

Herausgegeben von Petra Lubber und Edda Bartelt

Campylobacteriose durch Hähnchenfleisch

Eine quantitative Risikoschätzung

Impressum

BfR Wissenschaft

Herausgegeben von Petra Lubert und Edda Bartelt

Campylobacteriose durch Hähnchenfleisch
Eine quantitative Risikoschätzung

Bundesinstitut für Risikobewertung
Pressestelle
Thielallee 88-92
14195 Berlin

Berlin 2005 (BfR-Wissenschaft 03/2005)
84 Seiten, 12 Abbildungen, 15 Tabellen
€ 5,-

Druck: Umschlag, Inhalt und buchbinderische Verarbeitung
BfR-Hausdruckerei Dahlem

ISSN 1614-3795 ISBN 3-938163-09-7

Inhalt

1	Zusammenfassung	5
2	Einleitung	7
3	Identifizierung der Gefahr	9
3.1	Charakteristika von <i>Campylobacter jejuni</i> und <i>C. coli</i>	9
3.2	Die humane <i>Campylobacteriose</i>	11
3.2.1	Saisonalität	11
3.2.2	Regionale Unterschiede und demographische Verteilung	12
3.2.3	Häufungen (Ausbrüche) in Deutschland	13
3.2.4	Nachgewiesene Erreger	14
3.2.5	Internationaler Vergleich	14
3.2.6	Gesundheitsschädigende Effekte (Symptome, Komplikationen, Folgeerkrankungen)	14
3.2.6.1	Klinische Symptomatik	14
3.2.6.2	Immunantwort	15
3.2.6.3	Therapie	15
3.2.6.4	Folgekrankheiten	15
3.3	Vorkommen von <i>C. jejuni</i> und <i>C. coli</i> in verschiedenen Lebensmitteln und in Wasser	17
3.4	Verbreitung von <i>Campylobacter</i> durch Kreuzkontamination	19
3.5	Belege für einen Zusammenhang zwischen Umgang mit und Verzehr von Geflügelfleisch und <i>Campylobacteriosen</i>	23
3.6	Geflügellebensmittel in Deutschland	28
3.6.1	Produktion von Geflügel und Geflügelfleischimporte	28
3.6.2	Verbrauch von Hähnchenfleisch in deutschen Privathaushalten	28
3.6.3	Portionsgrößen und Häufigkeit des Verzehrs von Geflügelfleisch	32
3.7	Mit <i>Campylobacter</i> kontaminierte Hähnchen und Hähnchenteile im Einzelhandel	32
3.8	Bewusstsein der Gefahr in der (deutschen) Bevölkerung	37
3.9	Zubereitung von Hähnchen im privaten Haushalt – Hygieneverhalten des Verbrauchers	38
4	Charakterisierung der Gefahr	45
5	Expositionsschätzung	47
5.1	Allgemeines zum Modell und zu den Fragen, die es beantworten soll	47
5.2	Modellstruktur	48
5.2.1	Modul 1 – Bildung eines neuen Haushalts	50
5.2.2	Modul 2 – Einkauf von Hähnchenfleisch	51
5.2.3	Modul 3 – Zubereitung der Mahlzeit	52
5.2.4	Modul 4 – Verzehr der Mahlzeit	54
5.2.5	Modul 5 – Reaktion	55
5.3	Simulationen mit dem Modell	56
5.4	Ergebnis der Modellsimulationen	57
5.4.1	Basissituation in Deutschland	57

5.4.2	Sensitivitätsprüfungen und Simulation von Mitigationsstrategien	59
6	Risikocharakterisierung	65
7	Literaturverzeichnis	69
8	Danksagung	79
9	Abbildungsverzeichnis	81
10	Tabellenverzeichnis	83

1 Zusammenfassung

Campylobacter-Enteritiden sind in Deutschland nach den Salmonellen die häufigsten potenziell mit Lebensmitteln assoziierten bakteriellen Erkrankungen. Die Infektion tritt überwiegend sporadisch auf. Als Hauptquellen gelten tierische Lebensmittel, insbesondere Geflügelprodukte. Die Übertragung von Mensch zu Mensch spielt nur eine geringe Rolle. Mehrere Fall-Kontrollstudien haben den Verzehr von Geflügel und den Umgang mit Geflügel bei der Zubereitung von Gerichten als Risikofaktoren für die humane *Campylobacter*-Infektion identifiziert. Bei einer Untersuchung von Hähnchenfleisch aus dem Berliner Einzelhandel im Zeitraum Oktober 2001 bis April 2002 waren durchschnittlich 58,1% der Proben mit *Campylobacter* spp. kontaminiert. Deshalb wurde im Rahmen eines vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projektes zur Bekämpfung von lebensmittelbedingten Infektionskrankheiten in Deutschland eine quantitative mikrobiologische Risikobewertung für die *Campylobacter*-Infektion durch den Verzehr von Hähnchenfleisch durchgeführt. Oberstes Ziel des Projektes ist die Senkung der Zahl der *Campylobacter*iosefälle in Deutschland.

Für die Durchführung von quantitativen mikrobiologischen Risikoschätzungen gibt es formale Vorgaben, die im Jahr 1999 von der Codex Alimentarius Commission definiert wurden. Jede Risikoschätzung umfasst demnach vier Elemente: eine Gefahren-Identifizierung (hazard identification), eine Gefahren-Charakterisierung (hazard characterization), die Expositionsschätzung (exposure assessment) und die Risikocharakterisierung (risk characterization). Kernstück der Risikoschätzung ist die Expositionsschätzung. Das von uns hierfür gewählte Modell beschreibt die Exposition der Verbraucher mit *Campylobacter* bei Zubereitung und Verzehr von Hähnchenfleisch im Privathaushalt und die daraus resultierenden jährlichen *Campylobacter*iosefälle. Im Rahmen des Projektes wurden frische Hähnchenbrustfilets und Hähnchenschenkel aus dem deutschen Einzelhandel auf Kontamination mit *Campylobacter* spp. untersucht und der mögliche Transfer von *Campylobacter* ausgehend von Hähnchenfleisch bei verschiedenen Zubereitungsschritten in der Küche quantifiziert. Die gewonnenen Daten wurden als Eingangsparameter für die Simulationen genutzt.

Bei der Erstellung des Modells wurde versucht, alle relevanten Aspekte zu berücksichtigen. Es liegt jedoch in der Natur von Simulationsmodellen, dass sie auf einer Vielzahl von Annahmen beruhen. Durch Simulationen erzielte Ergebnisse, wie beispielsweise der hier ermittelte Schätzwert für den Anteil der *Campylobacter*iosen, die auf den Verzehr von Hähnchenfleisch zurückzuführen sind, sind mit großen Unsicherheiten behaftet und sollten immer in diesem Zusammenhang gewertet werden. Simulationsmodelle können jedoch in hervorragender Weise dazu dienen, verschiedene Einflussfaktoren auf das Erkrankungsrisiko zu untersuchen und verschiedene Risikomanagementaufgaben miteinander zu vergleichen. Jede Simulation beginnt mit der Bildung eines Haushalts, der Hähnchenfleisch einkauft. Ein Mitglied des Haushaltes bereitet für alle Haushaltsmitglieder eine Mahlzeit zu. Das Verhalten des Kochs bestimmt die Exposition der Familienmitglieder. Wenn er Hygienefehler begeht oder das Fleisch nicht ausreichend gart, können *Campylobacter*bakterien mit der Mahlzeit aufgenommen werden und Haushaltsmitglieder erkranken.

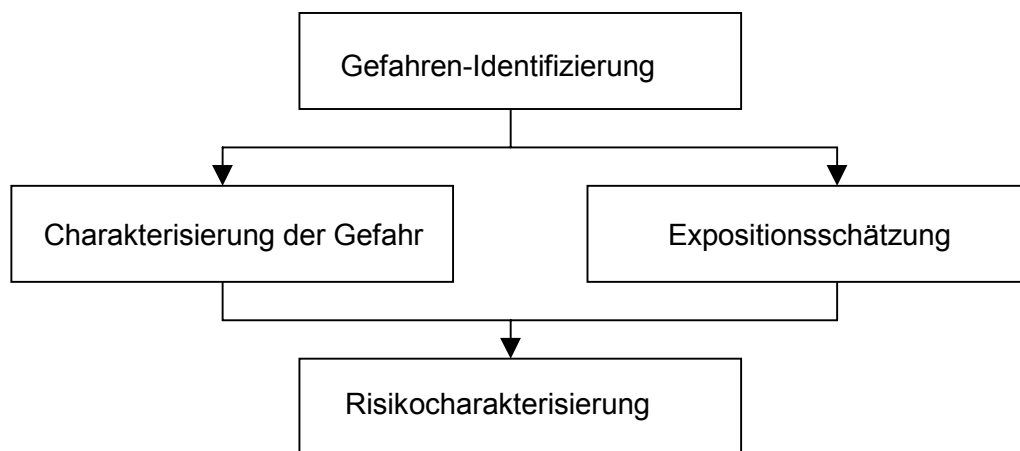
Die Modellsimulationen zeigten im Ergebnis, dass schätzungsweise 47% der in Deutschland eintretenden *Campylobacter*iosefälle auf Hähnchenfleisch zurückgeführt werden können. Insbesondere frisches Hähnchenfleisch mit Haut, wie z.B. Hähnchenkeulen, war in der Simulation verantwortlich für die Auslösung von Erkrankungen nach Kreuzkontaminationen in Folge von Hygienefehlern in der Küche. Die Simulation verschiedener Mitigationsstrategien wurde deshalb für die Zubereitung von frischen Hähnchenkeulen durchgeführt. Hierbei zeigte sich, dass der Verzehr von unzureichend erhitztem Hähnchenfleisch im Gegensatz zur Exposition durch Kreuzkontaminationen lediglich eine untergeordnete Rolle bei der Auslösung von Erkrankungen spielt. Weiterhin deutet sich an, dass insbesondere die Reduzierung der auf der Oberfläche von Hähnchenfleisch vorhandenen Menge von *Campylobacter*bakterien eine effektive Maßnahme zur Senkung des *Campylobacter*ioserisikos sein kann.

2 Einleitung

Im Rahmen eines durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projektes zur Erforschung lebensmittelbedingter Infektionen in Deutschland wurde im Bundesinstitut für Risikobewertung eine nationale, quantitative mikrobiologische Risikobewertung für die Pathogen-Lebensmittelkombination *Campylobacter* spp. und Hähnchenfleisch durchgeführt.

Die quantitative mikrobiologische Risikoschätzung auf formaler Basis der Vorgaben der Codex Alimentarius Commission [1999] umfasst die Elemente Gefahren-Identifizierung (hazard identification), Charakterisierung der Gefahr (hazard characterization), Expositionsschätzung (exposure assessment) und Risikocharakterisierung (risk characterization).

Abbildung 1: Komponenten der mikrobiologischen Risikoschätzung



Die vier Elemente der Risikoschätzung sind dabei wie folgt definiert:

Die **Gefahren-Identifizierung** enthält Informationen über die Gefahr, d.h. über den Mikroorganismus (hier: *Campylobacter* spp.), die Erkrankung, welche durch die Infektion verursacht wird, sowie über die Vektoren der Infektion (z.B. ein Lebensmittel).

Im Rahmen der **Charakterisierung der Gefahr** werden allgemein die adversen Effekte auf die Gesundheit beschrieben, die durch die Aufnahme einer bestimmten Anzahl von *Campylobacter* spp. verursacht werden können. Falls Daten vorhanden sind, sollte die Gefahr quantitativ durch eine Dosis-Wirkungsbeziehung und die Wahrscheinlichkeit für die Auslösung einer Erkrankung nach Aufnahme einer bestimmten Zahl der Mikroorganismen beschrieben werden [FAO/WHO, 2003b].

Um die **Expositionsschätzung** durchführen zu können, wird ein mathematisches Modell erstellt. Unter Nutzung eines Ansatzes, der mit dem Kauf von Hähnchenfleisch im Einzelhandel beginnt, die Zubereitung der Produkte im Privathaushalt berücksichtigt und bis zum Konsum einer Mahlzeit mit Hähnchen reicht, liefert die Expositionsschätzung einen Schätzwert für das jährliche Vorkommen von durch Hähnchen verursachten Campylobacteriosefällen in der deutschen Bevölkerung.

Schließlich werden die drei o.g. Schritte in der **Risikocharakterisierung** integriert. Diese betrachtet die Bedeutung von Hähnchenfleisch für die Auslösung von Campylobacteriosen in der deutschen Bevölkerung im Gesamtzusammenhang.

Kernstück der Risikoschätzung ist die Expositionsschätzung. Um vorhersagen zu können, wie und in welchem Maße die *Campylobacter* spp. von den kontaminierten Produkten den Verbraucher erreichen und eine Erkrankung verursachen können, wird ein mathematisches Modell erstellt, mit welchem die Vorgänge simuliert werden können. Das Expositionmodell beschreibt die Transmission der *Campylobacter* spp. von Hähnchenfleisch aus dem Einzelhandel durch das Verhalten des Verbrauchers bei der Zubereitung der Produkte im Privathaushalt bis hin zum Verzehr. Mit dem Modell werden Simulationen durchgeführt. Als Eingangsparameter dienen nicht Mittelwerte oder Höchstwerte, sondern Verteilungen, d.h. es wird eine verteilungsbasierte Schätzung durchgeführt. So können die Variabilität von Daten und auch die Unsicherheit, welche sich bei der Gewinnung von Daten ergibt, berücksichtigt werden. Das angewandte mathematische Verfahren ist eine Monte-Carlo-Simulation. Hat man ein Modell erstellt, welches die aktuellen Verhältnisse abbildet, so kann man es nutzen, um verschiedene Interventionsstrategien hinsichtlich ihrer Wirksamkeit zur Reduzierung des Campylobacteriose-Risikos zu evaluieren.

Ein grundsätzliches Problem bei der Risikoschätzung über die Lebensmittelkette ist der Mangel an Daten. Die formale Risikoschätzung nach den Richtlinien des Codex Alimentarius soll als Basis zur Findung von Entscheidungen dienen, die es sodann ermöglichen, die identifizierte Gefahr zu beherrschen. Codex zielt hauptsächlich auf die Beschreibung oder Charakterisierung des Risikos, weniger darauf, Daten für die Entscheidungsfindung zu liefern. Die Ergebnisse von Risikoschätzungen über die gesamte Lebensmittelkette sind jedoch im Regelfall unrealistisch und können nur eingeschränkt als Entscheidungsbasis herangezogen werden [Brown, 2002].

Effektive mikrobiologische Risikobewertung wird behindert durch

- die Unsicherheit (i.d.R. Mangel an relevanten Daten)
- die Variabilität (z.B. deuten verfügbare Daten an, dass die Variabilität einer Eigenschaft ihre effektive Schätzung limitiert)
- Verfügbarkeit (die Daten oder Schlussfolgerungen sind nicht in einer Form verfügbar, die ihren Gebrauch durch die Entscheidungsträger ermöglicht)
- Missbrauch/Kommunikationsprobleme (z.B. Risikobewertungen werden nicht klar und unmissverständlich präsentiert und enthalten schlimmstenfalls gefühlsgeladene Begriffe wie „restlos sicher“)

In der Fachliteratur fehlten valide quantitative Daten zum Vorkommen von *Campylobacter* spp. in Hähnchenfleisch. Weiterhin bestand Mangel an Daten zur Ausbreitung von *Campylobacter* spp. von Hähnchenfleisch auf Hände, Oberflächen und Küchengerätschaften. Im Rahmen der Risikoschätzung wurden deshalb auch experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Stichproben von Hähnchenfleisch aus dem deutschen Einzelhandel wurden auf *Campylobacter* spp. untersucht [Scherer et al., Luber und Bartelt] und es wurden Transferaten für *Campylobacter* spp. bestimmt [Luber et al.]. Die Risikoschätzung wurde auf den letzten Abschnitt der Lebensmittelkette (vom Einzelhandel bis zum Verzehr) beschränkt und berücksichtigt nur Hähnchenfleisch, welches von Verbrauchern in privaten Haushalten zubereitet wird, und die beiden *Campylobacter* Spezies *C. jejuni* und *C. coli*.

3 Identifizierung der Gefahr

3.1 Charakteristika von *Campylobacter jejuni* und *C. coli*

Campylobacter spp. sind Gram-negative, spiralförmig gebogene Stäbchen mit einem oder zwei polaren Flagellen. Sie sind mikroaerophil, d.h. sie vermehren sich nur unter atmosphärischen Bedingungen mit gesenktem Sauerstoff- und erhöhtem Kohlendioxid-Gehalt. *Campylobacter* spp. sind pleomorph. In der logarithmischen Wachstumsphase zeigen sie eine „Korkenzieher“-Morphologie und sind anhand ihrer typischen Bewegung (um die Achse drehend, häufige Richtungswechsel) schon unter dem Phasenkontrastmikroskop leicht zu identifizieren. In der stationären Wachstumsphase sind die Zellen überwiegend kugelig. Die Bakterienzellen reagieren auf Temperaturabsenkung durch Veränderung ihrer Morphologie und Physiologie. Bei Eisenmangel kommt es zur Elongation der Zellen. Bei niedrigen Temperaturen, Sauerstoff-Stress oder bei niedrigen pH-Werten werden coccoide Zellen gebildet und es kann ein reversibler Übergang in ein „viable, but not culturable“(VNC)-Stadium erfolgen [Chaveerach et al., 2003]. Diese Vorgänge scheinen der Adaption an lebensfeindliche Umweltbedingungen zu dienen. Untersuchungen an Hühnern haben gezeigt, dass Zellen aus diesem VNC-Stadium wiederbelebt werden können.

Die Bakterien der Gattung *Campylobacter* sind nur schwach klonal. Ihr Genom ist durch eine hohe Plastizität gekennzeichnet, es kommt häufig zur Rearrangierung von Genen und es findet horizontaler Genaustausch statt [Wassenaar et al., 2000]. Es ist deshalb kaum möglich, *Campylobacter* durch den Einsatz von molekularbiologischen Typisierungsmethoden eindeutig zu charakterisieren und bestimmte Klone auf ihrem Weg von Wirt zu Wirt zu verfolgen. Schon eine Passage durch einen warmblütigen Wirt kann eine Veränderung des Genotyps bewirken. Es scheinen verschiedene Linien (Gruppen von Organismen, die auf einen gemeinsamen Vorfahr zurückgehen) von *C. jejuni* zu existieren, die phylogenetisch verwandt sind. Die Verwandtschaft wird jedoch durch häufig stattfindende laterale Gentransfers verschleiert [Dingle et al., 2002; Siemer et al., 2004]. Allgemein wurde festgestellt, dass *Campylobacter*-Serotypen nur schwach mit ihrer Klonalität in Verbindung gebracht werden können [Dingle et al., 2002]. Es gibt aber auch Hinweise auf die Existenz von so genannten „epidemischen Klonen“, die genetisch relativ stabil sein sollen und über lange Zeiträume hinweg immer wieder in Erscheinung treten [Manning et al., 2001]. Bestimmte Typen scheinen häufiger bei den menschlichen Erkrankten in Erscheinung zu treten und nicht alle Typen, die in Tieren beobachtet werden, treten bei den Menschen auf. Möglicherweise sind nur einige wenige epidemische Klone verantwortlich für den Großteil der humanen *Campylobacteriosen*. Es könnte also Stämme geben, die infektiös und pathogen sind, während andere keine humanen Erkrankungen verursachen können [Siemer et al., 2004]. Für eine effektive Kolonialisierung von Epithelzellen ist der Besitz eines Flagellums und die Befähigung zur Motilität zwingend erforderlich, weitere Pathogenitätsfaktoren sind jedoch noch nicht eindeutig identifiziert [Takkinen und Ammon, 2003]. Bis zur Klärung der wesentlichen Pathogenitäts- und Virulenzmerkmale müssen alle *Campylobacter* als potenziell humanpathogen eingestuft werden.

Siemer et al. [2004] haben bei der Typisierung von *C. jejuni* diverser potenzieller Quellen und von menschlichen Erkrankten einige scheinbar wirtsspezifische Typen bei den Quellen gefunden, aber auch viele Typen, die sowohl bei Mensch als auch bei mehreren Tierarten oder in Wasser in Erscheinung treten. Die Autoren empfehlen deshalb, bis zur Klärung der relativen Risiken der verschiedenen potenziellen Quellen, alle tierischen Lebensmittel (nicht nur Geflügel) und Hunde als mögliche Quellen der humanen Infektion einzuordnen.

Hopkins et al. [2004] haben bei einer Untersuchung von *Campylobacter* spp.-Stämmen verschiedener Tiere, tierischer Lebensmittel und infizierter Menschen ermittelt, dass es bei der Spezies *C. coli* eine Wirtsspezifität gibt, d.h. bei der Quelle Geflügel werden andere Genotypen beobachtet, als bei der Quelle Schwein. *C. jejuni* Stämme zeigen keine derartige

Wirtsspezifität. Weiterhin bestätigt diese Studie, dass nur ein Teil der auf/in Geflügel vorkommenden *C. jejuni*-Stämme in der Lage ist, Infektionen beim Menschen zu verursachen. Die Autoren zeigen, dass es Hinweise auf überlappende Genotypen bei *C. jejuni* von Mensch und Rind gibt. Es scheinen also neben dem Geflügel weitere Quellen für die humane *Campylobacter* spp.-Infektion zu existieren.

Die publizierten Untersuchungen zu *Campylobacter* beschränken sich in der Regel auf die Spezies *C. jejuni*. In einer Arbeit von Tam et al. [2003] wird jedoch herausgearbeitet, dass nicht nur *C. jejuni*, sondern auch *C. coli* bedeutende humane Pathogene sind. *C. coli* präsentieren nur eine Minderheit der humanen *Campylobacter*infektionen, die absoluten Zahlen sind jedoch hoch und *C. coli* ist somit auch für sich betrachtet ein bedeutender Infektionserreger. Unterschiedliche Prävalenzen von *C. jejuni* und *C. coli* in verschiedenen Lebensmitteln und Daten aus einer in England und Wales durchgeführten Sentinel Surveillance-Studie deuten darauf hin, dass die Risikofaktoren für die humane *C. coli* -Infektion andere sind, als bei *C. jejuni*. Ist dies der Fall, so wären andere Strategien notwendig, um das Vorkommen von *C. coli* in Lebensmitteln zu kontrollieren, als bei *C. jejuni*. Untersuchungen zum Speziesvorkommen auf Produkten im deutschen Einzelhandel zeigen einen Speziesgehalt von rund 13% *C. coli* auf Hähnchenprodukten [Atanassova et al., 1999; Lubert et al., 2003]. Geflügelfleisch ist somit auch ein potenzieller Überträger von *C. coli*. In der vorliegenden Risikoanalyse werden deshalb neben *C. jejuni* auch *C. coli* betrachtet.

Für lebensmittelpathogene Bakterien sind *Campylobacter* ungewöhnlich empfindlich. Sie sind In-vivo nicht in der Lage, sich außerhalb des Intestinaltrakts von warmblütigen Tieren zu vermehren. Das Temperatur-Minimum für die Vermehrung von *C. jejuni* beträgt 32°C und sie sind strikt mikroaerophil (empfindlich für atmosphärische Sauerstoffkonzentration). Es erfolgt also keine Vermehrung der *Campylobacter* in den Lebensmitteln. Sie können lediglich mehr oder weniger lange in oder auf Lebensmitteln überleben. Dabei zeigen sie sich empfindlich gegen Maßnahmen der Konservierung, wie beispielsweise Säuerung, Trocknung oder Salzung. Hohe Temperaturen, wie sie beim Kochen oder Braten erreicht werden, töten *Campylobacter* schnell ab. Temperaturen im Bereich von 52°C bis 60°C wirken wachstumshemmend, aber die *Campylobacter* können überleben (z.B. im Brühwasser bei der Geflügelschlachtung). Zu einer Abtötung kommt es erst zwischen 60°C und 74°C [Beutling, 1998]. Unter Kühlung können die Bakterien gut überleben. Blankenship et al [1982] beobachteten eine bessere Überlebensfähigkeit von *C. jejuni* unter Kühlung bei 4°C, wenn diese auf Hähnchenschenkeln inokuliert waren. Gefrieren senkt die quantitative Belastung von Produkten, führt aber nicht zu einer vollständigen Eliminierung der *Campylobacter* (siehe Kapitel 3.7). *Campylobacter* können mehrere Monate auf gefrorenen Produkten überleben und sind bei kontaminierten Produkten im Tauwasser vorhanden [Beutling, 1998]. Gerade in Tauwasser von Hähnchen können *Campylobacter* besonders gut überleben und sowohl hohe wie auch besonders niedrige Temperaturen besser überstehen, wie eine Studie von Birk et al. [2004] belegt hat. Das Lebensmittel gefrorenes Huhn ist somit geradezu protektiv für die pathogenen *Campylobacter* spp.

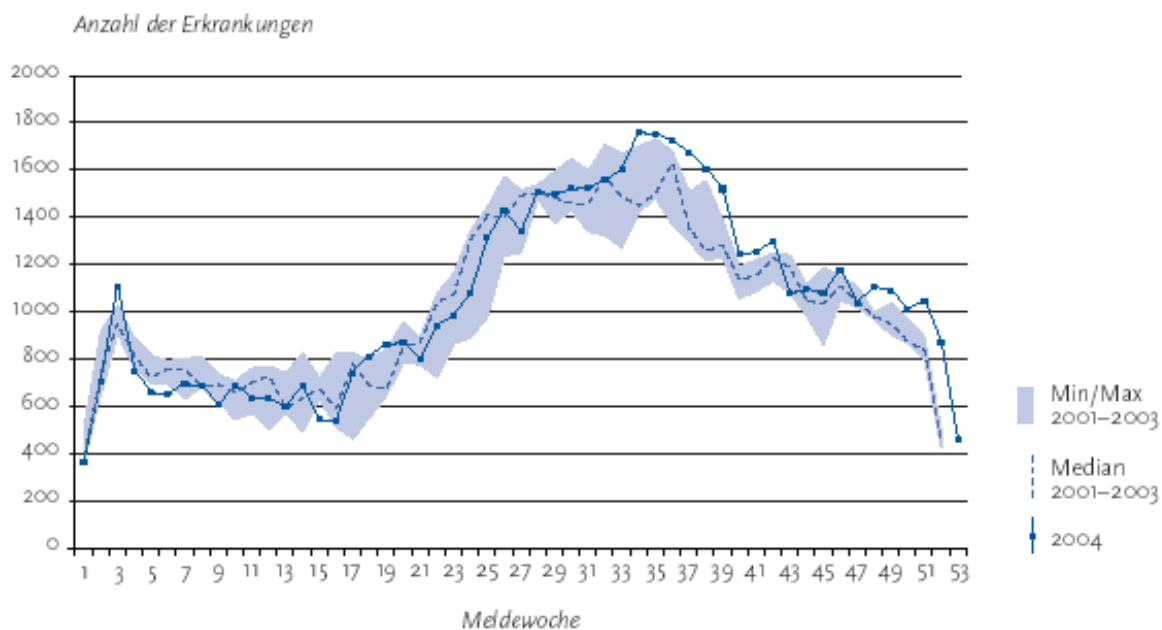
3.2 Die humane Campylobacteriose

Campylobacter-Enteritiden sind in Deutschland nach Erkrankungen mit Noroviren und den Salmonellen die häufigsten potenziell mit Lebensmitteln assoziierten Erkrankungen [Robert Koch-Institut, 2005]. Für das Jahr 2004 wurden insgesamt 55.745 Campylobacteriose-Fälle gemeldet, damit betrug die Inzidenz 67,5 Erkrankungen pro 100.000 Einwohner. Die Infektion tritt überwiegend sporadisch auf. Als Hauptquellen gelten tierische Lebensmittel, insbesondere Geflügelprodukte. Die Übertragung von Mensch zu Mensch spielt nur eine geringe Rolle. Seltene Expositionen erfolgen beispielsweise über beruflichen Kontakt mit Tierkot oder Kontakt zu Wasser und Tieren während der Ausübung von Freizeitaktivitäten.

3.2.1 Saisonalität

Dem Robert Koch-Institut wurden für das Jahr 2004 insgesamt 55.745 *Campylobacter*-Fälle gemäß Referenzdefinition übermittelt (Referenzdefinition = klinisch und durch labor diagnostischen Nachweis bestätigte Erkrankung plus klinisch-epidemiologische Erkrankung). Damit betrug die durchschnittliche Inzidenz im Jahr 2004 67,5 Fälle pro 100.000 Einwohner. Die bundesweite Inzidenz zeigte über die letzten Jahre leichte Schwankungen. Im Jahr 2003 sank die Gesamtinzidenz auf 58,0 Erkrankte pro 100.000 Einwohner. In den Jahren 2001 und 2002 waren 66,1 bzw. 68,4 Erkr./100.000 Einw. übermittelt worden. Nachdem die Anzahl der übermittelten Fälle im Jahr 2003 um 15% gegenüber 2002 zurückgegangen war, ist die Anzahl der übermittelten Fälle 2004 erneut um 16,4% gegenüber 2003 gestiegen [Robert-Koch-Institut, 2005].

Abbildung 2: Übermittelte *Campylobacter*-Enteritiden nach Meldewochen, Deutschland, 2004 (n=55.745), im Vergleich mit den Vorjahren



Ähnlich wie in den Jahren zuvor zeigte sich ein saisonaler Anstieg auf wöchentlich mehr als 1.000 Erkrankungen in den Monaten Juni bis Dezember.

3.2.2 Regionale Unterschiede und demographische Verteilung

Zwischen den Bundesländern, aber auch innerhalb der einzelnen Länder, zeigten sich erhebliche Unterschiede. Die Inzidenz von *Campylobacter*-Fällen war am höchsten in Mecklenburg-Vorpommern (120,8/100.000) und lag ebenfalls in den Bundesländern Bremen, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein, Thüringen, Nordrhein-Westfalen, Berlin, Brandenburg, Saarland, Sachsen und Hamburg zum Teil deutlich über dem Bundesdurchschnitt (siehe Abbildung 3).

Für 91% der Fälle wird als Land, in dem die Infektion erworben wurde, Deutschland angegeben.

Die Altersverteilung (Abbildung 4) zeigt, dass die höchsten altersspezifischen Inzidenzraten von 80,2 bis 200,0 Erkrankungen pro 100.000 Einwohner bei Kindern im Alter unter fünf Jahren auftraten. Besonders betroffen waren die einjährigen Kinder. Bemerkenswert ist ein zweiter Gipfel bei den 20- bis 29-Jährigen mit Inzidenzen von über 100 Erkrankungen pro 100.000 Einwohner. Jungen und Männer (72,7 Erkr. / 100.000 Einw.) waren in fast allen Altersgruppen häufiger betroffen als Mädchen und Frauen (62,5); lediglich bei den 20- bis 29-Jährigen waren die Inzidenzraten bei den Frauen höher.

Abbildung 3: Übermittelte *Campylobacter*-Enteritiden pro 100,000 Einwohner nach Bundesland, Deutschland, 2004 (n=55.724)

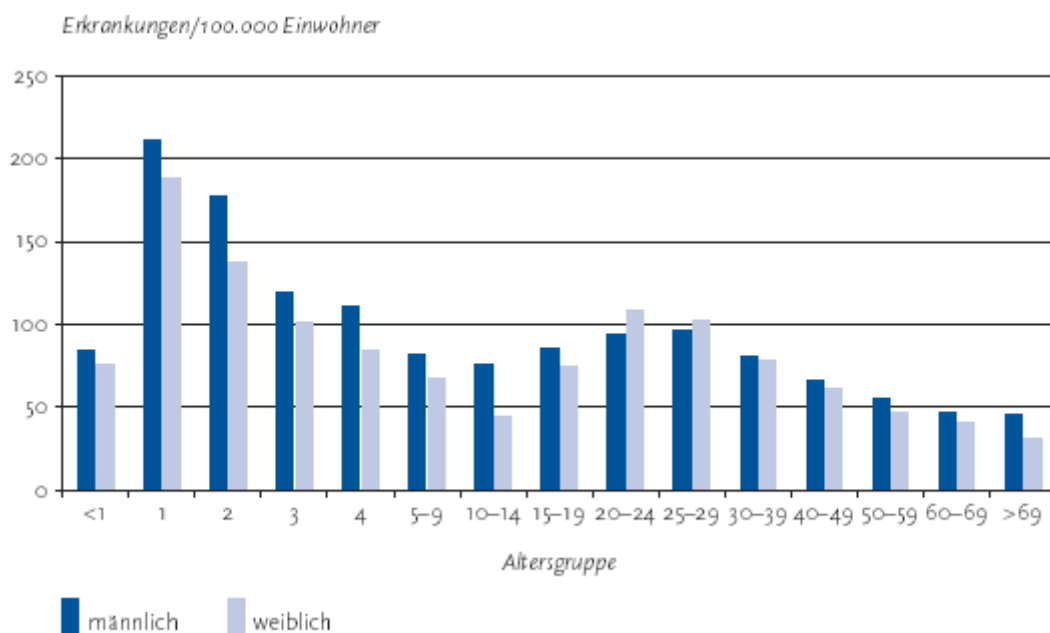
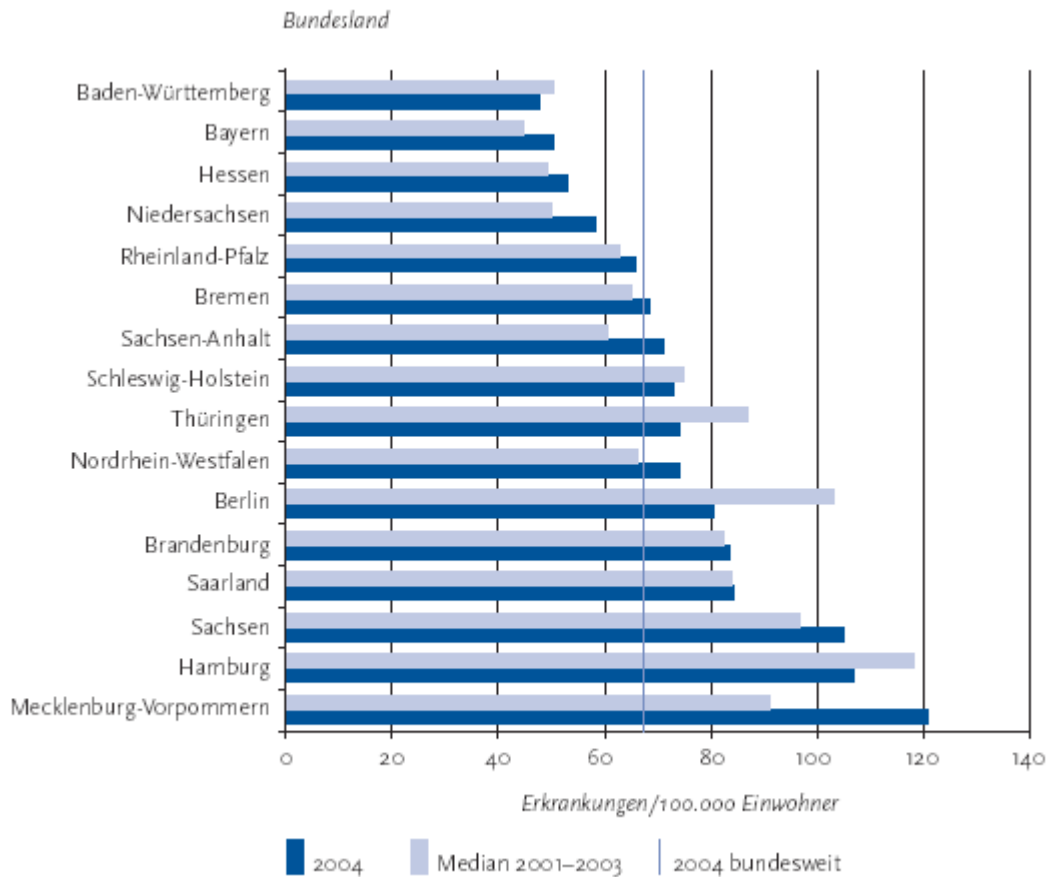


Abbildung 4: Übermittelte Campylobacter-Enteritiden pro 100.000 Einwohner nach Alter und Geschlecht, Deutschland, 2004 (n=55.726)



3.2.3 Häufungen (Ausbrüche) in Deutschland

Im Jahr 2004 wurden insgesamt 557 Häufungen mit 1.391 Erkrankungen übermittelt, davon 533 Häufungen mit weniger als fünf Fällen (insgesamt 1.212 Erkrankungen) und 24 Häufungen mit fünf oder mehr Fällen (insgesamt 179 Erkrankungen).

Bei einer Literaturrecherche in Medline (durchgeführt von Dr. U. Euler am 12.12.03) ist nur eine Publikation von 1986 zu einem Ausbruch in Deutschland zu finden [Steffen et al., 1986].

Die im Folgenden beschriebenen Untersuchungen wurden per Handsuche gefunden. Bei *Campylobacter*-Enteritis-Ausbrüchen wurde in Deutschland bisher überwiegend Rohmilch als Ausgangspunkt gehäufeter Infektionen ermittelt [Thurm et al., 1998, Epidemiologische Bulletins Nr. 50/97, 18/2000 und 26/2000].

Thurm und Dinger beschreiben in einer Publikation im RKI-Info 1998 eine Untersuchung von 17 Ausbrüchen durch *C. jejuni* mit über 940 Erkrankten, die zwischen 1991 und 1997 bekannt geworden sind. Rohmilch erwies sich in elf Ausbrüchen mit annähernd 800 Erkrankten in sechs Ländern als die häufigste Infektionsursache. Zwei Ausbrüche standen im Zusammenhang mit Geflügel, ein Ausbruch mit Hackfleisch, ein Ausbruch mit Oberflächenwasser und bei zwei Ausbrüchen ließ sich die Infektionsquelle nicht ermitteln [Thurm et al., 1998].

Bei einer Untersuchung eines Ausbruchs 1989 mit 72 Erkrankten (bei 68 gelang die Isolation von *C. jejuni*) im Stadtgebiet von Rostock ließ sich ein verdächtiges Lebensmittel nicht nachweisen. Die Verteilung der Erkrankung und der zeitliche Ablauf legten den Verdacht auf eine Trinkwasserkontamination nahe [Bindemann et al., 1991]

3.2.4 Nachgewiesene Erreger

Im Jahr 2004 lagen zu 55.601 *Campylobacter*-Fällen (99,7%) genauere Angaben zur Spezies vor. Es wurden 33.014 (59,4%) als *C. jejuni*, 10.636 (19,1%) als *Campylobacter* spp., 7.662 (13,8%) als *C. jejuni* / *C. coli* (nicht differenziert), 3.334 (6,0%) als *C. coli* und 463 (0,8%) als *C. lari* identifiziert.

3.2.5 Internationaler Vergleich

Da überwiegend keine nationalen Surveillance-Systeme existieren, fehlen konkrete Angaben zur Inzidenz der Campylobacteriose in den sog. „Dritte-Welt-Ländern“. Die meisten Schätzungen der Inzidenz kommen hier aus Labor-basierenden Surveillancesystemen, welche Erreger, die für Diarrhoen verantwortlich sind, erfassen. Der Anteil der *Campylobacter*-Isolationen reicht von 5 bis zu 20%.

