration from food packaging containing a functional barrier: mathematical and experimental evaluation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **46**, 1532-1538.
- Piringer, O., Hinrichs, K.; 2002, Evaluation of Migration Models. *Final Report of the thematic Network Contract: SMT4-CT98-7513*.
- Zülch, A., Mercea, P., Welle, F., Mauer, A., Tosa, V., 2008, Consumer Exposure PET - Feasibility study for a new assessment procedure on packaging components migrating from PET-bottles into beverages with respect to consumer exposure. *Poster presentation, ILSI 4th International Symposium on Food Packaging - Scientific Developments Supporting Safety and Quality* (Prag).