Case-Control-community-based-studies haben Schätzungen von 40.000 bis 60.000 Erkr./100.000 Einw. für Kinder unter fünf Jahren ergeben. Schätzungen der Allgemeinbevölkerung in den westlichen Industrieländern und in den „Dritte-Welt-Ländern“ liegen bei ca. 90/100.000 und somit in vergleichbarer Größenordnung. Die Campylobacteriose ist in den „Dritte-Welt-Ländern“ also häufig eine pädiatrische Erkrankung. *Campylobacter* ist der am häufigsten isolierte bakterielle Erreger bei Kindern mit Diarrhoe unter zwei Jahren. Bei Erwachsenen scheint die Erkrankung keine wichtige Rolle zu spielen. Eine saisonale Präferenz wurde bisher nicht beobachtet, möglicherweise ist dies aber auf einen Mangel an Surveillance zurückzuführen. *C. jejuni* und *C. coli* sind die zwei wichtigsten Spezies, die isoliert wurden. Das klinische Erscheinungsbild reicht von wässrigen, nichtblutigen, nichtinflammatorischen Durchfällen bis zu schwer inflammatorischen Diarrhoen. Die Krankheit scheint weniger schwer zu verlaufen als in westlichen Industrieländern.

Insgesamt wurden im Jahr 2002 156.232 Fälle humaner Campylobacteriosen in der Europäischen Union aus 13 Mitgliedsländern gemeldet. Im Vergleich zum vorherigen Jahr hat sich die Zahl um 1,2% erhöht. In fast allen Ländern ist eine steigende Tendenz zu beobachten, bis auf UK, Irland, Frankreich und bei den importierten Fällen in Schweden, wo sich die Anzahl der gemeldeten Fälle reduziert hat. Im Vergleich zur Salmonellose wurde die Campylobacteriose häufiger in Dänemark, Finnland, Griechenland, Schweden, Niederlanden, UK und auch Norwegen entdeckt.

3.2.6 Gesundheitsschädigende Effekte (Symptome, Komplikationen, Folgeerkrankungen)

3.2.6.1 Klinische Symptomatik

Das Spektrum der Erscheinungsform reicht von asymptomatischem Verlauf bis zur schweren lebensbedrohlichen Kolitis mit toxischem Megakolon. Die häufigste Verlaufsform ist die akute unkomplizierte Enterokolitis, die sich klinisch von anderen akuten gastrointestinalen Infektionen nicht unterscheiden lässt. Eine definitive Diagnose kann nur über den positiven Nachweis im Stuhl erfolgen. Normalerweise ist *Campylobacter* im Stuhl nur selten zu finden, abhängig von der Population sind bei Ausbrüchen bis zu 50% der infizierten Personen asymptomatisch [Allos, 2001]. Am häufigsten werden hier *C. jejuni* (ca. 90% der Fälle) und *C. coli* (ca. 5% der Fälle) isoliert, seltener auch *C. lari*, *C. upsaliensis* und *C. fetus* sowie in Einzelfällen *C. hyointestinalis*, *C. concisus* [Kist, 2002; Darai et al., 2003; Nachamkin et al., 2000].

Nach einer Inkubationszeit von 2-5 Tagen (in Einzelfällen bis zu 10 Tagen) treten im Anschluss an eine kurze Prodromalphase (12-14 Stunden) mit Kopf-/Gliederschmerzen und Fieber die enteritischen Beschwerden auf. Es folgt meist eine akute wässrige Diarrhoe, mit kolikartigen Bauchschmerzen. Auch wässrig-blutige Diarrhoen werden bis zu einem Drittel beschrieben. Nach einer Dauer bis zu einer Woche tritt in der Regel eine klinische Spontanheilung ein, der sich eine asymptomatische Ausscheidungsphase von etwa drei Wochen anschließen kann. Bei bis zu 10% der Patienten können Rezidive auftreten. Bei Immundefizienz, z.B. bei AIDS-Patienten, ist mit einer Langzeitausscheidung zu rechnen [Kist, 2002]. Infektionen durch *C. fetus ssp fetus* verursachen oft systemische Manifestationen. Bakteriämie, Sepsis, Harnwegsinfekte, Meningitis, Endokarditis, Peritonitis, Pankreatitis, reaktive Arthritis, Abort und Neugeborenensepsis sind beschrieben.

Akute lokale Komplikationen der *Campylobacter*-Infektionen entstehen aus einer Streuung vom Gastrointestinaltrakt und können eine Cholezystitis, Pankreatitis, Peritonitis und massive gastrointestinale Hämorrhagien einschließen. Extraintestinale Manifestationen sind selten und können eine Meningitis, Endokarditis, septische Arthritis, Osteomyelitis und neonatale Sepsis einschließen. Eine Bakteriämie wird etwa bei < 1% der Patienten mit *Campylobacter*-Enteritis diagnostiziert und betrifft vor allem immunsupprimierte Personen oder sehr junge oder sehr alte Menschen [Allos, 2001]. Ein tödlicher Ausgang ist selten, die Letalität einer *Campylobacter*-Infektion wird mit 0,05 pro 1000 Infektionen angegeben [Allos, 2001].

3.2.6.2 Immunantwort

Antikörper gegen *Campylobacter*-Antigene erscheinen nach ca. fünf Tagen Krankheit und erreichen ihre Spitze innerhalb von 2-4 Wochen, um dann wieder über mehrere Wochen abzufallen. Studien mit Freiwilligen haben gezeigt, dass eine *Campylobacter*-Infektion eine kurzfristige Immunität zum homologen Stamm erzeugt, aber es ist nicht bekannt, wie lange diese anhält und wie breit die Immunität nach einer einzigen Infektion ist [Nachamkin et al., 2000].

In „Dritte-Welt-Ländern“, wo wiederholte Infektionen in frühen Kinderjahren häufig sind, sind weniger Infektionen mit Durchfall assoziiert und die Dauer und der Umfang der Ausscheidung von *Campylobacter* in der Rekonvaleszenzphase sind reduziert. Dies läuft parallel mit einem Anstieg an einem spezifischen IgA-Antikörper-Level im Serum. Bei älteren Kindern und Erwachsenen ist die *Campylobacter*-Enteritis nahezu nicht vorhanden, aber es ist nicht klar, ob diese verstärkte Immunität von der wiederholten Exposition mit dem Organismus abhängt [Nachamkin et al., 2000]. Relative Resistenz zu einer Infektion konnte auch bei einer Gruppe von Leuten beobachtet werden, die ständig rohe Milch trinken.

3.2.6.3 Therapie

Bei unkompliziertem Verlauf ist eine symptomatische Therapie mit Volumen- und Elektrolytsubstitution ausreichend. Bei schwerem und langanhaltendem Verlauf sowie bei immunsupprimierten Patienten wird die Gabe von Makroliden (Clarithromycin, Erythromycin), alternativ Gyrasehemmer (zunehmend Resistenzentwicklung!) empfohlen [Kist, 2002; Darai et al., 2003; Nachamkin et al., 2000].

3.2.6.4 Folgekrankheiten

An bedeutenden Spätkomplikationen werden vor allem die reaktive Arthritis und das Reiter-Syndrom sowie das Guillain-Barré Syndrom beschrieben.

Die reaktive Arthritis wird bei 1-7% der Enteritis-Erkrankten etwa ein bis zwei Wochen nach Krankheitsbeginn beobachtet [Hannu et al., 2002; Peterson, 1994] und kann von einigen Wochen und Monaten bis zu gelegentlich einem Jahr anhalten [Hannu et al., 2002; Nacham-

kin et al., 2000]. Sie ist gewöhnlich oligoartikulär, asymmetrisch, häufig sind die Kniegelenke betroffen. In der Regel tritt eine völlige Wiederherstellung ein. Eine genetische Prädisposition bei HLA-B 27-positiven Patienten wurde beschrieben [Peterson, 1994] (bis zu 65%).

Das klinische Vollbild der reaktiven Arthritis mit drei oder vier Hauptsymptomen wird als Reiter-Syndrom bezeichnet (in etwa 20% der Fälle von reaktiver Arthritis [Kist, 2002]). Arthritis, Urethritis, Konjunktivitis/Iritis und die Reiter-Dermatose sind die Hauptsymptome.

Die jährliche Inzidenz des Guillain-Barré Syndroms (GBS) bewegt sich international zwischen 0,4 bis 4 Fällen pro 100.000 Einwohner [Nachamkin et al., 2000; Allos, 2001; Hughes et al., 1999]. Die Erkrankung scheint Männer häufiger als Frauen zu betreffen. In etwa $\frac{3}{4}$ der Fälle gehen den neurologischen Erscheinungen uncharakteristische Allgemeinsymptome voraus, insbesondere Infekte der oberen Luftwege oder Magen-Darm-Erscheinungen. Bei 30 bis 40% der Patienten mit GBS lässt sich eine *Campylobacter*-Infektion nachweisen (Japan bis zu 52%, China bis zu 72%) [Nachamkin, 2002], jedoch wird das Risiko, ein GBS nach einer *Campylobacter*-Infektion zu entwickeln als gering mit <1 Fall pro 1000 *C. jejuni*-Infektionen angegeben. Das Risiko, ein GBS zu entwickeln, könnte für verschiedene Serotypen unterschiedlich hoch sein. So wird in Japan eine häufige Assoziation mit Serotyp Penner O:19 (O oder HS = hitzestabil, Lior HL = hitzelabil), in Südafrika Penner Typ O:41 beobachtet. In anderen Ländern wurde diese starke Assoziation jedoch nicht beobachtet.

Nach ca. Ein bis zwei Wochen [Kist, 2002] sind aufsteigende Parästhesien zunächst an den Füßen, später auch an den Händen, beschrieben. Selten bestehen auch Schmerzen, die den Lähmungserscheinungen vorausgehen können. Gleichzeitig oder bald darauf motorische Schwäche zunächst in den Beinen, die innerhalb von einem oder wenigen Tagen zu einer hochgradigen Parese oder gar zu einer Tetraplegie führen kann. Die Paresen können auch weiter aufsteigen und durch Befall der oberen zervikalen Wurzeln das Zwerchfell ergreifen und zu Atemlähmungen führen.

Im weiteren Verlauf tritt bei den meisten Patienten allmählich eine Erholung in der umgekehrten Reihenfolge des Auftretens der Symptome ein, wobei je nach Schwere der Lähmung innerhalb von Wochen bis wenigen Monaten eine vollständige Restitution zu erwarten ist. Vereinzelt Fälle benötigen bis zu zwei Jahre. Die Mortalität wird mit ca. 3% angegeben [Hughes et al., 1999].

Als Therapie wird die Pflege, Vermeidung von sekundären Komplikationen und Thromboseprophylaxe empfohlen. Bei chronischen Verläufen ist Plasmapherese und die Gabe von Immunglobulinen angezeigt.

Vier Verläufe von GBS werden unterschieden:

- die akute inflammatorische demyelinisierende Polyradikuloneuropathie (AIDP) mit multifokalen axonalen Läsionen und Degenerationen der Myelinscheiden, Areflexie und distal oder proximal betonten Paralysen mit wechselnden Sensibilitätsstörungen (CMV, GM2),
- die akute motorische axonale Neuropathie (AMAN) mit ausschließlich motorischen Ausfällen (GD1a, rein motorisch *C. jejuni* GM1),
- die akute motorische und sensorische axonale Neuropathie (AMSAN) mit großer Ähnlichkeit zur AMAN-Verlaufsform, jedoch mit sensibler Beteiligung und
- das Miller-Fisher-Syndrom (MFS) mit den drei Kardinalsymptomen „Ophthalmoplegie, zerebelläre Ataxie und Areflexie“ (*C. jejuni*, GQ1b). Ca. 3% [Van der Meche et al., 2001].

Bei Patienten mit GBS können Antikörper nachgewiesen werden, die mit „Gangliosiden“ reagieren. Ganglioside gehören zur Proteinfamilie der Sialinsäure – substituierten Glycosphingolipide, die besonders im Nervengewebe und dort vor allem in den axonalen Myelinscheiden angereichert sind. Ein auffälliges molekulares Mimikry (teilweise Gemeinsamkeit der

molekularen Struktur eines Fremdanigens mit einer bestimmten körpereigenen Eiweißstruktur) zwischen diesen Gangliosiden und den Lipopolysacchariden von einigen *Campylobacter*-stämmen (LPS von *C. jejuni* ist teilweise auch mit Sialinsäureresten substituiert) spielt möglicherweise eine Rolle in der Pathogenese der *Campylobacter*-induzierten GBS [Rees et al., 2004].

An weiteren postinfektiösen Komplikationen werden hämolytische Anämien, hämolytisch-urämisches Syndrom, Karditis und Enzephalopathien beschrieben [Allos, 2001].

Jüngste Untersuchungen zeigen, dass das Glykom (Kohlenhydrate) der Zelloberfläche von *C. jejuni*, welches eine bedeutende Rolle in Zell-Zell-Interaktionen und bei der Immunantwort des Wirtes spielt, eine extreme Strukturvariabilität hat [Karlyshev et al., 2005]. Diese Variabilität der Stämme trägt vermutlich entscheidend zur Befähigung der *C. jejuni* bei, verschiedene Wirte zu besiedeln. Weiterhin ist es wahrscheinlich, dass dadurch die Immunabwehr des Wirtes vermieden werden kann. Daneben kann hier auch die unterschiedliche Interaktion mit den Wirten, Kommensale oder Krankheitserreger, ihren Ursprung haben.

3.3 Vorkommen von *C. jejuni* und *C. coli* in verschiedenen Lebensmitteln und in Wasser

Die Epidemiologie der *Campylobacter*-Infektion ist bis heute weitgehend unerforscht. *Campylobacter* spp. treten nahezu ubiquitär auf. Man findet sie in vor allem in Oberflächenwasser und im Intestinaltrakt warmblütiger Tiere. Besonders häufig sind *Campylobacter* bei Vögeln, und sie werden häufig bei Geflügellebensmitteln gefunden [Nachamkin et al., 2000]. Sie treten aber auch bei Rindern, Schweinen (hier insbesondere die Spezies *C. coli*), Schafen und Ziegen sowie bei Hunden und Katzen auf. Häufige Nachweise gibt es in Rohmilch. Fleisch von Rindern und Schweinen ist jedoch nur selten kontaminiert.

Über das Vorkommen von *Campylobacter* in deutschen Gewässern gibt es erst in jüngster Zeit Erkenntnisse [Schindler et al., 2003]. In den Jahren 2000–2002 wurden in Bayern 211 Proben aus Badeseen und 170 Proben aus Flüssen qualitativ auf *Campylobacter* spp. untersucht. 22,7% und 44,7% der Proben waren mit *Campylobacter* kontaminiert. Die positiven Wasserproben zeichneten sich durch besonders hohe Leitwerte und hohe Gehalte an coliformen Keimen aus (signifikanter Unterschied zu der Gesamtheit der Wasserproben). 60% der Isolate konnten der Spezies *C. jejuni* zugeordnet werden, 25,8% waren *C. coli* und 6,5% *C. lari*.

Im Rahmen des CARMA-Projektes wurden in den Niederlanden Badegewässer (Seen und Flüsse) auf *Campylobacter* untersucht [Jacobs-Reitsma et al., 2003]. Dabei zeigten sich 24 von 26 Proben aus Flüssen *Campylobacter*-positiv mit Mengen von 0,2-24 MPN in 100 ml Wasser. 58-92% der Proben aus Badeseen waren kontaminiert und es wurden MPN-Werte von 0,2 bis 160 C. in 100 ml Wasser gefunden. Speziesdifferenzierungen zeigten auch in dieser Studie besonders hohe Anteile von *C. coli*. Die Autoren schätzen die rekreative Nutzung von Badegewässern als eine bedeutende Quelle für *Campylobacter*-Infektionen ein. Möglicherweise handelt es sich hierbei um eine wesentliche Quelle für Infektionen mit der Spezies *C. coli*, die über diesen Umweg vom Schwein zum Mensch gelangen könnten.

In einer indischen Arbeit [Baserisahlehi et al., 2004] wurden *Campylobacter* in Flusswasser quantifiziert. Im Mittel wurden log 2,7 cfu in 100 ml Wasser gefunden. Bemerkenswerterweise wurden in den gleichen Proben im Mittel nur log 1,2 cfu coliforme Keime gefunden. Um Faktor 10 größere Mengen wurden von den Autoren in Abwässern nachgewiesen.

In den skandinavischen Ländern spielt der Genuss von unbehandeltem kontaminiertem Wasser als Trinkwasser eine bedeutende Rolle in der Epidemiologie der *Campylobacter*-infektion.

So wird beispielsweise von Kuusi et al. [2004] von einem Ausbruch in Finnland berichtet, der durch Wasser ausgelöst wurde und 463 Erkrankte umfasste.

Ein weiterer denkbarer möglicher Infektionsvektor vom infizierten Tier zum Menschen könnte die organische Düngung sein. So könnte es von organisch gedüngten Feldern ausgehend, z.B. durch Auswaschung mit dem Regen, zu einer Kontamination von Oberflächengewässern kommen. Weiterhin könnte auch eine Aufnahme in Pflanzen erfolgen oder zumindest eine oberflächliche Kontamination von Pflanzen durch die Düngung mit kontaminiertem organischen Dünger stattfinden. Verschiedene Autoren haben *Campylobacter* in Dung, Stallmist und organischen Düngern nachgewiesen. In England wurden *Campylobacter* in frischen und gelagertem Dung verschiedener Tiere quantifiziert [Hutchinson et al., 2004]. Selbst in gelagertem Dung von Rindern und Schweinen wurden bis zu log 5 cfu/g nachgewiesen. Nicholsen et al. [2005] wiesen nach, dass die mit dem Dung auf Böden ausgebrachten *Campylobacter* mehrere Wochen überleben können. Eine weitere Studie aus Großbritannien untersuchte Einstreu von Hühnerställen, welche zur Anzucht von Pilzen genutzt wurde, auf das Pathogen [Rao et al., 2003]. Hier konnten *Campylobacter* nicht nachgewiesen werden. Fraglich ist, wie und ob die *Campylobacter* vom Boden ausgehend weiter verbreitet werden können. Studien mit *E. coli* O157:H7 zeigten, dass dieses Pathogen zwar mehrere Wochen im Boden überleben kann, nachdem sie über Dung eingebracht wurden, es fand unter den gewählten Studienbedingungen keine Aufnahme in Salat statt [Johannessen et al., 2004 und 2005]. Andererseits konnte in einer amerikanischen Studie belegt werden, dass Nematoden im Boden pathogene Bakterien aufnehmen und später auf der Oberfläche von Obst und Gemüse wieder ausscheiden können [Gibbs et al., 2005]. Es bestehen also verschiedene Übertragungsmöglichkeiten. Mögliche Aktionen zur Verminderung des Eintrags von *Campylobacter* wären die Einführung einer Karenzzeit zwischen organischer Düngung und Ernte oder der Erlass eines Gebots der Dekontaminierung von organischem Dünger [Harrington, 1998]. Waschen und Kühlen von Obst und Gemüse allein kann Bakterien nicht eliminieren, die Verantwortung für sichere Lebensmittel kann deshalb nicht allein auf den Caterer übertragen werden, die Elimination der Bakterien sollte bereits früh in der Lebensmittelkette erfolgen. Weiterhin könnten freilaufende Haustiere wie Hunde und Katzen zu einem Eintrag von in der Umwelt befindlichen *Campylobacter* (z.B. im Rinderkot auf einer Wiese oder auf einem frisch gedüngten Feld) in den Haushalt beitragen. Mehrere Autoren berichten vom Nachweise der Infektion mit *C. jejuni* bei Katzen und Hunden [z.B. Damborg et al., 2004]. Dänische Forscher machten eine longitudinale Studie zum Vorkommen von *Campylobacter* spp. bei Hunden im Alter von drei bis acht Monaten bis hin zu einem Jahr [Hald et al., 2004]. Hierbei zeigte sich, dass der überwiegende Anteil der jungen Hunde *Campylobacter* ausschieden. In 75% der Fälle handelte es sich jedoch um die nur selten als Krankheitserreger in Erscheinung tretenden *C. upsaliensis*. Daneben wurde eine transiente Kolonisierung mit anderen, genetisch diversen *Campylobacter* spp. beobachtet. Hierbei handelte es sich hauptsächlich um *C. jejuni*.

Eine Übertragung der *Campylobacter*infektion von Mensch zu Mensch findet nur selten statt, kann jedoch nicht gänzlich ausgeschlossen werden. So könnte es sein, dass es während der akuten Phase der Durchfallerkrankung zu einer Ansiedelung oder Übertragung von *Campylobacter*bakterien im Badezimmer kommt. Es ist für Salmonellen beschrieben worden, dass sie während der Erkrankung eines Familienmitglieds durch das Wasser der Toilettenspülung direkt oder über Aerosol auf diverse Oberflächen im Badezimmer verteilt werden [Barker et al., 2000].

3.4 Verbreitung von *Campylobacter* durch Kreuzkontamination

Im Rahmen des WHO-Surveillance-Programms, zuletzt publiziert im Dezember 2003 [8th report (1999-2000); http://www.euro.who.int/eprise/main/WHO/Progs/FOS/Surveillance/20031127_19], ist ermittelt worden, dass etwa 25% der in Europa auftretenden Lebensmittelinfektionsausbrüche auf Rekontaminationen zurückgeführt werden können. Als Hauptursachen für die aufgeklärten Ausbrüche wurden unzureichende Hygiene (1,6%), Kreuzkontamination (3,6%), Verarbeitung und Lagerung von Lebensmitteln in ungeeigneten Räumlichkeiten (4,2%), kontaminiertes Equipment (5,7%) und Kontamination durch das Personal (9,2%) benannt.

Für sporadische Erkrankungen wie die *Campylobacteriose* sollten zur Aufklärung Fall-Kontrollstudien durchgeführt werden, um die entsprechenden hochriskanten Lebensmittel und Praktiken zu identifizieren, welche zur Erkrankung führen. Dazu gehört auch die Klärung des Potenzials für Rekontamination [Reji et al., 2004].

Neben der Kontamination während der Gewinnung oder Herstellung der Produkte, in unserem Fall bei der Geflügelmast und während der Verarbeitung des Geflügels im Schlachthof, kann es zu Kontaminationen bei der Zubereitung von Speisen mit Geflügelfleisch in Restaurants, Imbissen und auch im Privathaushalt kommen.

Bekannte Routen der Rekontamination in Bereichen der häuslichen oder gewerblichen Lebensmittelzubereitung sind der Eintrag von Bakterien über Rohwaren, unsaubere Oberflächen, die mit Lebensmitteln in Kontakt kommen, und das Personal. Für *Campylobacter* ist insbesondere der Eintrag der Bakterien über rohes Geflügelfleisch bedeutend. Neben Hygienefehlern bei der Zubereitung von Brathähnchen im Imbiss, durch z.B. Einhängen von rohen Hähnchen oberhalb von bereits verzehrsbereiten Hähnchen, die dann durch *Campylobacter* im Tropfwasser verunreinigt werden [Beutling, 1998], kann es als Resultat einer inadäquaten Hygiene zur Übertragung von *Campylobacter* von der Rohware auf bereits zubereitete, verzehrsfähige Speisen kommen. Weiterhin ist die direkte Aufnahme von *Campylobacter*-Bakterien von der Hand in den Mund möglich. Die Übertragung von *C. jejuni* von Hähnchen auf die Hände und in der Folge auf andere Lebensmittel ist experimentell belegt worden [Brown et al., 1988]. Während es bei der industriellen Verarbeitung des Geflügels gut möglich ist, mehr oder weniger erfolgreiche Präventionsmaßnahmen zu implementieren, erscheint dies wenig aussichtsreich im Bereich des Gaststättengewerbes und nahezu unmöglich im Bereich der privaten Haushalte. Mehrere Untersuchungen haben belegt, dass Rekontaminationen bei der Zubereitung von Geflügel stattfinden (siehe Kapitel 3.5). Das Auftreten von Hygienefehlern im Privathaushalt ist ein häufig unterschätztes Problem. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass in den modernen Haushalten der hochentwickelten Industrienationen noch alle traditionellen Hygienepraktiken aufrechterhalten werden. Die Küchen von Privathaushalten bieten eine Vielzahl von Gelegenheiten für Rekontaminationen [Bloomfield, 2003; Redmond et al., 2003]. Es kann sein, dass sich pathogene Bakterien in den Küchen angesiedelt haben und immer wieder Lebensmittel kontaminieren. Für *Campylobacter* spielt dieser Rekontaminationsweg nur eine untergeordnete Rolle. Neben ihrer eingeschränkten Überlebensfähigkeit in der Umwelt hindert sie vor allem ihre Unfähigkeit zur Vermehrung außerhalb des Intestinaltraktes daran, ein erfolgreicher Besiedler von Nischen in Küchen zu werden. Ein bekanntes Beispiel für die Rekontamination bei *Campylobacter* ist hingegen der Kontakt zwischen rohem Hähnchen und Lebensmitteln, die verzehrsbereit sind, über kontaminierte Schneidbretter und Utensilien wie Messer oder auch über zwischen den Arbeitsschritten unzureichend gereinigte Hände. Weiterhin sind Ausscheider unter den Menschen bekannte Quellen für Rekontaminationen im Privathaushalt. Da es bei *Campylobacter*-Infizierten aber eigentlich keine Ausscheider gibt, scheint dieser Weg nur eine untergeordnete Rolle zu spielen. Um die Risiken in Haushalt und Großküche managen und bekämpfen zu können, ist es sehr wünschenswert, die verschiedenen Kreuzkontaminationswege zu quantifizieren [Chan et al., 2001].

Sticht-Groh beschreibt bereits 1981 in Deutschland den Fund von *Campylobacter* spp. in frisch zubereitetem Fleischsalat. Die Gefahr der Kreuzkontamination in der Küche, also die Übertragung von *Campylobacter*-Bakterien von rohem Fleisch auf ohne weitere Erhitzung zu verzehrende Speisen, ist somit ein schon seit 25 Jahren bekanntes Problem. Besonders Salate mit Eiweiß- und fetthaltigen Dressings können *Campylobacter* vor der Austrocknung schützen [Wundt, 1985] und stellen somit risikoreiche Mahlzeitenbestandteile dar.

Der Verzehr von Salat wurde in Fall-Kontrollstudien, bei denen diese Kategorie abgefragt wurde, als signifikant mit einem erhöhten Campylobacteriose-Risiko einhergehender Faktor identifiziert [Evans et al., 2003]. Es ist zu vermuten, dass der Salat erst in der Küche während der Zubereitung von Geflügelprodukten durch Kreuzkontaminationen mit den Campylobactern verunreinigt wird.

Bestätigt wird diese Theorie durch diverse Untersuchungen von Salaten, Gemüse und Fertiggerichten auf *Campylobacter*. Sagoo et al. [2003] haben in England 3.852 Proben von verpackten Fertigsalaten (Gemüse) und 2.950 Proben von offenen Salatbars auf mehrere Mikroorganismen untersucht. Alle waren negativ für *Campylobacter*. Moore et al. [2002] haben 2.030 Fertiggerichte (darunter 1.061, die Geflügel enthielten) untersucht und ebenfalls keinen positiven *Campylobacter*-Befund verzeichnen können. 127 Proben verschiedenster Gemüsesorten wurden von Thunberg et al. [2002] in den USA im Einzelhandel untersucht, alle waren negativ für *Campylobacter*. Little et al. [1999] haben 1998 in England 151 frische unverarbeitete Kopfsalate auf *Campylobacter* untersucht, alle waren negativ. Positive Gemüseproben wurden jedoch 1992 in Kanada gefunden [Park et al., 1992], alle Gemüseproben aus dem Supermarkt waren hier negativ, jedoch wurden *Campylobacter* in 3,3% der untersuchten Spinatproben (2/60), 3,1% des Kopfsalates (2/67), 2,7% der Rettiche (2/74) sowie je einmal auf Grünen Zwiebeln (N=40), Petersilie (N=42) und Kartoffeln (N=63) eines Wochenmarktes nachgewiesen. Die Autoren vermuten, dass die weniger hygienischen Bedingungen bei der Gemüseproduktion und Lagerung zu der Verunreinigung mit *Campylobacter* führen. Bei einer groß angelegten Untersuchung von biologisch produziertem verarbeitetem (ready-to-eat) Ökogemüse (N=3.200 Proben) wurde jedoch in keinem Fall *C. spp.* nachgewiesen [Sagoo et al., 2001].

Bei den Untersuchungen werden das Gemüse, der Salat und das Obst im Regelfall auf oberflächliche Verunreinigung mit *Campylobacter* untersucht. Unklar ist bis heute jedoch, ob es zu einer intrazellulären Aufnahme der *Campylobacter*, z.B. in die Wurzeln der Gemüse kommen kann, wie es beispielsweise für EHEC-Bakterien und Salmonellen beschrieben ist. Wenn dann nur oberflächlich geschaut wird (Spülprobe), statt bei der Probenaufbereitung mit dem Stomacher zu homogenisieren, könnte die Prävalenz kontaminierter Proben unterschätzt werden.

Elson et al. [2004] haben auf Einzelhandelsniveau, bei Caterern und in Restaurants entnommene Proben von kaltem Bratenaufschnitt bzw. Pâté untersucht, die aus lebensmittel-mikrobiologischer Sicht als hochriskante Produkte gelten. Von insgesamt 4.078 Proben waren nur zwei der Bratenaufschnittproben *Campylobacter*-positiv in 25 g. Insgesamt zeigte sich ein klarer Zusammenhang zwischen der Hygiene in den Betrieben und der mikrobiologischen Qualität der Produkte. Das kalte Fleisch scheint aber nur eine untergeordnete Rolle als Übertragungsweg für *Campylobacter* zu spielen. Interessanterweise waren die Proben von Putenfleisch signifikant von schlechterer mikrobiologischer Qualität als jene von Schweinefleisch oder Rind. Die Autoren gehen ebenso wie Reij et al. [2004] davon aus, dass die verarbeiteten Lebensmittel überwiegend durch Rekontamination, weniger durch Zubereitungsfehler wie nicht ausreichendes Erhitzen mit *Campylobacter* kontaminiert werden. Ein experimenteller Nachweis von bakterieller Kreuzkontamination im Bereich der Fleisch- und Frischetheke von Supermärkten wurde von Banatvala et al. [1996] geführt. Zu einer Verbreitung von pathogenen Bakterien kam es durch die Nutzung der gleichen Messer, Schneidbänke und auch Fleischwölfe für rohes Fleisch von Hähnchen, Rind und Lamm. Ins-

besondere die Fleischwölfe wurden in diesem Fall nur einmal wöchentlich gereinigt und nie desinfiziert. Die Bakterien verunreinigten nicht nur verschiedene Fleischsorten, sondern auch Aufschnittware.

Bereits 1984 machten Dawkins et al. Untersuchungen zur Ausbreitung von *C. jejuni* in Großküchen, in welchen frische oder gefrorene Hähnchen zubereitet wurden. Sie entnahmen in vier verschiedenartigen Großküchen zu je vier Zeitpunkten Tupferproben von Arbeitsflächen, den Spülen und von Fußböden in jenen Küchenbereichen, in welchen die Hähnchen zubereitet wurden. Vor Arbeitsbeginn waren die Arbeitsflächen, Spülen und die Hände der Arbeiter stets frei von *Campylobacter*. Bei ordnungsgemäßer Reinigung waren auch nach Abschluss der Arbeiten alle Flächen und Hände wieder frei von *Campylobacter*. Während der Zubereitung der teilweise (natürlich) kontaminierten Hähnchen kam es jedoch zu Verunreinigungen. Insbesondere in einer der Küchen, in welcher täglich ca. 9.000 Karkassen zubereitet werden, wurden zu allen Terminen *Campylobacter* gefunden, jedoch nie auf den hier stichprobenartig überprüften verarbeiteten Produkten. Die anderen Küchen verarbeiteten neben anderen Produkten 20 bis 100 Hähnchen an dem untersuchten Tag. Bei der Hälfte der Termine wurden *Campylobacter* auf den Küchenflächen oder Händen gefunden. Insbesondere Arbeitsflächen und die Spülbecken waren kontaminiert. Die Autoren schlussfolgern, dass es sehr wahrscheinlich ist, dass Arbeitsflächen mit dem Bakterium verunreinigt werden, wenn *Campylobacter* mit frischen oder gefrorenen Hähnchen in die Küche kommen. Dies war auch bei „Guter Küchenpraxis“ nicht zu vermeiden. Werden zubereitete Speisen auf diesen Flächen abgelegt, so ist es sehr wahrscheinlich, dass die Bakterien übertragen werden. Bei den Arbeitern waren verhältnismäßig wenig positiv getestete Hände gefunden worden. Vermutlich lag dies daran, dass die Hähnchen von den Arbeitern zunächst unter fließendem Wasser abgespült wurden. Auf trockenen Flächen wurden nie *Campylobacter* gefunden. Die Autoren machen diese Kreuzkontaminationen und schlechte Handhygiene für einen Großteil der sporadischen *Campylobacter*infektionen verantwortlich.

Als Quelle der Kreuzkontamination kommt nicht nur das rohe Hähnchenfleisch selbst in Frage, bereits die Umverpackungen können mit *Campylobacter* verunreinigt sein. Jorgensen et al. [2002] haben in einer Studie festgestellt, dass über die Hälfte der Verpackungen von Hähnchen mit *Campylobacter* kontaminiert war. Hier lagen allerdings i.d.R. nur geringe Keimzahlen vor, so dass im Direktnachweis nur eine geringe Prävalenz gefunden wurde. Die meisten Verpackungen waren nur nach Anreicherung positiv. Knapp 10% der Verpackungen waren jedoch mit *Campylobacter* in der Größenordnung von $\log 2,7 - \log 6$ cfu/Verpackung behaftet. Eine qualitative Untersuchung von 3.662 Verpackungen von rohem Fleisch in England im Zeitraum von September bis Oktober 2002 zeigte eine Prävalenz von 1,1% (41 Packungen) von extern mit *Campylobacter* verunreinigten Packungen [Burgess et al., 2005]. Besonders häufig waren Verpackungen von Geflügel betroffen und hier wiederum solche, bei denen eine Styroporschale mit Folie umwickelt war. Verschweißte Verpackungen waren signifikant seltener außen verunreinigt. Insgesamt scheint die äußerliche Kontamination der Packungen somit hauptsächlich von dem kontaminierten Produkt innerhalb der Packung auszugehen.

Typisierungen und die indirekte Testung der Hygiene über Indikatororganismen oder chemische Indikatoren für biologische Aktivität sind für die Untersuchung der Zusammenhänge bei *Campylobacter* nicht geeignet. Es ist zu beachten, dass bei den Probenahmen während der Verarbeitung der Hähnchen im Schlachthof die speziellen Begebenheiten der Umgebung im Schlachthof (hohe Feuchtigkeit!) und die Besonderheiten von *Campylobacter* berücksichtigt werden. U.a. ist mit großen Mengen von Begleitflora zu rechnen, die quantitativen Nachweismethoden müssen ggf. hieran angepasst werden. Wie auch immer, nur wenn die Mechanismen der Kreuzkontamination erforscht und die Mengen an transferierten *Campylobacter* quantifiziert werden, wird es möglich sein, eine realistische Risikobewertung über die gesamte Lebensmittelkette durchzuführen. Nur wenn die am stärksten zum Risiko beitragenden Faktoren identifiziert werden, können effektive Risikomanagementoptionen ergriffen

werden. Es müssen Daten erhoben werden, damit effektive HACCP-Schemata für die Geflügelschlachtung erarbeitet und sinnvolle Umgebungskontrollen etabliert werden können. Weiterhin stellen diese Daten die Basis für Ausbruchsuntersuchungen dar. Systematische Monitoringprogramme werden helfen, die Effektivität von Präventivmaßnahmen zu verifizieren und diese bei Bedarf zu verbessern. Darüber hinaus werden die gewonnenen Daten bessere mathematische Modellierungen ermöglichen.

Spezielle Untersuchungen zur Kreuzkontamination von *Campylobacter* wurden in Holland im CARMA-Projekt vorgenommen. Eine Untersuchung der Wertigkeit verschiedener Eintragswege für *Campylobacter* zeigte, dass rohe Lebensmittel und Freizeitgewässernutzung mit dem höchsten Risiko, an einer Campylobacteriose zu erkranken, verknüpft sind [Evers et al., 2003]. Die Gruppe geht bei diesem Modell davon aus, dass es bei der Erhitzung von Produkten auf jeden Fall zur Abtötung von *Campylobacter* im Produkt kommt, so dass nur roh verzehrte Lebensmittel direkt den Verbraucher gefährden. Weiterhin wurde mit einem stochastischen Simulationsmodell geprüft, wodurch bei einer rohen Hähnchenbrust für den Verbraucher die größte Exposition ausgeht. Zum einen wurde die nicht ausreichend gegarte Hähnchenbrust als direkte Exposition des Verbrauchers betrachtet und zum anderen Kreuzkontaminationen. Dabei zeigte sich, dass insbesondere die Kreuzkontaminationen zur Exposition führen [Mylius et al., 2003]. Entscheidend für das Auftreten gehäufter Kreuzkontaminationen ist nach Meinung der Autoren dabei nicht, wie schlecht der allgemeine Hygienestandard in einem Haushalt ist, sondern vielmehr, welche Verhaltensroutinen bei der Zubereitung der Hähnchenbrust eingesetzt werden. Vor allem die Reihenfolge der verschiedenen Handlungen beeinflusst das Risiko erheblich. Daten für die Häufigkeit von verschiedenen Handlungen bei der Zubereitung von Mahlzeiten in deutschen Küchen fehlen leider bis heute.

Das CARMA-Projekt hat weiterhin ein mechanistisches Modell für die Kreuzkontamination durch eine Hähnchenbrust erstellt. Es wird davon ausgegangen, dass auf einem Brettchen zunächst das Filet zerkleinert wird und später ein Salat. Als Kreuzkontaminationswege kommen die Utensilien (hier: Schneidbrett), der Wasserhahn und die Hände in Frage. Im Ergebnis zeigt sich, dass der größte Erfolg (Senkung des Erkrankungsrisikos) erzielt werden konnte, wenn der Salat nach dem Schneiden gewaschen wurde. Im Gegensatz dazu wirkte sich die Effizienz des Händewaschen und auch das Waschen des Brettchens kaum aus. Das Abspülen des Brettchens war aber wichtiger als das Waschen der Hände. Modelliert man so, scheint also das Waschen der Hände nicht der entscheidende, wichtige Hygienefaktor zu sein. Insgesamt kann man aber davon ausgehen, dass erhebliche Mengen *Campylobacter* nach dem Anfassen des Hähnchens auf den Händen vorhanden sind – fraglich ist also immer noch, welche Kontaminationswege die wirklich entscheidenden sind in der Küche – vor allem in Fällen, in denen kein Salat auf einem kontaminierten Brettchen zubereitet wird.

Aus der Publikation geht leider nicht klar hervor, ob Transferraten für *Campylobacter* wirklich experimentell bestimmt wurden. Vermutlich ist dies nicht der Fall und die Autoren greifen auf dieselbe Datenbasis wie die dänischen Risikobewerter zurück [Zhao et al., 1998; Chen et al., 2001]. Diese Untersuchungen zur Quantifizierung sind aber mit Enterkokken gemacht worden. Allgemein hat sich in Untersuchungen gezeigt, dass *Campylobacter* sich nicht genauso verhalten wie andere Bakterien [z.B. Purnell et al., 2004]. Es erscheint deshalb sinnvoll, einige Experimente zur Bestimmung von Transferraten von *Campylobacter* durchzuführen.

In zwei Studien wurden natürlich mit *Campylobacter* kontaminierte Hähnchen von verschiedenen Freiwilligen zubereitet. Anschließend wurden verschiedene Bereiche in der Küche auf *Campylobacter*-Prävalenz getestet [Cogan et al., 1999]. Hierbei konnte eindeutig belegt werden, dass sich *Campylobacter* von natürlich kontaminierten Hähnchen während der Zubereitung eines solchen Produktes in der Küche über die Hände und verunreinigte Lebensmittel-Kontaktflächen ausbreiten. Die Autoren bezweifeln, dass mechanisches Reinigen mit warmem Wasser und Seife ausreicht, um die Bakterien zu entfernen. Sie empfehlen den

Einsatz von Desinfektionsmitteln. In einer zweiten Studie derselben Gruppe wurden auf Hände und Kontaktflächen transferierte *Campylobacter*-mengen ermittelt [Cogan et al., 2002]. Es zeigte sich, dass mehr Küchenbereiche nach der Zubereitung eines kontaminierten Hähnchens mit *Campylobacter* behaftet waren als in vergleichbarer Situation mit *Salmonellen*. Die Menge der übertragenen Keime war bei *Campylobacter* ebenfalls höher als bei *Salmonella*. Dies ist ein eindeutiger Hinweis darauf, dass für *Salmonella* oder andere Bakterien gewonnene Informationen zu Transferraten nicht einfach auf *Campylobacter* übertragen werden können. Weiterhin zeigte diese Studie, dass bereits bei einer einfachen Reinigung mit warmem Wasser und Seife die *Campylobacter*-Keimzahlen an den Händen und auf dem Schneidbrett stark reduziert wurden. Wurden die Hände und Utensilien zusätzlich unter fließendem Wasser abgespült, waren nur auf den Schneidbrettern noch geringe Mengen *Campylobacter* (nach Anreicherung, <10 cfu / Brett) nachweisbar.

Besondere Bedeutung hinsichtlich der Kreuzkontamination verschiedener Lebensmittel im Privathaushalt wird den Schneidbrettern zugesprochen. *Campylobacter* können sich vermutlich nicht auf derartigen Schneidbrettern vermehren oder über mehrere Tage persistieren, aber sie können bei nicht sachgemäßer Reinigung durch die Oberfläche von dem rohen Hähnchen auf andere hier zerkleinerte Lebensmittel übertragen werden. Boucher et al. [1998] haben ermittelt, dass *C. jejuni* besonders gut auf Holzbrettchen überleben können. Sie führen dies insbesondere auf die feinporige Struktur des Holzes zurück, welche den Bakterien Schutz vermitteln kann. Selbst tief gefurchte Plastikschneidbretter konnten keinen vergleichbar schützenden Effekt bewirken.

Daniels [1998] hat in den USA und Kanada in 106 Haushalten mit überdurchschnittlich gebildeten Bewohnern Beobachtungen bei der Zubereitung von Mahlzeiten durchgeführt. Hierbei wurden in 76% der Fälle schwere Hygienefehler beobachtet, bei welchen es durch Kreuzkontaminationen zur Ausbreitung von Bakterien auf bereits fertig zubereitete oder roh verzehrte Lebensmittel kommen konnte.

De Boer et al. [1990] haben in einer Studie mit natürlich kontaminierten Hähnchenprodukten aus dem holländischen Einzelhandel verschiedene Kreuzkontaminationsversuche durchgeführt und die Häufigkeit des Transfers bestimmt. 61% der Hähnchenproben waren mit *C. jejuni* kontaminiert. Es zeigte sich, dass *C. jejuni* leicht übertragen werden auf Schneidbretter (50%, 38 von 76 positiv), Teller (46%, 25 von 54 Tellern) und Hände (73%, 42 von 58 Handpaaren). Weiterhin wurden die Bakterien auf gegartem Geflügelfleisch (10%, 2 von 21 Proben) und an rohem Gemüse (9%, 5 von 54 Proben) wiedergefunden, welches in Kontakt mit verunreinigten Tellern und Schneidbrettern kam. Noch drei Minuten nach dem Anfassen der rohen Hähnchenteile konnten *Campylobacter* von 55% der Hände (30 der 54 Experimente) isoliert werden.

3.5 Belege für einen Zusammenhang zwischen Umgang mit und Verzehr von Geflügelfleisch und Campylobacteriosen

Campylobacteriose-Ausbrüche sind selten und die meisten der Erkrankungen scheinen sporadisch zu sein, so dass wesentliche Datenquellen, wie sie von Ausbruchsuntersuchungen gewonnen werden können, für diese Bakterienspezies fehlen. Weiterhin erschwert die unter 3.1 näher erläuterte nur schwache Klonalität dieser Bakterienspezies die eindeutige Identifikation von Infektionsquellen. Mehrere Fall-Kontrollstudien haben jedoch den Verzehr von Geflügel und den Umgang mit Geflügel bei der Zubereitung von Gerichten als Risikofaktoren für die humane *Campylobacter*-Infektion identifiziert.

Die FoodNet Working Group hat mittels einer Fall-Kontrollstudie Risikofaktoren für die sporadische Campylobacteriose in den USA ermittelt [Friedman et al., 2004]. Hierbei zeigte sich Geflügel, insbesondere Hähnchen, welches in einem Restaurant verzehrt wurde, als häufigstes assoziiertes Lebensmittel. Fast 10% der befragten Erkrankten gaben an, rosafarbe-

nes, also nicht vollständig durchgegartes Geflügel verzehrt zu haben, was als Risikofaktor identifiziert wurde. Die Autoren konnten ein geringeres Erkrankungsrisiko bei Menschen belegen, die sog. „sichere“ Handlungsweisen beim Umgang mit rohem Geflügel berichteten, wie beispielsweise Verpacken und Transport von Geflügelfleischpackungen in Extra-Tüten, Entsorgung von Marinaden, nachdem diese für rohes Hähnchen verwendet wurden, sowie das Waschen des Schneidbrettes mit Wasser und Seife, nachdem es für rohes Hähnchen genutzt wurde. Weitere Risikofaktoren für die Erkrankung an einer Campylobacteriose waren Auslandsreisen, der Verzehr von Rohmilch, rohen Meerestieren, unbehandeltem Wasser sowie der Kontakt mit Tieren auf dem Bauernhof.

Allerberger u.a. [2003] beschreiben einen Ausbruch einer Campylobacteriose bei fünf Patienten im Alter von 20 bis 29 Jahren, die gemeinsam mit einer sechsten Person privat Hähnchenfleisch gegrillt haben. Bei einer Befragung nach während des Abends verzehrten Lebensmitteln gaben alle Patienten, außer der gesund gebliebenen Person, an, von dem selbst gemachten Erdbeersaft und von den grünen Paprika (rohe Gemüsebeilage) gegessen zu haben. Nur vier der fünf Fälle hatten Hähnchenfleisch gegessen. Die fünfte erkrankte Person war Vegetarierin, hatte aber die Zubereitung des Hähnchenbrustfilets zu Hähnchenspießen vorgenommen. Eine molekularbiologische Typisierung zeigte nahe Verwandtschaft zwischen den Campylobacterisolaten der Erkrankten und jenen, die in dem Masthähnchenbetrieb sowie solchen, die im österreichischen Geflügelschlachthof gefunden wurden. Viel interessanter erscheint jedoch der eindeutige Zusammenhang des Verzehrs von rohem Gemüse als Beilage und von selbst in der Küche hergestelltem Saft mit der Erkrankung. Dies weist auf eine Aufnahme der Bakterien mit diesen Lebensmitteln hin, die vermutlich bei der Zubereitung des kontaminierten Hähnchenfilets über Kreuzkontamination verunreinigt wurden.

Ein direkter Zusammenhang eines Campylobacterioseausbruchs mit Hähnchen wurde von einer Militärübung in den Niederlanden berichtet [Brouwer et al., 1979]. 123 Kadetten hatten bei einer Feldübung lebende Hühner erhalten, die sie selbst töten und rupfen mussten, bevor sie sie über dem offenem Feuer zubereiteten. In der darauf folgenden Woche erkrankten 89 der Kadetten an einer *C. jejuni*-Infektion. Die Autoren sind sicher, dass die Hühner mit *Campylobacter* kontaminiert waren. Als Infektionsursache wird zum einen das unzureichende Erhitzen des Hähnchens über dem Feuer genannt und zum anderen die schlechte Hygiene bei der Zubereitung – die Hände konnten zwischen dem Rupfen, Kochen und Essen nicht gereinigt werden – postuliert. Die durchschnittliche Inkubationszeit betrug bei diesem Ausbruch 3,1 Tage (0 bis 8 Tage). Die Erkrankung dauerte einem bis elf Tage, im Mittel waren es 4,8 Tage. Von 104 der 129 exponierten Kadetten wurde eine Stuhlkultur angelegt. Trotz der zu dem Zeitpunkt der Studie noch schlechten Nachweismethoden für *Campylobacter* wurde *C. jejuni* in 34 Stuhlproben belegt. Sieben der Soldaten mit positiven Stuhlproben zeigten keine Erkrankungssymptome.

Pearson et al. [2000] haben in England einen lang andauernden Ausbruch von Campylobacteriose dokumentiert, der über Monate hinweg von Hähnchenfleisch ausging, welches in einem speziellen Restaurant zubereitet wurde. Die Hähnchen kamen ursprünglich alle von einem Produzenten, bei welchem das für die Broiler bereitgestellte Trinkwasser mit einem Campylobactertyp besiedelt war. Im Zeitraum November 1984 bis Februar 1985 erkrankten 19 Menschen, die in dem Restaurant entweder mit der Zubereitung der kontaminierten Hähnchen beschäftigt waren oder dort aßen, an demselben Campylobactertyp. Eine der letzteren erkrankten Personen war Vegetarier. Die Ausbruchsuntersuchungen belegen, dass es zu Kreuzkontamination von Speisen und auch zur Infektion von Küchenarbeitern durch den Umgang mit kontaminiertem Hähnchen gekommen ist. Insgesamt dauerte der Ausbruch 18 Monate an.

Ein Ausbruch mit 24 Erkrankten im August 2002 in Australien konnte auf den Kauf von kontaminiertem rohem Hähnchen im Einzelhandel zurückgeführt werden [The OzFoodNet Working Group, 2003].

Mehrere Untersuchungen zu Ausbrüchen von Campylobacteriosen deuten darauf hin, dass ursächlich eine Kreuzkontamination bei der Zubereitung von kontaminierten Hähnchen für die Auslösung der Infektionen verantwortlich war. So haben beispielsweise Brown et al. [1988] als vermutliche Ursache eines Restaurantsausbruchs, bei welchem kein spezifisches Lebensmittel als Ursache gefunden werden konnte, Kreuzkontamination in der Restaurantküche durch nicht erfolgte Trennung von rohen und zubereiteten Lebensmitteln identifiziert.

Im Jahr 1997 wurde ein Campylobacteriose-Ausbruch in einem Altersheim in den USA untersucht [Windquist et al., 2001]. Im Rahmen der Untersuchungen wurde eine Fall-Kontrollstudie durchgeführt, in welcher 16 Fälle und 50 Kontrollen verglichen wurden. Alle hatten in der fraglichen Zeit an den Mahlzeiten im Seniorenheim teilgenommen. Ein bestimmtes Festessen konnte als Ausgangspunkt des Ausbruchs identifiziert werden („Hawaiian luau“). Auslösendes Lebensmittel war sehr wahrscheinlich ein Gericht mit Süßkartoffeln. Weiterhin gab es eine Assoziation mit Krautsalat und Kokospudding, die jedoch nicht eindeutig war. Epidemiologische Untersuchungen zeigten, dass es in der Küche des Seniorenheims zu unhygienischen Handlungsweisen kam. Insbesondere wurde im Kühlschrank rohes Fleisch oberhalb von Salat gelagert. Es konnte nachvollzogen werden, dass an dem Tag der Zubereitung des speziellen Festessens rohe Hähnchenlebern und rohes Rindfleisch in einem Bereich der Küche bearbeitet wurden, in welchem sonst nur gekochte Lebensmittel und Gemüse bearbeitet werden. Im gleichen Bereich wurde am Festtag nach dem rohen Fleisch Grünkohl geschnitten, der zu dem Gericht mit den Süßkartoffeln gegeben wurde. Weiterhin konnte die Spüle als Ort möglicher Kreuzkontamination identifiziert werden. Spritzwasser konnte vom Bereich, in welchem rohes Fleisch bearbeitet wird, in jenen gelangen, wo rohes Gemüse gewaschen wird. Die Autoren weisen darauf hin, dass sie es für erforderlich halten, Menschen, die für ältere Personen Lebensmittel zubereiten, speziell hinsichtlich der Vermeidung von Kreuzkontaminationen zu schulen, um derartige Ausbrüche zu vermeiden. Ältere Menschen werden im Erkrankungsfall häufiger hospitalisiert als jüngere an einer Campylobacteriose Erkrankte.

Ein diffuser Ausbruch einer Campylobacteriose mit zehn Erkrankten nach Partizipation an einer Tagung (insgesamt 29 Teilnehmer) wurde in Australien beschrieben [Raupach et al., 2003]. Während des Treffens war in zwei Restaurants gegessen worden. Die Ausbruchsstudien zeigten eine höhere Wahrscheinlichkeit für eine Infektion während des Verzehrs eines Büfetts in einem China-Restaurant. Es konnte kein spezielles Gericht oder Lebensmittel als Quelle der *Campylobacter* identifiziert werden. Mit hohem relativen Risiko war der Verzehr von Frühlingsrollen, Hähnchen sowie von gebratenem Reis behaftet. Die Autoren schlussfolgerten nach einer Inspektion des betroffenen China-Restaurants, dass der Ausbruch durch Kreuzkontamination während der Zubereitung des Büfetts ausgelöst wurde.

Ein weiterer Ein-Punkt-Ausbruch, der mit hoher Wahrscheinlichkeit durch Kreuzkontamination ausgehend von der Zubereitung rohen Hähnchens verursacht wurde, ist während eines Sommercamps in Wisconsin/USA dokumentiert worden [Roels et al., 1998]. 79 Personen erkrankten und die durchschnittliche Inkubationszeit betrug vier Tage. Auslösendes Lebensmittel war ein Thunfischsalat. Die Autoren nennen mehrere Faktoren, warum gerade bei Sommercamps so viele lebensmittelbedingte Ausbrüche auftreten: das Küchenpersonal ist unerfahren, die allgemeinen hygienischen Verhältnisse sind schlecht und die Gemeinschaftsküchen sind in der Regel überfüllt.

Eine Analyse von *Campylobacter*-Erkrankten in den USA ergab, dass diese zehnmal häufiger als die Kontrollgruppe Hähnchen oder Pute in einem Restaurant oder einer anderen Massenverpflegungseinrichtung gegessen haben [Kassenborg et al., 2004]. Diese Studie belegte vor allem ein Risiko für Kreuzkontaminationen während der Zubereitung von kontaminierten Geflügelgerichten in der Großküche und in Gemeinschaftseinrichtungen.

In Dänemark wurde eine retrospektive Analyse für innerhalb der Jahre 1991 bis 2001 aufgetretene Durchfallerkrankungen anhand von Adressen durchgeführt, um kleine Haushaltsausbrüche zu identifizieren, die zuvor nicht erkannt wurden [Ethelberg et al., 2004]. Hierbei zeigten sich überraschend viele Haushaltsausbrüche von *Campylobacter*-Infektionen (3,2% aller *Campylobacter*-Infektionen). Es wurden allein für die beiden Jahre 2001 und 2002 168 Haushaltsausbrüche identifiziert, von denen zuvor nur acht gemeldet worden waren. Generell hat *Campylobacter* – im Gegensatz zu z.B. *Salmonella*-Enteritidis – nur ein geringes Potenzial, Ausbrüche hervorzurufen. Insgesamt waren jedoch in den Jahren 2000 bis 2001 zahlenmäßig mehr Menschen von *Campylobacter* betroffen, als von Salmonellen-Haushaltsausbrüchen. Es erkrankten mehr Menschen zweimal hintereinander (Abstand sechs Monate) an *Campylobacter*, als zu erwarten war. Es deuten sich geographische Häufungen an. Eine mögliche Erklärung könnte sein, dass einige geographische Regionen mit einem höheren Risiko an einer *Campylobacter*-Erkrankung behaftet sind. Dies spricht möglicherweise für einen Umweltfaktor – die *Campylobacter* könnten in diesen Regionen vermehrt durch Trinkwasser oder über Haustiere in die Haushalte gebracht werden. Andererseits könnte es auch andere Erklärungen für dieses Phänomen geben. So könnten vorliegende Grunderkrankungen an den häufigeren Infektionen Schuld sein, bestimmte Ernährungsgewohnheiten, oder schlechte Küchenhygiene. Vielleicht ist auch die Rate der Arztbesuche höher bei Menschen, die in der Vergangenheit schon einmal erkrankt waren.

Campylobacter-Isolate verschiedener Quellen (humane Erkrankte, Wasser, diverse Fleischarten) wurden im Jahr 2000 in Schweden mit der Pulsfeld-Gelelektrophorese typisiert [Lindmark et al., 2004]. Hierbei zeigte sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen den Isolaten humaner Erkrankter und jenen von Geflügelfleisch. Wenig Zusammenhang wurde zwischen humanen Isolaten und jenen aus der Umwelt oder von Wildtieren gefunden. Weiterhin wurden auf dem Geflügelfleisch im Einzelhandel deutlich weniger verschiedene Typen gefunden, als in den Tierbeständen. Dies weist auf einen Selektionsprozess während der Verarbeitung hin, der eine Auslese unter den *Campylobacter*-Bakterien bewirkt (survival of the fittest). Fraglich bleibt, ob die Hähnchenlebensmittel Ursache für die humane *Campylobacter*-Infektion sind oder ob die Hähnchen von den gleichen Quellen infiziert werden wie die Menschen. Der Zusammenhang zwischen *Campylobacter*-Isolaten von Hähnchen und jenen, die bei humanen Erkrankten in Erscheinung treten, wurde ebenfalls in Kanada untersucht [Michaud et al., 2005]. 22% (41 von 183) der Humanisolate hatten hierbei den gleichen PFGE-Typ, wie er auch bei Hähnchen beobachtet wurde.

In Dänemark wurden die Ursachen für die Saisonalität der *Campylobacter*-Infektionen und des parallel beobachtbaren Anstiegs der Prävalenz von infizierten Hähnchen untersucht [Patrick et al., 2004]. Bei den menschlichen Infektionen waren die mittlere Temperatur sowie die Sonnenscheindauer vier Wochen vor Auftreten der Erkrankung entscheidend. Ein Zusammenhang mit der durchschnittlichen Temperatur im Zeitraum von drei Wochen vor der Schlachtung konnte auch bei den Hühnern ermittelt werden. Um diese Korrelation genauer beschreiben zu können, fordern die Autoren zunächst zu quantifizieren, wie hoch der Anteil der *Campylobacter*-Infektionen in der dänischen Bevölkerung ist, welcher auf Hähnchenfleisch zurückgeführt werden kann. Eben dieser Fragestellung widmet sich unsere Risikoschätzung.

In Neuseeland, einem Land mit hoher Inzidenz von *Campylobacter*-Infektionen, wurde die Regionalität der Saisonalität der *Campylobacter*-Infektionen untersucht [Hearden et al., 2003]. Hierbei deutete sich an, dass die verschiedenen Transmissionswege für *Campylobacter* regional variieren. Insgesamt beobachten die Autoren eine sehr komplexe Ökologie und gehen davon aus, dass es in Neuseeland nicht eine dominante Quelle für *Campylobacter* gibt, sondern dass je nach Region unterschiedliche Expositionspfade dominieren. In einer weiteren Studie aus Neuseeland wurden *Campylobacter* von menschlichen Erkrankten sowie von zwölf potenziellen Quellen typisiert [Devane et al., 2005]. Die Untersuchungen bestätigten, dass eine Vielzahl von Transmissionsrouten für *Campylobacter* existieren. Besonders häufig wurde *Campylobacter* in Hähnchenfleisch, Flusswasser und im Kot von Wiederkäuern gefunden.

Die relative Bedeutung dieser Quellen konnte auf Basis der Prävalenzdaten jedoch nicht ermittelt werden, dafür ist eine Expositionsschätzung nötig.

Bei der Interpretation von allen Ergebnissen aus Typisierungsstudien muss natürlich bedacht werden, dass möglicherweise nicht alle *Campylobacter*, welche in Tieren vorkommen auch in der Lage sind, die Verarbeitungsschritte zu überleben und wahrscheinlich auch nicht alle gleichermaßen humanpathogen sind. Hierauf finden sich viele Hinweise in der Literatur, als Beispiel möge Gilbert et al. [2004] dienen.

Es kann davon ausgegangen werden, dass neben dem direkten Lebensmittelpfad andere Infektionswege existieren, wie auch eine Studie aus Australien bei Kindern belegt [Cameron et al., 2004]. Hier wurde für 172 an einer Campylobacteriose erkrankte ein- bis fünfjährige Kinder und 169 Kontrollen eine Fall-Kontrollstudie durchgeführt. Es konnten keine Unterschiede in der Ernährung festgestellt werden. Dies ist ebenfalls ein Hinweis darauf, dass es durch Kreuzkontaminationen zur Übertragung bzw. zur Aufnahme der *Campylobacter* kommt und kein spezielles Lebensmittel mit der Aufnahme assoziiert ist. Kinder könnten ebenfalls stärker durch Umweltquellen exponiert sein. So zeigten sich signifikant mehr Campylobacteriosefälle bei den Kindern, die im Umfeld von lebenden Hühnern lebten.

Eine Studie aus Schweden [Höök et al., 2004], bei welcher humane Campylobacterisolate aus dem Zeitraum 1998 bis 2000 typisiert wurden, zeigt ebenfalls Unterschiede zwischen den Isolaten, die bei Erwachsenen auftreten und jenen, die bei Kindern vorkommen. Bei Erwachsenen kommt es zu Häufungen von bestimmten Typen. Dies kann daran liegen, dass sie häufiger in bestimmten Quellen vorkommen, denen die Erwachsenen ausgesetzt sind (z.B. Geflügellebensmittel), oder das bestimmte Isolate pathogener sind als andere. Bei Kindern werden sehr viele verschiedene und auch sich deutlich von jenen der Erwachsenen unterscheidende Typen gefunden. Die Autoren vermuten andere Expositionen für Kinder. Krabbelkinder haben engeren Kontakt mit der Umwelt und können so z.B. Verunreinigungen vom Boden aufnehmen. Insgesamt werden für Kleinkinder viel mehr Nicht-Lebensmittel-Expositionen, wie beispielsweise Haustiere oder Kot von wilden Vögeln vermutet. Weiterhin finden die Schweden ebenfalls Hinweise auf Hähnchen als auslösendes Agens von kleinen Häufungen sporadischer Erkrankungen. Darüber hinaus deutete sich an, dass einige Typen saisonal gehäuft bei den menschlichen Erkrankten in Erscheinung treten.

Unterschiede zwischen Kindern und Erwachsenen bei den Campylobacteriosefällen zeigte auch eine Studie aus England und Wales, die auf Fällen aus den Jahren von 1990 bis 1999 basiert [Louis et al., 2005]. Die Campylobacteriose-Inzidenz war ausgeprägt saisonal, als treibender Faktor wurde die Temperatur identifiziert. Insbesondere Kinder unter fünf Jahren erkrankten häufiger im Sommer. Die Autoren folgern daraus, dass bei den Kleinkindern Umweltvektoren von größerer Bedeutung bei der Exposition von *Campylobacter* sind als Lebensmittel. Für die Gesamtheit der Bevölkerung waren höhere Inzidenzen vor allem in landwirtschaftlichen Regionen sowie in Gegenden in welchen Oberflächenwasser als Trinkwasser genutzt wird zu beobachten.

Eine Fall-Kontrollstudie aus den USA untersuchte die Risikofaktoren für sporadische *Campylobacter*-Infektionen im ländlichen Michigan [Potter et al., 2003]. Die Autoren schätzen, dass 18% der Campylobacteriosefälle in dieser Gegend auf private, nebenerwerbsmäßige Hühnerhaltung zurückzuführen sind. In Finnland hingegen wurden Schwimmen in natürlichen Gewässern, der Verzehr von nicht vollständig durcherhitztem Fleisch und das Trinken von Brunnenwasser aus Eigenversorgungsanlagen als Risikofaktoren für sporadische Campylobacterfälle beschrieben [Schönberg-Norio et al., 2004].

Insgesamt ist zu bemerken, dass es zwischen den verschiedenen Ländern starke kulturelle und klimatische Unterschiede gibt, die eine Übertragbarkeit der aus Fall-Kontrollstudien gewonnenen Erkenntnisse auf die Verhältnisse in Deutschland fraglich erscheinen lassen.

Die hohe Prävalenz von mit *Campylobacter* kontaminierten Geflügelprodukten im deutschen Einzelhandel spricht dafür, dass es sich bei diesen Produkten um bedeutende Quellen für die Exposition des Verbrauchers handelt. Bei einer Untersuchung von Hähnchenfleisch aus dem Berliner Einzelhandel im Zeitraum Oktober 2001 bis April 2002 waren durchschnittlich 58,1% der Proben mit *Campylobacter* spp. kontaminiert [Luber, 2004]. Weiterhin wurden in Berlin über einem Zeitraum von drei Monaten *Campylobacter*-Isolate von humanen *Campylobacter*-Infektionen und von Geflügellebensmitteln gesammelt und typisiert. Hierbei zeigten sich, trotz der nur schwachen Klonalität von *C.*, dass 10,6% der Isolate von humanen Erkrankten identisch waren mit jenen, die von den Geflügellebensmitteln isoliert werden konnten [Klein et al., 2004].

3.6 Geflügellebensmittel in Deutschland

3.6.1 Produktion von Geflügel und Geflügelfleischimporte

Bezogen auf das Schlachtgewicht (inklusive Innereien) wurden im Jahr 2003 in Deutschland 1.501.000 t Geflügel verbraucht [Böttcher, 2004]. Der Pro-Kopf-Konsum von Geflügelfleisch lag damit bei 18,2 kg. Insgesamt wurden 40,2% des in Deutschland konsumierten Geflügels einheimisch produziert. Mit 777.300 t des Geflügelverbrauchs ist Hähnchen (nur Masthähnchen, keine Suppenhühner) das am meisten verzehrte Geflügel. Der Pro-Kopf-Verbrauch betrug im Jahr 2003 9,4 kg. Lediglich 29,9% des verbrauchten Hähnchens wurde in Deutschland produziert. Mehr als drei Viertel der Importe kommen aus den Niederlanden.

3.6.2 Verbrauch von Hähnchenfleisch in deutschen Privathaushalten

Die privaten Haushalte kauften in Deutschland im Jahr 2003 insgesamt 372.357 t Geflügel. Dieses Produktgewicht lässt sich nicht einfach in Beziehung setzen zu den unter 3.6.1 genannten Produktionsmengen, da das Produktgewicht sich auf das verkaufsfertige Produkt ohne Innereien, teilweise auch ohne Haut und Knochen (z.B. Brustfilet) bezieht. 60% des konsumierten Geflügels war Hähnchen, gefolgt von einem Anteil von 27% Pute, 5% Ente, 3% Gans und 5% sonstiges Geflügel (Tauben, Wachtel, Strauß etc.) [Böttcher, 2004].

Insgesamt wurden im Jahr 2003 von den privaten Haushalten 221.690 t Hähnchenfleisch gekauft. 75% des Hähnchens wurde in zerlegter Form als Teilstück gehandelt, nur 25% wurden als komplette Karkassen (10% frisch, 15% gefroren) verkauft.

40% des Hähnchenfleisches wurde als frisches Hähnchenteilstück verkauft, 35% der gehandelten Teilstücke waren gefrorene Ware.

Tabelle 1: Im Jahr 2003 je Hähnchenprodukt verkaufte Menge in Kilogramm [Böttcher, 2004]

Produkt	Menge [kg]
frische Hähnchenteile	88.676.000
gefrorene Hähnchenteile	77.591.500
frische ganze Karkassen	22.169.000
gefrorene ganze Karkassen	33.253.500
Gesamt	221.690.000

Aktuelle Daten der GfK (Gesellschaft für Konsumforschung) aus der ersten Jahreshälfte 2004 zeigen, dass es bei den deutschen Verbrauchern eine zunehmende Tendenz zum Verbrauch von Geflügelfleisch in Form von frischen Teilstücken gibt. 42% (bezogen auf das Produktgewicht) der von den privaten Verbrauchern gekauften frischen Hähnchenteilstücke fallen unter die Kategorie „diverse Schenkel“. Nähere Angaben zum Rest der Teilstücke fehlen, es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass Hähnchenflügel und Hähnchenklein nur einen geringen Anteil ausmachen und dass es sich somit bei ca. 50% der frischen Teilstücke um Brustfilet handelt.

Tabelle 2: Durchschnittliches Gewicht einer Hähnchenkeule bzw. eines Hähnchenbrustfilets im Einzelhandel

Teilstück	%-Anteil an der verkauften Gesamtmenge (geschätzt)	Durchschnittliches Gewicht eines Teilstücks [kg]
Hähnchenkeule	42%	0,242
Hähnchenbrustfilet	50%	0,156

Berg [1997] berichtet als Ergebnis einer repräsentativen Umfrage in Deutschland („Wer kocht selbst?“), dass in 63% der deutschen Haushalte täglich gekocht wird. Nur 7% berichten seltener als einmal in der Woche oder gar nie zu kochen. Unter diese Kategorie fallen insbesondere junge Menschen in Single-Haushalten. Besonders häufig wird hingegen in der Altersgruppe 50-69 zu Hause gekocht und bei Haushalten mit 4 oder mehr Personen.

Die ZMP-Marktbilanz [Böttcher, 2004] liefert Informationen über die Geflügel konsumierenden Haushalte. 12,2% der Haushalte, die angeben Geflügel zu verzehren, werden von einer Person geführt, die jünger als 29 Jahre ist. In 23% der Haushalte ist die Person, welche für den Einkauf und die Zubereitung der Mahlzeiten zuständig ist, älter als 65 Jahre.

Tabelle 3: Struktur der Haushalte, welche Geflügel verzehren [Böttcher, 2004]

Haushaltstyp	Prozentualer Anteil der Bevölkerung, der in dieser Haushaltsform lebt	Prozentualer Anteil am gesamten nationalen Geflügelfleischverzehr
Familie mit Kindern	55,8%	49,2%
Ältere Menschen	24,9%	31,5%
Singles und kinderlose Paare	19,3%	19,3%

48.000 Deutsche ab 14 Jahren nahmen im Zeitraum von Juli 1999 bis Juni 2003 an einer telefonischen Befragung teil und gaben an, was sie am Tag zuvor gegessen und getrunken hatten [Zentrale Markt und Preisberichtsstelle, 2004].

Hierbei ergab sich, dass etwa 80% der mittäglichen oder abendlichen Hauptmahlzeiten in Deutschland im privaten Haushalt zubereitet und verzehrt werden. Damit ist in Deutschland der Privathaushalt der Ort, an welchem der größte Anteil der durch Kreuzkontaminationen bei der Zubereitung von Mahlzeiten mit Geflügel verursachten Exposition zu dem Pathogen *Campylobacter* stattfindet. Der Anteil der Personen, welche ihr Essen selbst zubereiten steigt mit zunehmendem Alter. Berufstätige Menschen essen öfter ausser Haus. Singles und kinderlose Paare gehen öfter als alte Menschen und Familien mit Kindern Essen.

Es sind überwiegend Frauen, welche im Privathaushalt die Mahlzeiten zubereiten, sei es für sich selbst oder auch für den Partner und die Familie.

75% der Befragten geben an mittags ihre Hauptmahlzeit einzunehmen. 32% gaben an die Hauptmahlzeit am Abend zu verzehren. Mittags verzehrte Hauptmahlzeiten bestehen öfter aus mehr als nur einem Gang, als die Abendmahlzeiten.

Tabelle 4: Prozentsatz der Mahlzeiten mit Bezug auf die aufgenommenen Gänge [ZMP, 2004]

Gänge der Hauptmahlzeit	mittags[%]	abends [%]
nur Hauptspeise	68,1	78,6
Hauptspeise + Dessert	23,2	12,0
Hauptspeise + Vorspeise	4,2	4,6
Hauptspeise + Vorspeise + Dessert	4,5	4,6
Menü mit mehr als 3 Gängen	0,0	0,2

Am häufigsten wird die Hauptmahlzeit mit einem Nachtsch kombiniert.

12,5% der Mahlzeiten wurden von den Befragten aus Resten zubereitet. Im Umkehrschluss werden 87,5% aller Mahlzeiten mit frischen Zutaten zubereitet und stellen somit eine mögliche Gelegenheit des Kontaktes mit rohem Geflügel und somit möglicherweise des Eintrags von *C. spp.* dar.

81,3% der mittags verzehrten Hauptgerichte und 79,2% der abends verzehrten bestehen aus mehr als einem Gang. Die verschiedenen Gänge werden möglicherweise verschieden zubereitet und gegart oder roh verzehrt. Die häufigste von den Deutschen gewählte Vorspeise ist eine Suppe (65,5% aller Vorspeisen am Mittag, 34,0% der Vorspeisen am Abend). Ein gemischter Salat wird mittags von 21,1% der Verbraucher und abends von 33,7% als Vorspeise gegessen. Fast 70% aller Hauptgerichte enthalten eine Fleischkomponente.

Drei Viertel der Zutaten in Hauptmahlzeiten werden im Privathaushalt von den Köchen am heimischen Herd selbst hergerichtet und zubereitet. Nur 13,2% der Hauptmahlzeiten sind Convenience-Produkte. Diese werden überwiegend nur von speziellen Zielgruppen, nämlich männlichen Singles unter 24 oder über 65 Jahren, verzehrt.

Generell werden die meisten Mahlzeitenbestandteile, die zur Herrichtung der Hauptmahlzeiten genutzt werden, frisch und abgepackt im Einzelhandel erworben (76%). 13% des gesamten gekauften Fleisches ist tiefgefroren. In 78% der Fälle ist das Fleisch bereits zerschnitten oder in Teilstücke zerlegt. Nur 4% aller Fleischarten werden in Form eines ganzen Tierkörpers erworben. Eigentlich wird nur Geflügel in bedeutenden Mengen als Karkasse erworben. Diese wird in der Regel jedoch nicht im Haushalt zerlegt, sondern im Ganzen gebraten.

Es kann davon ausgegangen werden, dass der überwiegende Teil von zusammengesetzten Hauptmahlzeiten eine Gemüsekomponente enthält. 59% aller Gemüse, die von Privathaushalten gekauft werden, sind frisch, nur je 14% werden in gefrorenem Zustand oder als Konserven konsumiert. 63% des Gemüses wird in den Küchen kleingeschnitten. Insgesamt wird 13% des Gemüses roh verzehrt. Früchte begleiten die Mahlzeiten häufig als Dessert oder auch als Vorspeise. 74% aller Früchte werden in der Privatküche zerkleinert. 75% aller Früchte werden roh verzehrt.

Leider liegen für Deutschland keine detaillierten Informationen zur üblichen Zusammensetzung der Hauptgerichte vor. Wir wissen somit nicht den exakten Anteil der Mahlzeiten mit Geflügelfleisch, welche mit Rohkost, einem Salat oder mit frischem Obst eingenommen werden. Wir können anhand der oben zusammengetragenen Erkenntnisse nur grob abschätzen, dass vermutlich 10% der Hauptmahlzeiten zusammen mit rohem Gemüse verzehrt werden. Die Verzehrdaten in Tabelle 5 für Blattsalate, Gemüse und Früchte sind der Studie „Was essen wir heute?“ des Robert Koch-Institutes aus dem Jahr 1998 entnommen [Mensink et al., 2002]. Diese Verzehrstudie wurde als retrospektive Abfrage des durchschnittlichen Verzehr in den letzten vier Wochen unter Verwendung von geschätzten Portionsgrößen durchgeführt.

Wir können nicht beurteilen, welcher Anteil des Gemüses (ohne Kartoffeln) roh verzehrt wurde. Wir gehen jedoch davon aus, dass der komplette Blattsalat roh und ohne weitere Erhitzung verzehrt wurde. Zwei Drittel der Früchte werden als frische Ware gekauft. Wir gehen davon aus, dass der überwiegende Anteil der frischen Früchte roh verzehrt wird.

Mehr als 99% der Verbraucher gaben an, Blattsalat zu verzehren und > 97% sagten, sie verzehren Früchte. Fast jeder gab an, Gemüse zu konsumieren. Betrachtet man die Mittelwerte der durchschnittlich täglich verzehrten Mengen, so zeigen Frauen immer einen größeren Verzehr an Früchten und, mit Ausnahme der Altersgruppe über 65, auch immer etwas mehr Gemüseverzehr als die Männer.

Die Menge des konsumierten Blattsalats war größer bei den Frauen in der Altersklasse 18 bis 34 Jahre und bei den 45 bis 54-jährigen. Insgesamt zeigt sich, dass Frauen mehr rohe Früchte und rohes Gemüse essen als Männer und somit vermutlich stärker dem Risiko ausgesetzt sind, durch Kreuzkontaminationen zu *Campylobacter* exponiert zu sein.

Insgesamt wird der Anteil der Mahlzeiten, welche von ohne weitere Erhitzung direkt verzehrfertigen Lebensmitteln (RTE-foods) begleitet werden, auf 30% geschätzt. Neben rohem Gemüse gehören hierzu auch Brot und Früchte.

Tabelle 5: Durchschnittlicher täglicher Verbrauch [g pro Tag] von Salat, Gemüse (ohne Kartoffeln) und Früchten, aufgliedert nach Geschlecht und Altersklasse [Mensink et al., 2002]

	18–24 Jahre Männer – Frauen	25–34 Jahre Männer – Frauen	35–44 Jahre Männer – Frauen
Blattsalat			
Mittelwert	32 – 34	34 – 40	40 – 37
10% Perzentil	3 – 3	2 – 4	3 – 6
Median	20 – 23	23 – 30	28 – 29
90% Perzentil	79 – 79	80 – 85	93 – 77
Gemüse (ohne Kartoffeln)			
Mittelwert	139 – 150	158 – 164	167 – 169
10% Perzentil	49 – 51	63 – 62	67 – 72
Median	128 – 122	130 – 139	139 – 148
90% Perzentil	239 – 273	290 – 289	294 – 277
Früchte			
Mittelwert	127 – 169	139 – 173	175 – 195
10% Perzentil	8 – 41	2 – 24	20 – 51
Median	92 – 151	100 – 146	137 – 166
90% Perzentil	267 – 318	295 – 351	387 – 373
	45–54 Jahre Männer – Frauen	55–64 Jahre Männer – Frauen	> 65 Jahre Männer – Frauen
Blattsalat			
Mittelwert	40 – 47	41 – 36	41 – 36
10% Perzentil	3 – 7	5 – 6	3 – 7
Median	25 – 32	30 – 31	29 – 28
90% Perzentil	98 – 100	93 – 80	89 – 70
Gemüse (ohne Kartoffeln)			
Mittelwert	173 – 180	160 – 164	156 – 150
10% Perzentil	70 – 72	63 – 62	57 – 59
Median	141 – 157	149 – 142	141 – 125
90% Perzentil	321 – 302	268 – 287	280 – 262
Früchte			
Mittelwert	214 – 235	212 – 239	208 – 225
10% Perzentil	27 – 69	45 – 56	55 – 72
Median	168 – 197	175 – 200	185 – 192
90% Perzentil	436 – 444	423 – 461	382 – 394

3.6.3 Portionsgrößen und Häufigkeit des Verzehr von Geflügelfleisch

In Deutschland sind in der Vergangenheit verschiedene Verzehrsstudien durchgeführt worden, bei welchen auch der Geflügelfleischverzehr abgefragt wurde. Im Ergebnis präsentieren die Verzehrsstudien in der Regel für verschiedene Altersgruppen von Männern und Frauen die durchschnittlich täglich konsumierte Menge von Geflügelfleisch. Diese Angabe ist jedoch keine sinnvolle Basis, um ein mikrobiologisches Risiko abzuschätzen. Der Verbraucher ist dem potenziellen mikrobiologischen Risiko dann ausgesetzt, wenn er rohes Geflügel zubereitet, bzw. wenn er mit Bakterien kontaminiertes Geflügelfleisch isst. Für die Abschätzung von biologischen Risiken sollten die Verzehrdaten deshalb Aussagen darüber machen, wie häufig Geflügel von den Verbrauchern verzehrt wird und welche Größe die bei dieser Gelegenheit verzehrte Portion hat [FAO/WHO, 2003b].

Dem BfR stehen die Rohdaten der Nationalen Verzehrsstudie, welche im Zeitraum von 1985 bis 1989 durchgeführt wurde, sowie der VELS-Studie zur Lebensmittelaufnahme von Säuglingen und Kleinkindern aus dem Erhebungszeitraum 2001 bis 2002 zur Verfügung. Anhand dieser Daten wurden die durchschnittlichen mittleren Portionsgrößen beim Verzehr von Hähnchenfleisch ermittelt. Die mittlere Portionsgröße für Erwachsene und Kinder älter als sechs Jahre war 207 g. Für Kinder unter sechs Jahren wurde eine mittlere Portionsgröße von 42 g Hähnchenfleisch ermittelt. Sollten in Zukunft Studien für bestimmte Bevölkerungsuntergruppen geplant sein, ließen sich aus den Verzehrsstudien auch detailliertere Informationen, z.B. zu Männern und Frauen verschiedener Altersgruppen (inkl. statistischer Maßzahlen von Verteilungen), ermitteln.

3.7 Mit *Campylobacter* kontaminierte Hähnchen und Hähnchenteile im Einzelhandel

Basis der eigenen Untersuchungen zur Gewinnung einer Datenbasis für die Expositionsschätzung ist die quantitative Testung einer repräsentativen Stichprobe von frischen, ungewürzten Hähnchenkeulen und von Hähnchenbrustfilets auf *C. jejuni* und *C. coli* [Scherer et al., Luber und Bartelt].

Die überwiegende Menge der in Deutschland umgesetzten frischen Hähnchenprodukte sind Teilstücke [Böttcher, 2004]. Den größten Marktanteil hat hierbei vermutlich das Hähnchenbrustfilet (ca. 50%), gefolgt von Hähnchenkeulen (gem. GfK 42% in 2004) sowie geringen Anteilen von Hähnchenklein und Hähnchenflügeln. Vom Aspekt der Gefahr einer unzureichenden Erhitzung bei der Zubereitung sind ganze Hähnchen und von den Hähnchenteilen die Keule die Produkte, bei welchen es vermutlich am häufigsten zu Zubereitungsfehlern im Sinne einer unzureichenden Garung kommt, durch welche lebende infektiöse *Campylobacter* beim Verzehr aufgenommen werden können. Gleichzeitig sind diese Produkte mit Haut versehen. Es wird davon ausgegangen, dass Hähnchenprodukte mit Haut u.a. aufgrund des protektiven Effektes potenziell mit größeren Mengen von *Campylobacter* behaftet sind als Produkte ohne Haut.

Uyttendaele et al. [1999] fanden bei Produkten ohne Haut (Hähnchenbrust) signifikant geringere Prävalenzen von *Campylobacter* als bei Produkten mit Haut. Wilson [2002] hat im Zeitraum 1995 bis 2000 in Nord-Irland produzierte ganze Hähnchen auf die Prävalenz von *Campylobacter* untersucht und mit dem Vorkommen von *Campylobacter* auf importierten Hähnchenbrustfilets verglichen. Letztere waren viel seltener kontaminiert. Der Autor führt dies auf die „Hautlosigkeit“ und das Gefrieren der Importware zurück. Berrang et al. [2001] haben Hähnchenteile mit und ohne Haut quantitativ auf *Campylobacter* untersucht und fanden zwar während der Verarbeitung, aber nicht mehr im Einzelhandel eine höhere Belastung bei Teilstücken mit Haut.

Eine Untersuchung aus North Carolina/USA zeigte bei einer Marktanalyse von Karkassen aus dem Einzelhandel über ein ganzes Jahr eine starke Schwankung der Prävalenz [Willis et

al., 1997]. Während im Winter (Dezember) nur 6,7% der Proben positiv waren, waren es in den Sommermonaten stets über 90%. Die jüngsten Daten aus Mitteleuropa [z.B. Jorgensen et al., 2002] zeigen jedoch, dass die Saisonalität, wie sie in den skandinavischen Ländern beobachtet werden kann, immer mehr verschwindet. Auch in den Wintermonaten werden inzwischen sehr hohe Prävalenzen auf den Produkten gefunden. Wilson [2002] konnte im Zeitraum von 1995 bis 2000 in Nord-Irland keine signifikanten saisonalen Unterschiede in der Prävalenz feststellen. Berrang et al. [2004] haben in einer aktuellen Studie bei Untersuchung in einem amerikanischen Schlachthof (Ende der Produktion) in den Südstaaten in den Wintermonaten November Dezember quantitativ etwas mehr *Campylobacter* auf Hähnchenkarkassen gefunden als in den Monaten März April.

Erste eigene Untersuchungen zur Prävalenz von mit *Campylobacter* behaftetem Hähnchenfleisch im Berliner Einzelhandel (Tabelle 6) zeigten niedrigere Prävalenzen kontaminierter Hähnchen in den Wintermonaten von Januar bis März, aber selbst im Monat Januar waren noch 42 % der Proben mit *Campylobacter* verunreinigt [Luber, 2004].

Tabelle 6: Prävalenz von C. spp. in Lebensmittelproben vom Huhn im deutschen Einzelhandel (Berlin)

Monat / Jahr	Huhn Probenanzahl (davon C.-positiv)	Prävalenz (%)
10 / 2001	11 (10)	90,9
11 / 2001	31 (24)	77,4
12 / 2001	14 (11)	78,6
01 / 2002	50 (21)	42,0
02 / 2002	57 (29)	50,9
03 / 2002	20 (10)	50,0
04 / 2002	51 (31)	60,8
Gesamt	234 (136)	58,1

Die im Rahmen des Projektes durchgeführten eigenen Untersuchungen zur Quantifizierung der Kontamination von Hähnchenkeulen mit *Campylobacter* spp. wurden über einen Zeitraum von 14 Monaten durchgeführt [Scherer et al.]. Die Untersuchung der Hähnchenbrustfilets sowie die Quantifizierung des Transfers fanden im Zeitraum mit der potenziell höchsten Kontamination von Juni bis November 2004 statt [Luber und Bartelt; Luber et al.]. Im Hinblick auf die beiden Expositionswege für Verbraucher bei der Zubereitung von kontaminiertem Hähnchenfleisch im Privathaushalt haben wir uns entschieden, die Oberfläche und die Muskulatur getrennt auf *Campylobacter* zu untersuchen.

Theoretisch ist zu erwarten, dass ökologisch produzierte Hähnchen häufiger mit *Campylobacter* belastet sind, da sie älter werden als konventionell produzierte Tiere und freien Auslauf haben. Die Wahrscheinlichkeit, mit einem der ubiquitär in der Umwelt vorhandenen *Campylobacter* in Kontakt zu kommen, wäre somit als höher einzuschätzen. Ledergerber et al. [2003] fanden jedoch keine Unterschiede in der Prävalenz von *Campylobacter* spp. beim Vergleich von konventionell produzierten (N=240) mit ökologisch produzierten Hähnchen-Handelsproben (N=175). Denis et al. [2001] fanden ebenfalls keine Unterschiede in der Prävalenz von *Campylobacter* spp. bei französischen Hähnchenprodukten, die entweder konventionell oder ökologisch produziert worden waren.

Bei den Untersuchungen zur Prävalenz und/oder Konzentration von *Campylobacter* auf Hähnchen werden nicht nur viele unterschiedliche Methoden eingesetzt, es werden auch unterschiedliche Probenarten herangezogen. Bei den quantitativen Untersuchungen werden zudem die Ergebnisse auf unterschiedliche Einheiten bezogen, was die Vergleichbarkeit der Zahlen erschwert. Jorgensen et al. [2002] haben vergleichende Untersuchungen zur Qualität verschiedener Probenarten unternommen (Nackenhaut versus Spülflüssigkeit versus komplette Haut + Spülflüssigkeit), es wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt.

Berrang et al. [2001] haben Hähnchenteile mit und ohne Haut quantitativ auf *Campylobacter* untersucht. Methodisch zeigte sich dabei, dass bei gestomachten Haut-Proben stets höhere Keimzahlen gefunden wurden als bei solchen, die gespült wurden. Für die Entnahme einer Oberflächenprobe ist entscheidend, ob die *Campylobacter* gleichmäßig auf der Oberfläche der Hähnchen verteilt sind. Hood et al. [1988] haben bei der Untersuchung von Karkassen an verschiedenen Stellen mit Tupfern belegt, dass sich die *Campylobacter* generell gleichmäßig auf der Oberfläche der Karkassen verteilen. Lee et al. [1994] untersuchten drei verschiedene Stellen (Brust, Schenkel und Schwanz) und fanden ebenfalls eine gleichmäßige Verteilung. Jorgensen et al. [2002] haben ebenfalls keine signifikanten Unterschiede festgestellt, als sie verschiedene Probenarten wie Nackenhaut und Spülflüssigkeit miteinander verglichen. Im Zuge der eigenen experimentellen Studien wurden Vergleichsuntersuchungen zu verschiedenen Beprobungs- und Zählverfahren durchgeführt. Die ermittelten Unterschiede zwischen Spülproben und Einwaagen von Haut von Hähnchenkeulen waren nicht signifikant, so dass beide Probenahmeverfahren zur Ermittlung der quantitativen Belastung gleichermaßen geeignet waren [Scherer et al.].

Ein Beleg für eine gleichmäßige Verteilung von *Campylobacter* spp. auf den Produkten ist die Studie von Ledergerber et al. [2003], welche keine Unterschiede in der Prävalenz von *Campylobacter* spp. auf Hähnchenteilen oder auf ganzen Hähnchen im Schweizer Einzelhandel fanden. Eine Studie, die sich mit der genauen Lokalisation von *C. jejuni* in der Haut von Hähnchen beschäftigt hat [Chantarapanont et al., 2003], stellte fest, dass sich die Mehrzahl der Organismen auf der Oberfläche befinden, während ein kleiner Teil der Population der feuchten Haut scheinbar aktiv in Spalten und Poren sowie Federfollikel einwandern kann.

Im Bereich des Handels sind kaum Veränderungen für den Gehalt von *Campylobacter* auf frischen Hähnchen zu erwarten. Ein Eintrag kann ausgeschlossen werden, ggf. findet allenfalls eine geringfügige Abnahme der Keimzahl statt.

Besondere Beachtung muss der Art der Verpackung der Hähnchen gewidmet werden. Während frisches Hähnchenfleisch in der Vergangenheit überwiegend aerob verpackt wurde (wenn es nicht als lose Ware gehandelt wird), steigt in letzter Zeit der Anteil von Hähnchenfleisch, welches unter Vakuum oder in einer Schutzgasatmosphäre verpackt wird. Grundsätzlich erhöhen beide Sonderformen der Verpackung die Haltbarkeit des frischen Hähnchenfleisches. Kohlendioxid ist farblos, geruchs- und geschmacksneutral und muss nicht als Konservierungsstoff deklariert werden (lediglich als Zusatzstoff nach der Zusatzstoffverordnung). Es wirkt bakteriostatisch, fungistatisch und pH-senkend. Es kann auch als direktes Kältemittel eingesetzt werden, dabei erfolgt ein schnelles und schonendes Kühlen, Anfrosten oder Durchgefrieren.

Geflügelfleisch und -innereien werden allgemein in Schutzgasen verpackt, die CO₂ und N₂ oder CO₂, N₂ und O₂ enthalten. Die Kombinationen mit hohem Sauerstoffgehalt (66%, plus 25% CO₂ in N₂) werden jedoch nicht für Hähnchenfleisch eingesetzt, sondern nur für Putenfleisch und allgemein für Geflügelinnereien. Der Sauerstoff begünstigt hierbei die Bildung von Oxymyoglobin, wodurch die natürliche Fleischfarbe erhalten bleibt. Der Stickstoff wirkt bei den Schutzgasverpackungen als so genanntes Stützgas. Da er nur langsam durch Kunststoffolien diffundiert, werden die Produkte mechanisch weniger belastet. Für Hähnchenfleisch werden Gasmische mit einem Anteil von 30% (auch für Ente und Gans empfohlen) oder 50% CO₂ in N₂ eingesetzt.

Hinsichtlich der Überlebensfähigkeit von *Campylobacter* spp. sind die Schutzgasverpackungen kritisch zu betrachten. Theoretisch könnte sich der erhöhte Kohlendioxidgehalt auf *Campylobacter* spp., die zu den mikroaerophilen Bakterien gehören, nicht bakteriostatisch auswirken. Gleichzeitig könnten sie bessere Überlebenschancen haben, da speziell bei den Hähnchenprodukten die Schutzgasatmosphäre sauerstofffrei ist (*Campylobacter* sind empfindlich für O₂). Darüber hinaus verhindert die Schutzgasatmosphäre die Abtrocknung des

Hähnchenfleisch. Für *Campylobacter* spp., die sehr empfindlich auf Trockenheit reagieren, könnten dadurch zusätzlich die Überlebenschancen verbessert werden.

Mehrere Autoren haben durch experimentelle Untersuchungen bestätigt, dass *Campylobacter* unter so genannten Schutzgasatmosphären, die durch einen erhöhten CO₂-Gehalt und Sauerstofffreiheit gekennzeichnet sind, besser überleben [u.a. Phebus et al., 1991]. Wesley et al. [1985] konnten bei einem Vergleich der Lagerung von natürlich kontaminierten Hähnchen unter Kohlendioxid oder in normaler Atmosphäre jedoch keinen Unterschied feststellen (MPN-Daten). Kreyenschmidt et al. [2002] haben im Rahmen eines Forschungsprojektes ermittelt, dass kühlgelagertes Geflügelfleisch in aerober Verpackung schneller verdirbt (Vermehrung der Verderbniskeime Pseudomonaden und Enterobacteriaceae, sowie Veränderung der Sensorik), als wenn es vakuumverpackt ist. Eine Untersuchung von Dykes et al. [2001] zu mit *C. jejuni* inokuliertem Rindfleisch zeigte, dass weder die Vakuumverpackung noch die Verpackung mit 100% CO₂ die inokulierten *Campylobacter* in ihrer Überlebensfähigkeit beeinträchtigten. Es kam weder zu einer sublethalen Schädigung noch zu einer Abnahme der Keimzahl über den beobachteten Zeitraum von 42 Tagen.

Die eigenen quantitativen Untersuchungen von Handelsproben (zur Bestimmung der Prävalenz kontaminierter Proben und der üblichen Eingangskonzentration) beschränken sich auf verpackte Hähnchenkeulen. Es wurden sowohl aerob in Folie auf einem Schaumstoffteller verpackte, als auch unter Schutzgas verpackte und vakuumierte Verpackungen mit Keulen untersucht. Lose gehandelte Ware präsentiert in Deutschland nur einen geringen Marktanteil und es wird vermutet, dass die Verpackung den *Campylobacter* am besten vor Austrocknung schützt und somit das Überleben der Bakterien sichert. Die Ergebnisse für die *Campylobacter*-Keimzahlen auf der Oberfläche von Hähnchenbrustfilets wurden nach den drei verschiedenen Verpackungsarten sortiert und analysiert, um den Einfluss der Verpackungsart auf die Kontamination mit *Campylobacter* zu analysieren [Luber und Bartelt].

In einer Studie aus der Schweiz [Ledergerber et al., 2003] wurde im Jahr 2002 die Prävalenz von *Campylobacter* spp. in verpackten Proben (N=308) mit jener in lose gehandelten Hähnchenteilen im Einzelhandel verglichen. Es gab keine signifikanten Unterschiede in der Prävalenz.

Sollte die Verpackung unter Schutzatmosphäre mit dem hohen Feuchtigkeitsgehalt das Überleben von *Campylobacter* fördern, so wären in diesen Produkten höhere Keimzahlen und eventuell auch höhere Prävalenzen zu erwarten. Durch Einbeziehung derartig verpackter Produkte in die Analysen berücksichtigt die Expositionsschätzung auch ‚worst-case‘-Szenarien.

Auch die Verpackung selbst kann mit *Campylobacter* kontaminiert sein. Jorgensen et al. [2002] stellten bei der Untersuchung von Verpackungen fest, dass über die Hälfte der Verpackungen mit *Campylobacter* kontaminiert war. Hier lagen allerdings nur geringe Keimzahlen vor, so dass im Direktnachweis nur eine geringe Prävalenz gefunden wurde, die meisten Verpackungen waren nur nach Anreicherung positiv. Knapp 10% der Verpackungen waren jedoch mit *Campylobacter* in der Größenordnung von log 4 – log 6 cfu/Verpackung behaftet. Kinde et al. [1983] fanden bei Hähnchenflügeln eine Abhängigkeit der Prävalenz und des quantitativen Vorkommens von *Campylobacter* auf den Produkten vom Alter der Packung. Bei einem MHD von zehn Tagen nahm die Menge der *Campylobacter* auf dem Produkt deutlich ab (Lagerungsversuch). Diese Arbeit ist allerdings schon 20 Jahre alt. Sowohl die Verpackungsarten als auch die Nachweismethoden für *Campylobacter* haben sich seither verändert bzw. verbessert.

Kreyenschmidt et al. [2002] haben den Verderb von Hähnchenbrustfilets bei der Kühlung untersucht. Hauptverderbskeime sind Pseudomonaden und Staphylokokken. Bei der sensorischen Haltbarkeitsprüfung zeigte sich ein MHD von maximal sieben Tagen, wenn das

Produkt durchgehend bei 2°C gelagert wurde. Kinde et al. [1992] fanden bei Hähnchenflügeln eine Abnahme der *Campylobacter*-Keimzahl im Verlauf der Kühllagerung über das 10-tägige MHD.

Eine neuere Arbeit von Purnell et al. [2004] beschreibt die Überlebensfähigkeit von *Campylobacter* auf frisch produzierten Hähnchen. Es werden mehrere Endprodukte betrachtet. Die Art der Mengenangabe bei dieser Studie ist zwar etwas merkwürdig (Angabe als Mittelwert log cfu/ml Spülflüssigkeit, dabei wurde eine 25 g Nackenhautprobe genommen), jedoch werden frisch verpackte Karkassen am Ende der Herstellung während der Lagerung untersucht. Hierbei zeigt sich eine Reduktion der *Campylobacter*-Keimzahl auf den Karkassen im Verlauf einer achttägigen Kühllagerung (Abnahme etwa um 1-2 log-Stufen).

Epidemiologische Studien zur *Campylobacter*iose in Island haben kürzlich das Interesse an der Auswirkung des Gefrierens auf *Campylobacter* spp. wieder geweckt [Stern et al., 2003]. Einige der isländischen Forscher gehen davon aus, dass *Campylobacter* nach mehrwöchiger Lagerung unter Gefriertemperaturen (-18°C) absterben (persönliche Mitteilung). Svedhem et al. [1981] hingegen fanden auch nach drei Monaten Lagerung bei -20°C noch auf 6 von 7 Proben *Campylobacter*. Abu-Ruwaida et al. [1996] fanden nach neunmonatiger Gefrierlagerung von 150 natürlich kontaminierten Broilerkarkassen keine Verringerung der Prävalenz (10,7% positiv). Viele mit *Campylobacter* behaftete gefrorene Geflügelproben wurden auch kürzlich in der Schweiz belegt [Svoboda et al., 2002]. Insgesamt ist somit nicht davon auszugehen, dass es durch das Gefrieren zu einer vollständigen Eliminierung der *Campylobacter* auf Hähnchen kommen kann, es ist lediglich eine Reduktion möglich.

Bestätigt wird diese Annahme durch die Untersuchungen von Moorhead et al. [2002]. Sie inokulierten Rindfleisch mit geringen (log 3 cfu) und hohen Mengen (log 6 cfu) von zwei verschiedenen *C. jejuni* Stämmen und froren die Proben bei -18°C für 112 Tage ein. In regelmäßigen Intervallen wurden die verbleibenden Keimzahlen bestimmt und überprüft, ob die *Campylobacter*-Zellen durch das Gefrieren sublethal geschädigt wurden. Letzteres trat nicht ein. Jeweils zu Beginn der Gefrierlagerung kam es zu einer signifikanten Abnahme der *Campylobacter* (log 0,6 – log 2,2 cfu/g) innerhalb der ersten Woche; die Keimzahl blieb aber danach konstant. In allen Ansätzen waren die *Campylobacter* in der Lage, den Gefrierprozess zu überleben.

Von Jorgensen et al. [2002] wurde beim Vergleich zwischen gefrorenen und gekühlten Produkten eine lediglich etwas geringere Prävalenz bei den gefrorenen Produkten festgestellt. Jedoch waren die Keimzahlen deutlich geringer. Ledergerber et al. [2003] fanden bei einer Untersuchung von Schweizer Handelsproben signifikant geringere Prävalenz von *Campylobacter* bei gefrorenen Hähnchen (7,9% von 76 Proben) als bei frischem Hähnchen (25,1% von 339 Proben). Allerdings wurden alle Proben während der Sommermonate gekauft, wobei davon ausgegangen werden kann, dass die gefrorenen Produkte vermutlich bereits im Frühjahr produziert wurden. Möglicherweise ist der beobachtete Unterschied auf die Saisonalität der Prävalenz zurückzuführen.

Archer [2004] geht in einem Übersichtsartikel zum Einsatz von Gefrieren zur Dekontaminierung von Lebensmitteln speziell auf *Campylobacter* als ein vom Huhn stammendes Pathogen ein. Er berichtet, dass Gram-negative Bakterien allgemein empfindlicher für Gefrieren sind als Gram-positive, Gram-negative jedoch je nach Art der Lebensmittelmatrix auch sehr wohl in der Lage sein können, das Gefrieren zu überleben. Wenn *Campylobacter* zusammen mit Fleisch eingefroren wurden, trat keine sublethale Schädigung der Bakterien ein. Es konnte zwar innerhalb von einer Woche eine Reduzierung der *Campylobacter*-Keimzahl um 0,6 bis 2,2 log Einheiten beobachtet werden, aber die verbleibenden Zellen zeigten keinerlei Vitalitätsverlust. Eine weitere von Archer zitierte Studie [Chan et al., 2001] zeigte auf, dass die Resistenz von *Campylobacter*stämmen gegen Gefrieren und ihre Überlebensfähigkeit bei der Kühllagerung stark variiert, also stammspezifisch ist. Dies deutet darauf hin, dass es eine

genetische Basis für diese Form der Stressresistenz gibt. Insbesondere Isolate von humanen Erkrankten zeigten eine größere Toleranz gegenüber der Kühlung.

Sandberg et al. [2005] untersuchten die Überlebensfähigkeit von *Campylobacter* auf natürlich kontaminierten Hähnchenkarkassen und ermittelten, dass es nach dreiwöchiger Gefrierlagerung zu einer Reduktion der Ausgangskontamination um zwei Log-Stufen kommt. Auf dieser Basis wird im Rahmen der Expositionsschätzung die quantitative Belastung des gefrorenen Hähnchenfleisches geschätzt.

3.8 Bewusstsein der Gefahr in der (deutschen) Bevölkerung

Während viele Verbraucher schon einmal von Salmonellen gehört haben und einigen Listerien bekannt sind, kennt nur ein verschwindender Anteil der Bevölkerung das Bakterium *Campylobacter*. Trotz seiner bedeutenden Rolle als Lebensmittelpathogen in Deutschland kennt der Verbraucher das Bakterium nicht. Es besteht somit kein konkretes Risikobewusstsein.

Die Verbraucher glauben, dass sie beim Essen ausser Haus einem höheren Risiko ausgesetzt sind, an einer Lebensmittelvergiftung zu erkranken, als wenn sie zu Hause eine Mahlzeit zubereiten [Miles et al., 2001; Parry et al., 2004]. Die Verantwortung für die Minimierung des Infektionsrisikos wird somit nicht bei sich selbst, sondern in der Lebensmittelindustrie gesehen. Allgemein vermuten nur 9 bis 23% der Verbraucher, dass sie sich in ihrem eigenen Heim, im Kreis der Familie oder bei Freunden eine Lebensmittelvergiftung zuziehen könnten [Redmond et al., 2003].

In einem Review von Miles et al. [1999] werden die Erkenntnisse mehrerer Studien zur Wahrnehmung von Risiken in Großbritannien zusammengefasst: Insbesondere fällt hier auf, dass nur etwa einem Drittel der Konsumenten bewusst ist, dass rohes Fleisch und Geflügel lebende Mikroorganismen enthält. Diese Menschen nehmen deshalb auch an, dass die industrielle Lebensmittelverarbeitung die größten Risiken birgt. Der eigene Haushalt oder Bauernhöfe werden nicht als Risikofaktoren wahrgenommen. Eine Verbesserung der Verbrauchersicherheit durch Aufklärung der Konsumenten ist nach Ansicht der Autoren kaum zu erreichen. Auch wenn die Verbraucher beispielsweise wissen, dass Kühlung die Vermehrung von Mikroorganismen stoppt etc., setzen sie dieses Wissen nicht unbedingt in die Praxis um. Es ist generell wichtig erst einmal in Erfahrung zu bringen, wie der Wissensstand der Bevölkerung über mikrobiologische Gefahren und Praktiken zur sicheren Zubereitung von Lebensmitteln ist, bevor man Maßnahmen zur Verbesserung der Lebensmittelhygiene des Verbrauchers plant. Fraglich ist weiterhin, wie die Informationen möglichst effektiv an den Verbraucher herangetragen werden können. Nur zwei Drittel der Amerikaner wussten 1993 über sichere Lebensmittel-Umgangsweisen Bescheid (Händewaschen nach Kontakt mit rohem Fleisch, nicht gleiche Platte für rohes + gegartes Fleisch, Fleisch immer ganz durchgaren). Generell wurde auch bei Verbrauchern, die sich auskannten, trotz des Wissens nicht immer die sichere Vorgehensweise gewählt. Besonders viele unsichere Handlungsweisen wurden von Männern, Menschen im Alter von 18 bis 29 Jahren und Gelegenheits-Köchen berichtet. Diese Bevölkerungsuntergruppen könnten gezielt geschult werden. Die Autoren mutmaßen, dass Basisinformationen zur Mikrobiologie und über Lebensmittelinfektionen Abhilfe schaffen und dazu führen könnten, dass der Verbraucher besser versteht, warum er Sorgfalt beim Zubereiten von Speisen walten lassen sollte. Der Verbraucher sollte konkrete, personalisierte Hilfen erhalten wie Speisen gelagert werden können (inkl. Temperaturkontrolle), wie man Kreuzkontamination vermeidet und welche Arten der Zubereitung sicher sind. Manche Verbraucher sind einer höheren Wahrscheinlichkeit ausgesetzt, an einer Lebensmittelvergiftung zu erkranken, und wenn sie erkranken, verläuft die Krankheit schwerer. Es gelingt jedoch nicht, die Angehörigen dieser Risikogruppen zu identifizieren.

Parry et al. [2004] haben in einer Studie 238 britische Zubereiter von Mahlzeiten nach den drei wichtigsten Dingen gefragt, die Menschen tun müssen, um sich vor Lebensmittelvergiftungen im eigenen Haushalt zu schützen. Am häufigsten wurde Hygiene in der Küche genannt, wobei insbesondere saubere Arbeitsflächen, Geräte, Geschirrtücher und Wischtücher sowie Kühlschränke benannt wurden. Einige der Befragten erwähnten Sterilisation und den Gebrauch von Desinfektionsmitteln. Gute persönliche Hygiene wurde ebenfalls erwähnt, wobei speziell Händewaschen genannt wurde. Weiterhin wurden ausreichendes Kochen, vor allem bei der Zubereitung von Eiern, Fleisch und Geflügel erwähnt, und Obacht bei der Erwärmung von Speisen. Ein geringerer Anteil der Befragten erwähnte ebenfalls die Vermeidung von Kreuzkontaminationen, z.B. Nutzung verschiedener Messer und Schneidbretter für rohe und zubereitete Waren und die getrennte Lagerung von rohen und zubereiteten Produkten im Kühlschrank. Weiterhin wurde erwähnt, dass die Daten auf den Lebensmitteln beachtet werden müssen. Zum einen sollte ausreichend frische Ware gekauft werden und zum anderen sollten Produkte mit abgelaufenem MHD entsorgt werden.

Weiterhin durften die Befragten die drei wichtigsten Gefahren benennen, die ihrer Meinung nach von Lebensmitteln ausgehen. Hierbei wurde Zahlreiches erwähnt. Etwas häufiger wurden der Verzehr so genannter "riskanter" Lebensmittel (wie Eier, Geflügel, Fisch) und nicht ausreichendes Garen von Produkten erwähnt. Lebensmittelvergiftungen, BSE und infizierte Lebensmittel, teils auch bestimmte Pathogene, wurden als spezielle Risiken benannt. Weiterhin wurden ungenügende Sauberkeit, inkorrekte Lagerung, fehlende Temperaturkontrolle und unsauberes Auftauen genannt. Haltbarkeitsdaten zu ignorieren wurde ebenfalls als Risiko eingestuft sowie schlechte persönliche Hygiene, speziell unzureichendes Händewaschen. Schließlich wurde das Essen an Imbissen als Gefahrenquelle benannt.

Weiterhin zeigte der Vergleich von Fällen, die in der Vorgeschichte eine Salmonellose hatten, dass diese sich als vulnerabler für Lebensmittelvergiftungen einstufen, insgesamt wurde aber stets ein optimistischer Bias gefunden. Insgesamt sind die Kenntnisse und Einschätzungen der Verbraucher wenig zutreffend, die Risiken werden nicht der Wirklichkeit entsprechend eingestuft.

Altekruse et al. [1996a] haben in den USA bei einer telefonischen Befragung von Verbrauchern, die auch selbst Mahlzeiten zubereiten, nach der Kenntnis von typischen Krankheitserregern und den Lebensmitteln, mit welchen sie assoziiert sein können, gefragt. Nur 4,7% der Verbraucher kannten überhaupt *Campylobacter*, 0,4% konnten typische Lebensmittel nennen. Hingegen kannten 80,2% der Befragten Salmonellen und 53,7% wussten auch mindestens ein Lebensmittel, in welchen sie vorkommen können. Frauen kannten sich signifikant besser aus als Männer. Menschen im Alter von 18 bis 29 Jahren wussten signifikant weniger als andere Altersgruppen.

Eine Erklärung dafür, dass Verbraucher zwar Salmonellen aber keine *Campylobacter* kennen, könnte in der in den achtziger Jahren starken Medienpräsenz der Salmonellen liegen, welche in diesen Jahren viele Ausbrüche verursachten [Redmond et al., 2003].

3.9 Zubereitung von Hähnchen im privaten Haushalt – Hygieneverhalten des Verbrauchers

Zur Abschätzung der Exposition der Verbraucher bei der Zubereitung von kontaminierten Hähnchen müssen Erkenntnisse über das übliche, typische Verhalten der deutschen Verbraucher beim Umgang mit Geflügel während der Zubereitung im Privathaushalt vorliegen. Als Eingangsparameter für das Simulationsmodell sollte die quantitative Belastung der Hähnchenprodukte mit *Campylobacter* bekannt sein. Kennt man die typischen Hygienefehler beim Umgang mit Hähnchen, kann sodann ein Modell aufgestellt werden, welches die verschiedenen Transmissionswege der *Campylobacter* bis zur oralen Aufnahme beschreibt und

quantifiziert. So können die Hauptinfektionswege identifiziert werden. Es kann mengenmäßig beschrieben werden, wie hoch die vermutlich aufgenommene Dosis ist.

Der Konsument stellt die größte Unbekannte in der Lebensmittelkette dar [Daniels, 1998], sein Verhalten bei der Zubereitung von Mahlzeiten im eigenen Haushalt ist bis heute nicht ausreichend studiert worden. Man kann jedoch abschätzen, dass die Gefahren, denen der Verbraucher bei der Zubereitung von Mahlzeiten im eigenen Haushalt ausgesetzt ist, zunehmen werden. Beispielsweise gibt es Hinweise darauf, dass immer weniger Aufwand bei der Zubereitung von Lebensmitteln gewünscht wird [Collins, 1997]. Der Verzehr von so genannten Convenience-Produkten nimmt zu. Der überwiegende Teil der Verbraucher glaubt, dass die eingekauften Lebensmittel sicher sind, solange sie frisch eingekauft werden und die Mindesthaltbarkeit nicht überschritten wird, das Gefahrenbewusstsein ist also gering. Das Wissen der Verbraucher über die Vorgehensweise bei der sicheren Zubereitung von Lebensmitteln stammt aus der Generation der Mütter und Großmütter [Collins, 1997]. Gleichzeitig finden demographische Veränderungen statt, die dazu führen, dass immer mehr Menschen hinsichtlich der Gefahr einer Lebensmittelinfektion Risikogruppen zuzuordnen sind. Informationen über die häusliche Praxis beim Umgang mit Lebensmitteln werden entweder durch die Untersuchung von lebensmittelverursachten Ausbrüchen oder durch Konsumenten-basierte Studien gewonnen. Ausbrüche von Campylobacteriosen sind selten, deshalb können für die Risikoabschätzung nur Verbraucherstudien herangezogen werden. Hierfür stehen generell drei Arten von Studien zur Verfügung: Befragungen, Zielgruppen-Diskussionen und Beobachtungsstudien. Redmond et al. [2003] haben in einem Übersichtsartikel 88 Studien analysiert, die sich mit Verbrauchern und Lebensmittelsicherheit auseinandergesetzt haben. 48% der Studien wurden in Großbritannien durchgeführt und 42% in den USA. Nur 2% der Studien stammen aus dem Rest Europas – die Verhaltensmuster zwischen europäischen und amerikanischen Verbrauchern sowie der europäischen Verbraucher untereinander variieren jedoch und Ergebnisse können nicht ohne weiteres von einem Land auf ein anderes übertragen werden. Weiterhin wurde der überwiegende Teil der Studien in Form von Befragungen durchgeführt, was die Gültigkeit der Ergebnisse zumindest teilweise fragwürdig erscheinen lässt, denn Studien, welche zusätzlich auch Beobachtungen durchgeführt haben, zeigen, dass als „sicher und gut“ empfundene Handlungsweisen öfter bei Befragungen angegeben werden, als sie tatsächlich ausgeführt werden.

Hinsichtlich des Hygieneverhaltens der Deutschen sind zwar mehrere allgemeine Aussagen aus verschiedenen populärwissenschaftlichen Studien vorhanden, diese lassen sich jedoch nicht im Hinblick auf die Problemstellung der Zubereitung von Geflügel auswerten, denn sie erfassen eher unspezifische Aspekte wie die Häufigkeit des Reinigens von Kühlschränken und Fragen nach dem Verderb von Lebensmitteln. Das allgemeine Hygieneverhalten scheint jedoch nicht entscheidend die Ausbreitung von *Campylobacter* durch Kreuzkontamination in der Küche zu beeinflussen, vielmehr spielen bestimmte Handlungsweisen eine Rolle und vor allem die Reihenfolge, in welcher sie durchgeführt werden [Mylius et al., 2003].

Borneff et al. haben im Jahr 1988 [1988a+b] eine Untersuchung zur Keimverbreitung in Haushaltsküchen durchgeführt. Hierbei wurden 55 deutsche Hausfrauen in Küchen mit der Zubereitung einer kompletten Mahlzeit mit Hackbraten beauftragt. Als Vorspeise waren Schinkenröllchen mit Spargel vorgesehen, das Hauptgericht Hackbraten wurde mit einem Kartoffelsalat mit selbstgemachter Mayonnaise gereicht und als Nachtisch gab es Schokoladenpudding mit Schlagsahne. Das rohe Hackfleisch war quantitativ mit Bakterien der Gattung *Sarcina* kontaminiert. Nach Abschluss der Koch- und Reinigungsarbeiten wurden Gebrauchsgegenstände, Flächen und Lebensmittel auf Sarcinen kontrolliert. Die Testkeime waren an allen untersuchten Stellen in der Küche und am Esstisch in unterschiedlicher Menge nachweisbar. Für die Weiterverbreitung erwiesen sich als besonders bedeutsam: a) die Arbeitsflächen, insbesondere Holz- und Plastikbrettchen b) Schneidemaschine c) Küchenmaschine. Ein Drittel der zubereiteten Speisen war mit den Testkeimen kontaminiert. Die Ergebnisse der Studie werden in einem zweiten Teil dargestellt [Borneff et al., 1988b]. Hier

wird erwähnt, dass Lebensmittelinfektionen ca. dreimal häufiger im Privathaushalt entstehen, als dass sie durch Gemeinschaftsverpflegungen verursacht werden. Der beobachtete Anstieg der bakteriellen Infektionserkrankungen wird von den Autoren ursächlich auf den unsachgemäßen Umgang mit Rohprodukten und den Essensresten sowie in nicht ausreichender Erhitzung bei der Zubereitung gesehen. Es wird der Verbreitungsweg der Keime in der Küche skizziert. Jetzt werden auch Wisch- und Spültücher in die Kategorie der wichtigsten Vektoren aufgenommen. Weiterhin werden die Infektketten nicht unterbrochen, da die eingesetzten Haushaltsreiniger nicht ausreichend desinfizieren. Durch die Reinigungsmaßnahmen waren die Testkeime nur um etwa die Hälfte reduziert worden. Erst nach Reinigung mit Hypochlorit waren über 90% der Bakterien beseitigt. Die Autoren empfehlen deshalb den Einsatz von Haushaltsreinigern mit antibakteriellen Zusätzen. Weiterhin sollten Einmal-Papiertücher zur Reinigung eingesetzt werden. Darüber hinaus fordern die Autoren eine adäquate Aufklärung des Verbrauchers (hier: der Hausfrau) als wirksamste Maßnahme ein („...vor allem die Bevölkerung korrekt informieren“).

Eine weitere Publikation von Borneff [1989] fasst die Studienergebnisse zusammen (79 Hausfrauen wurden inzwischen getestet). Wieder wird argumentiert, dass die Unwissenheit der Verbraucher über das Verhalten von Mikroorganismen in der Außenwelt und ihre Verbreitungswege Hauptursache für die Erkrankungszunahme ist. In der Küche sollten nach Meinung der Autoren antibakterielle Reiniger und ein desinfizierendes Handwaschmittel eingesetzt werden.

Pfau et al. [2002 und 2003a + b] haben eine repräsentative Befragung an rund 2.000 deutschen Verbrauchern durchgeführt, um die Kompetenz der Verbraucher im Umgang mit Lebensmitteln (hier Lagerung von geöffneten Verpackungen) zu erfassen. Das Prinzip der Eruiierung einer derartigen Frage über die Befragung hat sich als erfolgreich erwiesen. Die Befragung wurde im November 2000 durchgeführt. Es zeigte sich, dass ein beträchtlicher Anteil der Verbraucher nicht genügend Wissen in Bezug auf die sachgerechte Lagerung von Lebensmitteln, bzw. von Lebensmitteln aus geöffneter Packung besitzen.

Besonderes Augenmerk muss auf Zubereitungsformen gelegt werden, bei denen grundsätzlich eine schlechtere Hygiene beobachtet werden kann, wie das Grillen. Besonders in den Sommermonaten wird ja eine erhöhte Prävalenz der *Campylobacter*-Erkrankungen beobachtet. Eine der möglichen Ursachen hierfür könnten Hygienefehler beim Grillen von Hähnchenfleisch sein. Die Literaturrecherche liefert nur drei deutsche Beiträge, die sich mit der Thematik des Grillens beschäftigen. Verhältnisse aus anderen Ländern wie den USA sind auf Deutschland nicht übertragbar. Dort wird viel häufiger und mit anderen Methoden gegrillt. In Deutschland ist, wie in ganz Mitteleuropa, das Grillen eine stark saisonale Erscheinung. Die Grillsaison beginnt etwa im Mai und endet im September.

In der Dissertationsarbeit von Rohrmann [2001] wurden 385 Befragte aus dem Raum Heidelberg hinsichtlich der Zubereitungsformen von Brathähnchen und Putenschnitzel und -geschnetzeltem (eine gemeinsame Kategorie) abgefragt. 9,9% der Befragten gaben an, nie diese Geflügelfleischprodukte zu essen. Es wurden drei verschiedene Zubereitungsformen erfragt: kurzgebraten, braten oder grillen. Für die abgefragten Produkte ist das Braten die häufigste Zubereitungsform. Ein Drittel der Befragten braten immer. Aber knapp 40% der Befragten gaben an, Geflügel ebenfalls zu grillen. In der Studie ging es um die Ermittlung des Bräunungsgrades der Produkte (Aufnahme heterozyklischer Amine). Die Geflügelprodukte wurden dabei als die am stärksten gebräunt verzehrte Produktgruppe identifiziert.

In einer Grillstudie, die im Jahr 2002 im Auftrag der Firma Kraft durchgeführt wurde (Originalstudie wird nicht von Kraft herausgegeben) wurden 1.024 Teilnehmer im Alter von 16 bis 60 Jahren befragt. Hiernach essen 90% der Bundesbürger im Sommer gegrilltes Fleisch. Auf die Frage, was gegrillt wird, ergab sich Folgendes: 82% Fleisch, 17% Fisch, 14% Geflügel. Hitliste: Schwein, Rind, Lamm. Fast immer gehört zum Grillen auch ein Salat dazu: 32% fri-

sche Blattsalate, 22% Kartoffel- und Nudelsalate. 76% der Befragten grillen mindestens 1x pro Monat, 25% 2-3x pro Monat und 8% 1x pro Woche.

Im Rahmen einer Studienarbeit der Dozentin N. Degele wurden im Jahr 2002 in Freiburg 100 Personen hinsichtlich ihres Grillverhaltens befragt. Für uns lediglich interessant ist die Frage: Wo wird gegrillt (Mehrfachnennungen waren möglich): Garten 32%, Balkon 50%, Schrebergarten 11%, Grillplatz 33%, Campingplatz 21%, Sonstiges 17%. Fast ausschließlich wurde der Vorgang des Grillens durch den Mann übernommen.

Nach Informationen des Fleischerhandwerkes (Quelle: Internet) grillen 24% der deutschen Haushalte. Auf der Zubereitungsliste steht dabei (unklar, worauf sich die Prozentzahlen beziehen): 89% Schwein, 82% Geflügel, 75% Würstchen (Rind + Schwein), 53% Rindfleisch, 44% Geflügelwurst, 7% Anderes.

Eine Quantifizierung der Kreuzkontaminationsrisiken, die assoziiert sind mit den verschiedenen Schritten bei der Lebensmitt Zubereitung, kann eine wissenschaftliche Basis für das Risikomanagement in Privat- und Großküche liefern [Reij et al., 2004].

Für die Frage der Kreuzkontamination im Haushalt bzw. in der Großküche ist es von Interesse, die Transfer-Mechanismen zu identifizieren, über welche die *Campylobacter* von den Hähnchen auf andere Produkte übertragen werden. In Frage kommen:

- über die Luft durch Aerosolbildung (*Campylobacter* sind in Wassertropfen und werden mit dem Luftstrom verbreitet)
- Tropfen und Spritzer (von *Campylobacter* im Fleischsaft oder im Waschwasser),
- über die Hände, wenn diese nur unzureichend oder gar nicht gewaschen werden. Besonders wichtig für Bakterien mit niedrigen Infektionsdosen, also speziell für *Campylobacter* [Chen et al., 2001; Montville et al., 2001; Bloomfield, 2003],
- über verunreinigte Küchenutensilien wie Schneidbretter und Messer,
- durch Ungeziefer. Dieser Weg mag insbesondere für sporadische Erkrankungen (also auch für *Campylobacter*) entscheidend sein.

Reij und Den Aantrekker [2004] weisen insbesondere auf die Wichtigkeit hin, die entscheidenden Kreuzkontaminationswege zu quantifizieren, denn nur so kann eine wissenschaftliche Basis gewonnen werden für Risikomanagement-Bestrebungen. Aus diesem Grunde werden im Rahmen des Projektes Laborexperimente zum Transfer von *Campylobacter* durchgeführt. Da insbesondere Hände als Vektoren bei der Verbreitung der *Campylobacter* beschrieben werden, erfolgte eine Sichtung der Literatur zur Thematik des Händewaschens. Die von Redmond et al. [2003] durchgeführte Analyse von verschiedenen Studien zum Verbraucherverhalten zeigte, dass die Mehrheit der Befragten (75-100%) wusste, dass Händewaschen die Lebensmittelsicherheit erhöht. Gleichzeitig stellte sich aber heraus, dass etwa ein Fünftel der Befragten nicht wusste, wie eine effektive Handreinigung durchgeführt wird. Insbesondere herrscht Unkenntnis hinsichtlich der Trocknung der Hände nach dem Waschen. Aus Deutschland liegen die Ergebnisse einer repräsentativen Befragung vor, die im März 2001 durchgeführt wurde [Bremer et al., 2005]. Hier wurde ganz allgemein gefragt, welche Hygienemaßnahmen von den Verbrauchern nach dem Umgang mit rohem Fleisch vorgenommen werden. 46,6% der Befragten gaben an, sich nach der Zubereitung von rohem Fleisch nicht die Hände mit Wasser und Seife zu waschen. 48,1% der Verbraucher reinigten das Schneidbrett nach Kontakt mit rohem Fleisch nicht mit Wasser und Seife. Menschen mit höherer Bildung neigten signifikant häufiger dazu, Hygienemaßnahmen zu ergreifen.

Sind die *Campylobacter* über Utensilien oder die Hände auf andere Mahlzeitenbestandteile übertragen worden, so können sie auf diesen sehr gut überleben, insbesondere unter Kühltemperaturen. Curtis et al. [1995] haben die Überlebensfähigkeit von *C. jejuni* in roher Hähnchenbrust, rohem und gegartem Rinderhack, Paté, Reispudding und in Instant-Kartoffelbrei untersucht. Jeweils 20 g der Lebensmittelprobe wurden mit *C. jejuni* beimpft bis etwa 10^6 cfu/g Lebensmittel vorlagen. Die Lagerung erfolgte bei 2°C, 10°C und 20°C. Weiterhin wurde ein prediktives Modell entwickelt, welches auf Basis der Informationen zu pH, Feuchte und NaCl-Gehalt die Überlebensfähigkeit vorhersagte. Der Versuchsansatz ist allerdings recht praxisfern, da nicht davon ausgegangen werden kann, dass die entsprechenden Produkte mehrere Wochen gelagert werden. Ein Verderb wird mit Sicherheit vorher eintreten. Die *Campylobacter* waren in der Lage, bis zu 49 Tage zu überleben (in gegartem Hackfleisch bei 2°C). Allgemein zeigte sich, dass die *Campylobacter* um so länger überlebten, je niedriger die Temperatur war. Jedoch wurden auch bei Lagerung bei 20°C noch nach sieben Tagen in dem gegarten Hack und nach zehn Tagen im Kartoffelbrei *Campylobacter* nachgewiesen. Die Überlebensfähigkeit war auf gegartem Fleisch besser als in rohem.

Nach Redmond et al. [2003] wussten 95-100% der Befragten, dass Händewaschen mit heißem Wasser und Seife nach dem Umgang mit rohem Geflügelfleisch die Lebensmittelsicherheit erhöht. Hingegen erkannten nur 55-80% der Verbraucher, dass sie sich die Hände waschen und abtrocknen sollten, bevor sie so genannte „ready-to-eat“ Lebensmittel ver- oder bearbeiten. Missachtung dieser grundlegenden Hygieneschritte wird nicht als sonderlich gefährlich eingeschätzt. Häufig wird berichtet, dass zwischen verschiedenen Arbeitsschritten zwar die Hände und die Küchenutensilien mit heißem Wasser abgespült werden, es kommt dabei jedoch keine Seife zum Einsatz. Eine Studie der in dem Review ausgewerteten Studien hat nach der Häufigkeit des Händewaschens bei verschiedenen Handlungen gefragt. Es zeigte sich, dass nur etwa 50% der Befragten sich die Hände zwischen zwei Arbeitsschritten waschen, wenn sie grillen.

In einem Experiment wurde von Coates et al. [1987] belegt, dass *Campylobacter* 20 Minuten auf den Fingerspitzen von Versuchspersonen überleben können, wenn sie in Tropfflüssigkeit (Saft) von Hähnchen aufgenommen wurden. Der Waschprozess entfernte die verschiedenen *Campylobacter*-Isolate nur, wenn nach dem Einsatz von warmem Wasser und Seife im Anschluss die Hände gründlich mit einem Papierhandtuch getrocknet werden. Wird das Wasser nur abgeschüttelt, verbleiben *Campylobacter* auf den Fingerspitzen, insbesondere wenn das Abwaschen der Hände nur mit warmem Wasser erfolgt. Die Autoren schlussfolgern, dass *Campylobacter* zwar schlechter als Salmonellen oder *E. coli* auf den Fingerspitzen überleben, aber trotzdem lange genug verweilen, um direkt von der Hand zum Mund oder über die Kontamination anderer Lebensmittel zum Verbraucher zu gelangen. Die Autoren beschreiben weiterhin ihre Beobachtungen, dass gerade Mitarbeiter in Groß- oder Restaurantküchen sich zwar oft die Hände abspülen zwischen zwei Arbeitsschritten, aber im Regelfall die Hände im Anschluss nicht gründlich abtrocknen.

Cogan et al. [2002] haben drei Gruppen à 20 Personen ein natürlich kontaminiertes Hähnchen in einer Küche zubereiten lassen und anschließend *Campylobacter*, welche sich durch Kreuz-Kontamination ausgebreitet haben, an den Händen bzw. an verschiedenen Lebensmittel-Kontaktflächen mit einer MPN-Methode quantifiziert. Es sollte ein Auflauf mit Hähnchen zubereitet werden. Die Teilnehmer wurden aufgefordert, das Hähnchen aus seiner Verpackung zu nehmen, abzuspülen, auf der Arbeitsfläche abzulegen, dann auf ein Schneidbrett zu legen und zu zerteilen. Die Teile wurden sodann in eine Auflaufform gegeben und Wasser sowie Gewürze und Kräuter hinzugefügt. Das Brett wurde mit einem gereinigten, gewebten Putzlappen abgewischt und anschließend wurde Gemüse auf dem Brett zerkleinert. Im Anschluss an diese Prozedur wurden Proben (Tupfer) von den Händen, dem Messergriff, Schrankgriffen, dem Wasserhahn und dem Schneidbrett entnommen. Es erfolgte eine Quantifizierung der *Campylobacter* mittels MPN. Eine zweite Gruppe führte das Gleiche durch und führte abschließend einen Abwasch mit warmem Wasser und Detergen-

zien durch. Die Hände, das Schneidbrett und der Lappen wurden auf *Campylobacter* untersucht. Eine dritte Gruppe spülte zusätzlich die Utensilien und Hände unter fließendem Wasser ab. Ein gleicher Versuchsansatz wurde mit natürlich mit Salmonellen kontaminierten Hähnchen durchgeführt. Nach den Arbeitsschritten waren 63,3% der Hände und Kontaktflächen mit *Campylobacter* kontaminiert. 20% der Flächen waren mit mehr als 1.000 cfu behaftet. Die Prävalenz der *Campylobacter*-kontaminierten Flächen und auch die Höhe der Belastung war deutlich größer als bei den Salmonellen. Vor allem auf den Schneidbrettern wurden hohe Keimzahlen gefunden. 85% der Hände, 80% der Schneidbretter und 50% der Proben von Wasserhähnen waren *Campylobacter*-positiv. Mehr als 1.000 cfu *Campylobacter* wurden bei 20% der kontaminierten Hände, bei 45% der Schneidbretter und bei 10% der Wasserhähne gefunden. Nachdem Hände und Schneidbretter mit warmen Seifenwasser gespült waren, waren fast alle *Campylobacter* entfernt. Nur 5% der Hände (eine von 20 Personen) trugen 1-9 cfu und 20% der Bretter waren mit maximal 9cfu behaftet. Wenn nach dem Abwasch für 10" unter fließendem Wasser gespült wurde, waren alle Hände negativ und ein Brettchen trug noch 1-9 cfu. Der Versuch ist recht aufschlussreich, leider wurden jedoch die Werte nach der Reinigung immer mit einem anderen, nämlich dem ersten Versuchsansatz verglichen. Dies ist besonders problematisch, da es keinen „Nullwert“ gab, d.h. es wurde nicht ermittelt, wie hoch die entsprechenden Karkassen mit *Campylobacter* belastet waren. Es muss aber davon ausgegangen werden, dass die Transferrate funktionell von der Kontaminationshöhe abhängig ist.

Weiterhin wurde eine Literatursuche nach Informationen zum Hygieneverhalten des Verbrauchers bzw. von Personen, die Mahlzeiten zubereiten, durchgeführt.

Bei der Auswertung von 88 Studien zur Lebensmittelsicherheit von Verbrauchern zeigte sich, dass bis zu 36% der Konsumenten aus Großbritannien nicht erkannten, dass nur durch strikte Separierung bzw. gründliche Reinigung von Utensilien wie Messer und Schneidbretter der Transfer von pathogenen Bakterien von rohem Fleisch und Geflügel auf bereits zubereitete und vor dem Verzehr nicht weiter erhitzte Mahlzeitenbestandteile unterbunden werden kann [Redmond et al., 2003]. Weiterhin können von einigen Verbrauchern nicht die korrekten Kühltemperaturen zur Lagerung von Lebensmitteln benannt werden. 31% der Befragten in einer Studie wussten nicht, dass es zu Lebensmittelvergiftungen kommen kann, wenn Lebensmittel bei Raumtemperatur gelagert werden. Etwa 15 bis 20% der Verbraucher hatten Schwierigkeiten korrekte Kerntemperaturen für die Zubereitung von Braten, wie z.B. Puten, zu benennen.

Bei den Studien zum Verbraucherverhalten unterscheidet man allgemein zwischen Fragen, die auf Kenntnisse und Absichten der Verbraucher zielen und solchen, die konkret nach verschiedenen Abläufen fragen. Gerade bei Studien, die letzteres tun, werden häufig unsichere Praktiken bei der Zubereitung von Lebensmitteln berichtet. Wird der Verbraucher nach grundlegenden Kenntnissen gefragt, so kennt er diese, sein Verhalten scheint in Folge „sicherer“ zu sein. Generell neigt der Befragte dazu, besseres Verhalten zu berichten, als tatsächlich vorliegt. Bei der direkten Abfrage von Handlungsabläufen zeigte sich, dass 30 bis 71% der Befragten dasselbe Schneidbrett und dasselbe Messer für die Zubereitung von rohem Fleisch und anderen Lebensmitteln nutzen. 10-41% der Befragten deuteten an, dass sie die Utensilien dazwischen nicht reinigen.

Nur wenige Studien haben Beobachtungen durchgeführt und wenn, so bezogen sich diese stets auf die Zubereitung von nur einer Mahlzeit. Besonderes Augenmerk wurde in allen Studien auf die Praxis des Händewaschens gelegt. Die Kriterien zur Beurteilung des Händewaschens waren jedoch unterschiedlich. Während einige Studien bereits die Nutzung von Seife und warmem Wasser als sicher einschätzten, wurde in anderen Studien ebenfalls auf korrektes Trocknen geachtet, aus mikrobiologischer Sicht ein sehr wichtiger Schritt zur Reduzierung von Keimzahlen beim Händewaschen. 66 bis 83% der Konsumenten in Großbritannien

haben sich bei Berücksichtigung dieses Kriteriums nicht ausreichend die Hände gereinigt, nachdem sie mit rohem Fleisch oder der Verpackung von Geflügel umgegangen sind.

Weiterhin wurden in einigen Studien direkte und indirekte Handlungen beobachtet, die zu Kreuzkontaminationen bei der Zubereitung von rohen und gekochten Lebensmitteln führen können. Es zeigte sich beispielsweise, dass 17% von selbst hergestellten Hähnchenfleischsalaten mit *Campylobacter* kontaminiert waren, nachdem kontaminiertes Hähnchen unter Beobachtung zubereitet wurde. In jedem Fall wurden die Bakterien durch indirekte Kontamination auf das im Salat eingesetzte frische Gemüse übertragen. Es kommt vor allem zu Kreuzkontaminationen, wenn die Verbraucher Rohwaren und gekochte Produkte im gleichen Bereich der Küche verarbeiten. Beobachtungsstudien haben gezeigt, dass 80 bis 90% der Verbraucher keine klare Trennung zwischen Arbeitsbereichen für Rohwaren und zubereitete Produkte haben. Die Wahrscheinlichkeit, dass Salat bei Nutzung derselben Küchengeräte, welche zuvor für ein mit *Campylobacter* kontaminiertes Hähnchen eingesetzt wurden, mit den Bakterien behaftet ist, lag in einer Studie bei 80%.

Eine weitere Beobachtungsstudie von Redmond et al. [2004] wurde kombiniert mit dem Nachweis von *Campylobacter* durchgeführt, wodurch wertvolle Hinweise auf Risiken durch Kreuzkontaminationen gewonnen werden konnten. In einer Modellküche wurden natürlich kontaminierte Hähnchen von 30 Verbrauchern zu einem Hähnchenfleischsalat mit Nudeln, Gemüse und Kochschinken verarbeitet. zehn der Teilnehmer waren im Alter von 60 bis 75 Jahren, zehn waren Mütter mit Kindern unter zehn Jahren und zehn waren junge Männer in der Altersgruppe 18 bis 28 Jahre. Bei 29% der Zubereitungen von kontaminiertem Hähnchen konnten *Campylobacter* von den zubereiteten Salaten, Reinigungsmaterialien und Lebensmittelkontaktflächen isoliert werden. Besonders unhygienisch war das Verhalten der alten Menschen (67% verunreinigten die Küche oder den Salat mit *Campylobacter*), am saubersten arbeiteten die Mütter (11% Kontaminationen), die jungen Männer lagen mit einer Fehlerquote von 22% dazwischen. Unter dem Fehlverhalten wurde am häufigsten die Wiedernutzung von nicht ausreichend gereinigten Schneidbrettern beobachtet (58%), gefolgt von der unzureichenden Reinigung von Messerschneiden (46%). Unzureichendes Händewaschen wurde ebenfalls beobachtet, aber nicht quantifiziert. Keiner der Teilnehmer bereitete sämtliches Gemüse und den Kochschinken zu, bevor er mit dem rohen Hähnchen hantierte. Insgesamt kam es bei mehr als 50% der Fälle zu beobachtbaren Hygienefehlern, die zu Kreuzkontaminationen führen können, es wurden jedoch nur rund 10% der Endprodukte mit *Campylobacter* kontaminiert.

Smith et al. [2002] haben in einer Fall-Kontrollstudie den Effekt eines positiven Befundes für eine *Campylobacter*-Infektion (Stuhlkultur) auf das Hygieneverhalten der Betroffenen untersucht. Hierbei zeigte sich, dass durch die Aufklärungsmaßnahmen eine signifikant bessere Hygiene bei der Zubereitung von Speisen bei den Betroffenen erreicht wurde. Die allgemeine Hygiene hingegen blieb eher unverändert. Weiterhin wurden bestimmte Restaurants und andere Orte des Außer-Haus-Verzehrs in der Folge gemieden. Es erfolgte aber kein Ausschluss des Verzehrs bestimmter Lebensmittel oder Lebensmittelgruppen. Diese Studie spricht dafür, dass die Durchführung einer intensiven Verbraucheraufklärung eine mehr oder weniger erfolgreiche Maßnahme zur Senkung der Zahl der *Campylobacter*-Infektionen sein könnte. Weiterhin zeigt sich der positive Effekt der Klärung der Ursache einer gastrointestinalen Infektion. Zu etwas anderen Schlussfolgerungen kommt die Gruppe um Parry [2004] bei einer ähnlichen Studie, in welcher die Wahrnehmung von Risiken aus Lebensmitteln zwischen Personen, die bereits einmal an einer Salmonellose erkrankt sind (oder ein Familienmitglied war erkrankt) mit der einer Kontrollgruppe verglichen wird. Hier wird kein direkter Erfolg der Aufklärung des Mahlzeitenzubereiters gefunden.

4 Charakterisierung der Gefahr

Im Rahmen der Gefahren-Charakterisierung sollten die adversen Effekte für die menschliche Gesundheit beschrieben werden, welche nach Aufnahme einer bestimmten Menge von *Campylobacter* eintreten. Die Gefahr wird allgemein durch eine Dosis-Wirkungsbeziehung und die Wahrscheinlichkeit für die Auslösung einer Erkrankung nach Aufnahme einer bestimmten Menge von Bakterien quantitativ beschrieben. Für *Campylobacter* fehlt bis heute eine ausreichende Datenlage zur Modellierung der Dosis-Wirkungsbeziehung. Die niedrigste jemals getestete Dosis von *Campylobacter*, welche eine Erkrankung bei einem gesunden Mann mittleren Alters auslöste, waren 500 Keime, welche in 180 ml Milch aufgenommen wurden [Robinson, 1981]. Alle Dosis-Wirkungsbeziehungen, die bisher für *Campylobacter* spp. modelliert worden sind, beruhen auf einer einzigen Verabreichungsstudie von Black et al. [1988]. Im Rahmen dieser Studie wurden gesunden jungen Männern hohe Dosen zweier *C. jejuni*-Stämme verabreicht. Es wurden verschiedene Beobachtungen durchgeführt. Bisherige Ansätze modellieren i.d.R. zuerst die Infektion und bestimmen dann die Menge der Infizierten, die erkranken. Die im Rahmen der Studie verabreichten Dosen des Pathogens waren sehr hoch (8×10^2 bis 1×10^8 cfu). Es fehlen Daten zur Wirkung von kleinen Mengen des Pathogens.

Allgemein wird die Infektionsdosis beeinflusst von der Art des Lebensmittels, mit der ein Bakterium konsumiert wird. So geht man beispielsweise bei Salmonellen zwar i.d.R. von einer minimalen Infektionsdosis (MID) in der Größenordnung von 10^5 aufgenommenen Zellen aus, wenn jedoch Schokolade das Vehikel der Infektion ist, können schon ein bis zehn Keime pro Gramm infektiös sein, da der hohe Fettgehalt in der Schokolade sich während der Magenpassage protektiv für die Salmonellen auswirkt [Harrington, 1998].

Weiterhin ist die individuelle Empfindlichkeit des Konsumenten entscheidend für die Größe der Infektionsdosis. Empfindlich für mikrobielle Infektionserreger sind insbesondere Kinder unter fünf Jahren, Senioren über 65 Jahre, Schwangere und Immunsupprimierte. Auch wenn genaue Dosis-Wirkungsbeziehungen für *Campylobacter* bisher nicht bekannt sind, muss doch davon ausgegangen werden, dass die MID bei Angehörigen dieser Risikogruppen deutlich niedriger als 500 Zellen sein kann. Nach allgemeinen Schätzungen sollen etwa 20 bis 30% der deutschen Bevölkerung derartigen Risikogruppen angehören. Zukünftige Gefahrencharakterisierung sollten deshalb insbesondere getrennt für diese besonders vulnerablen Mitglieder der Bevölkerung erfolgen.

Bis heute ist auch nicht bekannt, welcher Anteil der an einer Campylobacteriose erkrankten Menschen Folgeerkrankungen wie eine reaktive Arthritis oder ein GBS-Syndrom entwickelt (siehe 3.2.6.4). Eine quantitative Charakterisierung der Gefahr ist somit z.Z. nicht möglich. Für die Modellierung der Dosis-Wirkungsbeziehung im Rahmen der Expositionsschätzung wird deshalb auf eine durch Expertenschätzungen gewonnene empirische Kurve zurückgegriffen (siehe Kapitel 5.2.5).

5 Expositionsschätzung

5.1 Allgemeines zum Modell und zu den Fragen, die es beantworten soll

Um die Expositionsschätzung durchführen zu können, wird ein mathematisches Modell erstellt. Unter Nutzung eines Ansatzes, der mit dem Kauf von Hähnchenfleisch im Einzelhandel beginnt, die Zubereitung der Produkte im Privathaushalt berücksichtigt und bis zum Konsum einer Mahlzeit mit Hähnchen reicht, liefert die Expositionsschätzung einen Schätzwert für das jährliche Vorkommen von durch Hähnchen verursachte *Campylobacteriose*fälle in der deutschen Bevölkerung.

Das Modell wurde in Zusammenarbeit mit der norwegischen Firma DNV (Det Norske Veritas) entwickelt. Mit dem Modell soll ermittelt werden, in welchem Maße in Privathaushalten zubereitetes Hähnchenfleisch zur Exposition deutscher Verbraucher mit dem bakteriellen Krankheitserreger *Campylobacter* spp. beiträgt. Weiterhin sollen die Parameter mit dem größten Einfluss auf das *Campylobacteriose*risiko identifiziert werden.

Das Modell berücksichtigt, dass die Zubereitung von Mahlzeiten in Haushalten erfolgt, wo eine Person für alle kocht. Das Verhalten des Kochs beeinflusst den Grad der Exposition der Familienmitglieder zu dem *Campylobacter*-Pathogen. Einzelne Haushaltsmitglieder können unterschiedlich großen Dosen des Pathogens ausgesetzt werden. Exposition kann durch den Verzehr von nicht ausreichend gegartem Hähnchenfleisch und durch Kreuzkontaminationsereignisse erfolgen.

Wir betrachten mit dem Modell die Exposition des Verbrauchers durch in Privathaushalten zubereitetes Hähnchenfleisch, weil eine repräsentative Umfrage belegt hat, dass 80% der Hauptmahlzeiten in Deutschland Zuhause verzehrt werden [Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle, 2004]. Der überwiegende Teil des Hähnchenfleisches, welches in Privathaushalten verzehrt wird, ist bereits zerlegt. Wir benutzten frische und gefrorene Hähnchenschenkel und Hähnchenbrustfilets um die Exposition der deutschen Bevölkerung abzuschätzen. 75% des Zuhause verzehrten Hähnchenfleisches gehört zu diesen beiden Kategorien. Mit dem Modell wird eruiert, welches die wichtigsten Faktoren für die Exposition der Verbraucher sind; mögliche Mitigationsstrategien werden untersucht und es werden die wichtigsten Wissenslücken identifiziert. Die Expositionsschätzung sollte zunächst Antworten auf die folgenden Fragen liefern:

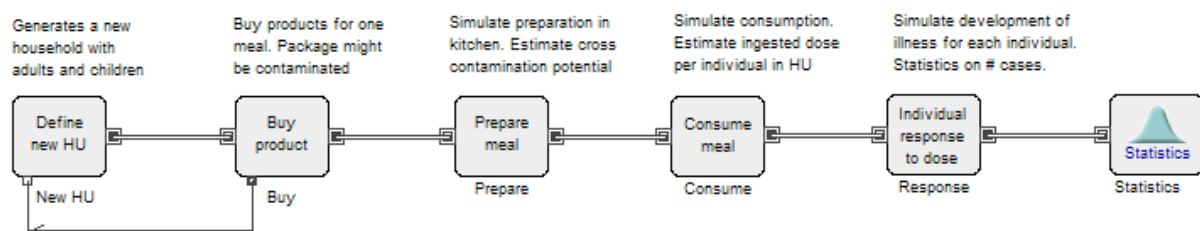
- Welche Mengen des Pathogens *Campylobacter* spp. werden durch im Privathaushalt zubereitetes, kontaminiertes Hähnchenfleisch aufgenommen?
- Welcher Prozentsatz der jährlichen *Campylobacteriose*fälle in Deutschland wird durch Hähnchenfleisch verursacht?
- Welche Verringerung der Anzahl von Erkrankungsfällen könnte erzielt werden, wenn die Prävalenz von mit *C. spp.* behafteten Produkten gesenkt werden könnte, bzw. wenn die Menge der auf den Produkten befindlichen Bakterien geringer wäre?
- Wie würde sich eine Senkung der Kontamination von Hähnchen deutscher Produktion bei gleichbleibenden Kontaminationsleveln auf Importware auf die Zahl der *Campylobacteriose*fälle auswirken?
- Welche Bedeutung ist dem Verzehr von unzureichend erhitztem Hähnchenfleisch im Vergleich mit der Exposition der Verbraucher durch Kreuzkontaminationen zuzumessen?

5.2 Modellstruktur

Zur Erstellung des Modells wurde das Softwareprogramm Extend (Imagine That Inc.) verwendet. Dieses Programm unterstützt stochastische Modellierung durch Monte Carlo-Simulation von diskreten Ereignissen. Es hat eine hierarchische Struktur, wiederverwendbare Modellkomponenten, einen grafischen Informationsfluss und einen Animationsmodus.

Das Modell ist modular strukturiert. Es werden jeweils die Vorgänge in einer Haushaltseinheit simuliert, in der eine Person eine Mahlzeit mit Hähnchenfleisch für die Familie oder Wohngemeinschaft zubereitet (Abbildung 5). Das Verhalten des Kochs oder der Köchin beeinflusst die Exposition der anderen Haushaltsmitglieder mit *Campylobacter*.

Abbildung 5: Modulare Struktur des Modells (Extend Screen Shot)



Die attributiven Werte jeder simulierten Einheit werden auf Basis von statistischen Datensätzen für jede Eingangsvariable, beispielsweise für die Menge an Bakterien auf der Oberfläche eines Brustfilets, generiert. Wo empirische Datensätze fehlen, werden subjektive Expertenmeinungen zur Bildung der Eingangsverteilungen genutzt. Es wird jeweils der Verzehr einer bestimmten Produktmenge (kg) simuliert. Für jeden Lauf werden neue Haushalts-Mahlzeiten-Einheiten gebildet, bis das entsprechende Produktvolumen erreicht ist. Jede Haushalt-Mahlzeit-Einheit durchläuft die folgenden Phasen:

- I. **Bildung eines neuen Haushalts:** Größe und Struktur (Erwachsene und Kinder) des Haushalts basieren auf den offiziellen Statistiken der Bundesrepublik Deutschland.
- II. **Einkauf von Hähnchenfleisch:** Die für die Familie benötigte Menge stammt aus der gleichen Produktionscharge/einer Packung. Der Kontaminationsstatus und die Menge der Bakterien auf der Oberfläche und im Inneren der Produkte werden aus datenbasierten empirischen Tabellen ermittelt.
- III. **Zubereitung der Mahlzeit:** Die Mahlzeit wird in der Küche von nur einem der Haushaltsmitglieder zubereitet. Hier wird der Grad der Kreuzkontamination vom Hähnchen zu den Händen und Oberflächen und Werkzeugen in der Küche determiniert und es kann unzureichende Garung stattfinden. Transferraten basieren auf experimentellen Daten.
- IV. **Verzehr der Mahlzeit:** Die Exposition der einzelnen Haushaltsmitglieder wird ermittelt. Die Individuen können verschiedenen Dosen von *C. spp.* ausgesetzt werden.
- V. **Reaktion:** Hier wird, basierend auf der ingestierten Dosis, ermittelt, ob die individuellen Haushaltsmitglieder an *Campylobacteriose* erkranken.

Für jeden Lauf berechnet das Modell die Anzahl der Erkrankungen, die mit dem Verzehr einer bestimmten Produktmenge assoziiert sind. Durch eine Vielzahl von Simulationsläufen wird eine Wahrscheinlichkeitsverteilung (inkl. statistischer Maßzahlen) für die Zahl der *Campylobacteriosen* generiert. Basierend auf der jährlichen Verzehrsmenge für die verschiedenen Produktgruppen wird so lange simuliert, bis die Statistik für die gesamte exponierte Bevölkerung vorliegt. Im Ergebnis wird ein Schätzwert für die Zahl der Personen, die eine

bestimmte Menge von Bakterien aufgenommen hat, erzielt. Schließlich wird ein Modell für die Dosis-Wirkungsbeziehung eingesetzt und man erhält die Zahl der durch den Hähnchenfleischverzehr an Campylobacteriose erkrankten Personen.

Als Produktgruppen werden frische und gefrorene Hähnchenschenkel und Brustfilets in der Modellierung berücksichtigt. Um die verschiedenen Kontaminationsgrade berücksichtigen zu können, wird jedes der vier Produkte getrennt modelliert.

Im Folgenden werden die fünf Module des Modells vorgestellt. Es wird beschrieben, wie in jedem Baustein vorgegangen wird und welche Werte für die Simulation eingesetzt wurden. Zunächst wird die so genannte "Basissituation" modelliert, welche den aktuellen Zustand der Exposition in Deutschland spiegeln soll. Jedes Modell kann natürlich nur eine starke Vereinfachung der realen Vorgänge sein. In Tabelle 7 sind die Annahmen aufgelistet, die in diesem Modell getroffen wurden.

Tabelle 7: Dem Modell zugrunde liegende Annahmen

Modul	Annahme
Bildung eines Haushalts	<p>Die Daten des Statistischen Bundesamtes aus dem Jahr 2003 sind repräsentativ für die heutige deutsche Bevölkerung.</p> <p>Alle Haushalte mit mehr als fünf Personen werden zusammengefasst in der Kategorie 5 (> 5 Personen). Menschen, die in Institutionen wie Heimen leben, werden nicht erfasst.</p> <p>75% der Deutschen essen Hähnchenfleisch. Der Hähnchen-essende Bevölkerungsanteil ist eine repräsentative Untergruppe der Gesamtbevölkerung.</p> <p>Jedes Haushaltsmitglied isst Hähnchen und die Beilagen, welche im Modell berücksichtigt werden.</p>
Einkauf von Hähnchenfleisch	<p>Alle Hähnchenteile, die pro Mahlzeit gekauft werden, kommen aus der gleichen Packung bzw. aus derselben Produktionscharge. Kleinste Packungsgröße ist zwei Filets pro Packung beziehungsweise drei Keulen.</p> <p>Die Anzahl der gekauften Teile wird ermittelt durch: Summe der benötigten Portionen geteilt durch mittleres Gewicht eines Teilstücks. Es wird aufgerundet zum nächsten Integer. Für gefrorene und frische Teile wird dasselbe Gewicht angenommen.</p> <p>Alle Teile aus einer Packung (bzw. einer Charge) haben die gleichen Charakteristika – gleiche Größe (mittleres Gewicht) und den gleichen (zufälligen) Kontaminationsgrad.</p> <p>Das Hähnchenfleisch, welches in Berlin gekauft wurde, ist repräsentativ für das gesamte Deutschland.</p> <p>Die Packungen, welche im Rahmen der Datenerhebung gekauft und analysiert wurden, sind repräsentativ, unabhängig und entsprechen einer Zufallsstichprobe für die jeweilige Produktgruppe.</p> <p>Das in Deutschland produzierte Hähnchenfleisch ist in gleichem Maße kontaminiert wie importiertes Hähnchenfleisch.</p> <p>Die Verbraucher essen alle die auf der Basis von Verzehrsstudien berechneten mittleren Portionsgrößen. Kinder essen eine entsprechende, kleinere Portion.</p> <p>Hähnchenfleisch kann nur innen kontaminiert sein, wenn es außen Campylobacterpositiv ist.</p> <p>Für gefrorenes Hähnchenfleisch wird im Verhältnis zu frischer Ware eine Reduktion des Kontaminationslevels um zwei log-Stufen postuliert.</p>

Fortsetzung Tabelle 7: Dem Modell zugrunde liegende Annahmen

Modul	Annahme
Zubereitung der Mahlzeit	<p>Alle gekauften Hähnchenteile werden von derselben Person zur gleichen Zeit zubereitet.</p> <p>Haushaltsmitglieder werden nur durch Lebensmittelverzehr zu C. spp. exponiert. Entweder durch Verzehr von kreuzkontaminiertem verzehrsbereiten Lebensmitteln (z.B. rohes Gemüse, Brot, Oliven, Appetithappen, gekochte Lebensmittel) oder durch Verzehr von nicht ausreichend erhitztem Hähnchenfleisch.</p> <p>Wenn nicht ausreichend gegart wird, werden alle Hähnchenteile nicht ausreichend erhitzt. Die Campylobacter sind, wenn vorhanden, gleichmäßig im Fleisch verteilt.</p> <p>Die verzehrsbereiten ("ready-to-eat") Lebensmittelbeilagen werden nicht gereinigt, nachdem eine Kreuzkontamination erfolgt ist.</p> <p>Es gibt nur diese beiden Kreuzkontaminationspfade: (1) Hähnchenfleisch -> Küchenumgebung (Messer, Teller, Schneidbretter, etc.) -> verzehrsbereite Lebensmittelbeilagen, oder (2) Hähnchenfleisch -> Hände des Kochs -> verzehrsbereite Lebensmittelbeilagen.</p> <p>Der Koch wird ebenfalls nur über die beiden obigen Kontaminationspfade exponiert. Es erfolgt keine direkte Hand-zu-Mund-Übertragung und der Koch/die Köchin wäscht seine/ihre Hände bevor er/sie isst.</p>
Verzehr der Mahlzeit	<p>Sämtliche im Rahmen einer Mahlzeit gereichten verzehrsfähigen Lebensmittelbeilagen werden verzehrt. Die gesamte Menge an durch Kreuzkontaminationen kontaminierten Beilagen wird (in zufällig sich unterscheidenden Anteilen) von den Haushaltsmitgliedern verzehrt.</p> <p>Die C. spp. sind gleichmäßig verteilt im Inneren der Hähnchenteile. Die pro Haushaltsmitglied aufgenommene Dosis kann berechnet werden aus der geschätzten Kontaminationsmenge in cfu pro g.</p>

5.2.1 Modul 1 – Bildung eines neuen Haushalts

In diesem Modul werden die haushaltsbezogenen Attribute für die verschiedenen Instanzen der Haushalts-Mahlzeiten-Einheit festgelegt. Eine Haushaltseinheit besteht aus einer bestimmten Anzahl von Erwachsenen, Kindern zwischen sechs und 18 Jahren und Kindern unter sechs Jahren. Als Basis für die Bildung der Familieneinheiten dienten Daten des Statistischen Bundesamtes "Familien im Mai 2003 nach Zahl und Altersgruppen der Kinder sowie Familienstand der Bezugsperson"

[http://www.destatis.de/themen/d/thm_mikrozen.php]. Die Tabellen 8 und 9 zeigen die Eingangsdaten für das Modul 1.

Tabelle 8: Eingangsdaten für das Modul 1 – Bildung eines neuen Haushalts

Variable	Beschreibung	Typ	Wert [Basissituation]	Quelle
Volume	Quantität des Produktes, welches simuliert wird (1.000 kg)	Konstante	-	-
HU size	Anzahl der Personen im Haushalt (-)	Verteilung	Tabelle 9	Stat. Bundesamt
Adults I size=x	Zahl der Erwachsenen bei gegebener Haushaltsgröße, size x = 1....5(-)	Verteilung	Tabelle 9	Stat. Bundesamt
Frac.child<6	Fraktion der Kinder jünger als 6 Jahre	Konstante	22% der Kinder	Stat. Bundesamt

Tabelle 9: Größe und Zusammensetzung deutscher Haushalte

Personen im Haushalt	Haushalte		Nur Erwachsene		1 Erwachsener + Kinder		2 Erwachsene + Kinder	
	[10 ³ #]	%	[10 ³ #]	%	[10 ³ #]	%	[10 ³ #]	%
1	14.426	37%	14.426	100%	–	–	–	–
2	13.169	34%	10.953	83%	2.216	17%	–	–
3	5.462	14%	425	8%	819	15%	4.218	77%
4	4.268	11%	258	6%	166	4%	3.844	90%
≥ 5	1.618	4%	242	15%	44	3%	1.332	82%
Summe	38.943	100%	26.304	68%	3.245	8%	9.394	24%

5.2.2 Modul 2 – Einkauf von Hähnchenfleisch

In diesem Modul werden der Haushalts-Mahlzeiten-Einheit die produktbezogenen Attribute zugeordnet. Auf Basis von statistischen Daten, wie der durchschnittlichen Portionsgröße und den im Einzelhandel erhältlichen Packungsgrößen, wird jeweils die Menge an Hähnchenfleisch bestimmt, die für die jeweilige Mahlzeit eines Haushaltes benötigt wird.

Die jeweils kleinste Packungsgröße bestand aus zwei Hähnchenschenkeln und drei Hähnchenbrustfilets. Die vom Haushalt gekaufte Menge wurde jeweils entsprechend dieser verfügbaren Packungsgröße aufgerundet (so muss ein Singlehaushalt drei Hähnchenbrustfilets à 156 g kaufen, obwohl die eigentlich benötigte Portion geringer ist). Im Modul wird jeweils die gesamte gekaufte Fleischmenge zur gleichen Zeit zubereitet.

Mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit sind die eingekauften Hähnchenteile oberflächlich mit einer bestimmten Menge *Campylobacter* spp. kontaminiert. Ist die Keule oder das Filet äußerlich verunreinigt, können auch im Fleisch *C. spp.* in bestimmten Mengen vorhanden sein. Es wurden verschiedene Verteilungen für die oberflächliche Kontamination von Schenkeln und Brustfilets eingesetzt. Da keine Unterschiede zwischen den beiden Produktarten hinsichtlich der innerlichen Verunreinigung gefunden wurden, wird bei beiden die gleiche Verteilung für die Zuordnung eines Wertes [cf/g] für die Menge an *C. spp.* im Fleisch zugrunde gelegt. Die experimentell erhobenen Daten haben eine natürliche Variabilität und sind mit Unsicherheiten behaftet. Um dem gerecht zu werden, wurde eine Beta-Verteilung mit den Parametern $a = s+1$ und $b = n-s+1$ (n = Stichprobengröße; s = Zahl positiver Proben) gewählt, um die Daten zu repräsentieren. Die Eingangsdaten werden in Tabelle 10 präsentiert. Basierend auf verschiedenen, in der Literatur beschriebenen Experimenten wird für gefrorene Produkte ein um zwei Logstufen niedrigeres Kontaminationslevel gewählt (siehe Kapitel 2.7). Die Eingangsvariablen für das Modul 2 werden in Tabelle 10 dargestellt, Tabelle 11 präsentiert die Eingangsdaten zur Modellierung des Kontaminationsgrades.

Tabelle 10: Eingangsvariablen des Moduls „Einkauf von Hähnchenfleisch“

Variable	Beschreibung	Typ	Wert [Basissituation]	Quelle
Mean Ch<6 Serv.	Mittlere Portionsgröße für Kinder unter sechs Jahren [kg]	fixiert	0,042 kg	VELS - Verzehrsstudie
Mean Ad. Serv.	Mittlere Portionsgröße für Erwachsene und Kinder ab sechs Jahren [kg]	fixiert	0,207 kg	Nationale Verzehrsstudie
Mean item size	Mittleres Gewicht eines Hähnchenteils [kg]	fixiert	0,242 kg (Keule) 0,156 kg (Filet)	experimentell bestimmt
Min. pack. size	Mindestgröße der Packung mit Hähnchenteilen	fixiert	min. 2 Keulen min. 3 Filets	Einzelhandel
Prob. surf. cont.	Wahrscheinlichkeit, dass die Hähnchenteile eines Einkaufs oberflächlich kontaminiert sind. Beta (a,b)-Verteilung mit den Parametern $a=s+1$ und $b=n-s+1$, wobei n die Anzahl der Teile und s die Anzahl der positiven Teile ist	Verteilung	Beta-Verteilung Keulen: $a=93$, $b=39$ Filets: $a=88$, $b=14$	Basiert auf experimentell bestimmten Daten

Fortsetzung Tabelle 10: Eingangsvariablen des Moduls „Einkauf von Hähnchenfleisch“

Variable	Beschreibung	Typ	Wert [Basissituation]	Quelle
Surf. cont. (log)	Oberflächenkontamination (in log Einheiten)	Empirische Verteilung	siehe Tabelle 11	Experimente
Red. surf. (log)	Reduktionsfaktor für frische Produkte, um oberflächliche Kontamination von gefrorenen Hähnchenteilen zu modellieren	Konstante	2 für gefrorene Produkte, 0 für frische	Annahme. Basiert auf Literaturstudien
Prob. int. cont.	Wahrscheinlichkeit, dass die Hähnchenteile eines Einkaufs innerlich kontaminiert sind. Wird wie oberflächliche Kontamination modelliert	Verteilung	Beta Verteilung a=27, b=37 für alle Produkte	Experimente
Int. c./g (log)	Menge an cfu pro Gramm Fleisch (in log Einheiten)	Empirische Verteilung	siehe Tabelle 11	Experimente
Red. int. (log)	Reduktionsfaktor für frische Produkte, um innere Kontamination von gefrorenen Hähnchenteilen zu modellieren	Konstante	2 für gefrorene Produkte, 0 für frische	Annahme. Basiert auf Literaturstudien

Tabelle 11: Werte, welche für die Bildung der empirischen Tabellen für die Menge der oberflächlichen und der innerlichen Kontamination genutzt wurden

Hähnchenschenkel Oberfläche			Brustfilets Oberfläche			Schenkel und Brustfilets Innerlich		
Bin [cfu/g]	Freq	Cum [%]	Bin [cfu/g]	Freq	Cum [%]	Bin [cfu/g]	Freq	Cum [%]
2,2	8	11,94	1,7	16	18,18	-0,8	1	3
2,9	2	14,93	2	10	29,55	-0,51	18	50
3,4	11	31,34	2,5	9	39,77	-0,21	9	74
4,1	21	62,69	3	21	63,64	0,094	6	89
4,5	12	80,60	3,5	16	81,12	0,7	2	95
5	8	92,54	3,8	11	94,32	1	2	100
5,1	3	97,01	4,2	3	97,73			
5,15	1	98,51	4,6	1	98,86			
5,2	1	100,00	4,7	1	100,00			
67			88			38		

Alle Hähnchenteile, welche für die Gewinnung der Eingangsdaten analysiert wurden [Luber und Bartelt; Scherer et al.], stammen aus deutscher Produktion. Nur knapp 30% des in Deutschland verzehrten Hähnchenfleisches wird im eigenen Land produziert [Böttcher, 2004]. Mehr als drei Viertel der Hähnchenfleischimporte stammen aus den Niederlanden. Es wird angenommen, dass die 70% des Gesamtverzehrs ausmachende Importware repräsentativ ist hinsichtlich der Art der Hähnchenteile und dass die importierten Hähnchenteile in gleichem Maße kontaminiert sind wie jene, die in Deutschland produziert wurden.

5.2.3 Modul 3 – Zubereitung der Mahlzeit

Die Haushaltsmitglieder können über zwei verschiedene Wege zu *Campylobacter* exponiert werden, entweder durch den Verzehr von kreuzkontaminierten Beilagen (z.B. Brot oder Salat) oder durch den Verzehr von nicht ausreichend gegartem Hähnchenfleisch. In diesem Modul wird der Grad der Exposition in einer Haushalts-Mahlzeiten-Einheit berechnet. Es wird angenommen, dass eines der Haushaltsmitglieder (der Koch) für alle anderen die Mahlzeit zubereitet. Der Koch ist die einzige Person, welche direkt den kontaminierten Hähnchenteilen ausgesetzt ist. Sein Verhalten in der Küche entscheidet, ob das Fleisch ausreichend gegart wird, ob es zu Kreuzkontaminationen kommt und somit, in welchem Maße die anderen Haushaltsmitglieder den *Campylobacter* vom rohen Hähnchen ausgesetzt werden. Es werden zwei verschiedene Kreuzkontaminationswege berücksichtigt: (1) Hähnchen → Küchenoberflächen und -utensilien → Verzehrsbereite Lebensmittelbeilagen und (2) Hähnchen → Hände des Kochs / der Köchin → Verzehrsbereite Lebensmittelbeilagen.

Es wurden Kreuzkontaminationsexperimente im Labor durchgeführt um Transferraten für *Campylobacter* zu bestimmen [Luber et al.]. Hierbei zeigten sich geringe Unterschiede in den Fraktionen der *Campylobacter*, welche von der Oberfläche von Schenkeln oder Brustfilets transferiert wurden. Mit Blick auf die geringe Menge an Transferdaten für die Modellierung wurde beschlossen, die Werte der Transferraten von beiden Produkten zu kombinieren (Tabelle 12). Sollten mehr Daten zur Verfügung stehen, könnte sich herausstellen, dass für Hähnchenprodukte mit und ohne Haut separate Transferraten benötigt werden. Die Häufigkeit des Eintretens von Verhaltensweisen, die zu Kreuzkontaminationen führen, wird definiert durch Spezifikation einer Wahrscheinlichkeit für beide Wege (via Hände oder via Küchenoberfläche- und utensilien). Hierbei wird unterschieden zwischen ungewaschenen Händen und nicht gereinigten Küchenutensilien. Beide Ereignisse können unabhängig voneinander eintreten und treten wahrscheinlich auch in unterschiedlicher Häufigkeit auf. Verbraucherbefragungen in den Niederlanden ergaben, dass 20% der Menschen nicht ihre Hände waschen, nachdem sie rohes Fleisch angefasst haben [Nauta et al., 2005]. Eine Studie aus Deutschland, welche sich auf andere Fleischarten bezog, ergab, dass bis zu 50% der Menschen sich nicht die Hände waschen [Bremer et al., 2005]. Wir nutzen eine Dreiecksverteilung von 10% bis 50% mit einer höchsten Wahrscheinlichkeit bei 20%, um die Wahrscheinlichkeit des hygienischen Fehlverhaltens "nicht Händewaschen" zu simulieren. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Küchenutensilien und -oberflächen nicht gereinigt werden, wurde als höher eingeschätzt. Hier wählten wir eine trianguläre Verteilung von 25% bis 75%, mit der höchsten Wahrscheinlichkeit bei 50%.

Tabelle 12: Werte, aus welchen die Verteilungen für die Transferraten von *Campylobacter* spp. berechnet wurden

Hähnchen zu Küchenutensilien u. -oberflächen		Hähnchen zu Händen		Küchenutensilien u. -oberflächen zu Beilagen (verzehrshf. Lebensmittel)		Hände zu Beilagen (verzehrshf. Lebensmittel)	
Bin %	Freq	Bin %	Freq	Bin %	Freq	Bin %	Freq
0,00	1	0,0017	1	0	4	0,004	1
0,013	17	0,02	14	0,16	7	0,06	3
0,02	3	0,05	8	0,33	3	0,1	1
0,03	1	0,2	3	0,49	2	0,12	1
0,05	1	0,24	1	0,6	1		
		0,25	1	0,65	1		

Um das Verhalten des Kochs/der Köchin zu spiegeln, wird eine Wahrscheinlichkeit definiert, mit welcher ein nicht ausreichendes Garen des Hähnchenfleisches stattfindet. Wird nicht ausreichend gegart, so werden die Haushaltsmitglieder beim Verzehr einer Fraktion der ursprünglich im inneren vorhandenen Menge von *Campylobacter* ausgesetzt. Es wird davon ausgegangen, dass alle ursprünglich auf der Oberfläche des Hähnchenfleisches vorhandenen *Campylobacter* während des Kochprozesses abgetötet werden, auch wenn nicht ausreichend erhitzt wird. Die Eingangsvariablen für das Modul 3 werden im Überblick in Tabelle 13 dargestellt.

Tabelle 13: Eingangsvariablen des Moduls „Zubereitung der Mahlzeit“

Variable	Beschreibung	Typ	Wert [Basissituation]	Quelle
Prob. hands XC	Wahrscheinlichkeit, dass der Koch/die Köchin sich nach dem Umgang mit rohem Hähnchenfleisch nicht die Hände wäscht	Dreiecks-Verteilung	10% - 20% - 50%	Annahme. Basiert auf Publikationen aus Holland und Deutschland
Prob. XC	Wahrscheinlichkeit, dass der Koch/die Köchin nicht die Küchenoberflächen und -utensilien reinigt, bevor er sie weiterbenutzt, nachdem diese in Kontakt mit rohem Hähnchenfleisch waren	Dreiecks-Verteilung	25% - 50% - 75%	Annahme. Basiert auf Publikationen aus Holland und Deutschland

Fortsetzung Tabelle 13: Eingangsvariablen des Moduls „Zubereitung der Mahlzeit“

Variable	Beschreibung	Typ	Wert [Basissituation]	Quelle
Prod. → Hands	Übertragung von <i>C. spp.</i> vom Hähnchenfleisch auf die Hände	Empirische Verteilung	siehe Tabelle 12	Experimente
Prod. → Env.	Übertragung von <i>C. spp.</i> vom Hähnchenfleisch auf die Küchenoberflächen und -utensilien	Empirische Verteilung	siehe Tabelle 12	Experimente
Prob. RTE food	Anteil der Mahlzeiten, bei welchen verzehrfertige Lebensmittelbeilagen ("ready-to-eat foods") konsumiert werden	Konstante	30%	Annahme
Hand → RTE	Übertragung von <i>C. spp.</i> von den Händen auf verzehrfertige Lebensmittelbeilagen (Beispiel Hände -> Brot)	Empirische Verteilung	siehe Tabelle 12	Experimente
Env. → RTE	Übertragung von <i>C. spp.</i> von den Küchenoberflächen und -utensilien auf verzehrfertige Lebensmittelbeilagen (Beispiel Brett und Messer -> Salat)	Empirische Verteilung	siehe Tabelle 12	Experimente
Prob. UC	Wahrscheinlichkeit, dass Hähnchenfleisch nicht ausreichend gegart wird	Konstante	10%	Annahme
Frac. survive	Anteil der <i>C. spp.</i> im Inneren eines Hähnchenteils, welcher überlebt, falls nicht ausreichend gegart wird	Konstante	50%	Annahme

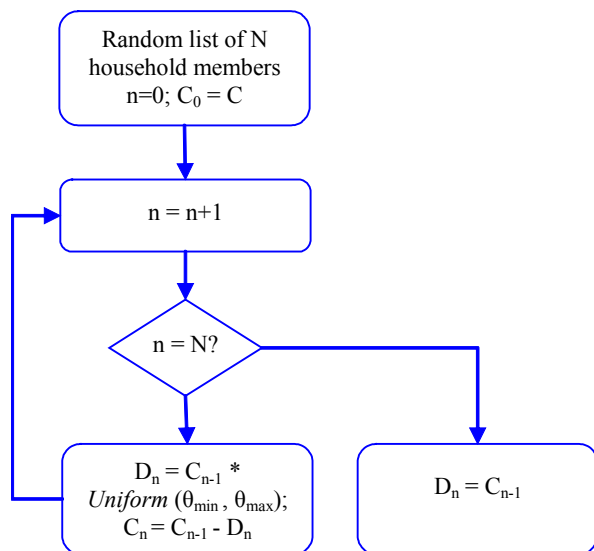
5.2.4 Modul 4 – Verzehr der Mahlzeit

In diesem Modul wird die *Campylobacter*-Dosis geschätzt, welche die verschiedenen Haushaltsmitglieder aufnehmen. Die Schätzung der ingestierten Dosis erfolgt auf Basis des Kontaminationsgrades auf der Oberfläche der verzehrfähigen Lebensmittelbeilagen sowie mit Bezug auf die nach dem Garen möglicherweise im Fleisch verbleibende Menge an *Campylobacter*.

Die mit nicht ausreichend gegartem Hähnchenfleisch aufgenommene Dosis wird berechnet, indem die verbleibende interne Kontamination (cfu/g) multipliziert wird mit einer mittleren Portionsgröße. Alle Erwachsenen bekommen im Modell dieselbe Portionsgröße zugewiesen. Für Kinder unter sechs Jahren wird eine kleinere durchschnittliche Portionsgröße angenommen. Um die jeweilige Dosis zu schätzen, welche mit kreuzkontaminierten Lebensmittelbeilagen aufgenommen wird, wird zunächst die gesamte auf den Beilagen vorhandene *Campylobacter*menge mittels des in Abbildung 6 dargestellten Algorithmus zufällig auf die Haushaltsmitglieder verteilt.

In diesem Modul wird die ingestierte Dosis berechnet. Um In-silico-Daten für das Ausmaß der Exposition von Verbrauchern durch Hähnchenfleisch zu gewinnen, können an dieser Stelle des Modells Daten entnommen werden. Es kann ausgewertet werden, welche Mengen von *Campylobacter spp.* schätzungsweise beim Verbraucher ankommen. Diese Daten sind wertvolle Basisinformationen für die Abschätzung des *Campylobacter*risikos.

Abbildung 6: Algorithmus, mit welchem die einzelnen Teildosen für die Haushaltsmitglieder aus der Gesamtmenge von C. spp. auf den kreuzkontaminierten Beilagen generiert werden



where:

- D_n = ingested dose of household member n , $n = 1 \dots N$
- C = total contamination load in "ready to eat" food
- C_n = remaining "ready to eat" food contamination after transfer to household member n , $n = 1 \dots N$
- N = total number of household members
- θ_{\min} = min fraction transferred from "ready to eat" food ($0 < \theta_{\min} < 1$)
- θ_{\max} = max fraction transferred from "ready to eat" food ($0_{\min} < \theta_{\max} \leq 1$)
- Uniform (min, max)* refers to a random draw from a uniform distribution between min and max

5.2.5 Modul 5 – Reaktion

Hier wird schließlich bestimmt, ob eine Person nach einer ingestierten Dosis von *Campylobacter* an einer Campylobacteriose erkrankt oder nicht. Die Erkrankungs-Wahrscheinlichkeit wurde für jedes Individuum modelliert. Es musste ein neues Modell entwickelt werden, da die Dosis-Wirkungsmodelle, welche in bisherigen Risikobewertungen verwendet wurden, nicht direkt übertragbar waren. Diese messen den Anteil der Bevölkerung, welcher sich infizieren wird, bzw. erkranken wird, nachdem eine für die gesamte Population ermittelte mittlere Dosis von Organismen aufgenommen wurde. Da es bis heute nicht klar ist, ob es Unterschiede in der Pathogenität von *Campylobacter*-Stämmen gibt, welches ihre entscheidenden Virulenzfaktoren sind und inwieweit Menschen sich hinsichtlich ihrer Empfänglichkeit für die adversen Wirkungen des Pathogens unterscheiden, wurde auf Basis von Haas [2002 und 2003] die folgende empirische Beziehung zwischen der ingestierten Menge des Bakteriums und der Erkrankungswahrscheinlichkeit formuliert:

$$P(D) = \left(\left(\frac{D_{50}}{D} \right)^{\frac{\log(99)}{\log(D_{50}/D_{01})}} + 1 \right)^{-1}$$

$$D_{01} > 0.027455 D_{50}$$

Wobei gilt:

- P(D) = Erkrankungswahrscheinlichkeit für ein Individuum als Funktion von D (%)
 D = aufgenommene Dosis [cfu]
 D₅₀ = Aufgenommene Dosis, bei welcher eine 50% ige Wahrscheinlichkeit besteht, zu erkranken [cfu]
 D₀₁ = Aufgenommene Dosis, bei welcher eine 1% ige Wahrscheinlichkeit besteht, zu erkranken [cfu]

Die Werte für D₅₀ und D₀₁ wurden basierend auf Expertenmeinungen geschätzt. Für D₀₁ wurde ein Wert im Bereich von 500 – 800 cfu angenommen und für D₅₀ wurde ein Wert im Bereich von 2.000 – 6.000 cfu geschätzt. Daraus ergibt sich eine skalierbare, sigmoide Funktion mit einem Unsicherheits-Bereich.

Das Modell berücksichtigt, dass ein Individuum immun für die Erkrankung sein kann. Es wurde festgelegt, dass 20% der Bevölkerung *Campylobacter*-immun sind.

5.3 Simulationen mit dem Modell

Um die Basissituation zu simulieren wurden für jedes Hähnchenteil (frische Filets, frische Keulen, gefrorene Filets, gefrorene Keulen) 500 Iterationen mit einer Tonne Hähnchenfleisch im Modell simuliert. Alle Ergebnisse wurden kumuliert um die gesamte Exposition für die Basissituation abzuschätzen. Die Anzahl der Erkrankungsfälle/Tonne wurden multipliziert mit dem von privaten Haushalten jeweils von den Produktgruppen jährlich verbrauchten Mengen (Tabelle 14).

Tabelle 14: Berechnungen zur Gewinnung der Zahl von Campylobacteriosefällen, welche auf den Konsum von Hähnchenteilen in Privathaushalten verursacht wurden

Produkt	Campylobacteriosefälle/ simulierter Tonne	verbrauchte Tonnen Produkt/Jahr	Gesamtzahl der Campylobacteriosefälle
frische Keulen	5,63	37.244	209.684
frische Filets	0,41	44.796	18.179
Summe			227.862

Aufgrund ihrer hervorragenden Bedeutung wurden die frischen Hähnchenkeulen ausgewählt, um die Sensitivitätsprüfung durchzuführen und die Simulation von Mitigationsstrategien durchzuführen. Im Rahmen der Testung von Mitigationsstrategien wurden der Effekt einer Senkung der Prävalenz von kontaminierten Produkten und die Reduktion der Mengen von *Campylobacter* spp. auf der Oberfläche des Hähnchenfleisches simuliert. Unter der Verwendung der Einstellungen und Daten für die Basissituation wurde die Auswirkung der Prävalenz von 0%, 30%, 50% und 70% *Campylobacter*-positiven Hähnchenkeulen auf die jährliche Zahl von Campylobacteriosefällen geprüft. Alternativ wurde geprüft, wie sich die Senkung der Menge koloniebildender Einheiten auswirken würde (Reduktion um log 0,1, log 0,2 und log 0,5 cfu). Wir entschlossen uns zunächst mit den logarithmierten Werten zu arbeiten, da diese am besten die Variabilität der Menge an *Campylobacter* auf der Produktoberfläche

wiedergeben. Sollte man Grenzwerte für Kontaminationen entwickeln wollen, würde es sich empfehlen, mit den numerischen Werten zu arbeiten.

Das Verhalten des Kochs/der Köchin hat einen starken Einfluss auf das Ausmaß der Kreuzkontamination. Wir untersuchten, welchen Beitrag die verschiedenen Kreuzkontaminationswege bzw. das nicht ausreichende Garen von kontaminiertem Hähnchenfleisch zu der Auslösung von Erkrankungen leisten. Hierzu wurde der Beitrag des relevanten Kontaminationspfades jeweils auf Null gesetzt (keine Kreuzkontamination durch die Hände, keine Kreuzkontamination durch Küchenoberflächen und -utensilien, kein unzureichendes Garen).

Bis heute ist wenig bekannt über die Zusammensetzung von Mahlzeiten, die in den Privathaushalten verzehrt werden. In bisherigen deutschen Verzehrsstudien wurde dies nicht erfragt. Für unsere Basissituation haben wir den Schätzwert 30% für den Anteil der Mahlzeiten, welche mit verzehrfertigen Lebensmittelbeilagen kombiniert werden, gewählt. Da nur Mahlzeiten mit solchen Beilagen zur Aufnahme von *Campylobacter* aus Kreuzkontaminationsereignissen führen können, ist dieser Schätzwert als kritisch zu betrachten. Um die Bedeutung dieser Wissens- und Datenlücke zu analysieren, wurden vergleichend Simulationen mit einem Anteil von 50% und 70% von Mahlzeiten mit "ready-to-eat foods" durchgeführt.

5.4 Ergebnis der Modellsimulationen

Maßgeblich für die hier präsentierten Ergebnisse waren die fünf Fragen, auf Basis derer die Expositionsschätzung durchgeführt wurde. Mit Sicherheit kann das Modell für weitere Fragestellungen genutzt und darüber hinaus auch erweitert und differenziert werden, wenn mehr Informationen zur Definition von Eingangsparametern zur Verfügung stehen sollten.

Alle folgenden Ergebnisse basieren auf den Grundeinstellungen, welche für die Simulation der Basissituation gewählt wurden. Die geschätzte Zahl der jährlichen Campylobacteriosefälle wurde mit einer empirischen, sigmoiden Dosis-Wirkungsbeziehung modelliert. Natürlich ist unsere Schätzung von vielen, teilweise kritischen, Annahmen beeinflusst und mit einer großen Unsicherheit behaftet. Alle Ergebnisse sollten in diesem Zusammenhang gesehen werden.

5.4.1 Basissituation in Deutschland

Mit den in den vorausgehenden Kapiteln beschriebenen Grundeinstellungen sagt das Modell vorher, dass jährlich 227.862 Campylobacteriosefälle auf den Verzehr von Hähnchenfleisch in Privathaushalten zurückgeführt werden können. Unter der Annahme, dass nur jeder zehnte Erkrankungsfall registriert wird, sind im Jahr 2003 in Deutschland 478.760 Campylobacteriosen aufgetreten. Setzt man beide Zahlen in Relation, so würde sich andeuten, dass 47% (26 Fälle/100.000 Einwohner) der Erkrankungen auf den Verzehr von Hähnchenfleisch zurückzuführen sind. Aufgrund der zahlreichen Annahmen, die dieser Schätzung zugrunde liegen, sollte dieser Schätzwert jedoch nur für Vergleiche genutzt werden und nicht als absoluter, wahrer Wert.

In Tabelle 14 wird die Anzahl der Campylobacteriosefälle aufgelistet, die von frischen Hähnchenkeulen und Brustfilets verursacht wurden. Obwohl jährlich eine größere Menge von Brustfilets als von Keulen verzehrt wird, kommt den Keulen hinsichtlich der Höhe der Exposition von Verbrauchern und somit der Verursachung von Erkrankungsfällen eine wesentlich größere Bedeutung zu. Etwa 8% der Campylobacteriosefälle wurden der Modellierung zufolge von frischen Hähnchenbrustfilets verursacht, während 92% der Erkrankungen ursächlich auf Keulen rückführbar waren. Keines der gefrorenen Produkte hat im Rahmen der Simulation eine Erkrankung hervorgerufen. Ursächlich hierfür ist die postulierte quantitativ verringerte Belastung (2 log Reduktion) von gefrorenen Hähnchenteilen. Wie Tabelle 15 und die Abbildungen 7 und 8 zeigen, liegt die Mehrheit der ingestierten Dosen im Bereich von 100 cfu

(1 – 300 cfu). Die Exposition von Verbrauchern zu geringen Mengen von *Campylobacter* spp. könnte Krankheiten auslösen. Es ist aber auch denkbar, dass es durch den Kontakt mit geringen Mengen zu einer Immunisierung kommt und somit die Zahl der Krankheitsfälle durch Exposition zu geringen Mengen des Pathogens abnimmt.

Abbildung 7: Dosen von *Campylobacter* spp., die unter Basissituationsbedingungen, ausgehend von frischen Hähnchenschenkeln, von Haushaltsmitgliedern aufgenommen werden, und Wahrscheinlichkeit für das Eintreten einer Erkrankung nach Aufnahme einer Dosis

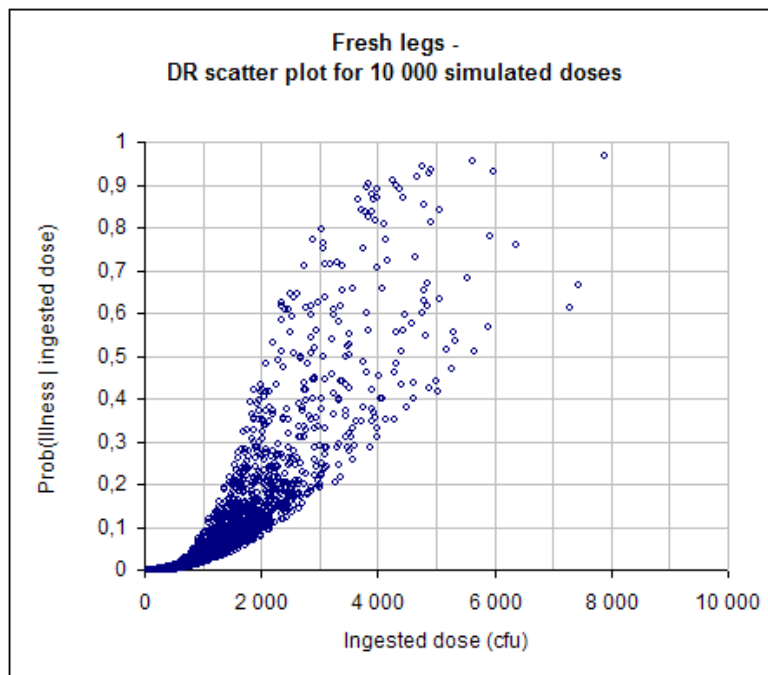


Abbildung 8: Dosen von *Campylobacter* spp., die unter Basissituationsbedingungen, ausgehend von frischen Filets, von Haushaltsmitgliedern aufgenommen werden, und Wahrscheinlichkeit für das Eintreten einer Erkrankung nach Aufnahme einer Dosis. Die Linien entsprechen den wahrscheinlichen oberen und unteren Grenzen der Dosis-Wirkungskurve

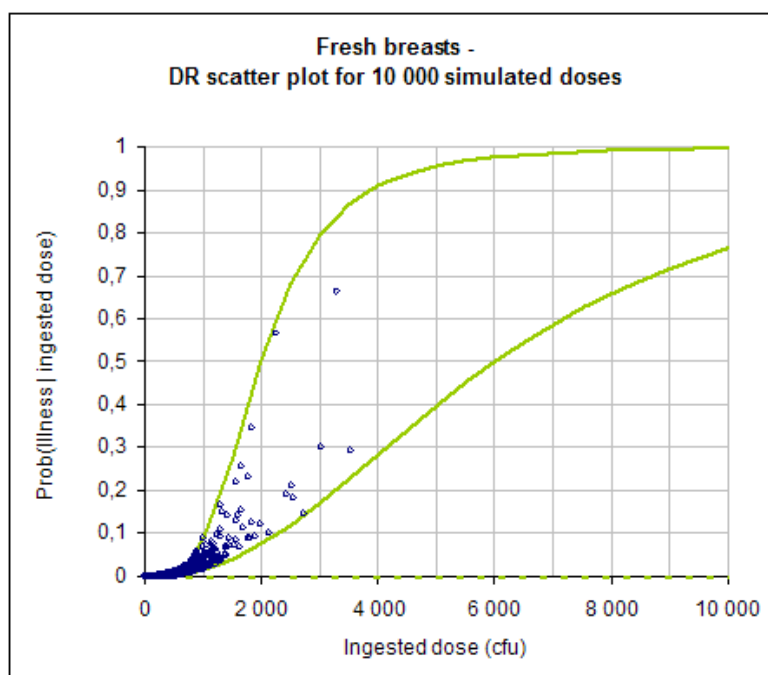


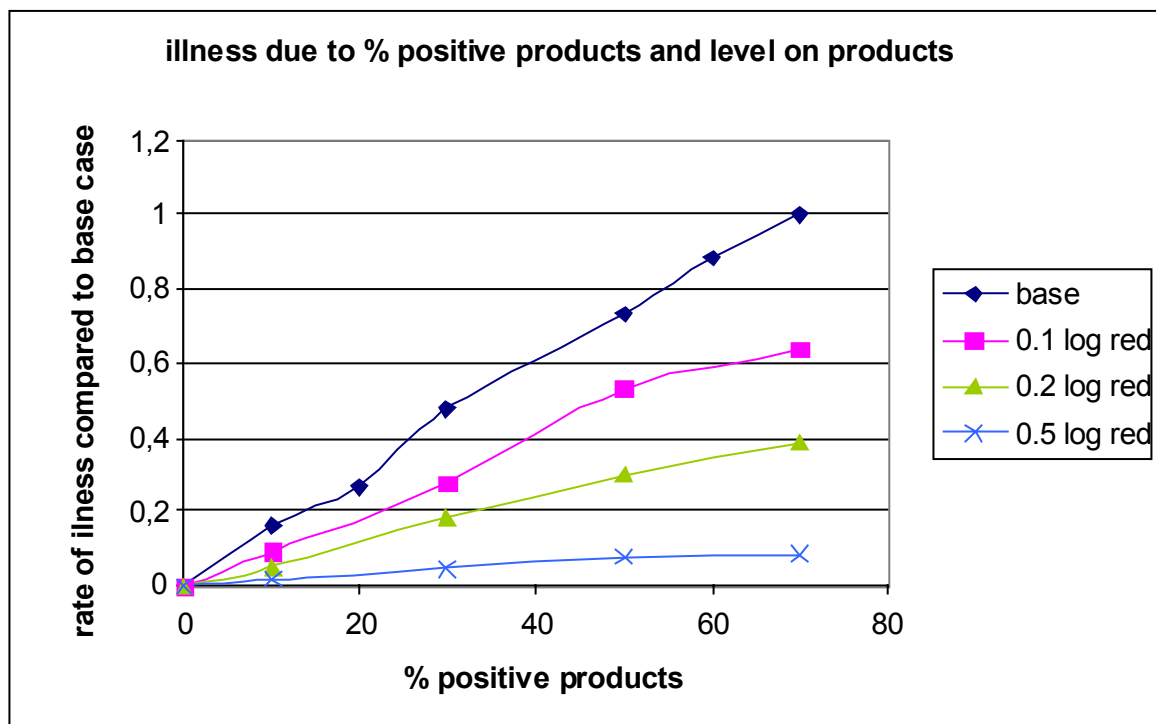
Tabelle 15: Mittelwerte, Standardfehler und Mediane für die simulierten (in-silico) Werte der durch die vier verschiedenen Produkte ingestierten Dosen

Produkt	Ingestierte Dosis [cfu]		
	Mittelwert	Standardfehler	Median
FrISChe Keulen	218,66	5,12	61
Gefrorene Keulen	4,67	0,11	2
FrISChe Filets	65,42	1,70	19
Gefrorene Filets	2,57	0,08	2

5.4.2 Sensitivitätsprüfungen und Simulation von Mitigationsstrategien

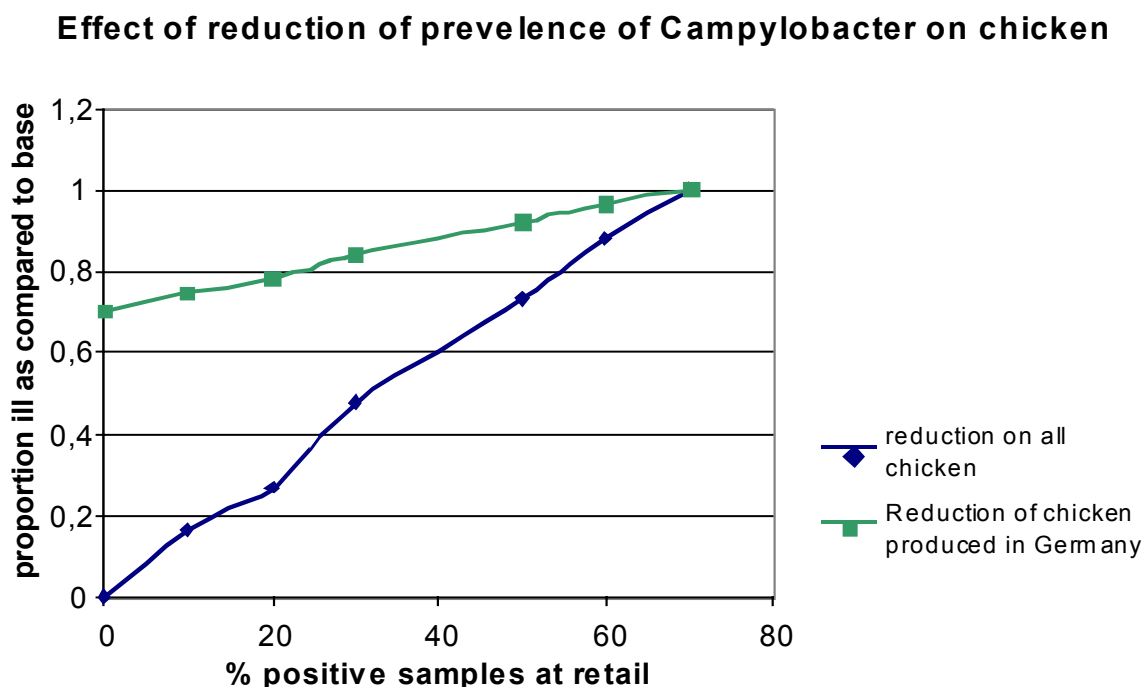
Die folgenden Simulationen wurden nur für das Produkt frISChe Hähnchenkeulen durchgeführt. Alle im Rahmen der Sensitivitätsprüfungen gewonnenen neuen Werte sind immer in Bezug zu den Werten für frISChe Keulen in der Basissituation (= 1) zu sehen. Es wurden Simulationen mit geringerer Prävalenz positiver Produkte durchgeführt und es wurden Simulationen mit geringerer oberflächlicher Kontamination (cfu/Oberfläche) durchgeführt, um zu ermitteln, wie sich eine derartige Verbesserung der Belastung von Hähnchenprodukten auf die Zahl der Erkrankungen in Deutschland auswirkt. Wie Abbildung 9 zeigt, besteht eine lineare Beziehung zwischen dem prozentualen Anteil *Campylobacter*-positiver Produkte und der relativen Anzahl von *Campylobacter*-fällen. Sowohl eine Senkung der Prävalenz kontaminierter Produkte um 30% als auch eine Verringerung der Menge von *Campylobacter* auf der Produktoberfläche um $\log 0,1$ cfu bewirkten eine 30%ige Reduktion der Zahl der jährlichen Erkrankungen (im Vergleich zur Basissituation). Es zeigt sich somit, dass Mitigationsstrategien, welche auf eine Reduktion der oberflächlichen Kontamination mit dem Pathogen zielen, eine bedeutende Rolle bei der Bekämpfung der *Campylobacter*-erkrankung spielen können. Weiterhin wird klar, dass es zur Evaluation von Mitigationsstrategien sinnvoll ist, neben der Prävalenz auch die Menge der *Campylobacter* auf der Produktoberfläche in die Betrachtungen einzubeziehen.

Abbildung 9: Effekte der Senkung der Prävalenz *Campylobacter*-positiver Produkte (% positive products) sowie der Senkung der quantitativen Kontamination der Produktoberfläche (0.1 – 0.5 log red) auf die Erkrankungsrate (rate of illness compared to base case) im Verhältnis zur Basissituation (base case)



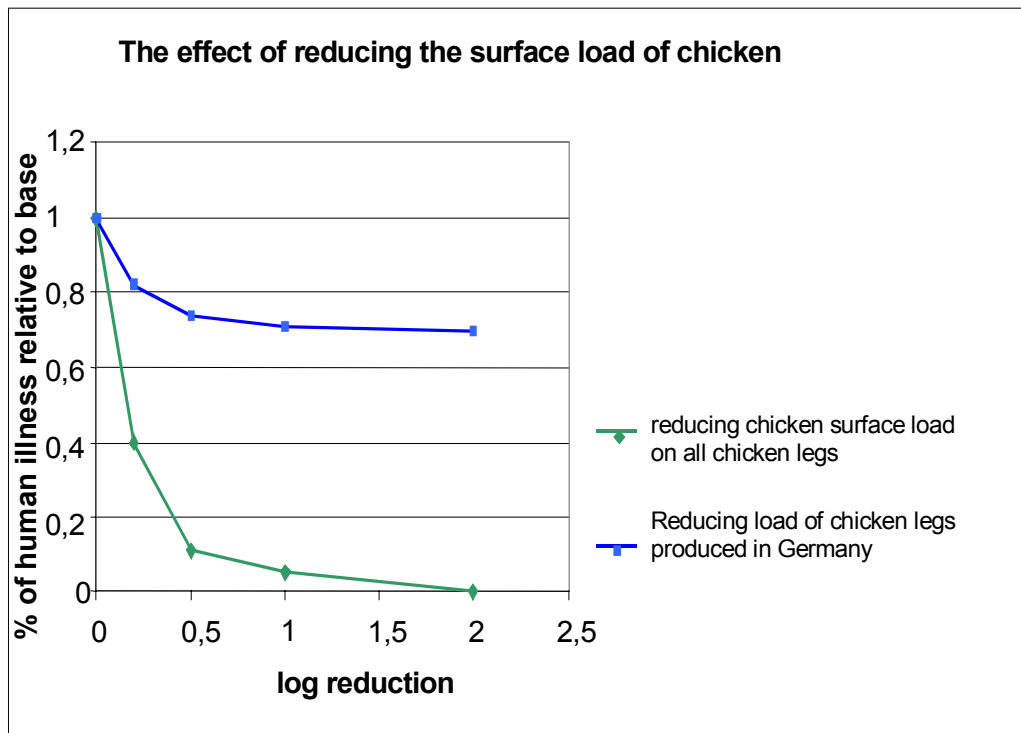
Würden in Deutschland Mitigationsstrategien zum Einsatz kommen, so würde sich das lediglich auf das in Deutschland produzierte Hähnchenfleisch auswirken. Selbst wenn das gesamte in Deutschland produzierte Hähnchenfleisch frei von *Campylobacter* spp. wäre, aber sich an dem aktuellen Verhältnis zwischen dem Konsum von im Land produzierten und importierten Produkten nichts ändern würde, so würde die Erkrankungsrate im Vergleich zur heutigen Situation nur um 30% sinken (Abbildung 10).

Abbildung 10: Vergleich des Effektes der Senkung der Prävalenz von mit *Campylobacter* behafteten Produkten auf die Rate der Campylobacteriosefälle verglichen mit der Basissituation (proportion ill as compared to base case). Die Linie mit den Rauten zeigt den Effekt für alle Produkte (reduction on all chicken), die Linie mit den Quadraten zeigt die Auswirkung der Senkung der Prävalenz bei in Deutschland produziertem Hähnchenfleisch (reduction on chicken produced in Germany).



Der gleiche Effekt hinsichtlich der Senkung der Campylobacteriosefälle kann durch eine Senkung der Menge der Pathogene auf allen in Deutschland im Handel befindlichen Produkten um $\log 0,1$ cfu erreicht werden, oder durch eine Senkung der Belastung von in Deutschland produziertem Hähnchenfleisch um $\log 0,5$ cfu / Produktoberfläche (Abbildung 11). Mitigationsstrategien, welche nur auf das in Deutschland produzierte Hähnchenfleisch zielen würden, könnten maximal eine 30%ige Senkung der Anzahl der durch Hähnchenfleisch verursachten Campylobacteriosefälle bewirken. Dies entspricht schätzungsweise einer 14%igen Senkung der Gesamtzahl der in der deutschen Bevölkerung jährlich auftretenden Campylobacteriosen.

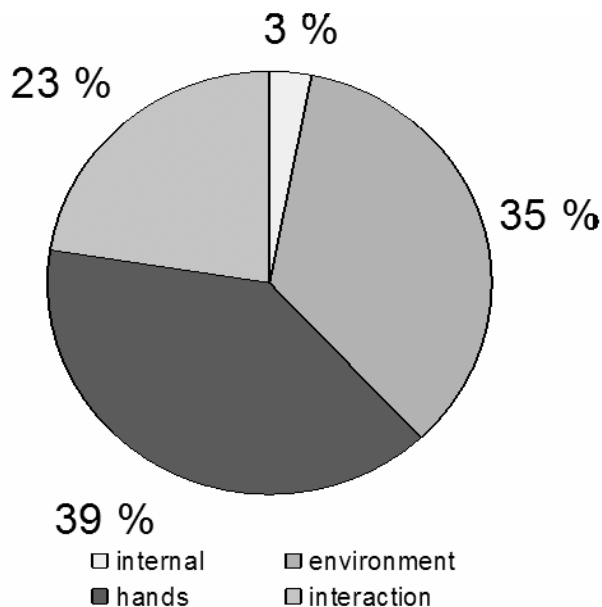
Abbildung 11: Effekte der Senkung der oberflächlichen Belastung von Hähnchenprodukten deutscher Produktion (Linie mit den Quadraten = reducing load of chicken legs produced in Germany) mit *Campylobacter* spp. im Vergleich mit dem Effekt der Senkung des Kontaminationsgrades auf allen in Deutschland verzehrten Hähnchenprodukten (Linie mit der Raute). 70% des in Deutschland verzehrten Hähnchenfleisches ist importiert



Weiterhin wurde analysiert, welchen prozentualen Anteil die verschiedenen Expositionspfade an der Auslösung von Campylobacteriosefällen haben. Insbesondere ist hier von Interesse, welche Bedeutung dem Verzehr von nicht ausreichend gegartem Hähnchenfleisch im Vergleich zu den Kreuzkontaminationspfaden beizumessen ist. Im Hinblick auf mögliche Mitigationsstrategien wurde untersucht, welchen Einfluss das unzureichende Reinigen der Haushaltsutensilien und das Händewaschen auf die Anzahl der Krankheitsfälle haben. Die Ergebnisse sind in Abbildung 12 als Diagramm dargestellt. 39% der Campylobacteriosefälle wurden verursacht, weil der Koch/die Köchin sich nicht die Hände gewaschen hatte, nachdem er mit rohem Hähnchenfleisch umgegangen ist. 35% der Krankheitsfälle wurden durch Wiedernutzung von Küchenutensilien und -oberflächen (wie Schneidbretter, Messer, Kontaktflächen...) ohne Reinigung nach dem Kontakt mit rohem Hähnchen ausgelöst. Somit konnten 74% der Campylobacteriosefälle auf Kreuzkontaminationsereignisse zurückgeführt werden. Im Gegensatz dazu wurden nur 3% der Fälle durch den Verzehr von unzureichend gegartem Hähnchenfleisch verursacht. Für 23% der Fälle mussten mehrere Hygienefehler gleichzeitig stattfinden, damit es zur Aufnahme einer Menge des Pathogens kam, die schließlich eine Campylobacteriose auslöste. Obwohl viel größere Bakterienmengen vom Hähnchenfleisch auf die Hände als auf Küchenutensilien und -oberflächen übertragen wurden, hatten beide Hygienefehler eine vergleichbare Relevanz hinsichtlich der Auslösung von Erkrankungen. Im Wesentlichen ist dies auf die Annahme zurückzuführen, dass sich etwa 80% (zwischen 50% und 90%) der Menschen die Hände waschen, nachdem sie Kontakt mit rohem Hähnchenfleisch hatten. Wir postulieren, dass es relativ häufiger (50% der Fälle) dazu kommt, dass die Küchenutensilien und -oberflächen nicht gereinigt werden, nachdem sie in Kontakt mit Hähnchen waren. Insgesamt lässt sich schlussfolgern, dass der Einfluss der Mitigationsstrategie "Verbraucherinformation – Verbesserung der Küchenhygiene" limitiert ist.

Letztendlich wird es immer Verbraucher geben, die bei der Zubereitung von Lebensmitteln fehlerhaftes Verhalten zeigen.

Abbildung 12: Prozentualer Anteil der verschiedenen Expositionspfade an der Auslösung von *Campylobacteriose*-fällen (internal = unzureichendes Erhitzen; environment = Fehlerhaftes Reinigen der Küchenutensilien und -oberflächen; hands = Hände nicht gewaschen; interaction = mehr als ein Expositionspfad führte zur Aufnahme einer krankheitsauslösenden Dosis)



Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse wurde geprüft, welchen Einfluss der gewählte Prozentsatz der Mahlzeiten, welche von verzehrfertigen Lebensmittelbeilagen (wie z.B. Brot) begleitet werden, auf das Simulationsergebnis hat. Für die Basissituation wurde angenommen, dass 30% der Hähnchenmahlzeiten mit verzehrfertigen Lebensmittelbeilagen, so genannte "ready-to-eat foods", kombiniert werden. Nur wenn derartige Beilagen die Mahlzeit begleiten, kann es zur Aufnahme von durch Kreuzkontaminationen in der Küche verbreitete *Campylobacter* kommen. Die für Deutschland erhobenen Verzehrsstudien liefern leider keine Informationen zur Zusammensetzung von Mahlzeiten. Es kann deshalb nur abgeschätzt werden, welcher Anteil von Mahlzeiten mit Hähnchenfleisch mit Salat, Brot oder Vergleichbarem kombiniert wird. Die Sensitivitätsanalyse zeigte jedoch, dass es sich um eine entscheidende Wissenslücke handelt. Wenn die Simulation mit einem Wert von 50% für die Mahlzeiten mit Beilagen durchgeführt wurde, vervielfachte sich die Anzahl der prognostizierten *Campylobacteriose*-fälle um den Faktor 0,5. Wurde der Prozentsatz auf 70% heraufgesetzt, so resultierte eine um den Faktor 1,25 höhere prognostizierte Zahl von Krankheitsfällen.

Es wird vermutet, dass die infektiöse, krankheitsverursachende Dosis für *Campylobacter* spp. sehr gering ist. Es gibt jedoch keine Erfahrungswerte dafür, wie hoch die minimale Infektionsdosis ist oder mit welcher Wahrscheinlichkeit Menschen bei der Aufnahme von geringen Mengen des Pathogens erkranken. Man kann vermuten, dass die minimale Infektionsdosis stammspezifisch sein wird und von der individuellen Empfindlichkeit des infizierten Menschen beeinflusst wird. Darüber hinaus ist bei Lebensmittelpathogenen auch immer die Matrix, also die Art des Lebensmittels, mit welchem die Bakterien ingestiert werden, entscheidend. In den Abbildungen 7 und 8 sind die aufgenommenen Dosen und die Wahrscheinlichkeit zu erkranken dargestellt, wenn die in der Basissituation beschriebene Dosis-Wirkungsbeziehung eingesetzt wird. Die Modellierung der Dosis-Wirkungsbeziehung ist mit Sicherheit einer der sensitivsten Parameter für die Expositionsschätzung. Gleichzeitig handelt

es sich aber auch um einen Aspekt, der in absehbarer Zeit kaum verifizierbar sein wird. Wir haben deshalb ein weiteres in der Literatur beschriebenes Modell [Teunis et al., 2005] genutzt, um die Dosis-Wirkungsbeziehung zu modellieren. Unter Verwendung dieses "Single-Hit"-Modells wurde bei gleichen Eingangsparametern eine Gesamtsumme von 4.009.708 Campylobacteriosefällen prognostiziert. Dieses entspräche einer Menge von 400.971 registrierten Campylobacteriosefällen. Dieser Wert ist achtmal höher als die tatsächliche Zahl von in Deutschland registrierten Fällen.

6 Risikocharakterisierung

Die Gefahrenidentifizierung und -charakterisierung haben gezeigt, dass es noch große Wissenslücken hinsichtlich des pathogenen Bakteriums *Campylobacter* spp. gibt. Bis heute ist weitgehend ungeklärt, auf welchem Wege die Campylobacteriose des Menschen ausgelöst wird. Noch schlechter ist die Kenntnislage in Bezug auf potenzielle Folgeerkrankungen oder die Dosis-Wirkungsbeziehung. Eine Gefahrencharakterisierung kann deshalb zum jetzigen Zeitpunkt nicht erfolgen und eine komplette Risikoschätzung ist somit nicht zu erreichen. Dennoch war es möglich eine Expositionsschätzung durchzuführen. In Anbetracht der vielen Annahmen, auf welchen diese beruht, sind ihre quantitativen Ergebnisse jedoch nur unter Vorbehalt einer großen Unsicherheit zu sehen.

Die Exposition der Verbraucher bei Zubereitung und Verzehr von Hähnchenfleisch ist der letzte zu modellierende Schritt in jeder mikrobiologischen Risikobewertung für die Pathogen-Lebensmittel-Kombination *Campylobacter* und Hähnchen. In einer dänischen Risikobewertung wurde sehr vereinfacht nur die Exposition der Verbraucher über ein durch ganze Hähnchen kontaminiertes Schneidbrett betrachtet, welches entweder gereinigt wurde oder nicht [Rosenquist; 2003; Christensen, 2005]. Die in den Niederlanden im Rahmen des CARMA-Projektes durchgeführte Risikobewertung [Nauta et al., 2005] hat ebenfalls nur die Exposition der Verbraucher durch Kreuzkontaminationen betrachtet. Hier wurden als *Campylobacter*-quelle Hähnchenbrustfilets betrachtet. Die *Campylobacter* konnten durch nicht gereinigte Schneidbretter und ungewaschene Hände auf Salat übertragen werden. Betrachtet wurde hier auch die Reihenfolge der Handlungen in der Küche. Im Gegensatz dazu wird bei der Risikobewertung der FAO/WHO [2003a] für diese Pathogen-Lebensmittel Kombination neben der Kreuzkontamination auch eine Exposition durch den Verzehr von kontaminiertem Hähnchen betrachtet. Die Kreuzkontamination wird hierbei durch ein "Tropfflüssigkeitsmodell" simuliert. Es werden keine Expositionspfade spezifiziert, sondern die Aufnahme eines Volumens von Tropfflüssigkeit, welches zuvor nur schwach am Hähnchen haftende *Campylobacter* enthält. Im Unterschied zu dem von uns gewählten Ansatz werden hierbei nur ganze Karkassen betrachtet. Es kann zusammenfassend festgestellt werden, dass die von uns erarbeitete Schätzung für die Verbraucherexposition eine Weiterentwicklung aller bisher für dieses Modul publizierten Risikobewertungen ist. In unserem umfassenden Ansatz werden verschiedene typische Hähnchenprodukte betrachtet, die frisch und gefroren verzehrt werden. Es werden sowohl die Kreuzkontamination als auch der Verzehr von unzureichend erhitztem Hähnchenfleisch berücksichtigt und spezifische Expositionspfade wie die Nutzung unzureichend gereinigter Küchenutensilien oder mangelhafte Handhygiene modelliert.

Die Auswertung des Schrifttums im Rahmen der Gefahrenidentifizierung hat bestätigt, dass Hähnchenfleisch eine bedeutende Quelle für die Auslösung von Campylobacteriosen in der deutschen Bevölkerung sein kann. Wie in Kapitel 3.3 detailliert beschrieben, tritt *Campylobacter* außer beim Geflügel häufig bei Rindern, kleinen Wiederkäuern und Schweinen in Erscheinung. Der für Deutschland charakteristische Rohmilchverzehr ist als weiterer Risikofaktor zu berücksichtigen. Während es viele positive Nachweise bei lebenden Tieren gibt, ist die Nachweisrate bei den Nicht-Geflügel-Lebensmitteln jedoch nur gering. Wasser ist ein weiteres wichtiges Reservoir für das Pathogen. In Deutschland spielt jedoch die Exposition von Verbrauchern über nicht aufbereitetes Trinkwasser nur eine untergeordnete Rolle. Neben den Lebensmitteln kommen als Infektionsquellen für deutsche Verbraucher noch insbesondere infizierte Haustiere und Freizeitaktivitäten in der Natur in Frage. Es deutet sich an, dass eine indirekte Exposition zu organischen Düngern von mit *Campylobacter* infizierten Rindern und Schweinen (Auswaschung von *Campylobacter* in Badegewässer, Kontamination von Gemüse etc.) möglicherweise eine Rolle bei der Auslösung von Erkrankungen spielt. Nicht alle Campylobacterinfektionen sind lebensmittelbedingt. Unter den Campylobacteriosen, die durch Lebensmittel ausgelöst werden, scheinen Geflügelfleisch und insbesondere Hähnchen die bedeutendste Quelle zu sein.

Skelly und Weinstein [2003] haben aus der Sicht eines Mikrobiologen die Problematik des Überlebens des Bakteriums *Campylobacter* betrachtet. Aus Sicht des Bakteriums ist es entscheidend zu überleben, bis der nächste Wirt erreicht wird. Der entscheidende Mechanismus für die Quantität der Exposition der Verbraucher mit dem Bakterium ist somit die Überlebensfähigkeit der *Campylobacter* in der Umwelt. Die Autoren definieren verschiedene Überlebenskurven für *Campylobacter* in ihrem Modell. Im Modell gibt es verschiedene ökologische Filter (z.B. das Kochen eines Lebensmittels), Zwischenglieder in Form von Umweltvektoren (z.B. Fliegen oder eine Lebensmittel-Kontaktfläche in der Küche) und die mit ihnen verbundenen Einschränkungen für das Überleben, wie beispielsweise die Umgebungstemperatur. Es entsteht ein sog. „Lagrangian“-Modell, welches dem Fluss einer einzelnen Gruppe von Pathogenen durch die Umwelt folgt. Eine derartige Modellierung ist direkt fokussiert auf die wichtigste Unbekannte, nämlich die Überlebensfähigkeit der *Campylobacter*, während sie sich durch die Umwelt zwischen zwei Wirten bewegen.

Die Autoren formulieren verschiedene Erklärungsansätze für die Saisonalität des Auftretens der Campylobacteriose mit einer Häufung von Fällen in den warmen Sommermonaten, wie sie auch in Deutschland beobachtet wird. Wenn die Infektion hauptsächlich von Lebensmitteln ausgeht, gibt es zwei Erklärungsansätze. In den warmen Monaten nimmt die Exposition der Verbraucher zu, da häufiger im Freien gegrillt wird (öfter Fehler beim Garen, weniger Hygiene und mehr Gelegenheiten für Kreuzkontamination). Andererseits ist es möglich, dass im Sommer mehr Tiere mit *Campylobacter* infiziert sind und somit in der Folge mehr kontaminiertes Fleisch auf den Markt kommt. Nicht-Lebensmittel bezogene Erklärungen wären, dass die *Campylobacter* im Sommer besser in Umweltreservoirern überdauern können und somit ihre Prävalenz in diesen Quellen zunimmt. Weiterhin kann es sich um einen Effekt der Immunmodulation des Menschen handeln. Im Sommer gibt es mehr UV-Strahlung und UV mindert die Funktionstüchtigkeit des humanen Immunsystems. *Campylobacter* spp. können bemerkenswert gut im Wasser überleben. Vermutlich ist ihre Überlebensfähigkeit in Wasser bei niedrigen Temperaturen besser, somit ihre Prävalenz in Wasser im Winter und Frühling am höchsten – daraus ließe sich der Anstieg der humanen Erkrankungen im Sommer erklären. Andererseits kann dieser aber auch darauf zurückzuführen sein, dass es durch das Baden vermehrt zur Exposition der Menschen kommt. Weitere Ungewissheiten bestehen hinsichtlich des Verständnisses des VNC-Stadiums (viable but not culturable) von *Campylobacter*. In diesem Zustand sind die Bakterien nicht nachweisbar. Vermutlich handelt es sich um eine Überdauerungsform, die das Überleben in Wasser ermöglicht. Es wird allgemein angenommen, dass das VNC-Stadium nach Passage durch einen warmblütigen Wirt aufgehoben wird und ein Übergang in die Kulturform stattfindet. Weitere Variationen können hinsichtlich der Dosis-Wirkungsbeziehung bestehen. Vermutlich sind nicht alle *Campylobacter* gleichermaßen virulent und sicherlich gibt es unterschiedliche Grade der Empfindlichkeit bei den Menschen.

Die *Campylobacter* vermehren sich nur im Intestinaltrakt von Warmblütern. Alle Überlebenskurven beginnen deshalb mit der Streuung von *Campylobacter* in Fäzes. Es gibt drei Übertragungswege zum Menschen: a) direkte Exposition zu Fäzes, b) Exposition durch Verzehr von Lebensmitteln, Verarbeitung von Lebensmitteln oder Zubereitung von Lebensmitteln, und c) Exposition durch Wasser. Vor diesen Expositionen sind verschiedene ökologische Filter geschaltet. Je mehr dieser Filter ein Pathogen passieren muss, um so geringer wird seine Prävalenz und Menge auf dieser Überlebenskurve.

Die größte Gefahr hinsichtlich Prävalenz und Menge von *Campylobacter* geht somit von den Fäzes warmblütiger Tiere aus. Direkter Kontakt mit Fäzes ist jedoch keine entscheidende Komponente der Campylobacteriose-Ökologie. Dies liegt daran, dass solche Kontakte in der Regel nur berufsbedingt erfolgen. Die Zahl der so exponierten Menschen ist nur klein und es gibt Hinweise darauf, dass zumindest der professionelle Kontakt zu Tierfäzes zur Immunität bei den Betroffenen führt. Zusätzlich funktioniert hier der ökologische Filter „persönliche Hygiene“ sehr gut. Die persönliche Hygiene ist hingegen kaum vorhanden bei Kindern unter

fünf Jahren. Dies mag einer der Gründe sein, warum es in dieser Bevölkerungsuntergruppe so hohe Erkrankungszahlen gibt.

Die Autoren identifizieren drei Forschungsschwerpunkte um die *Campylobacteriose* besser beschreiben zu können. Es werden Daten benötigt zu: 1. Überlebensrate der *Campylobacter* in Fäzes, 2. Überlebensrate von *Campylobacter* auf menschlichen Händen, Fingern und weiteren Vektoren und 3. in welchem Maße funktioniert der ökologische Filter persönliche Hygiene. Eine Risikobewertung muss jedoch auch berücksichtigen, wie häufig es zur Exposition kommt. Eine Exposition zu *Campylobacter* über Lebensmittel und Wasser findet wahrscheinlich wesentlich häufiger statt als durch den direkten Kontakt zu Fäzes. Für die Beurteilung des Expositionspfades „Genuss von kontaminiertem Trinkwasser“ ist es wichtig zu wissen: 1. Wie viele *Campylobacter* gelangen in das Wasser? 2. Wie lange können sie in Wasser überleben? 3. Wie effektiv sind die ökologischen Filter Abwasserbehandlung und Trinkwasserdekontamination hinsichtlich der Entfernung von *Campylobacter*? 4. Wie oft gelangt eine infektiöse Dosis zur oralen Aufnahme? (beinhaltet das Trinkverhalten der Verbraucher).

Obwohl sehr viele Filter dazwischengeschaltet sind, ist der Umgang mit und der Verzehr von Geflügelfleisch scheinbar der wichtigste Expositionspfad für die orale Aufnahme von *Campylobacter*. Bei der Modellierung dieser Überlebenskurve ist es wichtig zu berücksichtigen, wie viele *Campylobacter* transferiert werden (z.B. über Küchenutensilien) bzw. bei Kreuzkontaminationen übertragen werden (vom Huhn zum Salat). Die ökologischen Filter sind die Lebensmittelverarbeitung und -zubereitung sowie die persönliche Hygiene und die Küchenhygiene.

Letztere Faktoren sind bei der im Kapitel 4 ausführlich beschriebenen Expositionsschätzung genauer analysiert worden. Um valide Eingangsdaten für die Expositionsschätzung zu erhalten, wurden Hähnchenkeulen und -brustfilets aus dem deutschen Einzelhandel auf Kontamination mit *Campylobacter* untersucht [Luber und Bartelt; Scherer et al.]. Erstmals wurde bei diesen Untersuchungen genau unterschieden zwischen Bakterien, die sich auf der Oberfläche der Produkte befinden und jenen, die im Inneren eines Produktes lokalisiert sind. Bei der Expositionsschätzung wird davon ausgegangen, dass die *Campylobacter* auf der Oberfläche beim Garprozess abgetötet werden. Zur Aufnahme von lebenden *Campylobacter* mit einer Portion Hähnchenfleisch kann es nur kommen, wenn ein innerlich kontaminiertes Hähnchenteil nicht ausreichend gegart wird. Weitere Experimente wurden durchgeführt, um die Ausbreitung der auf der Oberfläche der Hähnchenteile lokalisierten *Campylobacter* bei Kreuzkontaminationen in Folge von Hygienefehlern zu quantifizieren [Luber et al., 2006]. Eine Auswertung der Literatur zur Verbreitung von *Campylobacter* durch Kreuzkontaminationen findet sich im Kapitel 2.4. Informationen zum Hygieneverhalten von Verbrauchern bei der Zubereitung von Geflügelfleisch sind kaum vorhanden (siehe Kapitel 3.9). Für die Expositionsschätzung wurde deshalb auf Literaturdaten zurückgegriffen. Ein großes Manko hierbei ist, dass die Literaturdaten hauptsächlich aus Großbritannien und den USA stammen. Kulturelle Unterschiede im Verhalten der deutschen Verbraucher konnten so nicht berücksichtigt werden.

Weiterhin ist die Qualität der Studien zum Verbraucherverhalten sehr unterschiedlich. So hat eine von Redmond et al. [2003] durchgeführte Auswertung von 88 Studien zum Verbraucherverhalten bei der Zubereitung von Mahlzeiten im privaten Haushalt gezeigt, dass Interviews und Befragungen nur von geringem Nutzen sind, da aus verschiedensten Gründen häufig ein sichereres Verhalten berichtet wird als tatsächlich stattfindet. Wertvoller wären Studien, bei welchen das Verbraucherverhalten observiert wird und gleichzeitig mikrobiologische Untersuchungen durchgeführt werden, welche die Auswirkung von Fehlhandlungen direkt quantifizierbar machen würden. Im vorliegenden Fall könnte ein Verbraucher vor die Aufgabe gestellt werden, eine Mahlzeit mit einem natürlich mit *Campylobacter* kontaminierten Hähnchenteil zuzubereiten. Die Beobachtungen würden zeigen, ob und wenn ja, welche

unsicheren Handlungen stattfinden. Am Ende könnte die *Campylobacter*menge in verschiedenen Komponenten der Mahlzeit ermittelt werden. Eine qualitative Verbesserung der in das Modell einfließenden Daten zum üblichen Verhalten deutscher Verbraucher könnte die vorliegende Expositionsschätzung von Unsicherheiten befreien und zu präziseren Ergebnissen führen.

Eine wesentlichere Präzisierung der Expositionsschätzung könnte auch durch Erhebung von Daten zur Effektivität von Reinigungsmaßnahmen erreicht werden. Das jetzige Modell geht davon aus, dass bei Reinigung der Küchenutensilien und beim Händewaschen alle *Campylobacter* entfernt werden. Die Erweiterung des Modells mit validen Daten zum Verbraucherverhalten und zur Effektivität von Hygienemaßnahmen zur Unterbindung der Kreuzkontamination könnte seine Nützlichkeit erhöhen.

Wilson hat bereits im Jahr 2003 postuliert, dass der Genuss von bereits zerlegten, hautlosen Hähnchen zu einer Senkung des Infektionsrisikos beim Verbraucher führen könnte. Unsere Risikoschätzung bestätigt diese Vermutung. Wie die Simulationen zeigten, geht das größte *Campylobacter*risiko von frischem Hähnchenfleisch mit Haut aus. Gefrorene Produkte haben kaum Erkrankungen verursacht. Die Hähnchenschenkel waren stärker an der Verursachung von Krankheitsfällen beteiligt als die Hähnchenbrustfilets. Weiterhin stellte sich heraus, dass der Verzehr von unzureichend gegartem Hähnchenfleisch nur eine untergeordnete Bedeutung bei der Auslösung von *Campylobacter*osen spielt.

Die beste und wichtigste Vorsorgemaßnahme gegen den Lebensmittelinfektionserreger wäre somit eine gute Küchenhygiene und die Vermeidung von Kreuzkontaminationen. Es hat sich jedoch im Rahmen der Gefahrenidentifizierung gezeigt, dass das Bewusstsein um die *Campylobacter*osegefahr unter Verbrauchern nur gering ist (Kapitel 3.8). Aufklärungskampagnen oder Warnhinweise auf Verpackungen von Geflügelfleisch könnten hier wirksame Risikomanagementoptionen sein.

Untersuchungen von Altekruze und Kollegen [1996b] haben gezeigt, dass die allgemeine Kenntnis über die sichere Zubereitung von Lebensmitteln in der Bevölkerung abnimmt. Gleichzeitig nimmt der Anteil an empfindlichen Personen in der Population ständig zu (höheres Lebensalter, chronisch Kranke, AIDS-Erkrankte). In diesem Licht erscheint es fraglich, ob eine verstärkte Information von Verbrauchern zu Maßnahmen der Küchenhygiene sich wesentlich auf das *Campylobacter*oserisiko auswirken wird. Es kann jedoch einer Verschlimmerung der Situation entgegenwirken.

Andere mögliche Optionen zur Senkung des *Campylobacter*oserisikos in Deutschland sind Maßnahmen zur Verringerung der Kontamination von Fleischprodukten, die den Geflügelfleischproduzenten auferlegt werden könnten. Man könnte eine generelle Senkung des Anteils an Hähnchenfleisch, welches mit *Campylobacter* kontaminiert ist, verlangen oder Maßnahmen vorschreiben welche darauf zielen die Menge der *Campylobacter*bakterien auf den Produkten zu verringern. Beide Managementoptionen wurden mit dem Modell getestet. Hierbei zeigte sich insbesondere die Verringerung der Zahl der *Campylobacter* auf der Oberfläche von Hähnchenfleisch als erfolgsversprechende, effektive Maßnahme.

Schließlich identifizierte die Risikobewertung, dass die Problematik "Campylobacteriose durch Geflügelfleisch" nur mit geringem Erfolg auf rein nationaler Ebene gemanagt werden kann. Durch den intensiven innereuropäischen und auch weltweiten Handel ist weniger als ein Drittel des Hähnchenfleisches, welches in Deutschland verzehrt wird, auch hier produziert worden. Nur auf in Deutschland produzierte Hähnchen gerichtete Maßnahmen zur Verringerung der *Campylobacter*-Kontamination bei der Geflügelfleischproduktion hätten somit nur einen geringen Effekt auf die Zahl der bundesweiten *Campylobacter*ose-Erkrankungen.

7 Literaturverzeichnis

- Abu-Ruwaida, A.S., W.N. Sawaya, B.H. Dashti, Z.H. Baroon, H.A. Al-Othman (1996). Mikrobiell determinierte Haltbarkeit und Qualität gefrorener Broiler unter simulierten Marktbedingungen. *Fleischwirtschaft* 76:652-656
- Allerberger, F., N. Al-Jazrawi, P. Kreidl, M.P. Dierich, G. Feierl, I. Hein, M. Wagner (2003). Barbequed chicken causing a multi-state outbreak of *Campylobacter jejuni* enteritis. *Infection* 31:19-23
- Allos, B.M. (2001). *Campylobacter jejuni* infections: Update on emerging issues and trends. *Clinical Infectious diseases* 32:1201-1206
- Altekruse, S.F., D.A. Street, S.B. Fein, A.S. Levy (1996a). Consumer knowledge of foodborne microbial hazards and food-handling practices. *J. Food Protect.* 59:287-294
- Altekruse, S.F., D.L. Swerdlow (1996b). The changing epidemiology of foodborne disease. *Am. J. Med. Scie.* 311:2-29
- Archer, D.L. (2004). Freezing: an underutilized food safety technology? *Int. J. Food Microbiol.* 90:127-138
- Atanassova, V., C. Ring (1999). Prevalence of *Campylobacter* spp. in poultry and poultry meat in Germany. *Int. J. Food Microbiol.* 51:187-190
- Banatvala, N., A.R. Magnano, M.L. Carter, T.J. Barrett, W.F. Bibb, L.L. Vasile, P. Mshar, M.A. Lambert-Fair, J.H. Green, N.H. Bean, R.V. Tauxe (1996). Meat grinders and molecular epidemiology: two supermarket outbreaks of *Escherichia coli* =157:H7 infection. *J. Infect. Dis.* 173:480-483
- Barker, J., S.F. Bloomfield (2000). Survival of salmonella in bathrooms and toilets in domestic homes following salmonellosis. *J. Appl. Microbiol.* 89:137-144
- Baserisalehi, M., N. Bahador, S.K. Augustine, A.Y. Al-Mahdi, B.P. Kapadnis (2004). Enhanced recovery and isolation of *Campylobacter* spp. from water using a novel device. *J. Appl. Microbiol.* 96:664-670
- Berg, I. (1997). Kochalltag in Deutschland – alles wie gehabt? *Ernährungslehre und -Praxis* 10:B37-B39
- Berrang, M.E., D.P. Smith, W.R. Windham, P.W. Feldner (2004). Effect of intestinal content contamination on broiler carcass *Campylobacter* counts. *J. Food Protect.* 67:235-238
- Berrang, M.E., S.R. Ladley, R.J. Buhr (2001). Presence and level of *Campylobacter*, coliforms, *Escherichia coli*, and total aerobic bacteria recovered from broiler parts with and without skin. *J. Food Protect.* 64:184-188
- Beutling, D. (1998). Vorkommen und Überleben von *Campylobacter* in Lebensmitteln. *Arch. Lebensmittelhyg.* 49:13-15
- Bindemann, U., I. Kontny, W. Steffen, J. Jakob, H. Mochmann (1991). *Campylobacter jejuni* als Ursache eines Krankheitsausbruchs an akuter Gastroenteritis im Stadtgebiet von Rostock. *Z. Klin. Med.* 18:1331-1333
- Birk, T., H. Ingmer, M.T. Andersen, K. Jorgensen, L. Brondsted (2004). Chicken juice, a food-based model system suitable to study survival of *Campylobacter jejuni*. *Lett. Appl. Microbiol.* 38:66-71
- Black, R.E., M.M. Levine, M.L. Clements, T.P. Hughes, M.J. Blaser (1988). Experimental *Campylobacter jejuni* infection in humans. *J. Infect. Dis.* 157:472-479
- Blankenship, L.C., S.E. Craven (1982). *Campylobacter jejuni* survival in chicken meat as a function of temperature. *Appl. Environm. Microbiol.* 44:88-92

- Bloomfield, S.F. (2003). Home hygiene: a risk approach. *Int. J. Hyg. Environ. Health.* 206:1-8
- Borneff, J. (1989). Wirksame Hygiene-Maßnahmen im Haushalt heute. *Zbl. Bakt. Hyg. B* 187:404-413
- Borneff, J., R. Hassinger, J. Wittig, R. Edenharder (1988a). Untersuchungen zur Keimverbreitung in Haushaltsküchen. I. Mitteilung: Problemstellung, Versuche, Ergebnisse. *Zbl. Bakt. Hyg. B* 186:1-29
- Borneff, J., R. Hassinger, J. Wittig, R. Edenharder (1988b). Untersuchungen zur Keimverbreitung in Haushaltsküchen. II. Mitteilung: Beurteilung der Resultate und hygienische Schlußfolgerungen. *Zbl. Bakt. Hyg. B* 186:30-44
- Böttcher, W. (2004). ZMP-Marktbilanz Eier und Geflügel 2004. Verlag ZMP Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle GmbH, Bonn, Deutschland
- Boucher, S.N., A.H.L. Chamberlain, M.R. Adams (1998). Enhanced survival of *Campylobacter jejuni* in association with wood. *J. Food Protect.* 61:26-30
- Bremer, V., N. Bocter, S. Rehmet, G. Klein, T. Breuer, A. Ammon (2005). Consumption, knowledge, and handling of raw meat: a representative cross-sectional survey in Germany, March 2001. *J. Food Protect.* 68:785-789
- Brouwer, R., M.J.A. Mertens, T.H. Siem, J. Katchaki (1979). An explosive outbreak of *Campylobacter enteritis* in soldiers. *Antonie van Leeuwenhoek J. Microbiol.* 45:517-519
- Brown, M.H. (2002). Quantitative microbiological risk assessment: principles applied to determining the comparative risk of salmonellosis from chicken products. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 50:155-160
- Brown, P., D. Kidd, T. Riosdan, R.A. Barrell (1988). An outbreak of food-borne *Campylobacter jejuni* infection and the possible role of cross-contamination. *J. Infect.* 17:171-176
- Burgess, F., C.L. Little, G. Allen, K. Williamson, R.T. Mitchell (2005). Prevalence of *Campylobacter*, *Salmonella*, and *Escherichia coli* on the external packaging of raw meat. *J. Food Protect.* 68:469-475
- Cameron, S., K. Ried, A. Worsley, D. Topping (2004). Consumption of foods by young children with diagnosed *Campylobacter* infection – a pilot case-control study. *Public Health Nutr.* 7:85-89
- Chan, K.F., H.L. Tran, R.Y. Kanenaka, S. Kathariou (2001). Survival of clinical and poultry derived strains of *Campylobacter jejuni* at a low temperature (4°C). *Appl. Environm. Microbiol.* 67:4186-4191
- Chantarapanont, W., M. Berrang, J.F. Frank (2003). Direct microscopic observation and viability determination of *Campylobacter jejuni* on chicken skin. *J. Food Protect.* 66:2222-2230
- Chaveerach, P., A.A.H.M. Ter Huurne, L.J.A. Lipman, F. Van Knapen (2003). Survival and resuscitation of ten strains of *Campylobacter jejuni* and *Campylobacter coli* under acid conditions. *Appl. Environm. Microbiol.* 69:711-714
- Chen, Y., K.M. Jackson, F.P. Chea, D.W. Schaffner (2001). Quantification and variability analysis of bacterial cross-contamination rates in common food service tasks. *J. Food Protect.* 64:72-80
- Christensen, B., H. Sommer, H. Rosenquist, N. Nielsen (2001). Risk assessment on *Campylobacter jejuni* in chicken products. First Edition, January 2001. Ministry of Food, Agriculture and Fisheries. Danish Veterinary and Food Administration.
- Coates, D., D.N. Hutchinson, F.J. Bolton (1987). Survival of thermophilic *campylobacters* on fingertips and their elimination by washing and disinfection. *Epidemiol. Inf.* 99:265-274

- Codex Alimentarius Commission (1999). Principles and guidelines for the conduct of microbiological risk assessment. Joint FAO/WHO food standards programme. Codex Committee on Food Hygiene, 32th session, Rom, Italien, 28. Juni – 3. Juli 1999
- Cogan, T.A., J. Slader, S.F. Bloomfield, T.J. Humphrey (2002). Achieving hygiene in the domestic kitchen: the effectiveness of commonly used cleaning procedures. *J. Appl. Microbiol.* 92:885-892
- Cogan, T.A., S.F. Bloomfield, T.J. Humphrey (1999). The effectiveness of hygiene procedures for prevention of cross-contamination from chicken carcasses in the domestic kitchen. *Lett. Appl. Microbiol.* 29:354-358
- Collins, J.E. (1997). Impact of changing consumer lifestyles on the emergence/reemergence of foodborne pathogens. *Emerg. Infect. Dis.* 3:471-479
- Curtis, L.M., M. Patrick, C. de W. Blackburn (1995). Survival of *Campylobacter jejuni* in foods and comparison with a predictive model. *Lett. Appl. Microbiol.* 21:194-197
- Damborg, P., K.E.P. Olsen, E.M. Nielsen, L. Guardabassi (2004). Occurrence of *Campylobacter jejuni* in pets living with human patients infected with *C. jejuni*. *J. Clin. Microbiol.* 42:1363-1364
- Daniels, R.W. (1998). Home food safety. *Food Technol.* 52:54-56
- Darai, G., M. Handermann, E. Hinz, H.-G. Sonntag (2003). *Lexikon der Infektionskrankheiten des Menschen*. 2. Aufl., Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Deutschland
- Dawkins, H.C., F.J. Bolton, D.N. Hutchinson (1984). A study of the spread of *Campylobacter jejuni* in four large kitchens. *J. Hyg.* 92:357-364
- De Boer, E., M. Hahné (1990). Cross-contamination with *Campylobacter jejuni* and *Salmonella* spp. from raw chicken products during food preparation. *J. Food Protect.* 53:1067-1068
- Denis, M.; J. Refrégier-Petton, M.-J. Laisney, G. Ermel, G. Salvat (2001). *Campylobacter* contamination in French chicken production from farm to consumers. Use of a PCR assay for detection and identification of *Campylobacter jejuni* and *C. coli*. *J. Appl. Microbiol.* 91:255-267
- Devane, M.L., C. Nicol, A. Ball, J.D. Klena, P. Scholes, J.A. Hudson, M.G. Baker, B.J. Gilpin, N. Garrett, M.G. Savill (2005). The occurrence of *Campylobacter* subtypes in environmental reservoirs and potential transmission routes. *J. Appl. Microbiol.* 98:980-990
- Dingle, K.E., F.M. Colles, R. Ure, J.A. Wagenaar, B. Duim, F.J. Bolton, A.J. Fox, D.R.A. Wareing, M.C.J. Maiden (2002). Molecular characterization of *Campylobacter jejuni* clones: a basis for epidemiologic investigations. *Emerging Infectious Diseases* 8:949-955
- Dykes, G.A., S.M. Moorhead (2001). Survival of *Campylobacter jejuni* on vacuum or carbon dioxide packaged primal beef cuts stored at $-1,5^{\circ}\text{C}$. *Food Control* 12:553-557
- Elson, R., F. Burgess, C.L. Little, R.T. Mitchell (2004). Microbiological examination of ready-to-eat cold sliced meats and pâté from catering and retail premises in the UK. *J. Appl. Microbiol.* 96:499-509
- Ethelberg, S., K.E.P. Olsen, P. Gerner-Smidt, K. Molbak (2004). Household outbreaks among culture-confirmed cases of bacterial gastrointestinal disease. *Am. J. Epidemiol.* 159:406-412
- Evans, M.R., C.D. Ribeiro, R.L. Salmon (2003). Hazards of healthy living: bottled water and salad vegetables as risk factors for *Campylobacter* infections, *Emerg. Infect. Dis.*, 9:1219-1225
- Evers, E., Van der Fels-Klerx, A.H. Havelaar, M. Nauta, J. Schijven (2003). Estimation of the relative importance of *Campylobacter* transmission routes based on exposure assessment.

- Abstr. 12th International Workshop on Campylobacter, Helicobacter and Related Organisms. *Int. J. Med. Microbiol.* 293(S 35):27
- FAO/WHO (2003a). A draft risk assessment of Campylobacter spp. in broiler chickens – Interpretive summary. WHO library, Genf, Schweiz.
- FAO/WHO (2003b). Hazard characterization for pathogens in food and water: guidelines. Microbiological Risk Assessment Series, No.3. WHO library.
- Friedman, C.R., R.M. Hoekstra, M. Samuel, R. Marcus, J. Bender, B. Shiferaw, S. Reddy, S.D. Ahuja, D.L. Helfrick, F. Hardnett, M. Carter, B. Anderson, R.V. Tauxe and the Emerging Infections Program FoodNet Working Group (2004). Risk factors for sporadic Campylobacter infection in the United States: a case-control study in FoodNet sites. *Clin. Infect. Dis.* 38(Suppl 3):S285-S296
- Gibbs, D.S., G.L. Anderson, L.R. Beuchat, L.K. Carta, P.L. Williams (2005). Potential role of *Diploscapter* sp. strain LKC25, a bacterivorous nematode from soil, as a vector of food-borne pathogenic bacteria to preharvest fruits and vegetables. *Appl. Environm. Microbiol.* 71:2433-2437
- Gilbert, C., M. Slavik (2004). Determination of toxicity of Campylobacter jejuni isolated from humans and from poultry carcasses acquired at various stages of production. *J. Appl. Microbiol.* 97:347-353
- Haas, C. (2002). Conditional dose-response relationships for microorganisms: development and application. *Risk Anal.* 3:455-463
- Haas, C. (2003). Dose-response modelling for microbial risk. p. 47-57 In: Food Safety Handbook. Eds Schmidt, R.H. und G.E. Rodrick, John Wiley and Sons, Inc., USA
- Hald, B., K. Pedersen, M. Waino, J.C. Jorgensen, M. Madsen (2004). Longitudinal study of the excretion patterns of thermophilic Campylobacter spp. in young pet dogs in Denmark. *J. Clin. Microbiol.* 42:2003-2012
- Hannu, T., L. Mattila, H. Rautelin, P. Pelkonen, P. Lahdenne, A. Siitonen, M. Leirisalo-Repo (2002). Campylobacter-triggered reactive arthritis: a population-based study. *Rheumatology* 41:312-318
- Harrington, W.F. (1998). Incidents of food poisoning and food-borne diseases from „new“ or „unexpected“ causes: can they be prevented? *Int. J. Food Scie. Techn.* 33:177-189
- Hearden, M., C. Skelly, R. Eyles, P. Weinstein (2003). The regionality of campylobacteriosis seasonality in New Zealand. *Int. J. Environm. Health res.* 13:337-348
- Hood, A.M., A.D. Pearson, M. Shahamat (1988). The extent of surface contamination of re-tailed chickens with Campylobacter jejuni serogroups, *Epidemiol. Inf.*, 100:17-25
- Höök, H., M.-B. Ekegren, H. Ericsson, I. Vagsholm, M.-L. Danielsson-Tham (2004). Genetic and epidemiological relationship among Campylobacter isolates from humans. *Scand. J. Infect. Dis.* 36:435-442
- Hopkins, K.L., M. Desai, J.A. Frost, J. Satnley, J.M.J. Logan (2004). Fluorescent amplified fragment length polymorphism genotyping of Campylobacter jejuni and Campylobacter coli strains and its relationship with host specificity, serotyping, and phage typing. *J. Clin. Microbiol.* 42:229-235
- Hughes, R.A.C., R.D.M. Hadden, N.A. Gregson, K.J. Smith (1999). Pathogenesis of Guillain-Barré syndrome. *J. Neuroimmunology* 100:74-97
- Hutchinson, M.L., L.D. Walters, S.M. Avery, B.A. Syngé, A. Moore (2004). Levels of zoonotic agents in British livestock manures. *Lett. Appl. Microbiol.* 39:207-214
- Jacobs-Reitsma, W., H. Ruiters, G. Rijs, J. Wagenaar (2003). Presence of thermotolerant Campylobacter species in open swimming water in The Netherlands. Abstr. 12th Internatio-

nal Workshop on Campylobacter, Helicobacter and Related Organisms. *Int. J. Med. Microbiol.* 293 (S 35):134

Johannessen, G.S., G.B. Bengtsson, B.T. Heier, S. Bredholt, Y. Wasteson, L.M. Rorvik (2005). Potential uptake of *Escherichia coli* O157:H7 from organic manure into crisphead lettuce. *Appl. Environm. Microbiol.* 71:2221-2225

Johannessen, G.S., R.B. Froseth, L. Solemdal, J. Jarp, Y. Waterson, L.M. Rorvik (2004). Influence of bovine manure as fertilizer on the bacteriological quality of organic Iceberg lettuce. *J. Appl. Microbiol.* 96:787-794

Jorgensen, F.; R. Bailey, S. Williams, P. Henderson, D.R. Wareing, F.J. Bolton, J.A. Frost, L. Ward, T.J. Humphrey (2002). Prevalence and numbers of *Salmonella* and *Campylobacter* spp. on raw, whole chickens in relation to sampling methods. *Int. J. Food Microbiol.* 76:151-164

Karlyshev, A.V., J.M. Ketley, B.W. Wren (2005). The *Campylobacter jejuni* glycome. *FEMS Microb. Rev.* 29:377-390

Kassenborg, H.D., K.E. Smith, D.J. Vugis, T. Rabatsky-Ehr, M.R. Bates, M.A. Carter, N.B. Dumas, M.P. Cassidy, N. Marano, R.V. Tauxe, F.J. Angulo (2004). Fluoroquinolone-resistant *Campylobacter* infections: eating poultry outside of the home and foreign travel are risk factors. *Clin. Infect. Dis.* 38(Suppl 3):S279-S284

Kinde, H.; C.A. Genigeorgis, M. Pappaioanou (1992). Prevalence of *Campylobacter jejuni* in chicken wings. *Appl. Environ. Microbiol.* 45:1116-1118

Kist, M. (2002). Lebensmittelbedingte Infektionen durch *Campylobacter*. *Bundesgesundheitsbl.* 45:497-506

Klein, G., L. Beckmann, E. Bartelt (2004). Molecular typing of thermophilic *Campylobacter* isolates from poultry and human origin. *Archiv für Lebensmittelhygiene* 55:131-133

Kreyenschmidt, J., K. Lohmeyer, N. Stahl (2002), Charakterisierung des Verderbs von Frischfleisch, *Fleischwirtschaft*, 82:108-109

Kuusi, M., P. Klemets, I. Miettinen, I. Laaksonen, H. Sarkkinen, M.L. Hänninen, H. Rautelin, E. Kela, J.P. Nuorti (2004). An outbreak of gastroenteritis from a non-chlorinated community water supply. *J. Epidemiol. Community Health* 58:273-277

Ledergerber, U., G. Regula, R. Stephan, J. Danuser, B. Bissig, K.D.C. Stärk (2003). Risk factors for antibiotic resistance in *Campylobacter* spp. isolated from raw poultry meat in Switzerland. *BMC Public Health* 3:39

Lee, C.-Y., C.-T. Tai, S.-C. Lin, Y.-T. Chen (1994). Occurrence of plasmids and tetracycline resistance among *Campylobacter jejuni* and *Campylobacter coli* isolated from whole market chickens and clinical samples, *Int. J. Food Microbiol.*, 24:161-170

Lindmark, H., B. Harbom, L. Thebo, L. Andersson, G. Hedin, B. Osterman, T. Lindberg, Y. Andersson, A. Westöö, E.O. Engvall (2004). Genetic characterization and antibiotic resistance of *Campylobacter jejuni* isolated from meats, water, and humans in Sweden. *J. Clin. Microbiol.* 42:700-706

Little, C., D. Robertts, E. Youngs, J. De Jouvois (1999). Microbiological quality of retail imported unprepared whole lettuces: a PHLS food working group study. *J. Food Protect.* 62:325-328

Louis, V.R., I.A. Gillespie, S.J. O'Brien, E. Russek-Cohen, A.D. Pearson, R.R. Colwell (2005). Temperature-driven *Campylobacter* seasonality in England and Wales. *Appl. Environm. Microbiol.* 71:85-92

Luber, P. (2004). Entwicklung eines Mikrodilutions-Testsystems zur Bestimmung der Antibiotikaempfindlichkeit bei enteropathogenen *Campylobacter* spp. und seine Anwendung zur

Beschreibung der Epidemiologie des Auftretens resistenter Stämme in Geflügellebensmitteln und in humanem Untersuchungsmaterial. Dissertation. Freie Universität Berlin, Deutschland

Luber, P., E. Bartelt. Enumeration of *Campylobacter* spp. on the surface and inside of chicken breast filets. *Int. J. Food Microb.*, under review

Luber, P., J. Wagner, H. Hahn, E. Bartelt (2003). Antimicrobial resistance in *Campylobacter jejuni* and *Campylobacter coli* strains isolated in 1991 and 2001-2002 from poultry and humans in Berlin, Germany. *Antimicrob. Agents Chemother.* 47:3825-3830

Luber, P., S. Brynestad, D. Topsch, K. Scherer, E. Bartelt (2006). Quantification of *Campylobacter* spp. cross-contamination during handling of contaminated fresh chicken parts in the kitchen. *Appl. Environm. Microb.*, accepted for January issue

Manning, G., B. Duim, T. Wassenaar, J.A. Wagenaar, A. Ridley, D.G. Newell (2001). Evidence for a genitically stable strain of *Campylobacter jejuni*. *Appl. Environm. Microbiol.* 67:1185-1189

Mensink, G., M. Burger, R. Beitz, Y. Henschel, B. Hintzpeter (2002). Was essen wir heute? Ernährungsverhalten in Deutschland. Robert Koch-Institut, Berlin, Germany

Michaud, S., S. Ménard, R.D. Arbeit (2005). Role of real-time molecular typing in the surveillance of *Campylobacter enteritis* and comparison of pulsed-field gel electrophoresis profiles from chicken and human isolates. *J. Clin. Microbiol.* 43:1105-1111

Miles, S., D.S. Braxton, L.J. Frewer (1999). Public perceptions about microbiological hazards in food. *British Food Journal* 101:744-762

Miles, S., L.J. Frewer (2001). Investigating specific concerns about different food hazards. *Food Quality and Preference* 12:47-61

Montville, R., Y. Chen, D.W. Schaffner (2001). Glove barriers to bacterial cross-contamination between hands to food. *J. Food Prot.* 64:845-849

Moore, J.E., T.S. Wilson, D.R.A. Wareing, T.J. Humphrey, P.G. Murphy (2002). Prevalence of thermophilic *Campylobacter* spp. in ready-to-eat foods and raw poultry in Northern Ireland. *J. Food Protect.* 65:1326-1328

Moorhead, S.M., G.A. Dykes (2002). Survival of *Campylobacter jejuni* on beef trimmings during freezing and frozen storage. *Lett. Appl. Microbiol.* 34:72-76

Mylius, S., M. Nauta, A.H. Havelaar (2003). CARMA: modelling the transmission of *Campylobacter* in the consumer phase. Abstr. 12th International Workshop on *Campylobacter*, *Helicobacter* and Related Organisms. *Int. J. Med. Microbiol.* 293(S 35):28

Nachamkin, I. (2002). Chronic effects of *Campylobacter* infection. *Microbes and Infection* 4:399-403

Nachamkin, I., M.J. Blaser (2000). *Campylobacter*. 2. Aufl., ASM Press, Washington, DC, USA

Nauta, M.J., W. Jacobs-Reitsma, E.G. Evers, W. Van Pelt, A.H. Havelaar (2005). Risk assessment of *Campylobacter* in the Netherlands via broiler meat and other routes. RIVM Rapport 250911006, National Institute for Public Health and the Environment, Bilthoven, The Netherlands

Nicholson, F.A., S.J. Groves, B.J. Chambers (2005). Pathogen survival during livestock manure storage and following land application. *Biosource Technology* 96:135-143

Park, C.E., G.W. Sanders (1992). Occurrence of thermotolerant *Campylobacter* spp. in fresh vegetables sold at farmers' outdoor markets and supermarkets, *Can. J. Microbiol.*, 38:313-316

- Parry, S.M., S. Miles, A. Tridente, S.R. Palmer (2004). Differences in perception of risk between people who have and have not experienced Salmonella food poisoning. *Risk Analysis* 24:289-299
- Patrick, M.E., L.E. Christiansen, M. Waino, S. Ethelberg, H. Madsen, H.C. Wegener (2004). Effects of climate on incidence of *Campylobacter* spp. in humans and prevalence in broiler flocks in Denmark. *Appl. Environm. Microb.* 70:7474-7480
- Pearson, A.D., M.H. Greenwood, J. Donaldson, T.D. Healing, D.M. Jones, M. Shahamat, R.K.A. Feltham, R.C. Colwell (2000). Continuous source outbreak of campylobacteriosis traced to chicken. *J. Food Protect.* 63:309-314
- Peterson, M.C. (1994). Rheumatic manifestations of *Campylobacter jejuni* and *C. fetus* infections in adults. *Scand. J. Rheumatol.* 23:167-170
- Pfau, C., J. Piekarski (2002). Zur Kompetenz der Verbraucher im Umgang mit Lebensmitteln im Privaten Haushalt. *Ernährungs-Umschau*, 49:18-22
- Pfau, C., J. Piekarski (2003a). Consumers' competence in handling food, *J. Food Engin.*, 56:295-297
- Pfau, C., J. Piekarski (2003b). Aufbewahrung von Lebensmitteln aus geöffneten Verpackungen im privaten Haushalt – Eine Umfrage in der Bundesrepublik Deutschland, *Ernährung im Fokus*, 3-04:94-98
- Phebus, R.K., F.A. Draughon, J.R. Mount (1991), Survival of *Campylobacter jejuni* in modified atmosphere packaged turkey roll, *J. Food Protect.*, 54:194-199
- Potter, R.C., J.B. Kaneene, W.N. Hall (2003). Risk factors for sporadic *Campylobacter jejuni* infections in rural Michigan: a prospective case-control study. *Am. J. Public Health* 93:2218-2123
- Purnell, G.; K. Mattick, T. Humphrey (2004). The use of 'hot wash' treatments to reduce the number of pathogenic and spoilage bacteria on raw retail poultry. *J. Food Engineering* 62:29-36
- Rao, J.R., D. Nelson, N. Lafferty, J.E. Moore, B.C. Millar, J. Xu, M. Watabe (2003). Biohazards and ecotoxicological considerations of landspreading of spent compost wastes. *Comm. Appl. Biol. Sci.*, 68:885-892
- Raupach, J.C.A., R.L. Hundy (2003). An outbreak of *Campylobacter jejuni* infection among conference delegates. *Commun. Dis. Intell.* 27:380-383
- Redmond, E.C., C.J. Griffith (2003). Consumer food handling in the home: a review of food safety studies, *J. Food Protect.*, 66:130-161
- Redmond, E.C., C.J. Griffith, J. Slader, T.J. Humphrey (2004). Microbiological and observational analysis of cross contamination risks during domestic food preparation. *British Food Journal* 106:581-597
- Rees, J.R., M.A. Pannier, A. McNees, S. Shallow, F.J. Angulo, D.J. Vugia (2004). Peristent diarrhea, arthritis, and other complications of enteric infections: a pilot survey based on California FoodNet surveillance, 1998-1999. *Clin. Infect. Dis.* 38:S311-317
- Reij, M.W., E.D. Den Aantrekker (2004). Recontamination as a source of pathogens in processed foods. *Int. J. Food Microbiol.* 91:1-11
- Robert Koch-Institut (2005). Infektionsepidemiologisches Jahrbuch meldepflichtiger Krankheiten für 2004. Robert Koch-Institut, Berlin, Deutschland
- Robinson, D.A. [1981]. Infective dose of *Campylobacter jejuni* in milk. *British Medical Journal* 282:1584

- Roels, T.H., B. Wickus, H.H. Bostrom, J.J. Kazmierczak, M.A. Nicholson, T.A. Kurzynski, J.P. Davis (1998). A foodborne outbreak of *Campylobacter jejuni* (O:33) infection associated with tuna salad: a rare strain in an unusual vehicle. *Epidemiol. Infect.* 121:281-287
- Rohrmann, S. (2001). Entwicklung, Validierung und Ergebnisse eines Kurzfragebogens zur Erfassung der alimentären Zufuhr heterozyklischer aromatischer Amine sowie der Zubereitungsmethoden von Fleisch, Dissertation FB Agrarwissenschaften, Ökothrophologie und Umweltmanagement Universität Gießen.
- Rosenquist, H., N.L. Nielsen, H.M. Sommer, B. Norrung, B.B. Christensen (2003). Quantitative risk assessment of human campylobacteriosis associated with thermophilic *Campylobacter* species in chickens. *Int. J. Food Microbiol.* 83:87-103
- Rusin, P., S. Maxwell, C. Gerba (2002), Comparative surface-to-hand and fingertip-to-mouth transfer efficiency of gram-positive bacteria, gram-negative bacteria, and phage, *J. Appl. Microbiol.*, 93:585-592
- Sagoo, S.K., C.L. Little, L. Ward, I.A. Gillespie, R.T. Mitchell (2003). Microbiological study of ready-to-eat-salad vegetables from retail establishments uncovers a national outbreak of salmonellosis, *J. Food Protect.* 66:403-409
- Sagoo, S.K., C.L. Little, R.T. Mitchell (2001). The microbiological examination of ready-to-eat organic vegetables from retail establishments in the United Kingdom. *Lett. Appl. Microbiol.* 33:434-439
- Sandberg, M., M. Hofshagen, O. Ostensvik, E. Skjerve, G. Innocent (2005). Survival of *Campylobacter* on frozen broiler carcasses as a function of time. *J. Food Protect.* 68:1600-1605
- Scherer, K., E. Bartelt, C. Sommerfeld, G. Hildebrandt. Comparison of different sampling techniques and enumeration methods for the isolation and quantification of *Campylobacter* spp. in raw retail chicken legs. *Int. J. Food Microb.*, akzeptiert
- Scherer, K., E. Bartelt, C. Sommerfeld, G. Hildebrandt. Quantification of *Campylobacter* spp. on the surface and in the muscle of chicken legs at retail. *J. Food Protect.*, akzeptiert
- Schindler, P.R.G., D. Elmer-Englhard, S. Hörmansdorfer (2003). Untersuchungen zum mikrobiologischen Status südbayrischer Badegewässer unter besonderer Berücksichtigung des Vorkommens thermophiler *Campylobacter*-Arten. *Bundesgesundheitsbl.* 46:483-487
- Schönberg-Norio, D., J. Takkinen, M.-L. Hänninen, M.-L. Katila, S.-S. Kaukoranta, L. Mattila, H. Rautelin (2004). Swimming and *Campylobacter* infections. *Emerg. Infect. Dis.* [serial on the Internet]. Aug 2004 [date cited]. Available from: <http://www.cdc.gov/ncidod/EID/vol10no8/03-0924.htm>
- Siemer, B.L., C.S. Harrington, E.M. Nielsen, B. Borck, N.L. Nielsen, J. Engberg, S.L.W. On (2004). Genetic relatedness among *Campylobacter jejuni* serotyped isolates of diverse origin as determined by numerical analysis of amplified fragment length polymorphism (AFLP) profiles. *J. Appl. Microbiol.* 96:795-802
- Skelly, C., P. Weinstein (2003). Pathogen survival trajectories: an eco-environmental approach to the modeling of human campylobacteriosis ecology. *Environ. Health Perspect.* 111:19-28
- Smith, G.E., M. Lewis, S. Paterson, J. Gray, K. Gunn, F. Farrington, P. Croft (2002). The impact of sporadic *Campylobacter* and *Salmonella* infection on health and health related behaviour: a case control study. *Epidemiol. Infect.* 128:529-531
- Steffen, W., H. Mochmann, I. Kontny, U. Richter, U. Werner, O. El Naeem (1986). A foodborne infection caused by *Campylobacter jejuni* serotype Lauwers 19. *Zentralbl. Bakteriol. Mickorbiol. Hyg.* 183:28-35

- Stern, N.J., K.L. Hiett, G.A. Alfredsson, K.G. Kristinsson, J. Reiersen, H. Hardardottir, H. Briem, E. Gunnarsson, F. Georgsson, R. Lowman, E. Berndtson, A.M. Lammerding, G.M. Paoli, M.T. Musgrove (2003). *Campylobacter* spp. in Icelandic poultry operations and human disease. *Epidemiol. Infect.* 130:23-32
- Sticht-Groh, V. (1981). Bakterien der Gattung *Campylobacter*, isoliert von Lebensmittelproben, *Dtsch. Med. Wschr.*, 106:516
- Svedhem, A., B. Kaijser, E. Sjögren (1981). The occurrence of *Campylobacter jejuni* in fresh food and survival under different conditions, *J. Hyg.*, 87:421-425
- Svoboda, P., N. Jäggi (2002). Untersuchungen zum Vorkommen von *Campylobacter* spp. in verschiedenen Lebensmitteln, *Mitt. Lebensm. Hyg.*, 93:32-43
- Takkinen, J., A. Ammon (2003). Meeting report: The 11th international workshop on *Campylobacter*, *Helicobacter* and related organisms (CHRO), 2001. *Eurosurveillance* 8:219-222
- Tam, C.C., S.J. O'Brien, G.K. Adak, S.M. Meakins, J.A. Frost (2003). *Campylobacter coli* – an important foodborne pathogen. *J. Infect.* 47:28-32
- Teunis, P., W. Van den Brandehof, M. Nauta, J. Wagenaar, W. Van Pelt, H. Van den Kerkhof (2005). A reconsideration of the *Campylobacter* dose response relation, *Epidemiology and Infection* 133:583-592
- The OzFoodNet Working Group [2003]. Foodborne disease in Australia: incidence, notifications and outbreaks. Annual report of the OzFoodNet network, 2002. *Commun. Dis. Intell.* 27:209-243
- Thunberg, R.L., T.T. Tran, R.W. Bennett, R.N. Matthews, N. Belay (2002), Microbial evaluation of selected fresh produce obtained at retail markets, *J. Food Protect.*, 65:677-682
- Thurm, V., E. Dinger [1998]. Lebensmittelbedingte *Campylobacter*infektionen – Infektionsepidemiologische Aspekte der Ursachenermittlung, Überwachung und Prävention bei Ausbrüchen durch *Campylobacter jejuni*. RKI-Info II/98, Robert Koch-Institut, Berlin, Deutschland
- Uyttendaele, M., P. De Troy, J. Debevere (1999), Incidence of *Salmonella*, *Campylobacter jejuni*, *Campylobacter coli*, and *Listeria monocytogenes* in poultry carcasses and different types of poultry products for sale on the Belgian retail market, *J. Food Protect.*, 62:735-740
- Van der Meche, F.G.A., P.A. Van Doorn, J. Meulstee, F.G.I. Jennekens (2001). Diagnostic and classification criteria for the Guillain-Barré syndrome. *Eur. Neurol.* 45:133-139
- Wassenaar, T.M., S.L.W. On, R.J. Meinersmann (2000). Genotyping and the consequences of genetic instability. In: Nachamkin, I., M.J. Blaser (Hrsg.). *Campylobacter*. 2. Aufl., ASM Press, Washington DC, S. 369-380.
- Wesley, R.D., W.J. Stadelman (1985). The effect of carbon dioxide packaging on detection of *Campylobacter jejuni* from chicken carcasses, *Poult. Scie.*, 64:763-764
- Willis, W.; C. Murray (1997). *Campylobacter jejuni* seasonal recovery observations of retail market broilers. *Poult. Sci.* 76:314-317
- Wilson, I.G. (2002). *Salmonella* and *Campylobacter* contamination of raw retail chickens from different producers: a six year survey. *Epidem. Inf.* 129:635-645
- Windquist, A.G., A. Roome, R. Mshar, T. Fiorentino, P. Mshar, J. Hadler (2001). Outbreak of *Campylobacteriosis* at a senior center. *J. Am. Geriat. Soc.* 49:304-307
- Wundt, W., A. Kutscher, G. Kasper (1985). Untersuchungen zum Verhalten von *Campylobacter jejuni* in verschiedenen Lebensmitteln. *Zbl. Bakt. Hyg., I.Abt. Orig.* B180:528-533
- Zentrale Markt und Preisberichtsstelle (2004). Zubereitung von Mahlzeiten im privaten Umfeld. ZMP Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle für Erzeugnisse der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft GmbH, Bonn, Germany

Zhao, P., T. Zhao, M.P. Doyle, J.R. Rubino, J. Meng (1998). Development of a model for evaluation of microbial cross-contamination in the kitchen. *J. Food Protect.* 61:960-963

8 Danksagung

Wir möchten uns bei Allen bedanken, die mitgeholfen und mitgearbeitet haben bei der Bearbeitung dieses Projektes. Insbesondere danken wir Frau Petra Vogt und Frau Kathrin Scherer, welche mit viel Enthusiasmus die experimentellen Untersuchungen zur Gewinnung von Eingangsdaten für das Modell durchführten und teilweise auch auswerteten. Bei Frau Anja Vespermann und Herrn Oliver Lindtner bedanken wir uns für die Unterstützung bei der Auswertung der Verzehrsstudien. Frau Ulrike Euler danken wir für die aufwendigen Recherchen zu den Aspekten der humanen Campylobacteriose.

Wir danken Frau Sigrid Brynestad und Herrn Leif Braute von der norwegischen Firma Det Norske Veritas, welche nach unseren Wünschen und Vorgaben das Modell entwickelten und die für die Expositionsschätzung erforderlichen Simulationen durchführten.

Schliesslich möchten wir uns beim Bundesministerium für Bildung und Forschung für die Unterstützung mit Personalmitteln bedanken. Die Förderung erfolgte im Rahmen des Projektes „Nationales Netzwerk zur Erforschung lebensmittelbedingter Infektionskrankheiten in Deutschland“ (FKZ 01 KI 02206). Ein herzliches Dankeschön für die erfolgreiche Zusammenarbeit in dem Netzwerk geht an alle Teilnehmer und insbesondere an die Projektleiterin, Frau Andrea Ammon.

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Komponenten der mikrobiologischen Risikoschätzung	7
Abbildung 2: Übermittelte Campylobacter-Enteritiden nach Meldewochen, Deutschland, 2004 (n=55.745), im Vergleich mit den Vorjahren	11
Abbildung 3: Übermittelte Campylobacter-Enteritiden pro 100,000 Einwohner nach Bundesland, Deutschland, 2004 (n=55.724)	12
Abbildung 4: Übermittelte Campylobacter-Enteritiden pro 100.000 Einwohner nach Alter und Geschlecht, Deutschland, 2004 (n=55.726)	13
Abbildung 5: Modulare Struktur des Modells (Extend Screen Shot)	48
Abbildung 6: Algorithmus, mit welchem die einzelnen Teildosen für die Haushaltsmitglieder aus der Gesamtmenge von C. spp. auf den kreuzkontaminierten Beilagen generiert werden	55
Abbildung 7: Dosen von Campylobacter spp., die unter Basissituationsbedingungen, ausgehend von frischen Hähnchenschenkeln, von Haushaltsmitgliedern aufgenommen werden, und Wahrscheinlichkeit für das Eintreten einer Erkrankung nach Aufnahme einer Dosis	58
Abbildung 8: Dosen von Campylobacter spp., die unter Basissituationsbedingungen, ausgehend von frischen Filets, von Haushaltsmitgliedern aufgenommen werden, und Wahrscheinlichkeit für das Eintreten einer Erkrankung nach Aufnahme einer Dosis. Die Linien entsprechen den wahrscheinlichen oberen und unteren Grenzen der Dosis-Wirkungskurve	58
Abbildung 9: Effekte der Senkung der Prävalenz Campylobacter-positiver Produkte (% positive products) sowie der Senkung der quantitativen Kontamination der Produktoberfläche (0.1 – 0.5 log red) auf die Erkrankungsrate (rate of illness compared to base case) im Verhältnis zur Basissituation (base case)	59
Abbildung 10: Vergleich des Effektes der Senkung der Prävalenz von mit Campylobacter behafteten Produkten auf die Rate der Campylobacteriosefälle verglichen mit der Basissituation (proportion ill as compared to base case). Die Linie mit den Rauten zeigt den Effekt für alle Produkte (reduction on all chicken), die Linie mit den Quadraten zeigt die Auswirkung der Senkung der Prävalenz bei in Deutschland produziertem Hähnchenfleisch (reduction on chicken produced in Germany).	60
Abbildung 11: Effekte der Senkung der oberflächlichen Belastung von Hähnchenprodukten deutscher Produktion (Linie mit den Quadraten = reducing load of chicken legs produced in Germany) mit Campylobacter spp. im Vergleich mit dem Effekt der Senkung des Kontaminationsgrades auf allen in Deutschland verzehrten Hähnchenprodukten (Linie mit der Raute). 70% des in Deutschland verzehrten Hähnchenfleisches ist importiert	61
Abbildung 12: Prozentualer Anteil der verschiedenen Expositionspfade an der Auslösung von Campylobacteriosefällen (internal = unzureichendes Erhitzen; environment = Fehlerhaftes Reinigen der Küchenutensilien und -oberflächen; hands = Hände nicht gewaschen; interaction = mehr als ein Expositionspfad führte zur Aufnahme einer krankheitsauslösenden Dosis)	62

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Im Jahr 2003 je Hähnchenprodukt verkaufte Menge in Kilogramm [Böttcher, 2004]	28
Tabelle 2: Durchschnittliches Gewicht einer Hähnchenkeule bzw. eines Hähnchenbrustfilets im Einzelhandel	29
Tabelle 3: Struktur der Haushalte, welche Geflügel verzehren [Böttcher, 2004]	29
Tabelle 4: Prozentsatz der Mahlzeiten mit Bezug auf die aufgenommenen Gänge [ZMP, 2004]	29
Tabelle 5: Durchschnittlicher täglicher Verbrauch [g pro Tag] von Salat, Gemüse (ohne Kartoffeln) und Früchten, aufgliedert nach Geschlecht und Altersklasse [Mensink et al., 2002]	31
Tabelle 6: Prävalenz von <i>C. spp.</i> in Lebensmittelproben vom Huhn im deutschen Einzelhandel (Berlin)	33
Tabelle 7: Dem Modell zugrunde liegende Annahmen	49
Tabelle 8: Eingangsdaten für das Modul 1 – Bildung eines neuen Haushalts	50
Tabelle 9: Größe und Zusammensetzung deutscher Haushalte	51
Tabelle 10: Eingangsvariablen des Moduls „Einkauf von Hähnchenfleisch“	51
Tabelle 11: Werte, welche für die Bildung der empirischen Tabellen für die Menge der oberflächlichen und der innerlichen Kontamination genutzt wurden	52
Tabelle 12: Werte, aus welchen die Verteilungen für die Transferraten von <i>Campylobacter spp.</i> berechnet wurden	53
Tabelle 13: Eingangsvariablen des Moduls „Zubereitung der Mahlzeit“	53
Tabelle 14: Berechnungen zur Gewinnung der Zahl von <i>Campylobacteriose</i> fällen, welche auf den Konsum von Hähnchenteilen in Privathaushalten verursacht wurden	56
Tabelle 15: Mittelwerte, Standardfehler und Mediane für die simulierten (in-silico) Werte der durch die vier verschiedenen Produkte ingestierten Dosen	59

Bereits erschienene Hefte der Reihe BfR-Wissenschaft

- 01/2004 Herausgegeben von L. Ellerbroek, H. Wichmann-Schauer, K. N. Mac
Methoden zur Identifizierung und Isolierung von Enterokokken und deren
Resistenzbestimmung
€ 5,-
- 02/2004 Herausgegeben von M. Hartung
Epidemiologische Situation der Zoonosen in Deutschland im Jahr 2002
€ 15,-
- 03/2004 Herausgegeben von A. Domke, R. Großklaus, B. Niemann, H. Przyrembel,
K. Richter, E. Schmidt, A. Weißenborn, B. Wörner, R. Ziegenhagen
Verwendung von Vitaminen in Lebensmitteln - Toxikologische und ernäh-
rungsphysiologische Aspekte
€ 15,-
- 04/2004 Herausgegeben von A. Domke, R. Großklaus, B. Niemann, H. Przyrembel,
K. Richter, E. Schmidt, A. Weißenborn, B. Wörner, R. Ziegenhagen
Verwendung von Mineralstoffen in Lebensmitteln - Toxikologische und ernäh-
rungsphysiologische Aspekte
€ 15,-
- 05/2004 Herausgegeben von M. Hartung
Epidemiologische Situation der Zoonosen in Deutschland im Jahr 2003
€ 15,-
- 01/2005 Herausgegeben von A. Weißenborn, M. Burger, G.B.M. Mensink, C. Klemm,
W. Sichert-Hellert, M. Kersting und H. Przyrembel
Folsäureversorgung der deutschen Bevölkerung - Abschlussbericht zum For-
schungsvorhaben
€ 10,-
- 02/2005 Herausgegeben von R. F. Hertel, G. Henseler
EriK – Entwicklung eines mehrstufigen Verfahrens der Risikokommunikation
€ 10

Die Hefte der Reihe BfR-Wissenschaft sind erhältlich beim:

Bundesinstitut für Risikobewertung
Pressestelle
Thielallee 88-92
D-14195 Berlin

Fax: 030-8412 4970
E-Mail: pressestelle@bfr.bund.de